

1991: Rev. ACODAL (Asoc.Col.Ing.San. & Ambiental) 147: 29-47.

TECNOLOGIA E INVESTIGACION

MONITOREO DE EMBALSES DEL SISTEMA DE ACUEDUCTO DE BOGOTÁ

Dr. SANTIAGO GAVIRIA
Empresa de Acueducto y
Alcantarillado de Bogotá

**Parque Nacional
Chingaza
A.A. 80186
Bogotá 6, Colombia**

RESUMEN

Se estudiaron 5 embalses y 2 lagunas naturales del sistema de acueducto de Bogotá, localizados entre los 2680 y 3696 m.s.n.m. La información física y química de las aguas corresponde al período 1977-1989, con campañas de muestreo de diferente intensidad y periodicidad. Se realizaron 39 campañas, con un máximo de 9 muestreos por cuerpo de agua. Se da información de una sola estación por embalse o laguna. La información térmica y la concentración del oxígeno disuelto se detalla por medio de perfiles, se dan valores promedios, máximos y mínimos de hasta 8 profundidades en conjunto, de los datos de turbiedad, color, sólidos, pH, alcalinidad, dureza, conductividad y iones. El análisis de la concentración de nutrientes (compuestos del nitrógeno) se adelantó en aguas de la Laguna de Chingaza y del Embalse de Chuza; se realizaron análisis puntuales de productividad primaria en la Laguna de Los Tunjos, y en los embalses de Chisacá y La Regadera; la primera es oligotrófica, el Embalse de La Regadera livianamente eutrófico, y el Embalse de Chisacá eutrófico. En el único en que se han observado malezas acuáticas flotantes es en la Regadera; ello ha ocurrido ocasionalmente y con cubrimiento máximo del 3-5% de la superficie del agua.

Se propone que los embalses y lagunas con temperaturas que no excedan en promedio los 15°C y en los que nunca llega a formarse una capa de hielo en su superficie, se puedan clasificar como "lagos fríos tropicales". Los 7 cuerpos de agua estudiados son holomicticos; en época de verano se comportan como lagos polimicticos calidos. A medida que la altura sobre el nivel del mar de la laguna o embalse aumenta, se incrementa el número de circulaciones. Cuando se trata de embalses, esto se refiere a aquellos con tiempos de retención mayores de 30 días. El factor importante de mezcla es el gradiente de temperatura

Se estudió la composición de especies de los crustáceos planctónicos de Chingaza, Chuza, Chisacá y La Regadera; la mayor diversidad se encuentra en los dos primeros; faunísticamente se diferencian bastante de los dos últimos.

PRESENTACION

Con el fin de mantener un control sobre la calidad del agua de las fuentes utilizadas por la Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá, la Empresa ha venido realizando muestreos de control sobre los sistemas de agua lóticos (ríos, quebradas) y lénticos (lagos, embalses) que alimentan al sistema de acueducto de Bogotá.

Los resultados que se presentan a continuación condensan aquellos de los sistemas léntricos y son un esfuerzo de distintas dependencias y personal de la Empresa, especialmente de los Laboratorios Central y de Aguas Negras, del Departamento de Hidrología y de la Di-

visión Sistema Chingaza. Algunos de sus resultados se han publicado en épocas anteriores (Galán Ponce, 1954; Rodríguez, 1978, 1979; E.A.A.B., 1985, 1988a, 1988b; Gaviria, 1983, 1985, 1988), otros constituyen nueva información.

LOCALIZACION, MORFOMETRIA Y USOS

El control de las fuentes de almacenamiento se ha concentrado sobre 3 grupos de sistemas lenticos (mapa):

1) Sistema Chingaza (Alto Río Guaitiquía): Laguna de Chingaza y Embalse de Chuza.

2) Alto Río Tunjuelo (afluente del Río Bogotá en su zona intermedia); Laguna de los Tunjos I (o Laguna de Chisacá), Embalses de Chisacá y La Regadera.

3) Alto Río Bogotá: Embalses de Tominé y El Neusa.

Algunas características morfométricas de los embalses y lagunas estudiadas se señalan en la tabla No. 1; algunos de estos parámetros son conocidos (Gaviria, **op. cit.**), otros como profundidad máxima y tiempo de retención fueron medidos o calculados. La presa del Embalse de Chisacá fue recientemente realizada por lo que las características del embalse cambiaron en mayor (e.g. volumen), menor (área y profundidad máxima) o en ínfima proporción (área cuenca de drenaje).

Todos estos cuerpos de agua están situados en los alrededores de la Sabana de Bogotá, entre los 2650 y 3700 m.s.n.m.,

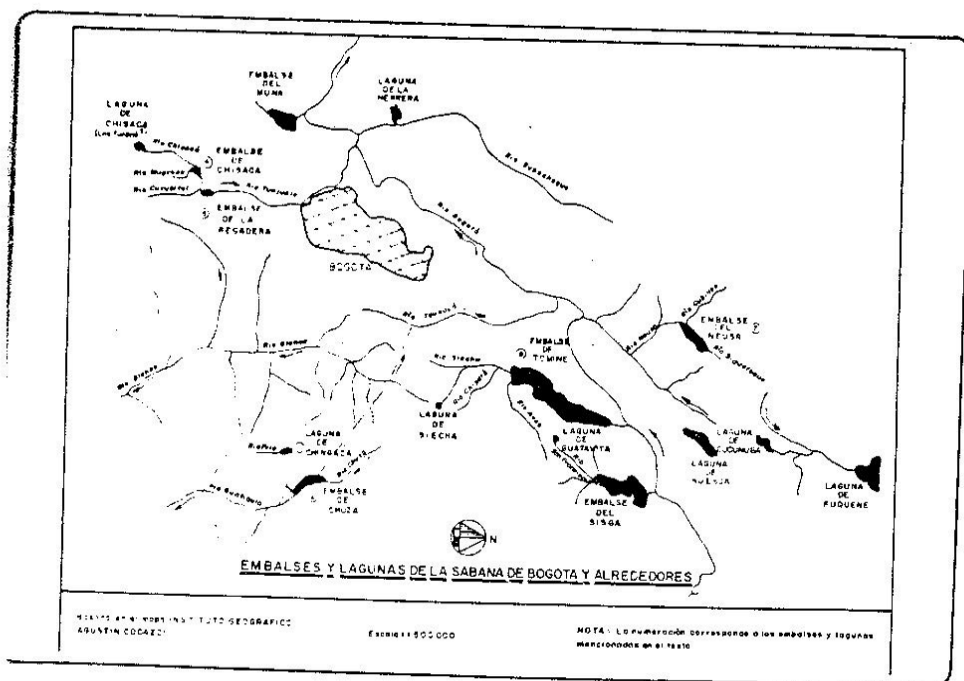


TABLA No. 1
Algunas características morfométricas de los embalses
y lagunas del sistema de acueducto de Bogotá

CUERPO DE AGUA	ALTURA m.s.n.m.	AÑO FINAL CONSTRUC.	VOLUMEN mill. m ³ .	AREA Ha.	PROF. MAX. m.	PROF. MED. m.	TIEMPO DE DE RETENCION (Años)	AREA CUENCA Km ²
Laguna Chingaza	3250	—	8.8	88	20.5	10.0	0.16	21
Embalse de Chuza	2999	1982	258	580	130.0	44.5	0.88	201
Laguna Los Tunjos	3696	1959	2.4	33	13.5	7.2	1.62	3
Embalse de Chisaca	3141	1951	4.6	55	32.0	8.3	0.10	85
con relice presa	3146	1989	6.7	61.5	36.5	10.9	0.14	85.1
Embalse La Regadera	3002	1938	3.3	41	26	8.0	0.04	159
Embalse Torniné	2680	1962	705.3	3693	41.5	19.1	5.56	341
Embalse del Neusa	2960	1951	102.7	955	45.0	10.7	1.7	140

● Volumen bruto

rango correspondiente a la franja de vegetación del bosque altoandino y del páramo (Van der Hammen, 1974; Gaviria, 1988). Aquellos del alto río Guatiquía se hallan en el Parque Nacional Natural Chingaza, por lo que su cuenca de drenaje está protegida y la calidad de sus aguas garantizada. Los del Alto Río Tunjuelo incluyen los embalses más antiguos y su cuenca está cubierta por vegetación de páramo y extensas zonas de minifundios con uso especialmente agrícola. Los embalses de Tominé y El Neusa, además de El Sisga (no incluido en este trabajo), son cuerpos de agua manejados por la Empresa de Energía Eléctrica de Bogotá (E.E.E.B.) en el primer caso, y por la Corporación Autónoma Regional de los Valles del Río Bogotá y Ubaté y de la Laguna de Tota (C.A.R.) en los dos últimos. La cuenca del Embalse de Tominé incluye áreas con especial deterioro, en algunos predios vecinos al río Aves la E.E.E.B., comenzó a realizar algunos esfuerzos de recuperación de suelos. La cuenca

del embalse del Neusa incluye vastas zonas con vegetación paramuna y algunas con bosque altoandino, calculándose más de 1000 Ha. con uso agrícola (Sánchez, 1976). Sectores aledaños al embalse poseen plantaciones artificiales de coníferas.

La Laguna de Chingaza y el Embalse de Chuza son los únicos del grupo que están sometidos a un régimen unimodal de lluvias, típico de la vertiente oriental de la Cordillera de Los Andes. Por su localización cercana al límite superior del bosque húmedo soportan precipitaciones mayores a los 3000 mm. Los otros se localizan en vertientes del altiplano cundino-boyacense, en este caso en los alrededores de la mal llamada Sabana de Bogotá (este territorio no posee ninguna característica del bioma "sabana", exceptuando su topografía): el embalse del Neusa se ubica en la vertiente occidental, los demás en la oriental; están sometidos a un régimen bimodal de lluvias y su ubicación corresponde a

páramos "secos" con precipitaciones entre 700 y 1300 mm (Cleef, 1981).

De los siete cuerpos de agua estudiados, sólo dos son naturales: la Laguna de Chingaza y la de Los Tunjos. La Laguna de Chingaza no ha sufrido alteraciones hidráulicas antropogénicas, la de Los Tunjos sufrió elevación artificial de su morrena frontal en el año 1959 y por lo tanto aumentó su volumen, área superficial, perímetro, etc. El origen de la cubeta natural de estos lagos de páramo es de tipo glacial y se remonta al pleistoceno (Löffler, 1981). Al analizar los diagramas de alcance y variación de los glaciales en el período "Fuqueniense" (Van der Hammen, 1981), se puede presumir que la cubeta de Laguna de Chingaza tiene más de 30.000 años y aquella de Los Tunjos entre 28.000 y 20.000 años; su edad exacta debe calcularse con los debidos análisis paleolimnológicos. La fecha de construcción de los embalses está relacionada en la tabla No. 1: La Re-

La productividad primaria se midió solamente en una ocasión en la Laguna de Los Tunjos (enero 1988), y en el Embalse de Chisacá y La Regadera durante el primer trimestre de 1989 (Tabla No. 5). Los valores encontrados indican que Los Tunjos es una laguna oligotrófica 10 mg C/m²/h que corresponden a 132 mg C/m²/d (zona eufótica: D.S. = 0.9 m). Esta productividad es comparable con aquella del Lunzer Untersee, un pequeño lago alpino oligotrófico, el cual se estimaba que en 1972 no tenía sino 123 mg C/m²/d (Jonasson 1972). También tiene valores parecidos a la Laguna Negra (3470 m.s.n.m.) de los Andes venezolanos, en donde se reportaron 186 mg/m²/d (Gessner et al., 1967). En ninguno de los lagos mencionados por Wetzel (1975) como oligotróficos, la productividad primaria diaria promedio en todo el año sobrepasa los 250 mg C/m²/d; para Los Tunjos hay que realizar mediciones a lo largo del año, y especialmente en verano cuando los rangos deben aumentar.

TABLA No. 5

Valores de la concentración de nutrientes (min./max.) y productividad primaria (productividad neta) de 5 cuerpos de agua del Sistema de Acueducto de Bogotá.

Embalse/Laguna	N-NO ₂ (µg/L)	N-NO ₃ (µg/L)	N-NH ₄ (µg/L)	Prod. prim. (mgC/m ² /h)	Fecha
Lag. Chingaza	2 20/40	60 0/210	20 0	-	20.04.1983 15.03.1989
Emb. Chuza	- 0.9 60.230 0.30	- 20/120 612/643 -	340/540 260/540 220/560 -	- - - -	30.09.1982 28.09.1983 03.09.1985 28.03.1989
Lag. Los Tunjos	-	-	-	10	12.01.1988
Emb. Chisacá	-	-	-	90	01.03.1989
Emb. Regadera	-	-	-	112	17.02.1989

Por el contrario, en Chisacá y en La Regadera los valores de productividad primaria encontrados indican condiciones de eutrofia: los datos indicados en la Tabla No. 5 corresponden a 1536 mg C/m²/d para Chisacá (D.S. = 0.70 m) y 924 mg C/m²/d para La Regadera (D.S. = 1.45 m). La Regadera presenta una eutrofia liviana como aquella reportada en los lagos Wintergreen, Michigan (Wetzel, op. cit.) y en Frederiksborg Slotssø, Dinamarca (Nygaard, 1955), con valores de productividad primaria cercanos a 1000 mg C/m²/d. El Embalse de Chisacá está bien eutroficado y su productividad primaria se puede comparar con la de un lago de la zona templada, el lago Sylvan, Indiana, donde se reportaron con 1564 mg C/m²/d (Wetzel, 1966); no es tan alta como aquella de dos lagos cálidos tropicales: el Lago Lanao, Filipinas (Lewis, 1974), con 1700 mg C/m²/d (lago profundo), y el Lago Victoria, África ecuatorial (Talling 1965), con 1750 mg C/m²/d. Además de mediciones en las diferentes épocas del año, es recomenda-

ble también medir la productividad primaria con métodos más exactos como el del carbono 14 o el análisis de pigmentos (e.g. clorofila); hay que ampliar las mediciones a los otros embalses y lagunas.

ZOOPLANKTON

Se realizó un inventario de las especies de crustáceos del zooplancton en los 7 embalses y lagunas (Tabla No. 6). La composición de especies indica una mayor diversidad en el Embalse de Chuza y en la Laguna de Chingaza, con 7 y 6 especies respectivamente en el año 1983; los copépodos *Eucyclops serrulatus* y *Macrocyclus albidus albidus* observados en muestras pelágicas, no son heleoplanctónicos y se encontraron en muy pequeñas cantidades en ambos cuerpos de agua. La Regadera y Chisacá tienen 3 y 5 especies respectivamente en febrero y marzo de 1989. En mayo de 1988 no se encontraron en el plancton de Los Tunjos sino rotíferos; se encontraron en cambio grandes concentraciones de caparzones de *Bosmina* (*Neobosmina*) sp. junto con chironómidos en el bento profundo de la zona central de la laguna. Esto fue seguramente una consecuencia del bombeo sobre la laguna, ya que en enero del mismo año se reportaron una especie de *Daphnia* y un copépodo en muestras planctónicas (E.A.A.B., 1988a).

La composición de especies de crustáceos del zooplancton de los cuerpos de agua lénticos del sistema hidrológico del Alto Tunjuelo es diferente a aquella del Alto Guaitiquía (Tabla No. 6):

TABLA No. 6

Composición de especies de crustáceos zooplanctónicos en los cuerpos de agua lénticos del sistema de acueducto de Bogotá

ESPECIE	EMBALSE / LAGUNA				
	Chuza	Chingaza	Chisacá	Regadera	Tunjos
<i>Colombodaptomus brandorffi</i>		X			
<i>Tropocyclops prasinus</i> ssp.	X	X			
<i>Eucyclops serrulatus</i>	X	X			
<i>Macrocyclus albidus albidus</i>		X			
<i>Metacyclops leucopeus tolensis</i>					
<i>Daphnia laevis</i>	X	X	X		
<i>Ceriodaphnia quadrangula</i>			X	X	
<i>Simocephalus serrulatus</i>	X				
<i>Bosmina</i> (<i>Neobosmina</i>) sp.	X	X	X	X	X
<i>Diaphanosoma brachyurum</i>			X	X	
Total de especies	7	6	5	3	1

mientras que en éstos últimos vive un calanóideo *Colombodaptomus brandorffi* Gaviira, 1989 junto con un cyclopoideo *Tropocyclops prasinus* ssp., tres cladóceros *Daphnia laevis*, *Simocephalus serrulatus* y *Bosmina* (*Neobosmina*) sp., en los del Alto Tunjuelo no hay Calanóidea, el ciclopoideo es otro (*Metacyclops leptopus totensis*), y de los cladóceros solamente se encuentra *Bosmina*; en Chisacá, La Regadera ni en Los Tunjos se ha encontrado *Simocephalus serrulatus*. En Chisacá viven dos especies diferentes de cladóceros: *Ceriodaphnia quadrangula* y *Diaphanosoma brachyurum*, junto con *D. laevis*; en La Regadera *C. quadrangula* con *D. brachyurum*. Se nota además diferencias faunísticas entre estos dos embalses tan cercanos, con mayor diversidad en Chisacá, seguramente por razones de índole ecológica; por alguna razón limnológica no se han podido establecer en La Regadera las especies *Metacyclops leptopus to-*

tensis ni *Daphnia laevis*. No se estudió el zooplancton ni de Tomíné ni de El Neusa. Tampoco se analizó la variación de las poblaciones de cada una de las especies a lo largo del año.

Colombodaptomus brandorffi es endémico de ecosistemas lacustres del páramo de la región central de la Cordillera Oriental, entre 2900 y 3700 m.s.n.m. Parece tener un ciclo de vida mayor de un año, lo que posiblemente no le ha permitido establecerse en Chisacá ni en La Regadera. Su distribución geográfica está claramente separada de la de *Boeckella*: *B. occidentalis* vive en lagos más fríos del Sumapaz y en la Cordillera Central, *B. gracilis* está limitada en la Cordillera Oriental a los páramos de Boyacá (Gaviira, 1989). También está separado altitudinalmente de *Prionodaptomus colombiensis*, distribuido desde el nivel del mar hasta los 2600 m.s.n.m. Este último se colectó recientemente en la La-

guna de Fúquene, su mayor altura conocida.

CONCLUSIONES

1. Las lagunas y embalses de la región central de la Cordillera Oriental de Los Andes colombianos, localizadas a alturas entre 2600 y 3700 m.s.n.m. (bosque altoandino y páramo), se pueden clasificar como "lagos fríos tropicales". Su temperatura media es menor a 15°C y la superficie del agua nunca llega a cubrirse por una capa de hielo.
2. Los 5 embalses y 2 lagunas estudiadas son holomícticas.
3. Los gradientes de temperatura de los estratos de agua (densidades menores en la superficie) inducidos por cambios en la temperatura ambiental, en la noche y en el día, producen corrientes de convección y por lo tanto, circulación del tipo polimíctico. Para producir holomixis parece que el viento no es un factor importante a esta altura.
4. Durante los períodos secos, estos cuerpos de agua tienen circulación del tipo polimíctico cálido (estratificación diurna, mezcla nocturna). En época(s) de lluvias no son polimícticos fríos, ya que aunque sufren circulaciones periódicas diurnas, su temperatura media es superior a los 12°C.
5. La estratificación en los lagos fríos tropicales se produce en general en el rango de 11 - 16°C.
6. Por el tipo de circulación polimíctica, no se ha producido agotamiento del oxígeno disuelto en las masas de agua profundas. El grado de saturación del oxígeno aumenta considerable-

gráficas 1 a 6. Los otros parámetros físicos y químicos se resumen en la tabla 3 (pH, alcalinidad, dureza total, turbiedad, color, sólidos totales), tabla 4 (conductividad eléctrica y iones individuales considerados) y tabla 5 (nutrientes y productividad primaria); en estos se incluyen únicamente valores promedios, máximos y mínimos de los datos de todas las fechas y estaciones investigadas en cada embalse y laguna, considerando en conjunto las masas de agua de los diferentes estratos (hasta 8 profundidades). Los resultados individuales para cada caso pueden consultarse en la fuente bibliográfica indicada en la "Metodología".

TEMPERATURA

El rango de temperaturas encontradas en el conjunto de embalses y lagunas estudiadas está en general entre los 11 y los 15°C.; en el caso de Tominé entre los 15 y los 18°C. Estas mediciones están limitadas a tomas diurnas de temperatura generalmente cercanas al mediodía. Se observa en cada uno de ellos condiciones de holomixis durante los periodos de mezcla (Gráficas No. 1-6).

Todos estos cuerpos de agua se podrían clasificar como "lagos fríos tropicales", ya que su temperatura media es menor de 15°C y la superficie nunca llega a cubrirse por una capa de hielo. Los "lagos cálidos tropicales" tienen temperaturas medias superiores a 15°C y mínimas superiores a 10°C (Salas, *com. pers.*). El Embalse de Tominé no es un "lago" cálido tropical aunque la información tér-

mica existente así lo indique (Gráfica No. 5): los bajos valores de la temperatura en la noche, especialmente durante el verano hacen descender con seguridad el valor medio de la temperatura por debajo de los 15°C.

En la Laguna de Chingaza se notan condiciones casi termostáticas en la columna de agua entre los meses de marzo y octubre, no existiendo en general diferencias mayores de 1.0°C entre la superficie y el fondo (Gráfica No. 1). Se observó inclusive homeotermia perfecta en agosto de 1977. Se llegaron a detectar diferencias de 2.0°C en octubre, cuando se aproxima el comienzo del verano. La llegada de los meses secos en el páramo trasciende en una elevación mayor de la temperatura ambiental en las horas diurnas que durante el invierno, la cual se traduce en un calentamiento más acentuado de las masas de agua superficiales de lagos y embalses de la zona. Esto se observa en los perfiles de distribución de la temperatura en el Embalse de La Regadera, en los cuales se presenta estratificación diurna entre los meses de noviembre y febrero, llegando a existir diferencias de temperatura hasta de 4.5°C entre la superficie y el fondo (Gráfica No. 4).

Ni en la Laguna de Chingaza ni en ninguno de los casos en que se presentó estratificación, se observó la formación de una termoclina en el sentido de Rickert (1937), la cual corresponde a un gradiente de temperatura mínima de un (1) grado por cada metro; esto se presenta en la-

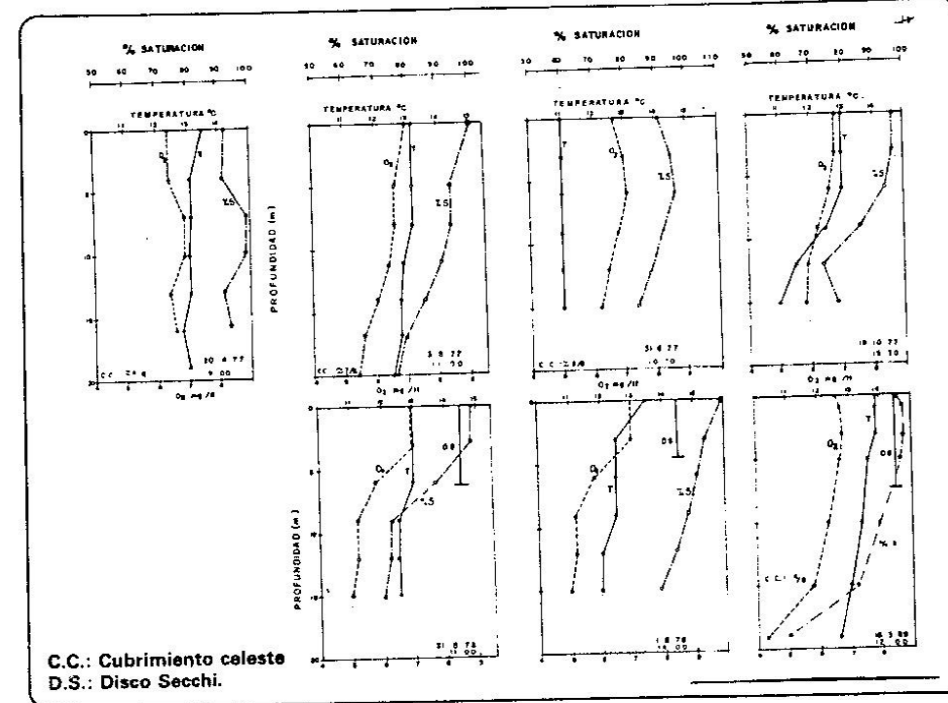
gos dimícticos de latitudes templadas durante el verano y el invierno. En nuestros lagos la discontinuidad termal no es tan acentuada en el metalimnion (s.l.), y se observó un máximo de 0.5°C por metro en el Embalse de Chuza durante las primeras semanas de llenado (Gráfica No. 2). También se observan casos en que se producen una serie de termoclinas suaves en la columna de agua, como las dos observadas en Tominé durante el veranillo de mitaca (mayo 1978); en este caso ambas son de igual proporción, no existiendo metalimnion (Gráfica No. 5).

Cuando la estratificación se produce entre masas de agua con pequeñas diferencias de temperatura en rangos fríos, es fácil de romper con sólo un enfriamiento superficial, por ejemplo durante la madrugada. El comportamiento nocturno de estos cuerpos de agua está por investigarse.

En el Embalse de Tominé ha sido típico encontrar también condiciones casi termostáticas entre mayo y octubre (Gráfica No. 5); este embalse no fue trabajado en verano. En noviembre se observó el comienzo de una estratificación diurna, correspondiendo como en el mencionado caso de Chingaza con la aproximación al comienzo del verano. Lo mismo ocurre en el Embalse de El Neusa (Gráfica No. 6). El Embalse de Chisacá no se muestreó sino en una sola ocasión en marzo de 1989 y sus masas de agua se encontraron en condiciones termostáticas (Gráfica No. 3).

GRAFICA No. 1

Distribución vertical de la temperatura (°C) y del oxígeno disuelto (mg./lt.) en la laguna de Chingaza (estación a 1200 m. del effluente) entre los años 1.978 y 1.989



En el Embalse de Chuza y durante las primeras etapas de llenado en septiembre de 1982 y mayo de 1983 (se presentó un período intermedio en que el embalse se desocupó), se encontraron condiciones de estratificación con diferencias de temperatura entre las masas de agua hipo- y epilimnéticas mayores de 2.5° pero sin exceder los 3.5°C.

Teniendo en cuenta que los tiempos de retención en estos embalses y en las lagunas no son en general cortos (Tabla No. 1), y en base al comportamiento térmico observado (Gráficas No. 1-6), por su tipo de circulación

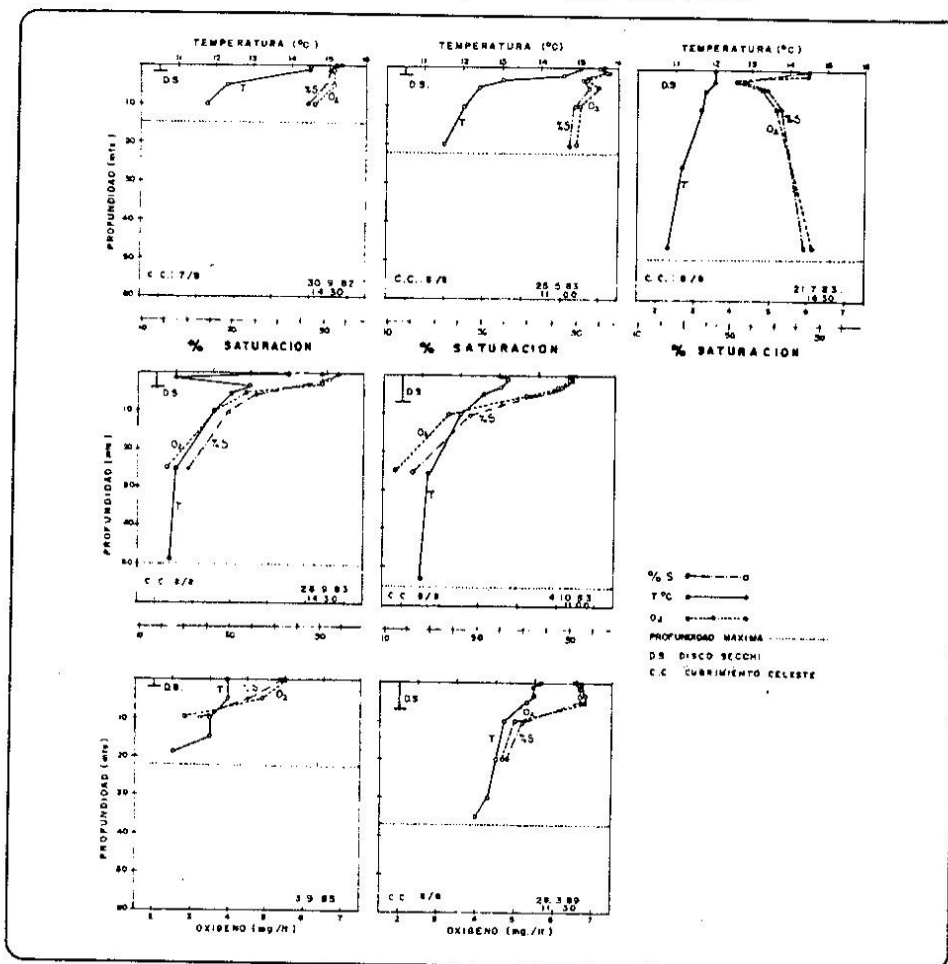
se podrían clasificar este tipo de cuerpos de agua como lagos o embalses polimícticos; durante los meses de verano se comportan como lagos polimícticos cálidos ya que se estratifican de día y seguramente se mezclan de noche. No son polimícticos cálidos "sensu estricto" (Löffler, 1968) por las frecuentes circulaciones diurnas en los meses de lluvia (e.g. Chingaza: 31.8.1977, Gráfica No.1; Tominé: entre septiembre y octubre de 1977, Gráfica No.5; El Neusa: septiembre de 1977, Gráfica No.6).

La mezcla diurna y nocturna es típica de lagos polimícticos

fríos, ubicados sobre los 3800-4000 m.s.n.m.. Aunque la Laguna de Los Tunjos está cercana a ésta altura (3680 m.s.n.m.) y el único perfil existente de temperatura la ubicaría en esta clasificación por haber estado mezclada en mayo de 1988 y sin sobrepasar los 12°C (Gráfica No. 3), la temperatura superficial registrada en enero del mismo año al mediodía es de 14°C y la ambiental 16°C (E.A.A.B., 1988a), lo que impide ubicarla en la categoría "polimícticos fríos". Hutchinson y Löffler (1957) ya presumen en su trabajo sobre la clasificación termal de los lagos, que en las altas montañas tropi-

GRAFICA No. 2

Distribución de la temperatura (°C) y del oxígeno disuelto en el embalse de Chuza (estación frente bocatoma) entre los años 1982 y 1989.



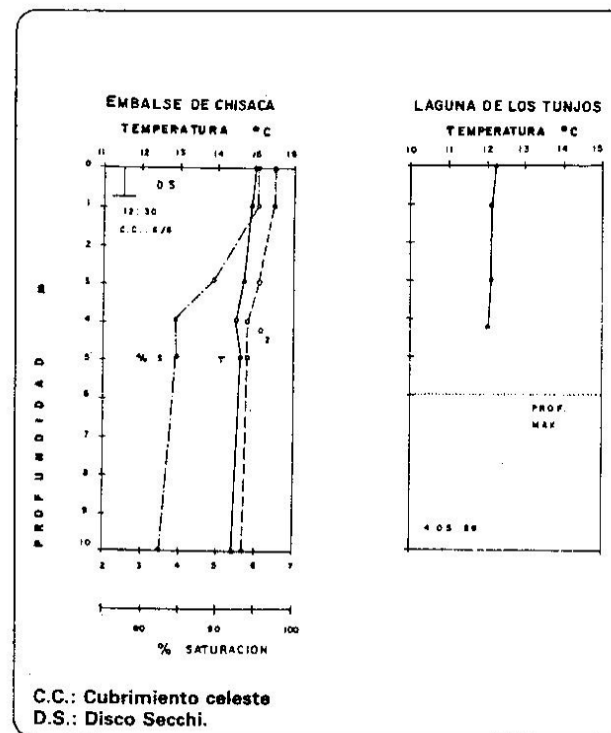
cales existen lagos con condiciones mixtas o intermedias, en este caso entre polimícticos fríos y cálidos estrictos. Se podría afirmar que a medida que un lago esté ubicado más lejos del límite superior del bosque nublado, éste es en el páramo, las mezclas se van volviendo

más frecuentes llegando al extremo de producirse tanto de día como de noche en aquellos sobre los 4000 m.s.n.m. y denominados por Hutchinson y Löffler (op.cit.) como polimícticos fríos. Cerca al nivel de nieves perpetuas en donde se produce congelamiento de la capa super-

ficial, los lagos glaciales de las altas montañas andinas (tropicales) se comportan como aquellos de altas latitudes en las regiones polares: son amícticos y pueden permanecer estratificados más de un año si la capa de hielo no se llega a romper. (Löffler, 1968).

GRAFICA No. 3

Perfiles de temperatura y del oxígeno disuelto en el embalse de Chisacá el 1.03.89 y de la temperatura en la laguna de Los Tunjos el 4.05.88.



En la región más externa del cinturón tropical se presentan también casos de lagos del tipo polimíctico cálido, y otros casos como el Titicaca con una sola circulación anual al final del período seco y denominados monomícticos cálidos; éste último caso fue demostrado por Richerson et al. (1975).

En los lagos de páramo el factor importante de mezcla o de generación de corrientes de convección, es el gradiente de temperatura que se establece durante los enfriamientos de la atmósfera y que se traduce en

un aumento de la densidad de las masas de aguas superiores y su posterior hundimiento. El viento no juega un papel importante en esta altura como ocurre en latitudes medias con lagos dimícticos o en bajas altitudes del bosque tropical húmedo con lagos profundos (más de 25 m.) oligomícticos, donde el viento es definitivamente la fuerza motora de producción de corrientes de convección. El rango de velocidad del viento en el páramo está generalmente entre 2.6 y 5.9 m/seg. (Sturm & Rangel, 1985), lo que sólo se traduce en

un encrespamiento de la lámina superficial del agua de lagos y embalses, o en una mezcla de las masas superiores del epilimnion en casos de adecuada exposición al viento y casos aislados de fuerzas eólicas superiores a las mencionadas.

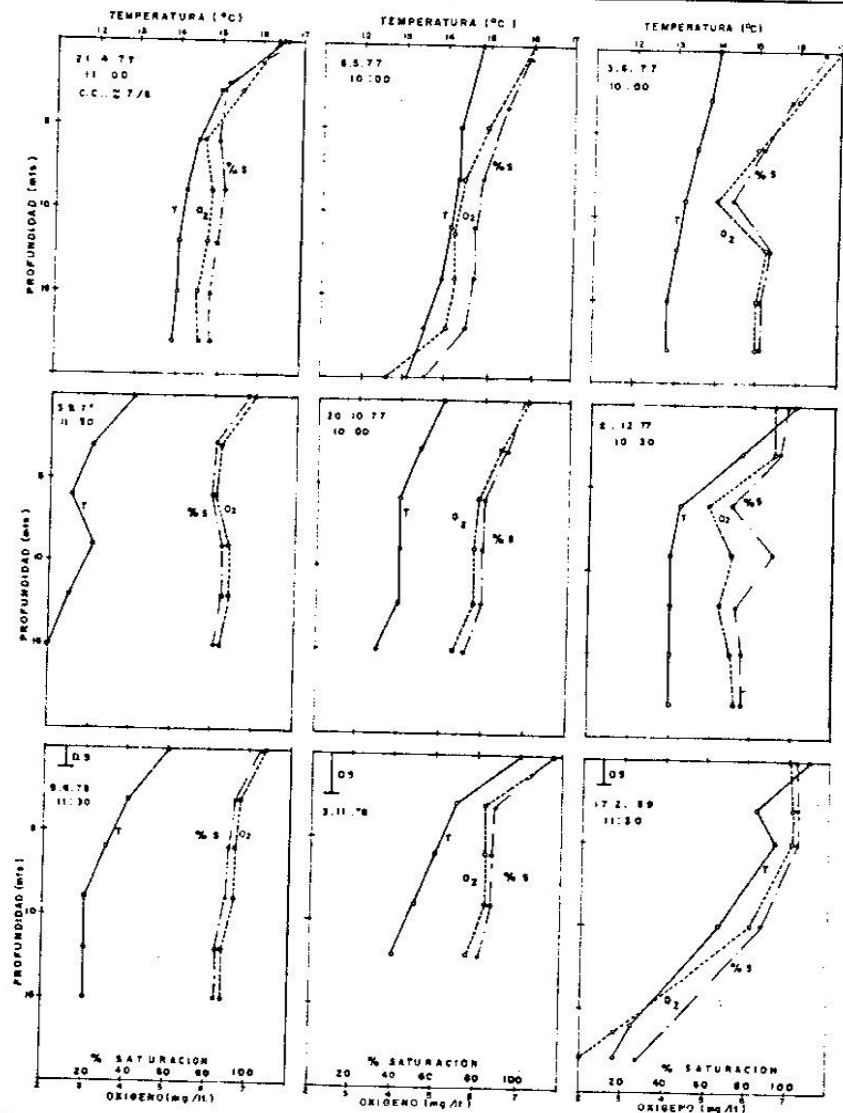
OXIGENO

Los perfiles de oxígeno disuelto y porcentaje de saturación siguen un patrón similar a aquellos de temperatura. En los momentos de estratificación térmica se produce también estratificación química. No se ha llegado a producir en ningún caso desoxigenación de las aguas del hipolimnion (Gráficas No. 1 - 6).

La saturación de oxígeno en las aguas de la Laguna de Chingaza no desciende por debajo del 60%; los bajos valores correspondientes a la saturación citada se presentan en las masas de agua por debajo de los 15 m. de profundidad. En Tominé es algo mayor y no se presentaron porcentajes menores al 70%; éstos niveles de oxígeno son datos diurnos y en masas de agua profundas, durante el invierno; es posible que decaigan algo durante el día en los meses de verano cuando se producen estratos térmicos en este tipo de embalses (en Tominé no hubo lecturas en verano).

En masas de agua profundas del Embalse de La Regadera y El Neusa, se encontraron los menores valores de concentración de oxígeno disuelto, cercanos a 1 mg/l y correspondientes al 23 y 20% de saturación respectivamente, en momentos en

GRAFICA No. 4
Distribución vertical de la temperatura (°C) y del O₂ disuelto (mg./lt.) en el embalse de La Regadera (estación a 50 mts. del Morning Glory) entre los años 1.977 y 1.989



D.S.: Disco Secchi

C.C.: Cubrimiento celeste.

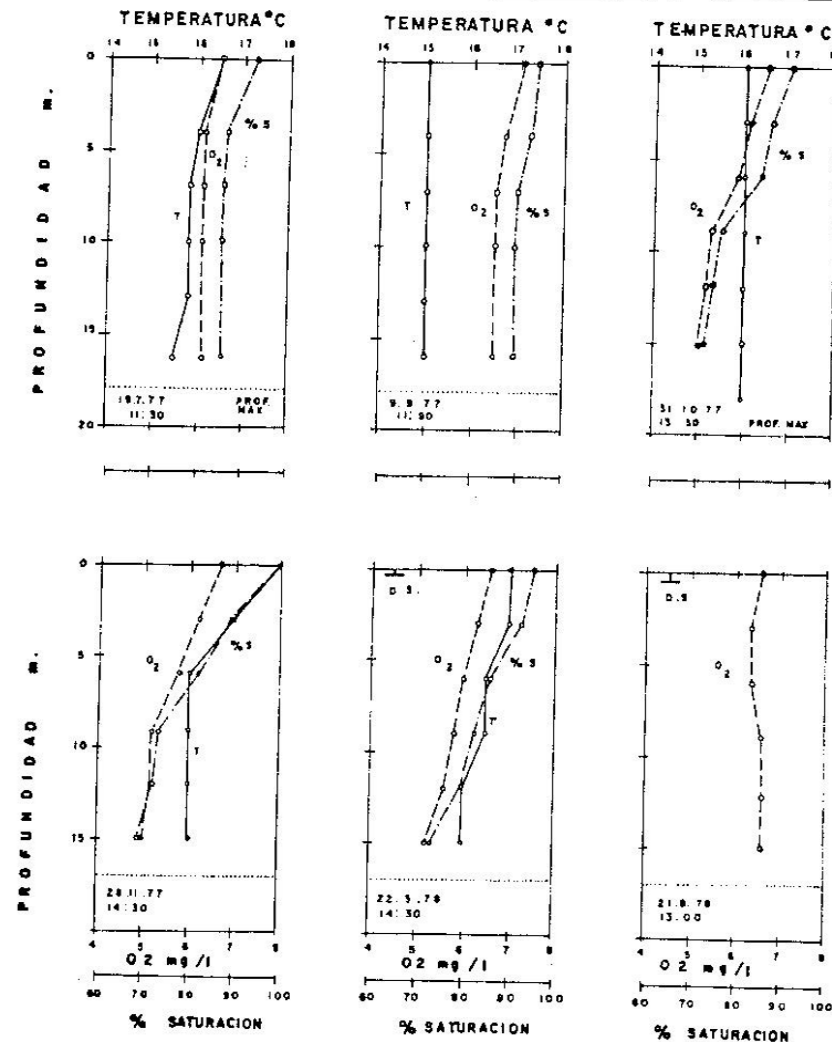
que los embalses se encontraban estratificados: en octubre de 1977 para el caso de La Regadera y en febrero para El Neusa. En ambos casos se notó una re-

cuperación del hipolimnion en muestreos posteriores (Gráficas No.4 y 6), cuando corrientes de convección que transportaron masas de agua de procedencia

epilimnética y con altos contenidos de oxígeno, habían reemplazado a las menos oxigenadas. La disminución del porcentaje de saturación de oxígeno en la

ACODAL

GRAFICA No. 5
Distribución de la temperatura y del oxígeno disuelto en el embalse de Tominé en los años 1.977 - 1.978 (estación a 2000 m. del dique).



D.S.: Disco Secchi.

columna de agua ya se había reportado en La Regadera en épocas de estratificación, cuando inclusive llegó a producirse mortandad masiva de peces (Galán Ponce, 1954), cuando la quemuclina se acercó a la superficie.

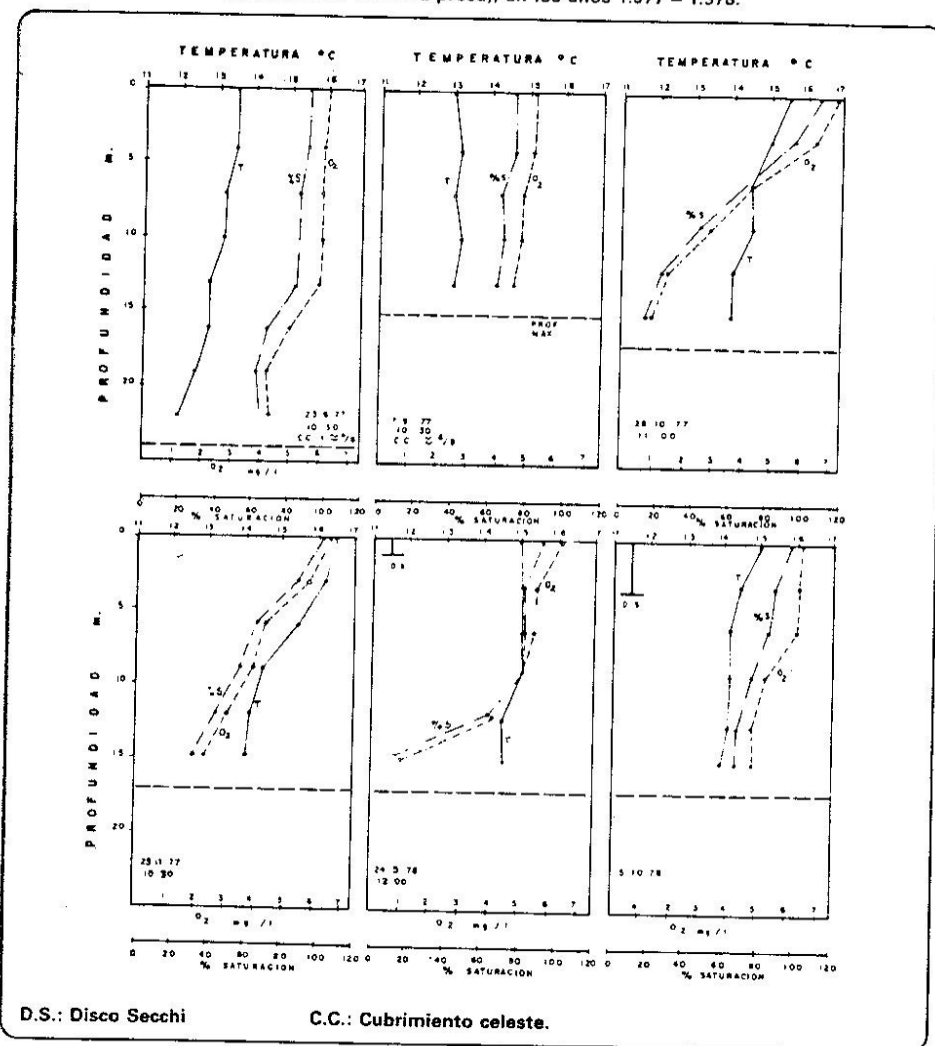
La disminución del oxígeno en aguas profundas también se presentó en el Embalse de Chuza a los 6 meses de haberse comenzado con el llenado definitivo de la cubeta. La presencia de 19 ton./ha. en peso seco en

promedio de fitomasa aérea característica del fondo del embalse (Aristizabal et al., 1980) fueron contribuyendo al consumo lento de oxígeno de las aguas hipolimnéticas, como se detalla en información ya publicada.

ACODAL

GRAFICA No. 6

Distribución de la temperatura y del oxígeno disuelto en el embalse de Neusa (estación a 50 m. de la presa), en los años 1977 - 1978.



cada (Gaviria, 1985). Esta época correspondió a septiembre/octubre de 1983 y a tiempo de estratificación; los niveles de oxígeno llegaron a ser de 1.5 mg/l y a saturación cercana al 15%. El mismo fenómeno aunque un

poco menos acentuado se repitió en septiembre de 1985, cuando los mínimos valores de saturación llegaron al 38%. La polimixis hace que se produzcan de nuevo valores de saturación de oxígeno aceptables (60% y

4 mg/l) en capas profundas, lo que se observa en marzo de 1989 (Gráfica No. 2).

Dos factores más contribuyen a la renovación del hipolimnion en el Embalse de Chuza:

1) Aguas de los efluentes: se

comprobó que el río Chuza entrega al embalse agua más fría, densa y oxigenada que el propio embalse al norte de su cola larga (temperatura diurna promedio 10.5 °C; 5 mediciones en un día de invierno; % saturación > 100%); los otros afluentes se deben comportar de manera similar;

2) Desembalses: se le extraen en promedio anual (e.g. 1988) 11.5 m³/seg de aguas de procedencia profunda (cota de la boca del túnel Palacio-Rio Blanco: 2939; 63 m de profundidad con embalse lleno)

El Embalse de Chisaca se muestreó una sola vez durante el periodo considerado, en enero de 1989: sus condiciones eran termostáticas y se observó la presencia de una quemoclina de curva suave (Gráfica No. 3) con un grado de saturación del oxígeno disuelto en el rango 80-85%, en las masas de agua por debajo de los 4 m. de profundidad.

TURBIEDAD, COLOR, SÓLIDOS

Estos tres factores junto con los datos de penetración lumínica de un cuerpo de agua léntico dan una buena idea del estado de transparencia y del estado de sus aguas, además de ser, junto con la información de la concentración de nutrientes y conductividad eléctrica, un reflejo de las características de su cuenca de drenaje.

De los cuerpos de agua analizados, la Laguna de Chingaza presenta las aguas de mayor transparencia y menor turbiedad y color (Tabla No. 3, Gráfica No. 1). Su zona eutótica es por lo tanto la de mayor amplitud (7.5m); la turbiedad y el color promedios inclusive cumplen la norma para aguas potables, ya que no sobrepasan las 2 U.N.T. ni las 10 unidades de color.

No se cuenta con información reciente de turbiedad y color de la Laguna de Los Tunjos;

sin embargo, el valor de la concentración de sólidos totales en mayo de 1988 indica aguas con baja turbiedad y color, ya que no sobrepasan los 29 mg/l en la columna de agua localizada en el centro de la Laguna. Este valor debe ser muy superior al normal, ya que el muestreo se realizó en la etapa final del bombeo efectuado en 1988. Se había producido ingreso de sólidos procedentes del litoral, por acción de los trabajos hidráulicos adelantados. Esta laguna posee una cuenca de drenaje pequeña, con cerca de 10 veces su área superficial (Tabla No. 1), de características completamente paramuñas y prácticamente sin intervención antropogénica.

Los datos de turbiedad, color, sólidos disueltos, suspendidos y totales a lo largo de los muestreos en el embalse de Chuza, fueron un reflejo de la evolución del embalse desde su primer llenado en 1982 hasta la actualidad. En momentos de es-

TABLA No. 3
Valores promedios (max.-min.) de algunos parámetros físicos y químicos en los cuerpos de agua del Sistema de Acueducto de Bogotá, entre los años 1977 y 1989 (Ver Tabla No. 2).
Los valores incluyen datos de hasta 8 profundidades.

Cuerpo de agua	pH	Alcalinidad (meq/L)	Dureza tot. (mgCaCO ₃ /L)	Turbiedad (U.N.T.)	Color (U.C.)	Sólidos tot. (mg/L)
Lag. Chingaza	7.18 (6.60-7.60)	0.55 (0.32-1.20)	37.9 (27.2-49.0)	1.42 (0.3-4.7)	9.24 (3-30)	—
Emb. Chuza	7.2 (6.4-7.7)	0.28 (0.10-0.56)	27.18 (15.0-40.0)	5.60 (1.2-40.0)	26.0 (20-90)	59.02 (12-155)
Lag. Los Tunjos	4.99 (3.75-6.01)	0.136 (0.06-0.36)	—	—	—	22.25 (19-29)
Emb. Chisacá	7.05	1.80	2.2	3.4	37.0	—
Emb. Regadera	6.53 (6.7-7.4)	0.22 (0.12-0.40)	—	9.04 (3.9-28.0)	54.9 (25-110)	—
Emb. Tomine	6.91 (6.7-7.4)	0.26 (0.20-0.46)	—	76.46 (60-250)	191.2 (95-400)	—
Emb. Neusa	6.80 (6.4-7.2)	0.23 (0.16-0.32)	—	5.39 (1.5-24.0)	59.0 (28-90)	—

stratificación se reflejaban aumentos graduales de éstos parámetros con la profundidad. A medida que transcurrieron los meses, el color fue aumentando por la descomposición lenta pero gradual de la vegetación terrestre inundada (Gaviria, 1985). En los momentos de transición entre verano e invierno aumenta en forma general la turbiedad en las aguas de captación de las plantas de tratamiento (Acosta, 1989) y por consiguiente aquella de los embalses que las alimentan. El promedio de la turbiedad en la corta historia del Embalse de Chuza es bajo, 5.60 U.N.T., y en la actualidad se encuentran valores inferiores a éste, inclusive en estratos profundos frente a la boca del túnel Palacio-Rio Blanco (Max. valor = 4.1 U.N.T. a 35 m. de profundidad, el 28.03.1989); el embalse se encontraba ese día estratificado térmicamente entre los 12.5 y 14.0 °C y la penetración luminosa era de 6.2 m.

Los embalses de Chisacá, La Regadera y El Neusa presentan

condiciones generales parecidas de turbiedad, color y penetración de la luz (Gráficas No.3, 4 y 6; Tabla No.4). Aunque la turbiedad del Embalse de Chisacá haya sido mayor el 1.03.1989 que la turbiedad promedio de La Regadera (Tabla No.3), ésta no es la regla general: Chisacá se muestreó una sola vez y ella correspondió a niveles bajos del embalse al final de la época seca, en la cual el Río Mugroso no tenía caudal (este río aporta en general la mayoría de los sólidos al embalse). En general, Chisacá funciona como presedimentador de las aguas de La Regadera (sin considerar el Río Curubital, que sin embargo no es causante de ingreso importante de sólidos por tener su cuenca de drenaje protegida). El valor promedio de los datos de turbiedad de La Regadera considerados en los últimos 12 años (Tabla No.3), es cercano al valor histórico (55 años de medición diaria) y en la actualidad continua en ese rango (promedio primer trimes-

tre 1989; 9.5 U.N.T.). La turbiedad histórica corresponde a los estratos de agua de los dos y medio metros superiores del embalse de donde siempre se capta el agua de alimentación de la Planta (por las dos válvulas más superiores del "morning glory").

El Embalse del Neusa presenta siempre baja turbiedad y color (Tabla No.3). Por el contrario, Tominé tuvo en 1978 el promedio más alto (76.46 U.N.T.), y llegó a tener 250 unidades en el hipolimnion. Datos actuales indicarían con certeza rangos parecidos. La zona eufótica es muy reducida, y no sobrepasa los 50 cms en sus mejores momentos y con cielo despejado. Su productividad primaria debe ser muy baja, aunque la concentración de nutrientes disueltos sea alta.

ALCALINIDAD y pH

La baja alcalinidad de las aguas de éstos embalses y lagunas (max.: 0.5 meq./l = 25 mg/l como CaCO_3) es un reflejo de la

geología de la cuenca (Tabla No. 3). El dato de Chisacá (1.80 meq/l) es un caso puntual, y sigue siendo un valor bajo. El páramo de la región central de la Cordillera Oriental posee rocas sedimentarias constituidas en su mayoría por areniscas y pizarras del cretáceo (Cleef, 1981), y casi no aportan sales causantes de alcalinidad al sistema hidrológico.

La alcalinidad está generalmente determinada por la presencia de bicarbonatos, carbonatos e hidróxidos, y menos frecuentemente por aquella de boratos, silicatos y fosfatos (Wetzel, 1975). Refleja no solamente la geología sino también la "fertilidad" de la cuenca. La alcalinidad aumenta si la cuenca presenta campos abonados y descargas de aguas negras, principalmente por el porcentaje de fosfatos. Cuando la alcalinidad es intermedia (0.5 - 2.5 meq/l), los embalses y lagos son más productivos inclusive que con alcalinidades superiores, pues en presencia de iones Calcio, los fosfatos se precipitan y se ligan al sedimento por formar compuestos de muy baja solubilidad (Margalef, 1981). En el caso de embalses con reservas de calcio bajas (e.g. Chuza, Tabla No. 4), la retención de fósforo en el sedimento es por formación de sales de hierro; este catión empieza a desempeñar entonces un papel importante como fijador de fosfatos. En estos cuerpos de agua y aun con baja alcalinidad, gran parte de esta es debida a bicarbonatos, por el rango de pH. En Los Tunjos con aguas ácidas, contribuye más a la alcalinidad la concentración de bióxido de carbono.

Chingaza, Chuza, El Neusa y Tominé tienen con un rango de pH cercano a la neutralidad (Tabla No. 3). El Neusa (promedio: 6.8) presenta los valores más bajos, posiblemente debido al ingreso de ácidos húmicos procedentes de los suelos de los abundantes bosques de coníferas de sus alrededores. Chingaza y Chuza tienen aguas ligeramente básicas. Por el contrario, las aguas de Los Tunjos son muy ácidas.

DUREZA

Las aguas de los 7 cuerpos de agua lénticos estudiados son blandas, por contener bajos porcentajes de sales de calcio y magnesio, como cloruros, sulfatos, carbonatos y bicarbonatos (Tabla No. 3).

CONDUCTIVIDAD

Los procesos de eutrofización siguen distintas direcciones dependiendo de la abundancia de los diferentes cationes y aniones de las aguas (Armengol, 1979).

La conductividad es baja en todos los cuerpos de agua considerados: Chingaza, Chuza y el 1.03.1989 en Chisacá (Tabla No. 4): no sobrepasa de los 70 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (20°C) y en general está alrededor de los 30 μS . En Chingaza dominan los sulfatos sobre los cloruros, mientras que en Chuza ocurre lo contrario. Entre los aniones se ha hecho hincapié en la medición del hierro por tratarse de aguas de un sistema de acueducto: solamente en Tominé sobrepasa el valor de 1 mg/l, el cual es el máximo valor permitido para aguas potables.

Las cuencas por donde corren los ríos que llenan éstos

embalses están constituidas principalmente por pizarras y areniscas del cretáceo, y por lo tanto no aportan muchos iones al sistema hidrológico. Sólo hay algunos afloramientos de calizas aislados.

NUTRIENTES Y PRODUCTIVIDAD PRIMARIA

De los nutrientes se han hecho solamente mediciones de las formas del nitrógeno en Chingaza y Chuza, exceptuando el nitrógeno orgánico total (N-Kjeldahl): en Chuza los nitritos y los nitratos fueron bajos hasta septiembre de 1983; el nitrógeno amoniacal llegó a ser alto en octubre del mismo año por efecto de la descomposición del bosque inundado y por carencia de suficientes reacciones de nitrificación (Gaviria, 1985); éste fenómeno continuaba presentándose dos años más tarde cuando su concentración seguía siendo de 340 $\mu\text{g}/\text{l}$ en la columna de agua frente al túnel de salida (E.A.B., 1985). En cambio para esta época, los nitratos ya se habían elevado de 50 $\mu\text{g}/\text{l}$ (1983) a 600 $\mu\text{g}/\text{l}$, por haberse establecido posiblemente una población bacteriana capaz de nitrificar los compuestos del nitrógeno hasta nitratos. No se conocen datos actuales de éstos componentes. Tampoco se tiene información sobre la concentración de las diferentes formas del fósforo. Los lagos cálidos tropicales son oligotróficos con una concentración de fósforo total menor de 30 $\mu\text{g}/\text{l}$, mesotróficos entre 30 - 70 $\mu\text{g}/\text{l}$ y eutróficos por encima de este valor (Saías, *com. pers.*). Debe existir una variación para los lagos fríos tropicales.

TABLA No. 4
Valores promedios (max.-min.) de la conductividad y iones medidos en los cuerpos de agua del Sistema de Acueducto de Bogotá, entre los años 1977 y 1989 (ver tabla No. 2)
Los valores incluyen datos de hasta 8 profundidades.

Cuerpo de agua	Conductividad $\mu\text{S}/\text{cm}$ (20°C)	SO_4^{--} (mg/L)	Cl^- (mg/L)	Ca^{++} (mg/L)	Mg^{++} (mg/L)	Fosf. tot. (mg/L)	Fosf. sol. (mg/L)
Lag. Chingaza	34.0	8.5 (7.0-9.7)	0.6 (0.4-0.8)	-	-	-	-
Emb. Chuza	28.3 (21.7-69.6)	0.56 (0.25-0.90)	3.07 (0.5-8.4)	4.75 (0.8-8.8)	2.05 (0.1-5.4)	0.31 (0.08-2.54)	0.17 (0.04-0.48)
Emb. Chisacá	21.0	-	-	-	-	-	-
Emb. Regadera	-	-	-	-	-	0.66 (0.13-3.28)	0.80 (0.09-1.15)
Emb. Tominé	-	-	-	-	-	3.83 (2.96-4.00)	3.09 (2.9-3.4)
Emb. Neusa	-	-	-	-	-	1.35 (0.59-3.04)	1.08 (0.54-2.10)

La productividad primaria se midió solamente en una ocasión en la Laguna de Los Tunjos (enero 1988), y en el Embalse de Chisacá y La Regadera durante el primer trimestre de 1989 (Tabla No. 5). Los valores encontrados indican que Los Tunjos es una laguna oligotrófica 10 mg C/m²/h que corresponden a 132 mg C/m²/d (zona eufótica: D.S. = 0.9 m). Esta productividad es comparable con aquella del Lunzer Untersee, un pequeño lago alpino oligotrófico, el cual se estimaba que en 1972 no tenía sino 123 mg C/m²/d (Jonasson 1972). También tiene valores parecidos a la Laguna Negra (3470 m.s.n.m.) de los Andes venezolanos, en donde se reportaron 186 mg/m²/d (Gessner et al., 1967). En ninguno de los lagos mencionados por Wetzel (1975) como oligotróficos, la productividad primaria diaria promedio en todo el año sobrepasa los 250 mg C/m²/d; para Los Tunjos hay que realizar mediciones a lo largo del año, y especialmente en verano cuando los rangos deben aumentar.

TABLA No. 5

Valores de la concentración de nutrientes (min./max.) y productividad primaria (productividad neta) de 5 cuerpos de agua del Sistema de Acueducto de Bogotá.

Embalse/Laguna	N-NO ₂ (µg/L)	N-NO ₃ (µg/L)	N-NH ₄ (µg/L)	Prod. prim. (mgC/m ² /h)	Fecha
Lag. Chingaza	2 20/40	60 0/210	20 0	-	20.04.1983 15.03.1989
Emb. Chuza	- 0.9 60.230 0.30	- 20/120 612/643 -	340/540 260/540 220/560 -	- - - -	30.09.1982 28.09.1983 03.09.1985 28.03.1989
Lag. Los Tunjos	-	-	-	10	12.01.1988
Emb. Chisacá	-	-	-	90	01.03.1989
Emb. Regadera	-	-	-	112	17.02.1989

Por el contrario, en Chisacá y en La Regadera los valores de productividad primaria encontrados indican condiciones de eutrofia: los datos indicados en la Tabla No. 5 corresponden a 1536 mg C/m²/d para Chisacá (D.S. = 0.70 m) y 924 mg C/m²/d para La Regadera (D.S. = 1.45 m). La Regadera presenta una eutrofia liviana como aquella reportada en los lagos Wintergreen, Michigan (Wetzel, op. cit.) y en Frederiksborg Slotssø, Dinamarca (Nygaard, 1955), con valores de productividad primaria cercanos a 1000 mg C/m²/d. El Embalse de Chisacá está bien eutroficado y su productividad primaria se puede comparar con la de un lago de la zona templada, el lago Sylvan, Indiana, donde se reportaron con 1564 mg C/m²/d (Wetzel, 1966); no es tan alta como aquella de dos lagos cálidos tropicales: el Lago Lanao, Filipinas (Lewis, 1974), con 1700 mg C/m²/d (lago profundo), y el Lago Victoria, África ecuatorial (Talling 1965), con 1750 mg C/m²/d. Además de mediciones en las diferentes épocas del año, es recomenda-

ble también medir la productividad primaria con métodos más exactos como el del carbono 14 o el análisis de pigmentos (e.g. clorofila); hay que ampliar las mediciones a los otros embalses y lagunas.

ZOOPLANKTON

Se realizó un inventario de las especies de crustáceos del zooplancton en los 7 embalses y lagunas (Tabla No. 6). La composición de especies indica una mayor diversidad en el Embalse de Chuza y en la Laguna de Chingaza, con 7 y 6 especies respectivamente en el año 1983; los copépodos *Eucyclops serrulatus* y *Macrocyclus albidus albidus* observados en muestras pelágicas, no son heleoplanctónicos y se encontraron en muy pequeñas cantidades en ambos cuerpos de agua. La Regadera y Chisacá tienen 3 y 5 especies respectivamente en febrero y marzo de 1989. En mayo de 1988 no se encontraron en el plancton de Los Tunjos sino rotíferos; se encontraron en cambio grandes concentraciones de caparzones de *Bosmina* (*Neobosmina*) sp. junto con chironómidos en el bentos profundo de la zona central de la laguna. Esto fue seguramente una consecuencia del bombeo sobre la laguna, ya que en enero del mismo año se reportaron una especie de *Daphnia* y un copépodo en muestras planctónicas (E.A.A.B., 1988a).

La composición de especies de crustáceos del zooplancton de los cuerpos de agua lénticos del sistema hidrológico del Alto Tunjuelo es diferente a aquella del Alto Guaitiquía (Tabla No. 6):

TABLA No. 6

Composición de especies de crustáceos zooplanctónicos en los cuerpos de agua lénticos del sistema de acueducto de Bogotá

ESPECIE	EMBALSE / LAGUNA				
	Chuza	Chingaza	Chisacá	Regadera	Tunjos
<i>Colombodaptomus brandorffi</i>		X			
<i>Tropocyclops prasinus</i> ssp.	X	X			
<i>Eucyclops serrulatus</i>	X	X			
<i>Macrocyclus albidus albidus</i>		X			
<i>Metacyclops leptopus totensis</i>					
<i>Daphnia laevis</i>	X	X	X		
<i>Ceriodaphnia quadrangula</i>			X	X	
<i>Simocephalus serrulatus</i>	X				
<i>Bosmina</i> (<i>Neobosmina</i>) sp.	X	X	X	X	X
<i>Diaphanosoma brachyurum</i>			X	X	
Total de especies	7	6	5	3	1

mientras que en éstos últimos vive un calanóideo *Colombodaptomus brandorffi* Gaviria, 1989 junto con un cyclopóideo *Tropocyclops prasinus* ssp., tres cladóceros *Daphnia laevis*, *Simocephalus serrulatus* y *Bosmina* (*Neobosmina*) sp., en los del Alto Tunjuelo no hay Calanóidea, el ciclopoideo es otro (*Metacyclops leptopus totensis*), y de los cladóceros solamente se encuentra *Bosmina*; en Chisacá, La Regadera ni en Los Tunjos se ha encontrado *Simocephalus serrulatus*. En Chisacá viven dos especies diferentes de cladóceros: *Ceriodaphnia quadrangula* y *Diaphanosoma brachyurum*, junto con *D. laevis*; en La Regadera *C. quadrangula* con *D. brachyurum*. Se nota además diferencias faunísticas entre estos dos embalses tan cercanos, con mayor diversidad en Chisacá, seguramente por razones de índole ecológica; por alguna razón limnológica no se han podido establecer en La Regadera las especies *Metacyclops leptopus to-*

tensis ni *Daphnia laevis*. No se estudió el zooplancton ni de Tomimé ni de El Neusa. Tampoco se analizó la variación de las poblaciones de cada una de las especies a lo largo del año.

Colombodaptomus brandorffi es endémico de ecosistemas lacustres del páramo de la región central de la Cordillera Oriental, entre 2900 y 3700 m.s.n.m. Parece tener un ciclo de vida mayor de un año, lo que posiblemente no le ha permitido establecerse en Chisacá ni en La Regadera. Su distribución geográfica está claramente separada de la de *Boeckella*: *B. occidentalis* vive en lagos más fríos del Sumapaz y en la Cordillera Central, *B. gracilis* está limitada en la Cordillera Oriental a los páramos de Boyacá (Gaviria, 1989). También está separado altitudinalmente de *Prionodaptomus colombiensis*, distribuido desde el nivel del mar hasta los 2600 m.s.n.m. Este último se colectó recientemente en la La-

guna de Fúquene, su mayor altura conocida.

CONCLUSIONES

1. Las lagunas y embalses de la región central de la Cordillera Oriental de Los Andes colombianos, localizadas a alturas entre 2600 y 3700 m.s.n.m. (bosque altoandino y páramo), se pueden clasificar como "lagos fríos tropicales". Su temperatura media es menor a 15°C y la superficie del agua nunca llega a cubrirse por una capa de hielo.
2. Los 5 embalses y 2 lagunas estudiadas son holomícticas.
3. Los gradientes de temperatura de los estratos de agua (densidades menores en la superficie) inducidos por cambios en la temperatura ambiental, en la noche y en el día, producen corrientes de convección y por lo tanto, circulación del tipo polimíctico. Para producir holomixis parece que el viento no es un factor importante a esta altura.
4. Durante los períodos secos, estos cuerpos de agua tienen circulación del tipo polimíctico cálido (estratificación diurna, mezcla nocturna). En época(s) de lluvias no son polimícticos fríos, ya que aunque sufren circulaciones periódicas diurnas, su temperatura media es superior a los 12°C.
5. La estratificación en los lagos fríos tropicales se produce en general en el rango de 11 - 16°C.
6. Por el tipo de circulación polimíctica, no se ha producido agotamiento del oxígeno disuelto en las masas de agua profundas. El grado de saturación del oxígeno aumenta considerable-

mente en períodos de mezcla en toda la columna de agua.

7. La Laguna de Chingaza presenta la mayor transparencia y grado de mineralización entre los cuerpos de agua analizados.

8. A excepción de Tominé, los embalses y lagunas presentan aguas de baja turbiedad y color. El color y la turbiedad de Tominé se deben en gran parte a sustancias coloidales. El grado de sedimentación de sólidos suspendidos debe ser también alto. La cuenca de drenaje está deteriorada.

9. La alcalinidad de las aguas es muy baja en todos los embalses y las dos lagunas estudiadas. El rango de pH está alrededor del punto neutro (6.9 - 7.2). Únicamente Los Tunjos presentan aguas claramente ácidas. En todos los casos, las aguas son de naturaleza blanda.

10. Las lagunas de Chingaza y Los Tunjos y el Embalse de Chuza presentan aguas con baja

concentración de iones y por lo tanto de baja conductividad eléctrica.

11. El Embalse de La Regadera presenta un grado livianamente eutrófico.

12. El Embalse de Chisacá funciona como trampa de sólidos sedimentables y parte de los disueltos de La Regadera. Aunque se cuente con datos de una sola medición, parece estar eutrófico.

13. Existen diferencias faunísticas marcadas entre los cuerpos lénticos de los sistemas hidrológicos del Alto Río Guatiquía y del Alto Río Tunjuelo; las especies de copépodos planctónicos son completamente diferentes. Entre los cladóceros hay participación de *Bosmina* (*Neobosmina*) sp. y *Daphnia laevis*, la primera de amplia distribución en el Neotrópico, la segunda especie de distribución americana.

14. No se han detectado plantas acuáticas flotantes en los embalses

manejados directamente por la Empresa de Acueducto, a excepción de La Regadera donde aparecen en ciertas épocas, pero con cubrimientos máximos estimados de 3-5%. No se han estudiado estos someros afloramientos.

15. Es necesario estudiar el comportamiento anual de los nutrientes y de la productividad primaria de los diferentes embalses y lagunas, además de completar el inventario de las especies del plancton y emprender el del bentos; finalmente estudiar la productividad secundaria, las ratas de descomposición, los ciclos de vida de las especies y sus relaciones ecológicas. Con el análisis del balance de masa contando con datos de concentraciones de sólidos suspendidos y la información hidrológica y morfométrica respectiva, se puede también calcular la vida útil actual de los embalses. □

BIBLIOGRAFIA

- A.P.H.A. - A.W.W.E.A. - W.P.C.F., 1976. Standard Methods for the examination of water and waste-water. 14 ed., A.P.H.A., Washington.
- A.P.H.A. - A.W.W.E.A. - W.P.C.F., 1981. Standard Methods for the examination of water and waste-water. 15 ed., A.P.H.A., Washington.
- A.P.H.A. - A.W.W.E.A. - W.P.C.F., 1986. Standard Methods for the examination of water and waste-water. 16 ed., A.P.H.A., Washington.
- Anistzabal, H. & J. Castañeda, 1983. Estimación de la fitomasa aérea en la

cuenca del río Chuza, Páramo de Chingaza, Cundinamarca. - Tesis de Grado. Dep. Biol., Universidad Nacional de Colombia, Bogotá, 36 pp.

Armengol, J. & N. Prat, 1979. Els embassaments. - Quad. Ecol. Apl. 4, 69-85.

Cleef, A.M., 1981. The Vegetation of the Páramos of the Colombian Cordillera Oriental. Diss. Botanicae, Vaduz 61, 320 pp.

Darby, O.G., 1965. Ecology and Taxonomy of Ostracoda in the vicinity of Scalpelo Island, Georgia. Nat. Sci. Found. Project GB-26, Report No. 2.

E.A.A.B., 1985. Análisis fisicoquímico y bacteriológico del agua del Embalse de Chuza. Informe Lab. Central, preparado por C. Guzman y R. Sierra de Ramos, Bogotá: 1-4.

E.A.A.B., 1988a. Laguna de Chisacá: reconocimiento hidrobiológico preliminar. Informe de consultoría No. 146, elaborado por C. Reyes, Div. Lab. Aguas Negras, 24 pp.

E.A.A.B., 1988b. Datos limnológicos de los embalses de La Regadera, El Neusa, Tominé y de la Laguna de Chingaza, años 1977-1978. Inf. Subg. de Opera-

ciones, trabajos dirigidos por C. Rodríguez, compilación de S. Gaviria. Bogotá, 81 pp.

Galán Ponce, R., 1954. Estudio sobre las causas posibles de la mortalidad de los peces en el embalse de La Regadera en abril de 1952. - Anuario hidrológico de la Empresa de Acueducto, Bogotá, 39-46.

Gaviria, S., 1983. Embalses y Lagunas estudiadas por la E.A.A.B. - Inf. Lab. Central, E.A.A.B. Bogotá, 17 pp.

Gaviria, S., 1985. Evaluación limnológica inicial del Embalse de Chuza, Páramo de Chingaza. Rev. Acodal (Asoc. Col. Ing. San. & Amb.), Bogotá, 119: 1-48.

Gaviria, S., 1988. Calanoida und Cyclopoida (Crustacea, Copepoda) der Cordillera Oriental der kolumbianischen Anden, mit besonderer Berücksichtigung ihrer Taxonomie, Ökologie und geographischen Verbreitung. - Tesis Ph.D., Univ. Viena, 213 pp.

Gessner, F. & L. Hammer, 1967. Limnologische Untersuchungen an Seen der venezolanischen Hochanden. Int. Rev. ges. Hydrobiol. 52, 301-320.

Hutchinson, G.E. & H. Löffler, 1957. The thermal classification of lakes. Proc. Nat. Acad. Sci. Wash. 42: 84-86.

Jonasson, P.M., 1972. Ecology and production of the profundal benthos in relation to phytoplankton in the Lake Esrom. - Oikos Suppl. 14, 148 pp.

Lewis, W.M., Jr., 1974. Primary production in the plankton community of a tropical lake. - Ecol. Monogr. 44: 377-409.

Löffler, H., 1981. Beitrag zur Evolution der österreichischen Seen. - Opusc. Zool. Budapest 17-18: 83-90.

Margalef, R., 1981. Características de las aguas de represa como indicadores del estado de los ecosistemas terrestres de las respectivas cuencas. - en: Anál. de la Reunión sobre ecología e protección de aguas continentales. OEA-

UNESCO-MAB, Univ. Sao Paulo, 33-110.

Nygaard, G., 1955. On the productivity of five Danish waters. - North. Int. Ver. Limnol. 12: 123-133.

Ricker, W.E., 1937. Physical and chemical characteristics of Cultus Lake, British Columbia. - J. Biol. Bd. Canada 3(4): 363-402.

Rodríguez, C., 1978. Muestreo de embalses: 50-55. - en: La calidad de agua suministrada a la ciudad de Bogotá, la calidad de las aguas crudas para las plantas de tratamiento y las labores realizadas durante el año 1977. Inf. Lab. Central, E.A.A.B., Bogotá, 120 pp.

Rodríguez, C., 1979. Muestreo de embalses: 50-55. - en: La calidad de agua suministrada a la ciudad de Bogotá, la calidad de las aguas crudas y demás labores realizadas durante el año 1978. Inf. Lab. Central, E.A.A.B., Bogotá 59 pp.

Sánchez, H.G.E., 1976. Estudio Limnológico de Los Embalses del Muña, Neusa, Sigsa, Tominé. - Tesis M.Sc. Universidad de Los Andes.

Talling, J.F. & I.B. Talling, 1965. The chemical composition of Africa lake waters. - Int. Rev. ges. Hydrobiol. 50: 421-463.

Wetzel, R., 1966. Variations of productivity of lake Goose and hypereutrophic Sylvan lakes, Indiana. - Invest. Indiana Lakes & Streams, 7: 147-184.

Wetzel, R., 1975. Limnology. - W.B. Saunders Co., Philadelphia, 742 pp.

Van der Hammen, Th., 1974. The Pleistocene changes of vegetation and climate in tropical South America. - J. Biogeogr. 1: 3-26.

Van der Hammen, Th., 1981. Glaciales y Glaciaciones en el Cuaternario de Colombia. - Rev. C.I.A.F. Bogotá 6 (1-3): 635-638.