
DESCRIPCIÓN DEL ESTADO TRÓFICO DE DIEZ HUMEDALES DEL ALTIPLANO CUNDIBOYACENSE

C. Vásquez¹, A. Ariza², G. Pinilla³

¹ Museo del Mar, Universidad de Bogotá Jorge Tadeo Lozano,
Cra. 4 No. 22-61, Bogotá, Colombia

² Facultad de Estudios Ambientales y Rurales,
Pontificia Universidad Javeriana, Transv. 4ª No. 42-00, Bogotá, Colombia

³ Departamento de Biología, Universidad Nacional de Colombia,
Carrera 30 No. 45-03, Ciudad Universitaria, Bogotá, Colombia

carova6@yahoo.es, ariza.a@javeriana.edu.co, gapinillaa@unal.edu.co

RESUMEN

Entre noviembre de 2003 y febrero de 2004 se recopiló información sobre la composición fitoplanctónica y las características físicas y químicas de 10 humedales del altiplano cundiboyacense a fin de determinar el estado ecológico en que se encuentran. En cada humedal se tomaron muestras de fitoplancton mediante muestreo directo a 50 cm de profundidad y se midieron variables físicas y químicas. Posteriormente en laboratorio, se realizó la identificación y cuantificación de las algas con el método del microscopio invertido y el uso de claves taxonómicas. Los géneros algales más abundantes y comunes fueron *Microcystis* y *Scenedesmus*, y las especies *Trachelomonas volvocina* y *Dactylococcopsis acicularis*. El oxígeno registró bajos porcentajes de saturación, mientras que los ortofosfatos presentaron valores altos. Estos resultados biológicos y químicos indican una clara tendencia a la eutrofia y alta materia orgánica en estos cuerpos de agua.

Palabras clave: Andes, bioindicadores, eutrofia, fitoplancton, humedales.

ABSTRACT

Between november, 2003 and february, 2004 information about the phytoplankton composition and physical and chemical characteristics of 10 wetlands in the high plateau located in the Cundinamarca-Boyaca region was compiled in order to determine their ecological condition (state). In each wetland, the phytoplankton samples were taken by means of direct sampling at depth of 50 cm and physical and chemical variables were also measured. Afterwards in the laboratory, the identification and quantification of the algae were carried out by means of an inverted microscope and the use of taxonomic keys, respectively. The more abundant and common algal genera were *Microcystis* and *Scenedesmus*, and the species, *Trachelomonas volvocina* and *Dactylococcopsis acicularis*. Low percentages of oxygen saturation were observed, whereas the values for nitrates and orthophosphates were high. These biological and chemical results indicate a clear tendency to eutrophy and to high organic matter content in these bodies of water.

Key words: Andes, bioindicators, eutrophy, phytoplankton, wetlands.

INTRODUCCIÓN

Las zonas húmedas del planeta pueden variar desde condiciones relativamente secas hasta circunstancias de elevada inundación, pasando por situaciones intermedias. Estos cambios, que ocurren permanentemente, hacen de los humedales ecosistemas ecológicamente muy ricos y de alta diversidad y complejidad. Son además importantes para que se cumpla el ciclo vital de muchas plantas y animales, algunos de ellos en peligro de extinción. Igualmente, estos ambientes amortiguan y almacenan las aguas de inundación, retienen el sedimento y reducen la contaminación (Kusler *et al.*, 1994). Sin embargo, a pesar de sus innumerables beneficios a nivel global, son ecosistemas muy amenazados por diferentes actividades humanas (Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, 2002).

El fitoplancton es tal vez el más promisorio de todos los indicadores de alerta temprana de cambios en las características ecológicas de los humedales, debido a su capacidad de responder de forma rápida y previsible a un amplio espectro de agentes contaminantes (Ramírez, 2000). Por esta razón en este trabajo se emplea la comunidad fitoplanctónica para buscar una aproximación al estado actual de los humedales estudiados a través de la bioindicación aportada por las microalgas, con énfasis en el estado trófico.

Un lago puede presentar diferentes estados tróficos, dentro de los que se encuentra la oligotrofia, que es la propiedad de las aguas de lagos con un bajo contenido de nutrientes en un ecosistema acuático, y que por lo general, generan una mayor diversidad en las comunidades de plantas y animales, un bajo nivel de productividad primaria y de biomasa y una buena calidad del agua para distintos usos (Margalef, 1983). Otro estado es la Mesotrofia, la cual se define como

la propiedad de las aguas que contienen cantidades moderadas o intermedias de nutrientes y que pueden contribuir a un mayor desarrollo de organismos acuáticos, (Roldán, 1992). Mientras que el estado de Eutrofia, se presenta por un enriquecimiento de las sustancias nutritivas en el agua (nitrógeno y fósforo principalmente), que pueden generar un mayor nivel de productividad y de biomasa, pero con aguas pobres en oxígeno y un crecimiento de plantas acuáticas (Margalef, 1983).

Dentro de los principales trabajos que se han llevado a cabo sobre fitoplancton como indicador en sistemas lénticos de montaña en Colombia, se encuentran algunos como el de Donato *et al.*, (1996) quienes realizaron el estudio del fitoplancton en el embalse de Chuza y la laguna de Chingaza entre 1989 y 1990. Los autores concluyeron que las aguas de estos ecosistemas altoandinos presentaron características oligotróficas. Cortés (1991) estudió las divisiones fitoplanctónicas de la laguna de Guatavita y determinó que el lago tendió a la oligotrofia. Donato y Duque (1986) en la laguna de Fúquene hallaron que el sistema presentaba un fuerte proceso de eutrofización, reflejado en la composición y abundancia de las algas planctónicas.

En otros ambientes acuáticos colombianos también se ha estudiado el fitoplancton y se han hecho interpretaciones de las condiciones ecológicas de acuerdo con el tipo y abundancia de algas presentes. En Guarinocito por ejemplo, se ha asociado la presencia de clorofíceas con estados tróficos elevados (López, 1999) y en el embalse de Betania se ha registrado el dominio de las cianofíceas como una respuesta a las condiciones de estabilidad y a las altas concentraciones de nutrientes en dicho ecosistema (Ramírez, 1993). A pesar de la existencia de estos trabajos, aún existe un elevado grado de desconocimiento, específicamente del fitoplancton de los humedales de altipla-

no, ecosistemas estructural y funcionalmente distintos a otros ecosistemas acuáticos de la región Andina.

Debido a la importancia de los humedales, a la poca información sobre estos ecosistemas y a la ventaja que representan las comunidades fitoplanctónicas como indicadores de su estado limnológico, este trabajo brinda información sobre la composición algal y las características físicas y químicas de 10 humedales del altiplano cundiboyacense, cada uno de los cuales presenta condiciones ecológicas diferentes debido a las características particulares de las áreas en que se encuentran. Específicamente, el objetivo del estudio fue determinar el estado trófico de dichos humedales con base en la comunidad fitoplanctónica y en la información fisicoquímica colectada. Se pretende así, obtener una visión global de las condiciones de la región y del estado ecológico en que se encuentran estos cuerpos de agua, mediante un acercamiento preliminar que aporte información básica de los humedales seleccionados.

MATERIALES Y MÉTODOS

El área de estudio se localiza en Colombia, en los departamentos de Cundinamarca y Boyacá, en una meseta por encima de 2.500 msnm que se conoce como altiplano cundiboyacense, cuya extensión es de 750.182,8 hectáreas. Se eligieron 10 humedales de la zona con diferentes características ecológicas (Sochagota y La Copa en Boyacá y La Herrera, Gualí, Gatillo 1, Suesca, Sisga, Meridor, El Hato y La Muralla en Cundinamarca), los cuales se visitaron entre noviembre de 2003 y febrero de 2004 (Tabla 1). En cada humedal se seleccionó un sitio de aguas abiertas en el que se tomaron tres muestras (original y dos réplicas) de fitoplancton mediante muestreo directo a 50 cm de profundidad. En los mismos puntos de muestreo se midieron las siguientes variables físicas y químicas:

transparencia Secchi, oxígeno disuelto y temperatura con un oxímetro YSI, pH con un potenciómetro COLE PALMER y amonio (límite de detección de 0,2 a 5 mg/L NH_4), nitratos (10 - 150 mg/L NO_3), nitritos (0,025 - 0,5 mg/L NO_2) y ortofosfatos (0,25 - 3 mg/L PO_4^{3-}) con un kit de aguas Merck. Posteriormente, en el Laboratorio de Limnología de la Universidad Jorge Tadeo Lozano, se realizó la identificación y cuantificación de las algas mediante el método del microscopio invertido (Lund *et al.*, 1958) y el uso de claves taxonómicas, tales como las de Parra *et al.* (1983), Whitford y Shumacher (1969), González (1988), Komárek y Anagnostidis (1999) y Popovsky y Pfiester (1990).

Con las variables físicas y químicas se realizó un Análisis Multivariado de Componentes Principales (ACP) a partir de una matriz de correlación, previa estandarización de los datos para que las unidades y las magnitudes quedaran homogeneizadas y normalizadas e ingresaran al análisis con igual ponderación (Ramírez, 1999). Se analizaron los valores propios (importancia) de los ejes y se determinaron los de mayor porcentaje de explicación con respecto a la variación de las variables originales. Para realizar el ACP, los valores no detectables de las variables en la matriz original se tomaron como 0 y aquellos que superaron el rango de los kits de medición se asumieron como el máximo valor detectable.

Para los datos de abundancia fitoplanctónica de las muestras (original y réplicas), se procedió a aplicar un análisis de varianza, estableciendo un p-valor menor o igual a 0,05 como límite para aceptar la hipótesis nula (no existen diferencias significativas entre las varianzas) (Ramírez, 1999). Una vez determinada la homogeneidad de varianzas, se promediaron los valores de abundancia de la muestra original y las dos réplicas para realizar los respectivos análisis.

Tabla 1. Datos climáticos y fisicoquímicos de 10 humedales del altiplano cundiboyacense, registrados para el día de muestreo.

Humedal	La Herrera	Sochagota	La Copa	El Hato	Guali	Gatillo 1	Suesca	Sisga	Meridor	La Muralla
Fecha	27/1/03	10/12/03	12/12/03	17/12/03	10/01/04	10/01/04	14/01/04	13/01/04	21/01/04	19/02/04
Hora	08:03 a.m.	4:10p.m.	10:25a.m.	11:50a.m.	9:25a.m.	11:40a.m.	9:20a.m.	4:45p.m.	8:30a.m.	09:50a.m.
Ubicación	4°41'39.90" N 74°16'7.45" W	5°45'52.34" N 73°7'6.93" W	5°36'41.36" N 73°11'31.35" W	5°17'59.87" N 73°54'31.83" W	4°43'42.99" N 74°11'24.17" W	4°43'42.99" N 74°22'3.12" W	5°11'36.20" N 73°46'43.20" W	5°5'19.60" N 73°43'6.24" W	4°51'10.26" N 74°7'38.67" W	4°36'17.24" N 74°15'46.99" W
Origen	Natural	Artificial	Artificial	Artificial	Natural	Natural	Natural	Artificial	Artificial	Natural
Altura (msnm)	2583	2530	2690	2860	2548	2586	2850	2700	2600	2560
Transparencia (m)	0,5	1	1,2	1,5	1	1,2	0,5	1,5	1	0,5
Zona Fótica (m)	1,35	2,7	3,24	4,05	2,7	3,24	1,35	4,05	2,7	1,35
Nubosidad	1/8	2/8	3/8	4/8	7/8	6/8	7/8	8/8	3/8	6/8
Vel. Corriente	Leve	Media	Moderado	Media	Leve	Moderada	Leve	Leve	Moderada	Media
Lluvias	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente
Viento	Moderado	Leve	Leve	Moderado	Leve	Leve	Medio	Leve	Leve	Leve
Temperatura °C	17	22	20	18	17	16	20	20	19	21
pH	7,5	8	4,5	7	6,5	6,5	9	6,5	7	7,5
Ox. Disuelto (mg/L)	1,5	6	4,1	5,9	1,2	5	5,2	7	3,4	3
% Saturación Ox.	11,34	49,49	32,44	43,58	9,06	36,98	40,56	55,39	26,75	24,57
Nitratos (mg/L)	10	N.D.	10	N.D.	10	N.D.	10	10	N.D.	10
Nitritos (mg/L)	0,3	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	0,075	0,025	N.D.	N.D.	N.D.
Fosfatos (mg/L)	>3	0,25	0,25	0,25	>3	0,25	0,25	0,25	0,25	>3
Amonio (mg/L)	0,2	0,1	N.D.	N.D.	0,2	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	0,2

Se ejecutó un Análisis de Correspondencia Destendido (ACD) en el que se utilizó la matriz biológica de las 31 especies más frecuentes en los 10 humedales. Este análisis permite ordenar los humedales y las especies, lo que posibilita observar el agrupamiento de los sitios de muestreo de acuerdo con las especies más determinantes en cada humedal (Ramírez, 1999).

RESULTADOS

Datos físicos y químicos

Para cada humedal se obtuvieron los valores de las variables físicas y químicas al igual que algunos datos climáticos (Tabla 1) del día del muestreo. En el conjunto de humedales los valores fisicoquímicos registrados muestran que la transparencia Secchi fluctuó entre los 0,5 y 1,5 m, el oxígeno osciló entre 1,2 y 7 mg/L, la temperatura varió entre 16 y 22°C, el amonio fluctuó entre valores no detectables por este método (N.D.) y 0,2 mg/L, los nitratos tuvieron registros desde N.D. hasta 10 mg/L, mientras que los nitritos fueron desde N.D. hasta 0,3 mg/L. Los ortofosfatos, por su parte,

fueron altos, con valores entre 0,25 y más de 3 mg/L. El pH tuvo amplias variaciones, que fueron desde 4,5 a 9 unidades.

Las correlaciones entre los parámetros físicos y químicos muestran que las relaciones entre variables con coeficientes de correlación significativos (tomando 0,632 como el valor crítico para un $n=10$, Ramírez y Viña, 1998), corresponden al porcentaje de saturación de oxígeno con amonio (-0,701), el porcentaje de saturación de oxígeno con fosfatos (-0,812), fosfatos con amonio (0,945) y transparencia con nitratos (-0,638). En este mismo ACP, las varianzas explicadas por cada eje indican que los dos primeros ejes contienen el 71,8% de la variación del ambiente fisicoquímico. La mayor varianza está explicada para el primer eje (52,7%) por las variables fosfato y amonio, con valores propios de -0,489 y -0,465 respectivamente (Tabla 2). El segundo eje está asociado al pH (valor propio 0,795, Tabla 2). En este análisis se excluye la temperatura debido a que sus variaciones pueden deberse a las condiciones climáticas en las distintas fechas y horas de muestreo.

Tabla 2
Valores propios de las variables fisicoquímicas en los primeros tres vectores del ACP

Variable	Vector propio		
	1	2	3
% Sat. Ox.	0,411	0,358	0,230
NH ₄	-0,465	-0,067	-0,127
NO ₃	-0,332	-0,074	0,726
NO ₂	-0,302	0,215	-0,511
PO ₄	-0,489	-0,167	-0,051
pH	-0,126	0,795	-0,217
Transp.	0,396	-0,448	-0,301

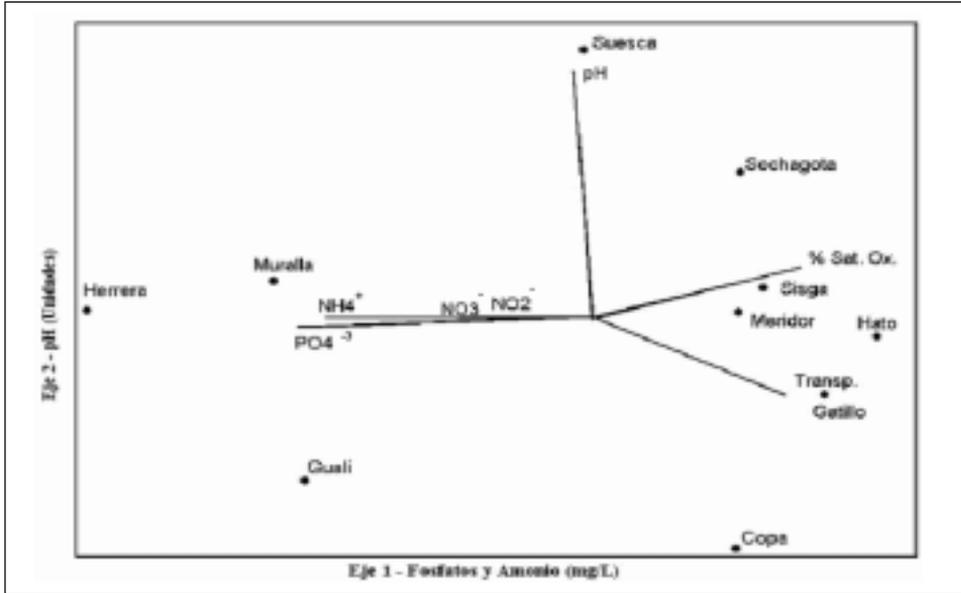


Figura 1. Análisis de componentes principales (ACP) para los humedales del altiplano cundiboyacense.

Gráficamente el ACP (Figura 1) muestra hacia la izquierda los humedales La Herrera, Gualí y La Muralla que se relacionan con el eje 1, es decir, el eje asociado a los fosfatos y al amonio. Estos humedales comparten fosfatos y amonio altos y condiciones menos oxigenadas. Hacia la derecha se ubican los humedales restantes, es decir, los de menor concentración de nutrientes, más oxigenados y de mayor transparencia del agua. Para el segundo eje (asociado al pH), los humedales de condiciones más alcalinas son Sochagota y Suesca, mientras que La Copa es el más ácido.

COMUNIDADES FITOPLANCTÓNICAS

En la laguna de La Herrera la especie más representativa fue *Microcystis flos-aque*, mientras que para el embalse El Hato fue *Trachelomonas volvocina*. Para el humedal Gualí la mayor abundancia la presentó

Microcystis aeruginosa, en Gatillo 1 predominó *Closterium* sp3 y en Suesca dominó la especie *Chlorella fusca*. Para el embalse del Sisga la especie de mayor representación fue *Lepocinclis ovum*. En Meridor prevaleció una especie del género *Chlorococcum*, mientras que en La Muralla, el taxón más abundante fue *Oscillatoria chlorina*. En el caso de Sochagota la microalga más representativa, fue *Dactylococcopsis acicularis*. En el embalse La Copa *Anabaena spiroides* fue el alga más abundante (Figura 2).

La gráfica obtenida con el ACD (Figura 3) muestra que se presentan tres grupos de humedales de acuerdo con su composición fitoplanctónica. Un grupo está compuesto por los sistemas Sisga, Gatillo, Sochagota, Gualí y La Muralla. En este conjunto de ambientes acuáticos son determinantes principalmente las cianobacterias (*Microcystis*

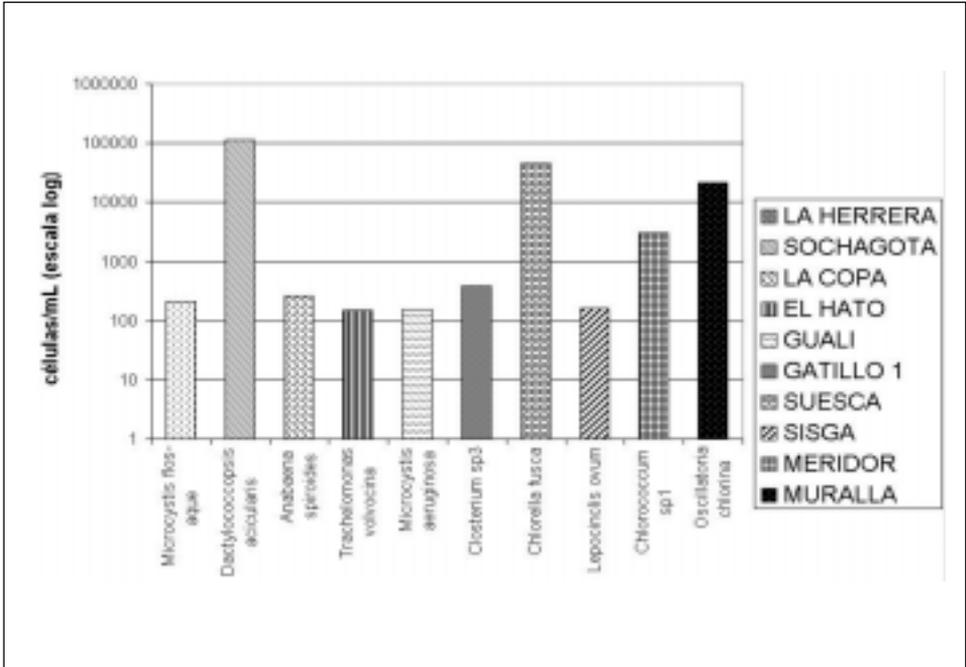


Figura 2. Especies más abundantes en los humedales del altiplano cundiboyacense para el presente estudio.

pulverea, *M. aeruginosa*, *M. flosaquae*, *Chroococcus turgidus*, *Dactylococcopsis acicularis*, *Gomphosphaeria* sp1, *Coelospaerium minutissimum*, *Aphanothece castagnei* y *Anabaenopsis* sp1), pero algunas especies de clorofíceas (*Botryococcus brauni*, *Scenedesmus ecornis*, *Scenedesmus* sp3), desmidias (*Closterium* sp2 y sp3, *Staurastrum quadrangulare*) y euglenofíceas (*Lepocinclis* sp1 y *Phacus* sp2 y sp3) también son importantes. La mayor parte de estas especies son indicadoras de condiciones meso a eutróficas del agua (Seip y Reynolds, 1995; Ortega-Mayagoitia y Rojo, 2000; Pinilla, 2000).

Otro conjunto en la figura 3 corresponde a los humedales Meridor, La Copa, El Hato y La Herrera. En este grupo aparecen funda-

mentalmente especies de euglenofíceas (*Euglena spirogyra*, *Phacus longicauda* y *Trachelomonas volvocina*) y clorofíceas (*Scenedesmus quadricauda*, *Sphaerocystis schroeteri* y *Oocystis* sp1). De las desmidias sólo se destaca *Staurastrum manfeldtii* y de las cianobacterias *Anabaena spiroides*, las dos especies exclusivas de La Copa. De este conjunto de algas, la euglenofíceas son características de ambientes ricos en materia orgánica (Duque y Donato, 1992; Pinilla, 2000). En el tercer grupo detectado con el ACD está la laguna de Suesca, en la que predominan las clorofíceas *Chlorella fusca* y *C. saccharophila*. Estas especies de *Chlorella* al parecer son propias de aguas meso a eutróficas (Seip y Reynolds, 1995).

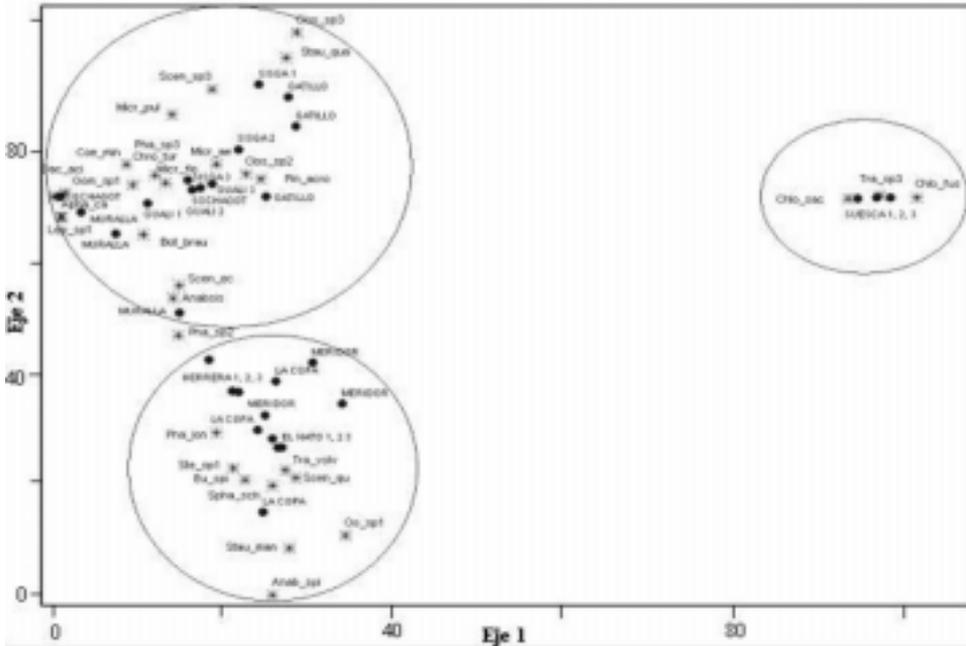


Figura 3. Análisis de correspondencia destendido (ACD) para los humedales del altiplano cundiboyacense con base en las especies de fitoplancton más frecuentes.

DISCUSIÓN

Ambiente físico y químico

De acuerdo con Henao (1987), los valores de transparencia Secchi mayores a 1,6 m indican un ecosistema en estado de oligotrofia, entre 1,6 y 0,8 m, el estado es mesotrófico y cuando son menores a 0,8 m la condición es de eutrofia. Los resultados de esta variable (Tabla 1) muestran que la mayoría de los humedales se ubican en el rango intermedio, es decir, son mesotróficos, a excepción de La Herrera, Suesca y La Muralla, que presentan transparencias bajas, lo que indica un estado eutrófico.

El valor de saturación de oxígeno ideal para cada altura y temperatura debe ser del 100%. Por debajo de este porcentaje se dice que el agua está subsaturada y por encima sobresaturada de oxígeno (Roldán, 1992). Los porcentajes obtenidos muestran que los humedales tienen condiciones de subsatu-

ración, con valores por debajo del 55% (Sisga) e incluso de tan solo un 11,34% (La Herrera) o un 9,13% (Gualí) (Tabla 1). La baja concentración de oxígeno en estos ambientes puede estar provocada por una alta presencia de materia orgánica, cuya descomposición consume este gas, lo cual produce una desoxigenación en el agua (Roldán, 1992).

El amonio y los nitritos se encuentran en concentraciones aceptables para las comunidades acuáticas. Los nitratos por su parte, estuvieron por debajo del límite de detección del método utilizado en los humedales Sochagota, El Hato, Gatillo 1 y Meridor, pero fueron elevados (hasta 10 mg/L) en La Herrera, La Copa, Gualí, Suesca, Sisga y La Muralla, sistemas que serían de estado trófico muy elevado de acuerdo con la clasificación de Vollenweider (Citado por Roldán, 1992). Las concentraciones de fósforo soluble en los

humedales estudiados fueron siempre altas (0,25 y mayores a 3,0 mg/L, Tabla 1), lo que los ubica por encima en el rango de eutrofia e hipereutrofia. Cuando los ortofosfatos son inferiores a 0,0073 mg/L, el cuerpo de agua se encuentra en un estado de oligotrofia, entre 0,0074 y 0,0013 mg/L en mesotrofia y cuando es mayor a 0,014 mg/L, es eutrófico (Henao, 1987).

Estas interpretaciones tróficas de los humedales con base en los nutrientes medidos se deben tomar con precaución, ya que dichas determinaciones se realizaron con kits colorimétricos de muy bajo poder de resolución. Por lo tanto, las clasificaciones propuestas con base en los nutrientes son sólo una aproximación al verdadero estado de estos humedales. Por otra parte, también se debe tener presente que estas tipificaciones se desarrollaron para otras latitudes y podrían no ser del todo adecuadas. Además, no se debe olvidar que sólo se realizó un muestreo en cada humedal, por lo que las variaciones estacionales debidas a los periodos climáticos no se consideran. A pesar de estas limitaciones, parece claro que el estado trófico se inclina a ser alto o muy alto en la mayoría de los casos.

La tendencia a altas concentraciones de nutrientes en la mayoría de los humedales considerados puede deberse a que en la provincia andina se congrega la mayor población del país. Por esta razón las cuencas hidrográficas de esta región son las más afectadas por la contaminación (CAR, sin fecha, A) a causa de la actividad antrópica, que se centra en la agricultura, la ganadería, el urbanismo y la industria (CAR, sin fecha, B). Estas actividades aportan nutrientes a los ecosistemas acuáticos, especialmente fósforo, a través de los fertilizantes y detergentes utilizados, así como por los residuos producidos por la industria (Roldán, 1992).

Según el ACP (Figura 1), las concentraciones de nutrientes en los humedales del altiplano no sólo son las que mejor explican el agrupamiento de estos ecosistemas, sino que son los parámetros que tiene mayor incidencia sobre la condición química de sus aguas debido a sus valores tan elevados. A pesar de las limitaciones de los análisis de nutrientes señaladas anteriormente, el ACP deja ver un agrupamiento claro de los humedales de acuerdo con su grado de enriquecimiento y a la cantidad de oxígeno disuelto y la transparencia del agua. La Herrera, Gualí y La Muralla forman un grupo caracterizado por su alto contenido de fosfatos y amonio, así como por una baja concentración de oxígeno y una menor penetración de la luz. Estos tres humedales presentan un avanzado grado de contaminación y eutroficación debido a que sus afluentes principales les descargan grandes cantidades de estos nutrientes y de materia orgánica que provoca la desoxigenación de sus aguas.

La laguna La Herrera, por ejemplo, es alimentada por el río Bojacá que presenta contaminación por residuos orgánicos, lo cual se evidencia en su baja concentración de oxígeno. Este río le aporta gran cantidad de aceites, basuras y materia orgánica (Beltrán, 1978). La Herrera comparte con el humedal Gualí el bombeo de las aguas de la estación Chicú, que posee una carga orgánica suficiente para acelerar el proceso de eutrofización, con la consecuente generación de aguas anóxicas (Toro, 1994). El humedal La Muralla también presenta una alta contaminación en su principal fuente hídrica, el río Soacha (CAR, sin fecha, C).

Sochagota y Suesca fueron los humedales más alcalinos, lo cual puede deberse a que presentaron florecimientos algales que posiblemente consumieron el CO_2 disuelto en el agua durante el proceso de fotosíntesis.

Esto da como resultado un desplazamiento del sistema carbonatos del agua hacia la zona alcalina, es decir, ocurre un incremento en el pH (Payne, 1986; Roldán, 1992; Ramírez y Viña, 1998). La Copa, en contraste, tuvo un registro de 4,5 unidades, muy ácido y comparable al pH de los lagos de turberas de los páramos andinos que poseen valores entre 4,0 y 5,0 (Gaviria, 1993). Este bajo pH en La Copa pudo presentarse por dos posibles razones: un predominio de CO₂ libre y de ácido carbónico (Lampert y Sommer, 1997), el cual ya había sido registrado en la cuenca de este embalse (Medina, 1977), o porque el suelo de este embalse es de carácter ácido. La acidez proveniente del suelo puede generarse entonces por una alta concentración de compuestos húmicos, lo que origina un pH del agua generalmente bajo (Gaviria, 1993). La comprobación de estas hipótesis deberá abordarse en estudios futuros.

Los humedales más transparentes son también los mejor oxigenados (Sisga, Meridor, El Hato y Gatillo). Esto puede ser una indicación de un menor enriquecimiento con nutrientes, que sin llegar a la oligotrofia, les confiere a estos ecosistemas mejores condiciones limnológicas.

COMUNIDADES FITOPLANCTÓNICAS

Las divisiones fitoplanctónicas más representativas fueron Cyanophyta, Chlorophyta y Euglenophyta. Las dos primeras presentan algas que son bioindicadoras de ecosistemas en estado de meso a eutrofia (Pinilla, 2000) y la última se encuentra normalmente en cuerpos de agua ricos en materia orgánica (Ramírez, 2000).

Las especies más abundantes de los humedales (Figura 2) fueron indicadoras biológicas del estado o proceso en que se encontraron estos cuerpos de agua. Así, de

acuerdo con la compilación bibliográfica de Pinilla (2000), los géneros algales *Microcystis*, *Dactylococcopsis* y *Chlorella*, indican un proceso de eutrofia. Como bioindicadores de meso a eutrofia se encontraron los géneros *Closterium* y *Anabaena* y las especies *Oscillatoria clorina* y *Trachelomonas volvocina*. Aunque ésta última se encuentra en todo tipo de ambientes, parece tener una mayor representatividad en sistemas con niveles de trofia elevados (Tell y Conforti, 1986). El género *Lepocinclis*, por su parte, es indicador de presencia de materia orgánica en el ecosistema mientras que el género *Chlorococcum* parece tener preferencia por aguas poco profundas y turbias, así como por ecosistemas lacustres eutróficos e influenciados por la actividad humana (Palmer, 1962, citado por Ramírez, 2000).

En general, la bioindicación mediante el fitoplancton muestra que los humedales del altiplano cundiboyacense se encuentran en estados que van de la meso y eutrofia hasta la hipereutrofia. Esto puede ser ocasionado en parte por las características geológicas de la cuenca, ya que los minerales y nutrientes en los suelos pueden llegar a los cuerpos de agua a través de los tributarios. No obstante, son más determinantes las acciones antrópicas que causan incrementos en las tasas de entrada de nutrientes a los ecosistemas acuáticos. Ejemplos de estas actividades son las descargas urbanas, industriales y agropecuarias y los procesos de remoción de tierras, deforestación y alteración de la escorrentía (Ramírez y Viña, 1998). Por otra parte, debe tenerse en cuenta que la condición normal de sistemas como los humedales estudiados es ser ricos en materia orgánica y nutrientes, ya que tienden a acumular estos elementos en forma natural. En la mayoría de los casos los humedales funcionan como sistemas que procesan los nutrientes y la materia orgánica que se deposita en ellos (Findlay *et al.* 2002).

Estudios similares, como el de Pino (1995), han determinado el estado trófico de los sistemas lénticos altoandinos con base en el fitoplancton. Este autor ha encontrado que el embalse del Neusa, por ejemplo, presenta tendencia a la mesotrofia mientras que el de Tominé tiene condiciones de eutrofia, particularmente evidenciada por la presencia de un alto número de individuos del género *Anabaena* en la época de baja precipitación y de *Melosira granulata* en la temporada de lluvias. Como puede verse, ciertas algas están asociadas a una alta concentración de nutrientes en la columna de agua debido a sus adaptaciones morfológicas y fisiológicas, lo que les permite superar numéricamente a las demás especies bajo condiciones eutróficas (Reynolds, 1997).

Del conjunto de humedales en que, según el ACD, predominan las cianobacterias y otras especies indicadoras de meso a eutrofia (Sisga, Gatillo, Sochagota, Gualí y

La Muralla), los tres primeros tienen las condiciones de menores nutrientes, más oxígeno y mayor transparencia del agua, lo cual es coherente con lo esperado en aguas con menor carga de nutrientes y materia orgánica. Es posible suponer que la preponderancia de las cianobacterias podría señalar cierta tendencia a que se presente limitación por nitrógeno en estos ecosistemas, ya que este grupo se ve favorecido en tales circunstancias (Margalef, 1983).

Los humedales en que fueron más importantes las euglenófitas fueron La Herrera, El Hato, La Copa y Meridor. Este conjunto agrupa tanto ambientes hipereutróficos y desoxigenados (La Herrera), como sistemas con menores cargas de nutrientes, más oxígeno y mayor transparencia del agua (El Hato). Esto parece indicar que las euglenófitas pueden estar influenciadas, además de la cantidad de materia orgánica, por otras características de los ecosistemas, como la

Tabla 3
Estado trófico determinado para los humedales del altiplano cundiboyacense según algunas características físicas, químicas y biológicas.

Humedales	Disco Secchi	Fosfatos	Fitoplancton	Síntesis
La Herrera	E	H	E	H
Sochagota	M	E	E	E
La Copa	M	E	M – E	M-E
El Hato	M	E	E	E
Gualí	M	H	E	E
Gatillo 1	M	E	M – E	M-E
Suesca	E	E	E	E
Sisga	M	E	O – M	M
Meridor	M	E	E	E
La Muralla	E	H	M – E	E

H = Hipereutrofia E = Eutrofia M = Mesotrofia O = Oligotrofia

estabilidad de la columna de agua. Este grupo de algas prefiere ambientes tranquilos y de poca mezcla (Ramírez, 2000). La dominancia de las especies de *Chlorella* en Suesca, en donde tuvieron florecimientos notorios, puede ser la causa del agotamiento del CO₂ en esta laguna y por tanto de las condiciones alcalinas de sus aguas. Igualmente, este género es característico de ambientes eutróficos e incluso hipereutróficos, lo que permite deducir el estado de deterioro en que se encuentra este humedal.

Un análisis conjunto de todas las variables físicas y químicas, así como de la composición biológica, permite deducir que la mayoría de los humedales estudiados se encuentran en un estado de eutrofia, y que algunos inclusive ya presentan condiciones de hipereutrofia (Tabla 3). Esto evidencia la tendencia normal de estos ecosistemas a ser ricos en nutrientes y materia orgánica, pero posiblemente también señala la alteración antrópica de las cuencas de la región. Debido al incremento de las actividades humanas, la provincia andina presenta ambientes acuáticos en proceso de deterioro, con profundas modificaciones, entre las que se encuentran la polución, la contaminación y la fragmentación. En resumen la mayoría de los cuerpos de agua de esta región presentan un estado trófico alto, generalmente de eutrofia o de hipereutrofia, tal como lo habían propuesto Duque y Donato (1992). El orden de menor a mayor estado trófico de los humedales estudiados sería: Sisga, La Copa, Gatillo 1, Sochagota, Meridor, El Hato, Suesca, Gualí, La Muralla y La Herrera.

CONCLUSIONES

Los humedales del altiplano cundiboyacense presentan altos niveles tróficos, posiblemente debido a la fuerte presión antrópica a la que están sometidos. Esta

influencia humana ocasiona un aumento en algunos nutrientes, principalmente en fósforo, y en la carga de materia orgánica en las cuencas de la región.

La mayoría de los humedales presentaron bajos contenidos de oxígeno, originados probablemente por la descarga de materia orgánica. Esto conlleva al desequilibrio en los ecosistemas y la generación de condiciones reductoras adecuadas para la liberación de nutrientes, la proliferación de bacterias anaeróbicas y la formación de efectos indeseados como malos olores y deterioro de la calidad del agua.

Los géneros de microalgas más abundantes en los humedales del altiplano, tales como *Microcystis* y *Scenedesmus*, y las especies *Trachelomonas volvocina* y *Dactylococcopsis acicularis*, fueron bioindicadores de los procesos de meso a eutrofia que presentan estos cuerpos de agua.

Las especies fitoplanctónicas más representativas por su abundancia, fueron distintas en cada uno de los humedales, debido a las variaciones en el estado trófico que presentaron los cuerpos de agua, así como a las diferentes condiciones ecológicas ocasionadas por las características particulares de las áreas en que se encontraba cada humedal.

En general, la división Cyanophyta fue la más representativa para los humedales estudiados, seguida de las divisiones Chlorophyta y Euglenophyta. Esto evidencia los procesos de eutrofia que sufren estos ecosistemas, así como la presencia de materia orgánica en los cuerpos de agua. Se presentaron altas proliferaciones algales en los humedales Sochagota, Suesca y La Muralla, que posiblemente estuvieron asociadas a la alta concentración de nutrientes. Estos florecimientos pudieron ocasionar un aumento de la alcalinidad de estos ambientes.

AGRADECIMIENTOS

Este estudio estuvo enmarcado dentro del Proyecto Andes - Conservación y uso sostenible de biodiversidad en los Andes colombianos a cargo del Instituto de Investigación en Recursos Biológicos Alexander von Humboldt, en el componente Caracterización biofísica del altiplano cundiboyacense, ejecutado por la Pontificia Universidad Javeriana. Los autores agradecen a la Pontificia Universidad Javeriana por la posibilidad de participar en este proyecto y en especial a los miembros del proyecto altiplano por la colaboración durante la ejecución de este estudio. También al Laboratorio de Limnología de la Universidad Jorge Tadeo Lozano, por el préstamo de sus instalaciones para la observación de las muestras y la obtención de material bibliográfico.

LITERATURA CITADA

- BELTRÁN, A. 1978. *Monografía de la cuenca hidrográfica del río Andes-Checuabojacá como contribución a la enseñanza de la ecología*. Trabajo de grado. Universidad Nacional de Colombia, Bogotá, Colombia.
- Corporación Autónoma Regional - CAR, A. sin fecha, A. *Inventario y diagnóstico de los recursos naturales renovables del área jurisdiccional de la CAR: flora y vegetación*. Ecoforest, Bogotá, Colombia, 197 págs.
- Corporación Autónoma Regional - CAR, B. sin fecha, B. *Inventario y diagnóstico de los recursos naturales renovables del área jurisdiccional de la CAR: suelos*. Ecoforest, Bogotá, Colombia, 130 págs.
- Corporación Autónoma Regional - CAR, C. sin fecha, C. *Plan de manejo ambiental municipal: Soacha*. CAR, Bogotá, Colombia, s.p.
- CORTÉS, F. 1991. *Determinación de las comunidades fitoplanctónicas en la laguna de Guatavita y su vegetación adyacente, Cundinamarca-Colombia*. Trabajo de grado. Universidad de Bogotá Jorge Tadeo Lozano, Bogotá, Colombia.
- DONATO, J.; DUQUE, S. 1986. *Estructura y dinámica del fitoplancton de la laguna de Fúquene, Cundinamarca, Colombia*. Trabajo de grado. Universidad Nacional de Colombia, Bogotá, Colombia.
- DONATO, J.; GONZÁLEZ, L. & RODRÍGUEZ, C. 1996. *Ecología de dos sistemas acuáticos de páramo*. Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales. Bogotá, Colombia. 164 págs.
- DUQUE, S.; DONATO, J. 1992. Biología y ecología del fitoplancton de las aguas dulces en Colombia. Pontificia Universidad Javeriana, *Cuadernos divulgativos* 35: 1-21.
- FINDLAY, S.; KIVIAT, E.; NIEDER, CH. & BLAIR, E. 2002. Functional assessment of a reference wetland set as a tool for science, management and restoration. *Aquatic Sciences* 64: 107-117.
- GAVIRIA, S. 1993. Aspectos limnológicos de las lagunas de Chingaza. En: Andrade (ed.). *Carpanta selva nublada y páramo*. Fundación Natura. Bogotá, Colombia, 189-205.
- GONZÁLEZ, A. 1988. El plancton de las aguas continentales. *Secretaría General de la Organización de los Estados Americanos*. Monografía 33, 130 págs.

- HENAO de U., A. 1987. El disco secchi y el estado trófico. *Revista Ainsa* 12: 67-79.
- KOMÁREK, J. & ANAGNOSTIDIS, K. 1999. *Cyanoprokaryota 1 Teil: Chroococcales*. Serie SüBwasserflora von Mitteleuropa Band 19/1. 548 págs.
- KUSLER, J.A.; MITSCH, W.J. & LARSON, J. S. 1994. Humedales. *Investigación y ciencia* 210: 6-13.
- LAMPERT, W. & SOMMER, U. 1997. *Limnoecology: the ecology of lakes and streams*. Oxford University. New York, USA. 382 págs.
- LÓPEZ, W. 1999. *Caracterización del fitoplancton de la ciénaga de Guarinocito (Caldas, Colombia)*. Tesis de magíster. Universidad de los Andes, Bogotá, Colombia.
- LUND, J.W.; KIPLING, C. & LE CREEN, E.D. 1958. The inverted microscope method of estimating algal number and the statistical basis of estimations by counting. *Hydrobiologia* 11: 143-170.
- MARGALEF, R. 1983. *Limnología*. Omega. Barcelona, España. 1010 págs.
- MEDINA, J. 1977. *Contribución al estudio del estado de contaminación del río Chicamocha*. Trabajo de grado. Universidad Nacional de Colombia, Bogotá, Colombia.
- Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial. 2002. *Política nacional para humedales interiores de Colombia: estrategias para su conservación y uso sostenible*. MAVDT. Bogotá, Colombia, 67 págs.
- ORTEGA-MAYAGOITIA, E. & ROJO, C. (2000). Fitoplancton del Parque Nacional Las Tablas de Daimiel. III. Diatomeas y clorofitas. *Anales Jardín Botánico de Madrid* 58(1): 17-37.
- PARRA, O.; GONZÁLEZ, M. & DE LA ROSSA, V. 1983. *Chlorophyceae Parte I: Volvocales, Tetrasporales, Chlorococcales y Ulothricales*. Universidad de Concepción. Concepción, Chile. 151 págs.
- PAYNE, I. 1986. *The ecology of tropical lakes and rivers*. John Wiley, New Cork, 310 págs.
- PINILLA, G. 2000. *Indicadores biológicos en ecosistemas acuáticos continentales de Colombia: compilación bibliográfica*. Fundación Universidad de Bogotá Jorge Tadeo Lozano. Bogotá, Colombia. 67 págs.
- PINO, J.C. 1995. *El fitoplancton y el estado trófico de los embalses de Chuza, Neusa y Tominé (Cundinamarca, Colombia)*. Trabajo de grado. Universidad de Bogotá Jorge Tadeo Lozano, Bogotá, Colombia.
- POPOVSKY, J. & PFIESTER, L. 1990. *Dynophyceae (Dinoflagellida)*. Serie SüBwasserflora von Mitteleuropa Band 6, 272 págs.
- RAMÍREZ, A. 1999. *Ecología aplicada: diseño y análisis estadístico*. Fundación Universidad de Bogotá Jorge Tadeo Lozano. Bogotá, Colombia, 325 págs.
- RAMÍREZ, M.E. 1993. *Contribución al estudio del fitoplancton en el embalse de Betania - Huila*. Trabajo de grado. Universidad Nacional de Colombia, Bogotá, Colombia.
- RAMÍREZ, A. & VIÑA, G. 1998. *Limnología colombiana: aportes a su conocimiento*

- to y estadística de análisis. Fundación Universidad de Bogotá Jorge Tadeo Lozano. Bogotá, Colombia, 293 págs.
- RAMÍREZ, J. 2000. *Fitoplancton de agua dulce: bases ecológicas, taxonómicas y sanitarias*. Universidad de Antioquia. Medellín, Colombia, 207 págs.
- REYNOLDS, C.S. 1997. *Vegetation processes in the pelagic: a model for ecosystem theory*. Ecology Institute, Germany, 371 págs.
- ROLDÁN, G. 1992. *Fundamentos de limnología neotropical*. Universidad de Antioquia. Medellín, Colombia. 529 págs.
- SEIP, K.L. & REYNOLDS, C.S. 1995. Phytoplankton functional attributes along trophic gradient and season. *Limnology and Oceanography* 40(3): 589-597.
- TELL, G. & CONFORTI, V. 1986. *Euglenophyta pigmentadas de la Argentina*. Bibliotheca Phycologica. Band 75. Gebruder Borntraeger Verlagsbuchhandlung, Stuttgart. 301 págs.
- TORO, M. 1994. *Estudio limnológico de la laguna La Herrera: diagnóstico biológico en relación con las condiciones fisicoquímicas*. CAR. Bogotá, Colombia, 41 págs.
- WHITFORD, L.A. & SHUMACHER, G.J. 1969. *A manual of fresh water algae in North Carolina*. The Agricultural Experiment Station. North Carolina, USA. 313 págs.
- Recibido: 14.11.2005
Aprobado: 31.08.2006

