

# CARACTERÍSTICAS FÍSICAS Y QUÍMICAS DEL EMBALSE AGUA FRÍA (PARQUE NACIONAL MACARAO, ESTADO MIRANDA, VENEZUELA)

Ernesto J. González, Víctor Carrillo y Carlos Peñaherrera  
Instituto de Biología Experimental, Universidad Central de Venezuela.  
Apartado Postal 47106. Los Chaguaramos, Caracas 1041-Venezuela  
e-mail: ergonza@reacciun.ve

Recibido: 26/02/04; Revisado: 06/08/04; Aceptado: 05/10/04

**RESUMEN:** Se determinaron las principales características fisicoquímicas del embalse de alta montaña Agua Fría. Se realizaron muestreos mensuales (Enero-Diciembre, 2001) en tres localidades: E1, en la región más profunda del embalse, cerca del dique y en E2 y E3, ubicadas en las desembocaduras de los tributarios al embalse. Se registraron altos valores de transparencia (promedio de 6,5 m), debido a la baja cantidad de materia orgánica e inorgánica presente, lo que permitió que la luz penetrara a través de casi toda la columna de agua en la mayoría de los muestreos. Se registró una estratificación térmica estable durante todo el período de estudio, lo que permitió clasificar el embalse como meromictico con tendencia a cálido monomictico, según el criterio de Lewis (1983) para lagos tropicales. Se presentaron condiciones de anoxia en el hipolimnion del embalse, las cuales persistieron de Mayo a Octubre. El embalse presentó una salinidad baja, reflejada en sus bajos valores de conductividad (<500  $\mu\text{S}/\text{cm}$ ). Las aguas presentaron un carácter ligeramente alcalino ( $\text{pH} > 7.0$ ). Se detectaron bajas concentraciones de nutrientes, especialmente de fósforo, por lo que el embalse pudo ser clasificado como ultraoligotrófico, según el criterio de Salas y Martínó (1991) para lagos tropicales. **Palabras clave:** Embalse de montaña, características fisicoquímicas, lagos tropicales, Venezuela

## PHYSICAL AND CHEMICAL FEATURES OF AGUA FRÍA RESERVOIR (MACARAO NATIONAL PARK, MIRANDA STATE, VENEZUELA)

**ABSTRACT:** Physical and chemical features were determined in the high mountain reservoir Agua Fría (Miranda State, Venezuela). Monthly samples were taken from January – December 2001 at 3 localities: E1, in the deepest region of the reservoir, near the dam, and in E2 and E3, located at the entrance of tributaries into the water body. Water transparency was high (mean value of 6.5 m), due to the low quantities of organic and inorganic matter in the water, which allowed light penetration throughout the water column during almost the entire study period. A stable thermal stratification was well established throughout the study period, which permits classification of the reservoir as meromictic with a warm monomictic tendency, according to the Lewis criteria (1983) for tropical lakes. Anoxic conditions prevailed in the hypolimnion of the reservoir during the May – October period. Water salinity was low, as suggested by the low conductivity values (< 500  $\mu\text{S}/\text{cm}$ ). The water was slightly alkaline ( $\text{pH} > 7.0$ ). Nutrient concentrations, especially phosphorus, were low, thus corresponding to an ultraoligotrophic reservoir, according to the Salas and Martínó's criteria (1991) for tropical lakes. **Key Words:** Mountain water reservoir, physical characteristics, chemical features, tropical lakes, Venezuela.

## INTRODUCCION

El fundamento del manejo de los cuerpos de agua se basa en encontrar las relaciones entre las funciones de fuerza y las variables de estado y usar el conocimiento de estas relaciones para cambiar las funciones de fuerza controladas para lograr un estado del ecosistema deseado<sup>24</sup>.

Tundisi y Straskraba<sup>46</sup>, expresan que los embalses representan la fuente principal de agua en varias regiones, y también representan un objeto de estudio limnológico importante. En los continentes dominados por ríos como América del Sur, la limnología de embalses es una fuente particularmente importante de información científica y tecnológica sobre estos sistemas artificiales.

Los propósitos por los cuales los embalses son construidos son diversos<sup>29</sup> y para la mayoría de estos

usos, el conocimiento y el manejo de la calidad del agua es decisivo<sup>24</sup>. El desarrollo de manejos avanzados de la calidad del agua requiere de un buen conocimiento de la limnología del embalse<sup>23,46</sup>. Las propiedades físicas, químicas y biológicas de estos ecosistemas, así como la predictibilidad de sus mecanismos de funcionamiento, necesitan basarse en información científica y técnica adecuada. Por todo ello, el conocimiento del funcionamiento del ecosistema y la aplicación de la teoría ecológica es una cuestión de interés económico, social y científico<sup>46</sup>.

Venezuela cuenta con más de 100 embalses<sup>8,27</sup> empleados para propósitos diversos, tales como la generación de energía hidroeléctrica, el riego con fines agrícolas, el suministro de agua potable a la población, el control de inundaciones y la recreación. Esta variedad de usos hace necesario un conocimiento del funcionamiento de estos ecosistemas, para así lograr un aprovechamiento racional de ellos<sup>21,23</sup>. A pesar de ello, el

conocimiento limnológico de las aguas continentales es pobre en Venezuela, aunque recientemente se han incrementado los estudios al respecto<sup>5,11,12,34,38</sup>.

Hasta la fecha, son pocos los trabajos realizados o publicados acerca de los aspectos limnológicos del embalse Agua Fría, objeto del presente estudio<sup>6,9,19,28,30</sup>. Los trabajos acerca de la caracterización limnológica del embalse tienen casi veinte años de antigüedad, y desde entonces el embalse ha experimentado una disminución en el nivel de sus aguas, de modo que sus características físicas y químicas también pudieron haber experimentado cambios, por lo que se planteó realizar el estudio de caracterización física y química de las aguas del embalse.

#### AREA DE ESTUDIO

El embalse Agua Fría se terminó de construir en 1949. Se encuentra ubicado en el Parque Nacional Macarao, Estado Miranda, a unos 30 km al noroeste de la ciudad de Los Teques y a unos 1720 m.s.n.m (Figura 1). El embalse represa al río El Jarillo, y sus principales tributarios son la quebrada Agua Fría y el río El Arado<sup>7,30</sup>. La Tabla I presenta las principales características morfológicas del embalse Agua Fría.

La cubeta es relativamente alargada con una forma rectangular y pocas ensenadas. La cabecera presenta una ramificación en dos alas, las cuales representan las desembocaduras de la quebrada Agua Fría y el río El Arado.

Las orillas del embalse conservan su vegetación original sumergida y las copas de los árboles muertos afloran a la superficie, especialmente en las ramificaciones de las cabeceras. La vegetación que se encuentra en la cuenca del embalse, debido a su situación geográfica y a la altitud, es típica de un bosque montano bajo siempre verde de dosel medio y cobertura media, y de un matorral premontano siempre verde de cobertura media<sup>7</sup>. El lecho del embalse, por su parte, se encuentra cubierto de macroalgas del género *Chara sp.*

El agua del embalse se utiliza fundamentalmente para el abastecimiento de agua potable a la ciudad de Los Teques<sup>7,30</sup>.

Para el presente estudio, se seleccionaron tres estaciones de muestreo: E1, frente al dique y en el antiguo cauce del río El Jarillo; coordenadas 10° 23' 36" N y 67° 10' 49" O; E2, en la desembocadura de la quebrada Agua Fría en el embalse, coordenadas 10° 23' 49" N y 67° 10' 39" O; y E3, en la desembocadura del río El Arado al embalse, coordenadas 10° 23' 46" N y 67° 10' 36" O.

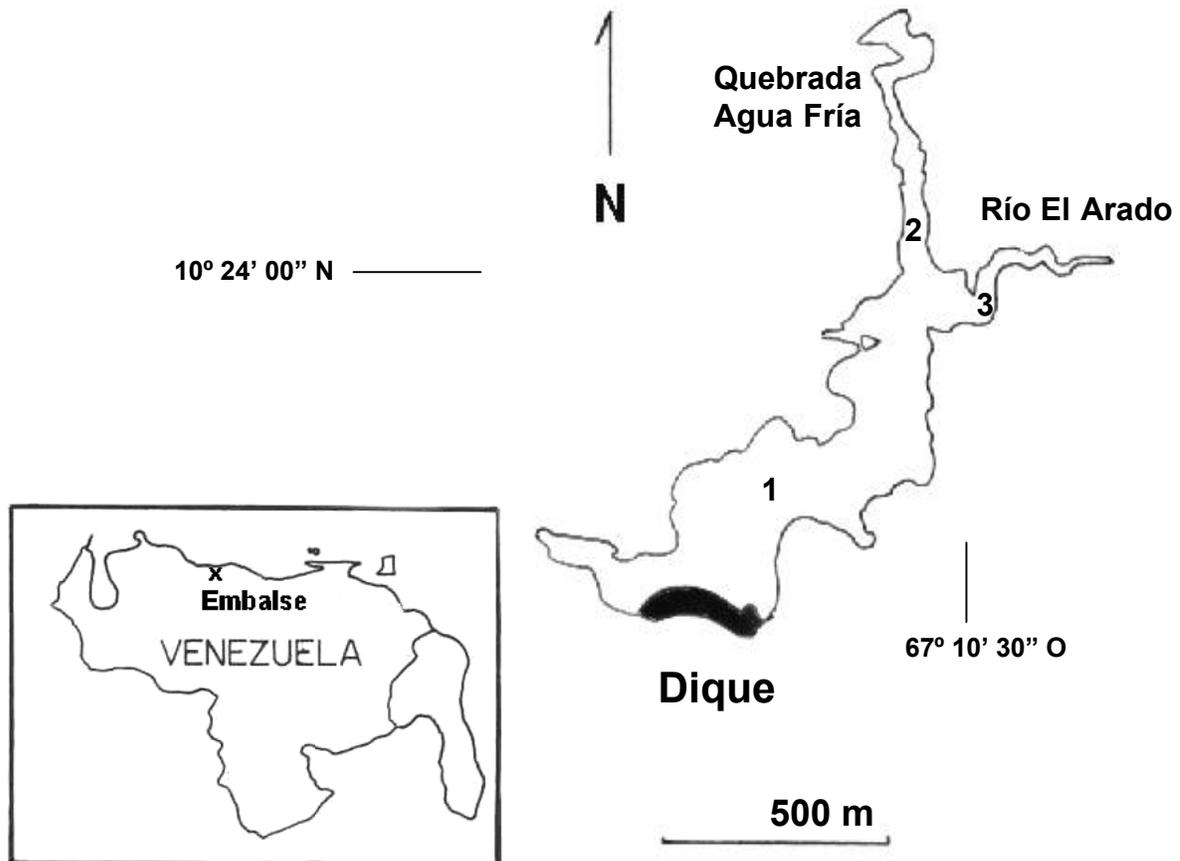


Figura 1. Mapa del embalse Agua Fría, mostrando las estaciones de muestreo.

**Tabla I:** Características morfométricas del embalse Agua Fría. Fuente: Ginez y colaboradores<sup>7</sup>.

Área del embalse	440.000 m <sup>2</sup>
Volumen	5.800.000 m <sup>3</sup>
Altura	1700 m.s.n.m.
Profundidad media	13,2 m
Gasto aproximado	1,75 m <sup>3</sup> /s
Tiempo de residencia	38 días

## MATERIALES Y METODOS

Se realizaron 12 muestreos con una frecuencia mensual (de enero a diciembre de 2001), a fin de cubrir un ciclo anual, incluyendo las temporadas de sequía (de principios de noviembre a finales de abril) y de lluvias (de mayo a finales de octubre).

Se determinaron las siguientes variables: Velocidad instantánea del viento (a intervalos de media hora, anemómetro portátil Davies), transparencia del agua (disco de Secchi, 20 cm de diámetro), temperatura del agua y conductividad (metro a metro desde la superficie hasta el fondo; termistor YSI TLC-3000, 0,1 °C y 1 µS/cm, respectivamente), oxígeno disuelto (metro a metro desde la superficie hasta el fondo; medidor de oxígeno YSI 54A, 0,1 mg/l) porcentaje de saturación de oxígeno a 0, 5, 10 y 15 de profundidad<sup>51</sup>, pH (potenciómetro Cole-Palmer, 0,01 unidades), toma de muestras con botella van Dorn (3 l de capacidad) para análisis químicos a intervalos desde la superficie hasta el fondo.

Inmediatamente después de los trabajos de campo, las muestras para los análisis de los nutrientes inorgánicos fueron filtradas a través de filtros de membrana con diámetro de poro de 0,45 µm y almacenadas en botellas de vidrio, en frío y en oscuridad. El mismo día de recolección de las muestras, se determinaron los siguientes parámetros: Ortofosfatos<sup>32</sup>, nitratos y nitritos<sup>44</sup>, amonio<sup>43</sup>, fósforo total y nitrógeno total<sup>49</sup> y sólidos totales<sup>1</sup>.

## RESULTADOS

### *Nivel del embalse*

En el embalse se pudo registrar una disminución progresiva del nivel de las aguas desde enero (1703,42 m.s.n.m.) hasta julio de 2001 (1699,00 m.s.n.m.), mes en que las lluvias comenzaron a hacerse más frecuentes en la zona donde está ubicado el embalse. A partir de agosto, excepto en septiembre, el embalse experimentó un aumento en su nivel hasta diciembre de 2001 (1703,15 m.s.n.m.). El máximo se observó en enero y el mínimo, tal como se explicó anteriormente, en julio.

### *Velocidad del viento, transparencia del agua y sólidos totales*

La velocidad del viento promedio varió entre 1,01 m/s y 2,11 m/s en diciembre y septiembre, respectivamente, con un promedio de 1,72 m/s  $\pm$  0,30 durante el período de estudio. En algunos meses del año 2001 pudieron medirse ráfagas de viento superiores a los 4 m/s. En general, los valores registrados durante el período de estudio pueden considerarse bajos.

En lo que se refiere a la transparencia del agua, los mayores valores se registraron durante la temporada de sequía, mientras que los menores valores se encontraron durante la temporada de lluvias. En E1, los valores obtenidos por el disco de Secchi variaron entre 4,1 m (septiembre) y 8,8 m (enero), con un promedio de 6,5 m  $\pm$  1,3; estos valores pueden considerarse altos, debido al bajo contenido aparente de partículas y de fitoplancton en la columna de agua.

En E2, los valores de transparencia del agua variaron entre 3,9 m (agosto) y 6,2 m (febrero), con un promedio de 4,9 m  $\pm$  0,7. Por su parte, en E3 la transparencia varió entre 4,4 m (septiembre) y 7,7 m (enero), con un promedio de 6,0 m  $\pm$  1,1. En el caso de estas dos estaciones, en varias ocasiones el máximo valor de transparencia coincidió con la profundidad máxima de cada localidad, debido a la alta transparencia de las aguas.

Los sólidos totales fluctuaron entre 1048,5 mg/m<sup>2</sup> (septiembre) y 2641,0 mg/m<sup>2</sup> (enero), con un promedio de 1685,7 mg/m<sup>2</sup>  $\pm$  491,4. Estos valores equivalen en promedio, en unidades de volumen, a 66,7 mg/l (septiembre), 177,0 mg/l (enero) y 111,1 mg/l  $\pm$  32,7, respectivamente. Pudo detectarse, además, que los valores en la columna de agua no fueron homogéneos, lo cual pareció ser indicativo de la presencia de corrientes de densidad.

### *Temperatura del agua*

La Figura 2 muestra las isotermas en E1 del embalse Agua Fría durante el período de estudio. Se puede notar que el embalse permaneció estratificado térmicamente durante todo el período de estudio, con una termoclina definida desde los 4-5 m hasta unos 10-11 m de profundidad.

La estaciones 2 y 3, a pesar de ser estaciones someras, con mayor influencia de los tributarios y por ende mayor turbulencia, presentaron un patrón similar al encontrado en la estación 1, referente a la estabilidad térmica de las aguas.

Normalmente, las mayores diferencias entre la superficie y el fondo de la columna de agua se encontraron en E1, la estación más profunda, y la menor diferencia se registró en E2, la más somera, especialmente cuando el nivel de las aguas descendió hasta el mínimo registrado. En E1, la mayor diferencia de temperatura se registró en julio (4,8 °C) y la menor en febrero (1,4 °C). En E2 la mayor diferencia se registró en noviembre (3,2 °C) y la menor en junio (0,4 °C). Por su

parte, en E3, la mayor diferencia de temperatura entre la superficie y el fondo de la columna de agua se detectó en octubre (3,7 °C) y la menor en junio (0,9 °C).

*Oxígeno disuelto*

La Figura 3 muestra las isopletras de las concentraciones de oxígeno disuelto en E1 durante el período de estudio. Durante los meses de la estación de sequía, la columna de agua permaneció bien oxigenada, con concentraciones superiores a los 7 mg/l en el epilimnion durante todo el período de estudio.

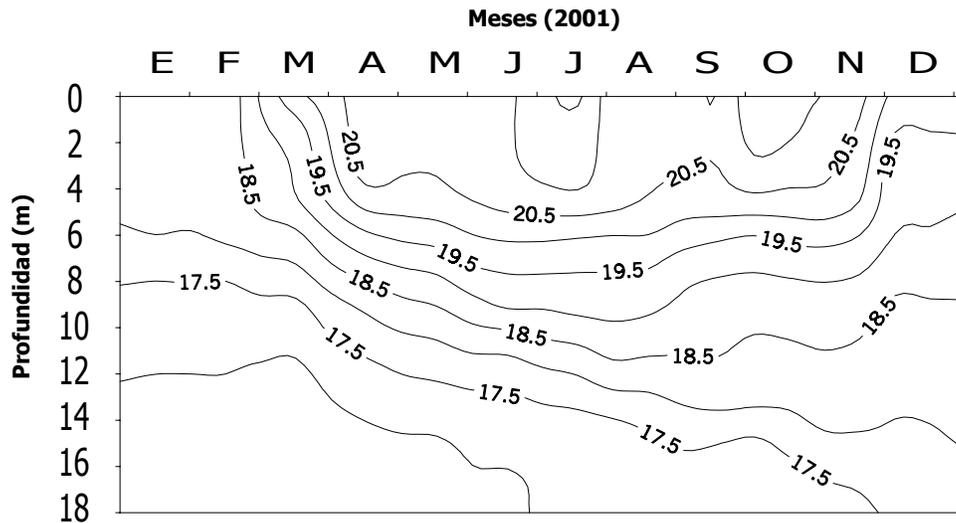


Figura 2. Isotermas en la estación 1 del embalse Agua Fría durante el período de estudio.

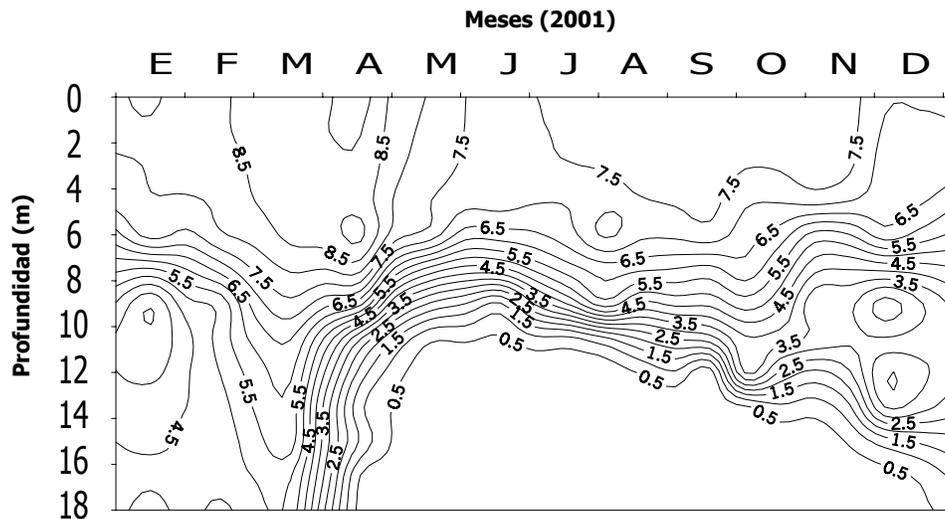


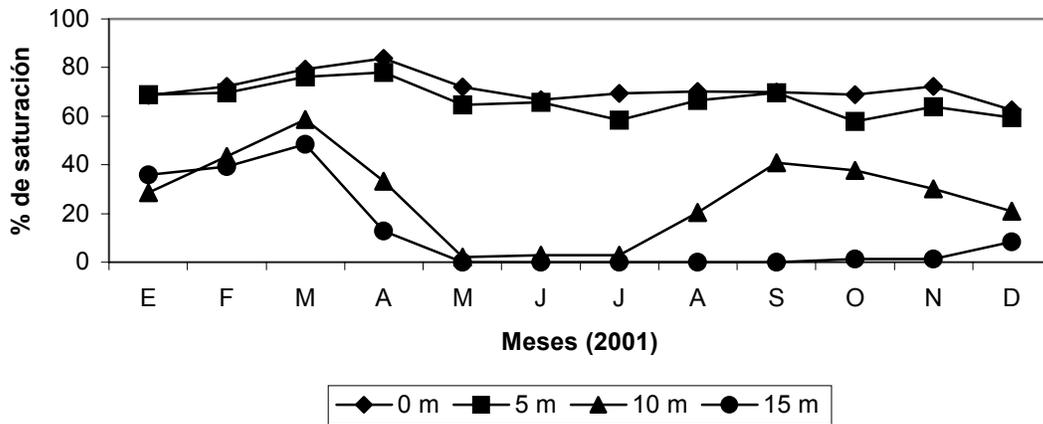
Figura 3. Isopletras de oxígeno disuelto en la estación 1 del embalse Agua Fría durante el período de estudio.

Desde el metalimnion hasta los estratos profundos, en todos los meses del estudio, excepto en marzo y junio, se detectaron aumentos y descensos en las concentraciones de oxígeno disuelto como resultado de la presencia de las corrientes de densidad antes citadas. Desde finales de marzo y hasta octubre, el oxígeno se fue agotando en el hipolimnion del embalse, presentándose condiciones de anoxia hasta llegar a detectarse un fuerte olor a sulfuro de hidrógeno a partir de los 15 m. Este agotamiento del oxígeno disuelto se reflejó en la disminución de los porcentajes de saturación desde marzo y hasta octubre a partir de los 10 m de profundidad del embalse (de 58% a 0%), mientras que en los estratos superficiales los porcentajes de saturación presentaron menores variaciones (entre 58% y 84%) (Figura 4).

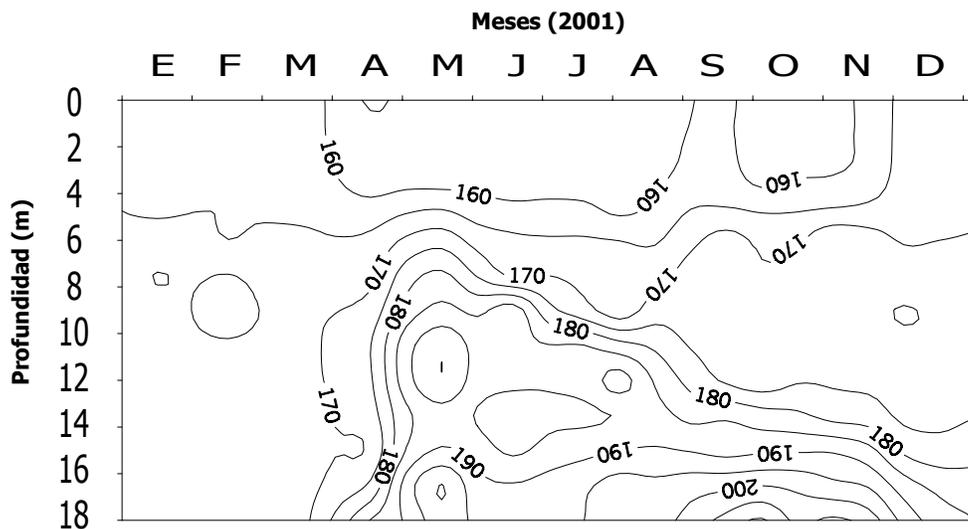
Tanto en E2 como en E3, la columna de agua se encontró completamente oxigenada, debido principalmente a lo somero de las estaciones. En E2, especialmente en los meses en los que el nivel de las aguas alcanzó sus valores mínimos, las concentraciones de oxígeno disuelto en los estratos profundos superaron la de los estratos superficiales.

*Conductividad eléctrica*

Las isopletras de conductividad en E1 se presentan en la Figura 5, y puede observarse un valor de 165  $\mu\text{S}/\text{cm}$  presente casi invariablemente a los 5 m de profundidad durante casi todo el año de estudio.



**Figura 4.** Porcentaje de saturación de oxígeno a 0, 5, 10 y 15 de profundidad en la estación 1 del embalse Agua Fría durante el período de estudio.



**Figura 5.** Isopletras de conductividad en la estación 1 del embalse Agua Fría durante el período de estudio.

Durante la temporada de lluvias, se registraron corrientes de densidad en los estratos profundos, lo cual quedó evidenciado en las grandes variaciones de la conductividad durante esta época. Así mismo, se pudo notar que los mayores valores de conductividad se registraron en los estratos profundos.

En E2 y en E3 se presentaron patrones similares de variación de la conductividad a lo largo de la columna de agua, en relación con las variaciones registradas en E1 (normalmente, los mayores valores de conductividad se registraron en los estratos profundos).

#### *pH de las aguas*

El pH de las aguas fue ligeramente alcalino ( $\text{pH} > 7$ ) en las tres estaciones de muestreo y en todos los estratos durante casi todo el período de estudio. En E1, los mayores valores siempre se registraron en los estratos superficiales que siempre estuvieron bien oxigenados, con valores superiores a 8,0 de 0 a 3 m de profundidad en enero, marzo, abril, octubre y noviembre, y los máximos valores (superiores a 8,3) en octubre. A 7 m de profundidad, el pH siempre fue inferior a 8,0 y superior a 7,0. Por su parte, a 10 m de profundidad se registraron valores de pH menores a la neutralidad en mayo, junio y agosto, mientras que a 15 m los valores fueron menores a 7,0 de abril a septiembre y en noviembre, es decir, cuando predominaron las condiciones de anoxia en los estratos profundos como consecuencia de la descomposición de la materia orgánica en el fondo del embalse.

En E2 y en E3, el pH siempre fue ligeramente alcalino, dada la oxigenación de toda la columna de agua durante todo el período de estudio. Generalmente, los mayores valores se registraron en los estratos superficiales, aunque las diferencias entre estos valores y los registrados en el fondo de cada estación no fueron muy grandes. Tampoco se registraron grandes variaciones durante el período de estudio.

#### *Nutrientes*

Los valores mínimos, máximos, promedios y las desviaciones estándar de los nitratos, nitritos, amonio, ortofosfatos, nitrógeno total y fósforo total, se presentan en la Tabla II.

En E1, los mayores valores de nitratos se registraron en los estratos superficiales. El valor extremo se registró a 0 m en julio (49,61  $\mu\text{g/l}$ ), justo antes de iniciarse el ascenso del nivel de las aguas con el aumento en la frecuencia de las precipitaciones. Se registraron variaciones en las concentraciones de nitratos en la columna de agua, lo cual pudo ser indicativo de la presencia de corrientes de densidad, tal como se ha mencionado previamente. En esta localidad, con las excepciones de las concentraciones a 0 m y a 15 m, los valores de nitratos no superaron los 20  $\mu\text{g/l}$  en el resto de la columna de agua, con pocas variaciones durante el

período de estudio. Esta situación también se observó en los estratos profundos y superficiales de E2 y de E3.

Las concentraciones de nitritos fueron bajas en las tres estaciones de muestreo durante todo el período de estudio. Su valor máximo se registró en E1 a 15 m de profundidad (2,60  $\mu\text{g/l}$ ), cuando predominaron las condiciones de anoxia. Ni en E2 ni en E3 los nitritos fueron superiores a 1,90  $\mu\text{g/l}$ .

En algunos meses se registraron altas concentraciones de amonio (superiores a 50  $\mu\text{g/l}$ ) en E1. Los valores de amonio en el estrato de 15 m fueron aumentando a medida que descendió el nivel de las aguas y se fueron desarrollando las condiciones de anoxia, prevaleciendo un ambiente reducido. En este estrato, las concentraciones alcanzaron un valor máximo de 191,99  $\mu\text{g/l}$  en julio, para disminuir progresivamente a medida que aumentaba el nivel de las aguas y el hipolimnion se fue oxigenando. En E2 y en E3, las concentraciones de amonio sólo superaron los 50  $\mu\text{g/l}$  en enero.

En promedio para la columna de agua, los valores de amonio fueron: E1 (44,32  $\mu\text{g/l} \pm 14,08$ ) > E2 (32,64  $\mu\text{g/l} \pm 18,80$ ) > E3 (30,78  $\mu\text{g/l} \pm 23,10$ ).

En lo que respecta a los ortofosfatos, estos fueron registrados en bajas concentraciones durante todo el período de estudio. En ninguna de las estaciones de muestreo, las concentraciones de ortofosfatos alcanzaron los 4  $\mu\text{g/l}$ , y en la mayoría de los meses sus niveles fueron tan bajos que no pudieron ser detectados por el método empleado.

Con la excepción del mes de mayo, cuando se registraron las mayores concentraciones de ortofosfatos en los estratos superficiales (2,58  $\mu\text{g/l}$ ), los mayores niveles se encontraron en los estratos profundos de E1, especialmente cuando se presentaron las condiciones de anoxia.

En E2 y en E3, los patrones de variación de los ortofosfatos fueron similares a los de E1, con un aumento de sus concentraciones a medida que descendía el nivel de las aguas, una tendencia a la disminución por efecto de dilución mientras ascendía el nivel de las aguas, y un pico en octubre, originado posiblemente por una fuerte precipitación en momentos previos a los muestreos, la cual pudo haber aportado fósforo desde las cuencas de drenaje de los tributarios.

El nitrógeno total presentó un patrón de variación similar al del amonio en E1, registrándose las máximas concentraciones durante el mes de julio, cuando las aguas del embalse estuvieron en su nivel más bajo. Normalmente, las mayores concentraciones de nitrógeno total se registraron a los 15 m de profundidad, como consecuencia de las altas concentraciones de amonio en este estrato y, probablemente, de la mayor concentración de materia orgánica sedimentada. Los valores extremos en esta estación fueron de 54  $\mu\text{g/l}$  (a 15 m en abril) y 323,60  $\mu\text{g/l}$  (a 15 m en julio).

En E2, las concentraciones nunca superaron los 160  $\mu\text{g/l}$ , mientras que en E3 las máximas concentraciones de N total se registraron generalmente en los estratos profundos, aunque nunca alcanzaron los 270  $\mu\text{g/l}$ .

**Tabla II:** Concentraciones mínimas, máximas y promedios ( $\pm$  D.E., desviaciones estándar) de nitratos, nitritos, amonio, ortofosfatos, nitrógeno (N) total y fósforo (P) total en la columna de agua de las estaciones de muestreo. Sup. = Estratos superficiales, Int. = Estratos intermedios.

Estación 1	Mínimos	Máximos	Promedios $\pm$ D.E.
Nitratos ( $\mu\text{g/l}$ ) – Sup.	5,55	20,33	11,44 $\pm$ 3,78
Int.	4,86	13,06	8,47 $\pm$ 2,73
Fondo	7,83	38,77	12,99 $\pm$ 8,51
Nitritos ( $\mu\text{g/l}$ ) – Sup.	0,00	0,76	0,28 $\pm$ 0,20
Int.	0,00	0,65	0,23 $\pm$ 0,24
Fondo	0,00	2,60	0,64 $\pm$ 0,78
Amonio ( $\mu\text{g/l}$ ) – Sup.	18,85	63,98	35,97 $\pm$ 13,42
Int.	14,89	113,17	31,91 $\pm$ 26,73
Fondo	26,78	191,99	98,50 $\pm$ 64,61
Ortofosfatos ( $\mu\text{g/l}$ ) – Sup.	0,00	2,58	0,87 $\pm$ 0,88
Int.	0,00	1,61	0,88 $\pm$ 0,78
Fondo	0,00	1,61	1,13 $\pm$ 0,69
N total ( $\mu\text{g/l}$ ) – Sup.	86,07	156,49	109,19 $\pm$ 19,95
Int.	75,24	152,28	105,76 $\pm$ 24,24
Fondo	54,94	323,60	198,16 $\pm$ 94,52
P total ( $\mu\text{g/l}$ ) – Sup.	4,72	7,80	6,57 $\pm$ 0,81
Int.	6,44	11,27	9,40 $\pm$ 1,90
Fondo	7,04	17,97	12,16 $\pm$ 3,21

Estación 2	Mínimos	Máximos	Promedios $\pm$ D.E.
Nitratos ( $\mu\text{g/l}$ ) – Sup.	2,80	16,03	11,70 $\pm$ 3,37
Fondo	2,45	13,13	8,32 $\pm$ 3,27
Nitritos ( $\mu\text{g/l}$ ) – Sup.	0,00	1,90	0,48 $\pm$ 0,49
Fondo	0,00	1,90	0,45 $\pm$ 0,50
Amonio ( $\mu\text{g/l}$ ) – Sup.	18,12	85,45	36,01 $\pm$ 17,88
Fondo	15,28	94,69	29,26 $\pm$ 21,06
Ortofosfatos ( $\mu\text{g/l}$ ) – Sup.	0,00	1,69	0,76 $\pm$ 0,80
Fondo	0,00	3,23	0,90 $\pm$ 1,05
N total ( $\mu\text{g/l}$ ) – Sup.	82,41	159,88	122,23 $\pm$ 22,52
Fondo	68,12	142,76	118,48 $\pm$ 23,06
P total ( $\mu\text{g/l}$ ) – Sup.	4,46	13,38	7,51 $\pm$ 2,56
Fondo	4,69	13,38	8,25 $\pm$ 3,71

Estación 3	Mínimos	Máximos	Promedios $\pm$ D.E.
Nitratos ( $\mu\text{g/l}$ ) – Sup.	2,11	14,62	9,90 $\pm$ 3,22
Fondo	6,38	15,10	10,43 $\pm$ 3,52
Nitritos ( $\mu\text{g/l}$ ) – Sup.	0,00	0,63	0,32 $\pm$ 0,20
Fondo	0,28	1,18	0,50 $\pm$ 0,30
Amonio ( $\mu\text{g/l}$ ) – Sup.	1,81	97,00	30,22 $\pm$ 22,55
Fondo	17,86	106,24	31,35 $\pm$ 24,62
Ortofosfatos ( $\mu\text{g/l}$ ) – Sup.	0,00	2,63	1,00 $\pm$ 0,93
Fondo	0,00	3,37	1,41 $\pm$ 1,07
N total ( $\mu\text{g/l}$ ) – Sup.	75,85	143,09	116,69 $\pm$ 22,24
Fondo	99,64	267,82	162,61 $\pm$ 56,03
P total ( $\mu\text{g/l}$ ) – Sup.	4,29	13,38	7,14 $\pm$ 2,31
Fondo	4,46	28,98	9,56 $\pm$ 6,36

Los valores de N total en el embalse Agua Fría pueden ser considerados bajos, y en promedio para la columna de agua fueron: E3 (139,65  $\mu\text{g/l}$   $\pm$  29,28) > E1 (121,41  $\mu\text{g/l}$   $\pm$  25,25) > E2 (120,35  $\mu\text{g/l}$   $\pm$  20,81).

La mayor concentración de P total registrada no alcanzó los 20  $\mu\text{g/l}$  ni en E1 ni en E2. En E1, las concentraciones de los estratos superficiales (0–5 m) nunca alcanzaron los 10  $\mu\text{g/l}$ . Por su parte, en E3 se registró la mayor concentración de P total en el estrato profundo durante el mes de enero, pero ésta no alcanzó los 30  $\mu\text{g/l}$ .

Las concentraciones promedios de P total en la columna de agua de las tres estaciones fueron: E3 (8,35  $\mu\text{g/l}$   $\pm$  4,19) > E2 (7,88  $\mu\text{g/l}$   $\pm$  2,58) > E1 (7,77  $\mu\text{g/l}$   $\pm$  0,97).

#### Relación nitrógeno total – fósforo total

Se calculó la relación nitrógeno total – fósforo total ( $N_T:P_T$ ) en las aguas del embalse Agua Fría. Sólo en el mes de febrero en E2, la relación  $N_T:P_T$  fue menor que 9. En E1, esta relación varió entre 12,49 y 23,96; en E2

varió entre 6,49 y 22,30 y en E3 varió entre 9,81 y 26,06. Los promedios de la relación  $N_T:P_T$  en cada estación fueron: E3 ( $18,32 \pm 4,73$ ) > E2 ( $16,64 \pm 4,74$ ) = E1 ( $16,64 \pm 3,25$ ).

## DISCUSION

La transparencia de las aguas del embalse Agua Fría fue alta. Sus menores valores se presentaron durante la estación de lluvias, cuando la intrusión de aguas más turbias desde los afluentes del embalse también debió incidir en la disminución observada de la transparencia del agua. Este hecho también se presenta en otros embalses venezolanos, tales como El Andino<sup>23</sup> y El Pueblito<sup>10</sup>. Los altos valores de transparencia del agua registrados permiten suponer que la zona eufótica se extendió a casi toda la columna de agua, es decir, que en casi toda la columna de agua pudieron existir condiciones favorables para la fotosíntesis del fitoplancton, además de permitir que el lecho del embalse esté cubierto con macroalgas vivas durante la mayor parte del año. De acuerdo con la relación de Poole y Atkins<sup>35</sup>, la zona eufótica (iluminada) es de aproximadamente 17 m desde la superficie del agua (2,7 veces la profundidad del disco de Secchi). Por su parte, los sólidos totales no parecieron relacionarse directamente con las variaciones en la transparencia del agua, pero sí parecieron guardar una relación con las variaciones en el nivel del embalse, el cual a su vez varió según los caudales de los afluentes del embalse.

Normalmente, los lagos tropicales presentan pequeñas diferencias verticales en cuanto a la temperatura; sin embargo, estas pequeñas diferencias son capaces de generar una estratificación térmica estable<sup>25,45</sup>. Los lagos de altas altitudes de las zonas tropicales también presentan pequeñas diferencias verticales de temperatura, aunque a intervalos de temperatura más bajos que los de zonas de bajas altitudes<sup>37</sup>.

En el embalse Agua Fría, los estratos superficiales presentaron una condición homogénea a comienzos (noviembre) y a finales (febrero-abril) de la temporada de sequía, que es cuando el viento sopla con mayor velocidad en las zonas tropicales<sup>2</sup>. Sin embargo, aparentemente la acción del viento no fue suficiente durante el período de estudio como para generar la circulación completa de las aguas, especialmente en la estación de sequía. De acuerdo a Hallaway<sup>15</sup>, para mezclar las capas superficiales se requieren velocidades del viento mayores a los 8 m/s, y estos valores no fueron registrados ni en las ráfagas de viento más fuertes en el embalse.

Maroto<sup>30</sup>, clasificó este embalse como cálido monomítico, es decir, con una mezcla completa de sus aguas una vez al año, la cual acontece durante la temporada de sequía (diciembre a febrero). De acuerdo a Maroto<sup>30</sup>, la mezcla completa es ocasionada por el descenso de la temperatura más que por la acción del viento, ya que el embalse está rodeado de montañas.

Durante el período de estudio, no hubo circulación completa de las aguas en el embalse. Es probable que la disminución del nivel de las aguas en relación con años anteriores, aunado con la topografía de la zona y las bajas velocidades del viento registradas durante el período de estudio, hayan incidido en que durante el año 2001 no se haya presentado la circulación completa de las aguas del embalse Agua Fría, al menos en lo que a su zona limnética (profunda) respecta. Probablemente, la temperatura del aire tampoco descendió lo suficiente durante el período enero-diciembre de 2001 como para inducir la mezcla de las aguas. Además, y tal como se expresó anteriormente, la presencia de corrientes de densidad provenientes de los tributarios, generaron "barreras de densidad" en la columna de agua, las cuales "reforzaron" la estabilidad térmica encontrada. Bajo esta situación de estabilidad térmica, el embalse no pudo clasificarse según el criterio de Hutchinson<sup>18</sup>, pero sí se pudo clasificar como meromítico con tendencia a cálido monomítico, según el criterio de Lewis<sup>26</sup>. La ausencia de circulación completa de las aguas también ha sido registrada en otros embalses venezolanos, tales como Guri<sup>11</sup>, Lagartijo<sup>22</sup>, Pao-Cachinche<sup>13</sup> y Taguaza<sup>14</sup>.

Durante la temporada de sequía, disminuyó gradualmente el porcentaje de saturación de oxígeno en los estratos profundos, ya que las corrientes no oxigenaron el hipolimnion del embalse hasta que las precipitaciones se hicieron más frecuentes. Cole y Hannan<sup>4</sup>, expresan que las condiciones de anoxia son comunes en los embalses, incluyendo a aquéllos de carácter oligotrófico, aunque el patrón de agotamiento del oxígeno puede variar espacialmente y temporalmente en un mismo embalse y entre embalses. Así mismo, el tiempo de desarrollo y la duración de las condiciones de anoxia pueden ser variables.

El olor a sulfuro de hidrógeno detectado durante la prevalencia de las condiciones de anoxia, indicó que este producto de descomposición se encontraba en concentraciones superiores a los  $100\mu\text{g/l}^{20}$ . En la temporada de lluvias, por lo tanto, prevalecieron condiciones reducidas en los estratos profundos, posiblemente por la alta demanda de oxígeno para la descomposición de la materia orgánica<sup>16</sup>, lo cual seguramente restringió a los organismos animales a permanecer en los estratos intermedios y superficiales, ya que el hipolimnion se convierte en un ambiente inhabitable para los peces y otros organismos aeróbicos<sup>52</sup>. Por otra parte, seguramente la descomposición de la materia orgánica en el fondo, incluyendo las macroalgas en el lecho del embalse, aportó sustancias reducidas a las aguas profundas.

La mayor concentración de oxígeno disuelto en los estratos profundos de las estaciones someras pudo deberse a que en los estratos superficiales pudo presentarse fotoinhibición en las escasas poblaciones de fitoplancton presentes<sup>50</sup>, y a la presencia de macroalgas que eran capaces de realizar sus funciones fotosintéticas en el lecho del embalse, liberando oxígeno como producto final a los estratos profundos.

La conductividad fue generalmente mayor en los estratos profundos del embalse, especialmente durante la estación de lluvias. Una situación similar fue registrada en 15 lagos del Valle del Rio Doce en Brasil<sup>47,48</sup>, en los que durante la estación de lluvias, el agua de las precipitaciones se esparce en un movimiento continuo y horizontal, reforzando la estabilización de los lagos. Con el transcurrir de la temporada de lluvias, las condiciones de anoxia fueron desapareciendo a medida que fue aumentando el nivel del embalse, a la par de la disminución de la conductividad (efecto de dilución). Los valores de conductividad siempre fueron menores a los 500 $\mu$ S/cm, por lo que el embalse se pudo clasificar como de baja salinidad, de acuerdo al criterio de Serruya y Pollinger<sup>42</sup>, lo cual es común en varios embalses venezolanos<sup>10,14,21,22,23</sup>.

Los valores de nitratos para la columna de agua fueron bajos en las tres estaciones. Aparentemente, antes de hacerse más frecuentes las precipitaciones, se produjo una liberación de nutrientes desde las áreas circundantes al embalse vía incorporación del material alóctono; lo mismo pudo haber acontecido en marzo desde el fondo del embalse, cuando se registró una concentración cercana a los 40 $\mu$ g/l a 15 m. Al aumentar el nivel de las aguas por el aumento de los caudales de los afluentes, probablemente se produjo un efecto de dilución de los nitratos, aunque las precipitaciones pudieron haber aportado nitratos, al menos a los estratos superficiales. Estos valores fueron ligeramente superiores a los registrados por Maroto<sup>30</sup>.

Los nitratos, la forma más común de nitrógeno inorgánico en lagos y ríos<sup>17</sup>, presentaron sus mayores concentraciones en los estratos superficiales del embalse durante la estación de lluvias. Las precipitaciones constituyen un aporte importante de nitratos a los cuerpos de agua<sup>17,31,50</sup>.

En aguas muy oxigenadas, los nitritos están presentes en cantidades trazas (muy bajas), y son transformados rápidamente a nitratos<sup>17,50</sup>. De igual manera, cuando prevalece un ambiente anaeróbico, los nitritos son transformados rápidamente a amonio<sup>50</sup>. Éste pareció ser el caso del embalse Agua Fría, en los que las concentraciones de nitritos nunca superaron los 2  $\mu$ g/l.

Las altas concentraciones de amonio en algunos meses pudieron ser una consecuencia del descenso del nivel de las aguas, que dejaron al descubierto grandes masas de macroalgas, las cuales se secaron y se descompusieron, pudiendo aportar grandes cantidades de materia orgánica en descomposición y nutrientes a las aguas.

El amonio proviene principalmente de los ríos y quebradas que alimentan a los cuerpos de agua, de la precipitación, del polvo atmosférico, de la descomposición de la materia orgánica y de la excreción de los animales<sup>17,50</sup>. Algunas quebradas y ríos pueden contener cantidades relativamente altas de amonio debido a que puede que no hayan sitios para su asimilación por las plantas o no se haya dado el tiempo suficiente para su transformación microbiana de amonio a nitrato<sup>17</sup>.

De todos los compuestos de fósforo presentes en los lagos, el fitoplancton sólo puede usar el fosfato soluble para su crecimiento<sup>17,36,50</sup>. Sus bajas concentraciones en el embalse Agua Fría parecieran ser limitantes, por lo tanto, para la comunidad planctónica de este cuerpo. Estos bajos niveles de ortofosfatos también fueron registrados por Maroto<sup>30</sup>.

En los estratos profundos se registraron, casi siempre, las mayores concentraciones de ortofosfatos. Cuando predominan las condiciones de anoxia, los fosfatos son liberados desde los sedimentos y, al estar presentes en su forma reducida, son solubles en el agua<sup>17,50</sup>.

Según Margalef<sup>29</sup>, las concentraciones de calcio cercanas a 40mg/l, como en el caso del embalse Agua Fría<sup>30</sup>, y un pH cercano a 7, limitan fuertemente las concentraciones de fósforo soluble, manteniéndolas en bajos niveles debido a sus altos niveles de reactividad con los cationes<sup>50</sup>. Además, las concentraciones de los ortofosfatos en las aguas están mediadas por los procesos biológicos. En el caso del embalse Agua Fría, gran parte de los ortofosfatos debieron estar incorporados en las macroalgas.

Las concentraciones de N total en el embalse presentaron pocas variaciones durante el período de estudio. Sus mayores concentraciones se registraron en los estratos profundos mientras prevalecieron las condiciones de anoxia, principalmente debido al aporte de amonio. Esta tendencia ha sido observada en otros embalses oligotróficos de Venezuela con estratos profundos anóxicos, como Lagartijo<sup>33</sup> y Taguaza<sup>14</sup>.

Los mayores valores de fósforo total se registraron, en general, en los estratos más profundos, posiblemente por liberación desde los sedimentos, especialmente durante los períodos de aguas bajas. De hecho, pareció que la concentración de P total dependió de las variaciones del nivel del embalse, es decir, del aporte desde las cuencas de drenaje de la quebrada Agua Fría y del río El Arado al aumentar la frecuencia de las precipitaciones y arrastrar los elementos acumulados en sus respectivas cuencas de drenaje. En E1, el máximo valor se registró en octubre a 15 m de profundidad, y a partir de ese mes se pudo producir un efecto de dilución a medida que aumentaba el nivel de las aguas del embalse. A pesar de ello, los valores de P total pueden ser considerados bajos y permiten clasificar el embalse Agua Fría como ultraoligotrófico, según el criterio de Salas y Martínó<sup>40</sup> para lagos cálidos tropicales.

La relación nitrógeno total-fósforo total ( $N_T:P_T$ ) puede servir de indicativo de cuál es el elemento limitante para el desarrollo del fitoplancton<sup>39</sup>. Generalmente, cuando la relación  $N_T:P_T$  es mayor que 9, el fósforo es el elemento limitante, mientras que si la relación es inferior a 9, el nitrógeno sería el elemento limitante para el fitoplancton. En el embalse, los valores de esta relación casi siempre fueron mayores a 9, lo que indicaría que el fósforo fue el principal elemento limitante para el desarrollo del fitoplancton.

Sin embargo, se debe señalar que tanto el nitrógeno y el fósforo estuvieron presentes en bajas concentraciones, por lo que se puede afirmar que el

fitoplancton del embalse Agua Fría estuvo limitado por ambos nutrientes, ya que los ortofosfatos siempre estuvieron en concentraciones menores a los 10 µg/l en la zona eufótica, y en la mayoría de los casos la suma de los nitratos, de los nitritos y del amonio fue menor a los 100 µg/l<sup>41</sup>.

Estos bajos valores de nutrientes registrados en el embalse Agua Fría son un rasgo común de los sistemas de alta montaña<sup>3</sup> y de los sistemas oligotróficos.

Las características físicas y químicas del embalse Agua Fría no parecieron haber cambiado sustancialmente desde el estudio de Maroto<sup>30</sup>. Aún prevalece la condición oligotrófica del sistema, lo cual ha sido posible por encontrarse dentro de un área protegida de la influencia antrópica bajo la figura de "Parque Nacional". Sin embargo, la disminución del volumen, como consecuencia de la creciente demanda de agua para consumo humano, puede afectar esta condición oligotrófica, ya que al disminuir el nivel de las aguas, la

descomposición de la vegetación acuática expuesta puede aportar más nutrientes durante la temporada de sequía y cada vez será menor su dilución durante la temporada de lluvias, lo que conllevaría a un cambio en su estado trófico y a la disminución de su vida útil, la cual está limitada en los embalses, según Margalef<sup>29</sup>, a unos 60–70 años.

#### AGRADECIMIENTOS

Los participantes de este proyecto queremos dejar constancia de nuestro agradecimiento a las siguientes instituciones y personas: FONACIT (Proyecto S1-98001361), HIDROCAPITAL, INPARQUES, personal de HIDROCAPITAL en el embalse Agua Fría, Mario Ortaz, Vidal Rodríguez Lemoine, Yenizet Blanco, Susana Fonseca, Sandra Keri y José Araujo.

#### REFERENCIAS

1. **APHA.** Standard methods for the examination of water and wastewaters. APHA, AWWA, WEF. Washington, 1992.
2. **Beadle, L. C.** The inland waters of tropical Africa. 2<sup>nd</sup> edition. Longman Inc. New York, 1981, pp. 73-109.
3. **Brylinsky, H. and Mann, J.** An analysis of factors governing productivity in tropical lakes and reservoirs. *Limnol. Oceanogr.* **28**: 1-19, 1973.
4. **Cole, T. M. and Hannan, H. H.** Dissolved oxygen dynamics. In: Thorton, K.W., Kimmel, B.L. and Payne, F.E. (eds.). Reservoir limnology: ecological perspectives. John Wiley and Sons, Inc. New York, 1990, pp. 71-107.
5. **Cressa, C., Vásquez, E., Zoppi, E., Rincón, J. y López, C.** Aspectos generales de la limnología en Venezuela. *Interciencia* **18**: 237-248, 1993.
6. **García, J. V. and Pereira, G.** Divergent life history traits in two closely related species of *Simocephalus* (Cladocera: Daphnidae) inhabiting lentic environments in Venezuela. *Hydrobiologia* **428**: 129-133, 2000.
7. **Ginez, A., Olivo M. L. y Rodríguez, A.** Inventario de los embalses manejados por el Instituto Nacional de Obras Sanitarias (INOS) con información básica para la actividad piscícola. III. Sinopsis de los embalses con fines piscícolas. Ministerio del Ambiente y de los Recursos Naturales Renovables, Dirección General Sectorial de Planificación y Ordenación del Ambiente, Dirección de Planificación de los Recursos Hidráulicos. Caracas, 1983, pp. 100-103.
8. **Ginez, A. y Olivo, M. L.** Inventarios de los embalses con información básica para la actividad piscícola. I. Sinopsis de los embalses administrados por el MARNR. Ministerio del Ambiente y de los Recursos Naturales Renovables. Serie Informes Técnicos DGSP/IT/183. Caracas, 1984, pp. 1-15.
9. **Gómez, E.** Aspecto de la dieta natural del zooplancton herbívoro en el embalse de Agua Fría (Edo. Miranda). Tesis de Licenciatura. Universidad Central de Venezuela. Caracas, 1984, pp. 1-126.
10. **González, E. J.** Caracterización limnológica del embalse El Pueblito (Estado Guárico, Venezuela). Trabajo de ascenso a la categoría de Profesor Agregado. Universidad Central de Venezuela. Caracas, 2000, pp. 1-40.
11. **González, E., Paolini J. and Infante, A.** Water chemistry, physical features and primary production of phytoplankton in a tropical blackwater reservoir (Embalse de Guri, Venezuela). *Verh. Internat. Verein. Limnol.* **24**: 1477-1481, 1991.
12. **González, E. J. y Ortaz, M.** Efectos del enriquecimiento con N y P sobre la comunidad del fitoplancton en microcosmos de un embalse tropical (La Mariposa, Venezuela). *Rev. Biol. Trop.* **46**: 27-34, 1998.
13. **González, E. J., Ortaz, M. y Peñaherrera, C.** Caracterización limnológica del embalse Pao-Cachinche (Estados Carabobo y Cojedes). Informe técnico presentado a las compañías Hidroven e Hidrocentro. Universidad Central de Venezuela. Caracas, 2000, pp. 1-100.
14. **González, E. J., Ortaz, M., Peñaherrera, C. y Carrillo, V.** Caracterización limnológica de un embalse en fase de llenado (embalse Taguaza, Estado Miranda). Informe técnico presentado a las compañías Hidroimpacto C.A. e Hidrocapital. Caracas, 2002, pp. 1-85.

15. **Hallaway, P. E.** 1980. A criterion for thermal stratification in a wind-mixed system. *J. Phys. Oceanogr.* **10**: 861-869, 1980.
16. **Henry, R.** Heat budgets, thermal structure and dissolved oxygen in Brazilian reservoirs. In: Theoretical reservoir ecology and its applications. Tundisi, J.G. and Straskraba, M. (eds.). International Institute of Ecology, Brazilian Academy of Sciences & Backhuys Publishers, São Paulo, 1999, pp. 125-151.
17. **Horne, A. J.** and **Goldman, C. R.** Limnology. 2<sup>nd</sup> edition. McGraw-Hill Inc. New York, 1994, pp. 133-171.
18. **Hutchinson, G. E.** A treatise on Limnology. I. Geography, physics, and chemistry. John Wiley and Sons, Inc. New York, 1957, pp. 426-540.
19. **Infante, A.** A note about *Daphnia* in Venezuelan waterbodies. *Hydrobiologia* **119**: 81-82, 1984.
20. **Infante, A., Infante, O., Márquez, O., Lewis, W. M.** and **Weibezahn, F.** Conditions leading to mass mortality of fish and zooplankton in lake Valencia, Venezuela. *Acta Cient. Venez.* **30**: 67-73, 1979.
21. **Infante, A., Infante, O., Vegas, T. y Riehl, W.** Proyecto Multinacional de Medio Ambiente y de los Recursos Naturales. Informe final: I etapa (embalses Camatagua, Guanapito y Lagartijo, Venezuela, y Las Canoas, Nicaragua). Universidad Central de Venezuela y Organización de los Estados Americanos. Caracas, 1992.
22. **Infante, A.** and **Infante, O.** Limnological studies in a tropical man-made lake (Lagartijo reservoir) Venezuela. *Int. Revue Ges. Hydrobiol.* **79**: 17-25, 1994.
23. **Infante, A., Infante, O. y González, E. J.** Proyecto Multinacional de Medio Ambiente y de los Recursos Naturales. Informe final: II etapa (embalses El Andino y El Cují). Universidad Central de Venezuela y Organización de los Estados Americanos. Caracas, 1995.
24. **Jorgensen, S. E.** and **Vollenweider, R. A. (eds.).** Guidelines of lake management. Vol. 1. Principles of lake management. International Lake Environment Committee. United Nations Environmental Programme. Shiga, 1988, pp. 13-41.
25. **Lewis, W. M.** Temperature, heat, and mixing in Lake Valencia, Venezuela. *Limnol. Oceanogr.* **28**: 273-286, 1983a.
26. **Lewis, W. M.** A revised classification of lakes based on mixing. *Can. J. Fish. Aq. Sci.* **40**: 1779-1787, 1983b.
27. **López, C., Villalobos, M. y González, E. J.** Estudio sobre el zooplancton de los embalses de Venezuela: Estado actual y recomendaciones para futuras investigaciones. *Ciencia* **9**: 217-234, 2001.
28. **López, E.** Estudio sistemático del plancton de los embalses de Agua Fría (Estado Miranda) y La Mariposa (Dto. Federal). Tesis de Licenciatura. Universidad Central de Venezuela. Caracas, 1987, pp. 1-119.
29. **Margalef, R.** Limnología. Ediciones Omega S.A., Barcelona, 1983, pp. 627-830.
30. **Maroto, R.** Características físico-químicas del embalse de Agua Fría (Edo. Miranda). Tesis de Licenciatura. Universidad Central de Venezuela. Caracas, 1984, pp. 1-169.
31. **Melack, J.** Recent developments in tropical limnology. *Verh. Internat. Verein. Limnol.* **26**: 211-217, 1996.
32. **Murphy, J.** and **Riley, J. P.** A modified single solution method for the determination of phosphate in natural waters. *Anal. Chi. Acta* **27**: 26-30, 1962.
33. **Ortiz, M., González, E. J., Manduca, J., Peñaherrera, C. y Montes, E.** Características limnológicas de los embalses La Perezza, Lagartijo, La Mariposa y Quebrada Seca y preservación del zooplancton como controlador de microalgas, mediante técnicas de biomanipulación. Informe técnico presentado a las compañías Hidroimpacto C.A. e Hidrocapital. Universidad Central de Venezuela. Caracas, 1999, pp. 1-247.
34. **Páez, R., Ruiz, G., Márquez, R., Soto, L. M., Montiel, M.** and **López, C.** Limnological studies on a shallow reservoir in western Venezuela (Tulé reservoir). *Limnologica* **31**: 139-145, 2001.
35. **Poole, H. H.** and **Atkins, W. R. G.** Photo-electric measurements of submarine illumination throughout the year. *J. Mar. Biol. Assoc. U.K.* **16**: 297-324, 1929.
36. **Reynolds, C. S.** The ecology of freshwater phytoplankton. Cambridge University Press. Cambridge, 1984, pp. 157-191.
37. **Richerson, P. J., Widmer, C., Kittel, T. and Landa, A.** A survey of the physical and chemical limnology of Lake Titicaca. *Verh. Internat. Verein. Limnol.* **19**: 1498-1503, 1975.
38. **Roldán, G.** Fundamentos de limnología neotropical. Editorial Universidad de Antioquía. Medellín, 1992, pp. 27-47.
39. **Salas, H. y Martinó, P.** Metodologías simplificadas para la evaluación de eutroficación en lagos cálidos tropicales. Programa Refioval CEPIS/HPE/IOPS, 1990, pp. 1-52.
40. **Salas, H. and Martinó, P.** A simplified phosphorus trophic model state for warm-water tropical lakes. *Wat. Res.* **25**: 341-350, 1991.
41. **Sas, H.** Lake restoration by reduction of nutrient loading: Expectations, experiences, extrapolations. Academic Verlag Richarz, St. Augustin, 1989.
42. **Serruya, C. and Pollinger, U.** Lakes of the warm belt. Cambridge University Press. Cambridge, 1983, pp. 31-287.
43. **Solórzano, L.** Determination of ammonia in natural waters by the phenolhypochlorite method. *Limnol. Oceanogr.* **14**: 799-801, 1969.
44. **Strickland, J. D. H. and Parsons, T. R.** A practical handbook of seawater analysis. *Bull. Fish. Res. Bd. Can.* **167**, 1968, pp. 1-331.

45. **Talling, J. F.** Origin of stratification in an African Rift Lake. *Limnol. Oceanogr.* **8**: 68-78, 1963.
46. **Tundisi, J. G. and Straskraba, M. (eds.)**. Theoretical reservoir ecology and its applications. International Institute of Ecology, Brazilian Academy of Sciences and Blackhuys Publishers. São Carlos, Rio de Janeiro and Leiden, 1999, pp. v-vi.
47. **Tundisi, J. G.** A note on the effect of rainfall in the process of stratification and stability in the Rio Doce Valley Lakes. In: Limnological studies on the Rio Doce Valley Lakes, Brazil. Tundisi, J.G. and Saijo, Y. (eds.). Brazilian Academy of Sciences, University of S. Paulo School of Engineering at S. Carlos, Center for Water Resources and Applied Ecology, São Paulo, 1997, pp. 79-81.
48. **Tundisi, J., Matsumura-Tundisi, T., Fukuara, H., Mitamura, O., Montenegro-Guillén, S., Henry, R., Rocha, O., Calijuri, M. C., Rodrigues de Ibáñez, M. S., Gaeta, E. L. and Govoni, S.** Limnology of fifteen lakes. In: Limnological studies on the Rio Doce Valley Lakes, Brazil. Tundisi, J.G. and Saijo, Y. (eds.). Brazilian Academy of Sciences, University of S. Paulo School of Engineering at S. Carlos, Center for Water Resources and Applied Ecology, São Paulo, 1997, pp. 409-439.
49. **Valderrama, J. C.** The simultaneous analysis of total nitrogen and total phosphorus in natural waters. *Mar. Chem.* **10**: 109-122, 1981.
50. **Wetzel, R. G.** Limnology. Lake and river ecosystems. 3<sup>rd</sup> edition. Academic Press. San Diego, 2001, pp. 151-288.
51. **Wetzel, R. G. and Likens, G. E.** Limnological analyses. 3<sup>rd</sup> edition. Springer-Verlag. New York, 2000, pp. 73-84.
52. **Wright, S.** Thermal conditions in some waters of Northeast Brazil. *Ann. Acad. Brasil. Sci.* **8**: 163-176, 1936.