

# Las macrófitas de algunos lagos alto-andinos del Ecuador y su bajo potencial como bioindicadores de eutrofización

Benjamin Kiersch, Ralf Mühleck<sup>†</sup> & Günter Gunkel

Universidad Técnica de Berlin, Departamento de Manejo de la Calidad de Agua, Strasse des 17. Juni 135, Sekr. KF 4, 10623 Berlin, Alemania. kiersch@gmx.de; gunkel@itu206.ut.tu-berlin.de

Recibido 05-V-2002. Corregido 18-I-2003. Aceptado 03-III-2003.

**Abstract: Macrophytes from some high Andean lakes of Ecuador and their low potential as bioindicators of eutrophication.** The occurrence of macrophyte in three high Andean lakes of Ecuador, Lago San Pablo, Laguna La Mica and Lago Cuicocha was recorded in 5-9 transects per lake. The first two lakes are eutrophic, the third is an extremely oligotrophic caldera lake. The dominant species in eutrophic lakes are *Ceratophyllum demersum*, *Myriophyllum quitense*, *Potamogeton illinoensis*, *P. striatus* and *Elodea matthewsii*. In the oligotrophic lake *P. pectinatus*, *P. illinoensis*, and the Characeae *Chara rusbyana*, *Ch. globularis* and *Nitella acuminata* occur. The maximum depth of the macrophyte's presence can be used as an indicator of the trophic state, ranging from about 5 m in Mica to 35 m in Cuicocha. The bioindication value of the macrophyte species in these high Andean lakes is low, because few species occur and because some of them are not specific to environmental conditions. Rev. Biol. Trop. 52(4): 829-837. Epub 2005 Jun 24.

**Key words:** Limnology, macrophyte, high mountain lakes, bioindicator, Latin America, Ecuador.

La influencia de la concentración de los nutrientes fósforo y nitrógeno sobre el desarrollo de las plantas acuáticas es conocida desde hace mucho tiempo (Margalef 1983, Pérez 1992). Se ha podido determinar que un aumento en la concentración de estos nutrientes determina un cambio significativo en la vegetación acuática de los lagos afectados (Lachvanne *et al.* 1982, Ozimek y Kowalczeski 1984). Melzer (1999) estableció un sistema de bioindicadores con plantas acuáticas para los lagos de Alemania, con el cual se puede evaluar el estado trófico de un lago o una zona del mismo. Muchas investigaciones han demostrado la relación existente entre los parámetros ambientales y la presencia de macrófitas (Carpenter y Lodge 1986), existiendo especies con un valor importante como bioindicadores (Pip 1987, Husák *et al.* 1989, Cimdins *et al.* 1995). Hay que anotar, que la mayor parte de estos trabajos han sido llevados a cabo en lagos de zonas templadas.

Existen pocos datos sobre estudios de lagos en las zonas tropicales de América Latina, por este motivo es necesario realizar nuevos trabajos de investigación en la limnología tropical.

El presente estudio se desarrolló en la zona Andina del Ecuador, conocida localmente como Sierra. El objetivo de la investigación es el de determinar los factores que influyen en el establecimiento de las macrófitas y poder en el futuro llegar a establecer un sistema de bioindicadores propios para la zona Andina. Las ventajas del sistema radican en la rapidez con que se pueden obtener informaciones relevantes para el análisis del estado trófico de los lagos y reducir los costos debidos los análisis químicos.

## MATERIALES Y MÉTODOS

**Sitio de estudio:** Los tres lagos estudiados están ubicados en los Andes del Norte del Ecuador, en alturas desde 2600 hasta los

4000 msnm. Debido a la altura y a la latitud cercana a la línea del ecuador, la intensidad de la radiación solar es muy alta, y no hay presencia de cambios estacionales tal como ocurre en las zonas meridionales. Los lagos con una gran profundidad son de tipo monomítico como consecuencia del periodo seco y de los fuertes vientos que se presentan desde junio hasta septiembre (Gunkel 2000).

El Lago San Pablo se encuentra en la falda del volcán Imbabura a una altura de 2660 msnm. Tiene una superficie de 583 ha y una profundidad máxima de 35 m, la profundidad media es de 26 m (Gunkel 2003). El río Itambi es un afluente permanente, y aporta el 90% de las entradas de agua. En los alrededores del lago viven cerca de 20 000 habitantes, cuya principal actividad es la agricultura que se desarrolla sobre los terrenos escarpados de las montañas aledañas, hecho que promueve la erosión del suelo.

Las aguas del Lago San Pablo cubren diversas necesidades de la población: el uso doméstico (lavado de ropas, aseo personal), como abrevadero, actividad pesquera y turística y además, como depósito de aguas servidas.

El Lago Cuicocha esta ubicado en la caldera del volcán activo del mismo nombre a 3064 msnm, tiene una superficie de 373 ha, sus orillas están formadas por declives escarpados, que en algunos lugares caen casi verticalmente desde alturas de 340 m sobre la superficie. La profundidad máxima del lago no ha sido establecida. Giggenbach *et al.* (1992) tomaron muestras de agua a una profundidad de 149 m. El único afluente es la Quebrada Chumabi que no aporta agua permanentemente. En las cercanías del lago viven unos 600 habitantes, la mayor parte habita en las afueras de la cuenca del lago, influyendo poco sobre el ecosistema. Muchos turistas visitan el lago, pero la influencia del turismo sobre el ecosistema parece de baja importancia.

La Laguna La Mica está ubicada en la zona del páramo al sudoeste del volcán Antisana, a 3900 msnm, tiene una superficie de 222 ha y una profundidad máxima de 25 m. Los ríos Sarpache y el Alambrado son los dos afluentes

más importantes. La región es poco poblada y es parte de la reserva ecológica del Antisana. El único uso de la laguna es la pesca deportiva de truchas. En los últimos años, después del presente estudio, la Empresa Municipal de Alcantarillado y Agua Potable de Quito (EMAAP-Q) construyó un embalse de agua potable ocasionando que el espejo de agua suba 15 m.

**Determinación de la presencia de macrófitas:** Se definieron transectos dirigidos desde la orilla hacia el centro de cada lago (entre cinco y nueve transectos), en sitios clave tales como afluentes, efluentes, litoral poco profundo y litoral profundo. Desde un punto señalado en la orilla y a lo largo de un transecto, se estableció la distancia hasta la orilla con ayuda de una cuerda con escala en metros. La profundidad se determinó con un cable marcado en metros, en cuyo extremo fue fijado un peso. En los lugares en donde el sedimento era visible desde la superficie, las observaciones se realizaron con una caja dotada con fondo de vidrio. En dichos lugares se estimó la frecuencia de las plantas según la superficie cubierta (1 = 1-20%, 2 = 21-40%, 3 = 41-60%, 4 = 61-80%, 5 = 81-100%). En las otras zonas se realizaron extracciones de las macrófitas con ayuda de un muestreador en forma de ancla invertida. Se hicieron cinco lanzamientos en cada lugar de muestreo y se estableció la presencia de cada especie del total de los muestreos.

En la determinación de la influencia de los sedimentos sobre el desarrollo de las macrófitas, se tomaron tres muestras de sedimento en cada transecto: a una distancia de hasta 1 m de la orilla; más adentro y en la zona de la máxima profundidad donde aún se encontraron plantas. Para este trabajo se utilizó un muestreador de sedimentos tipo Ekman. Las muestras obtenidas fueron secadas para la determinación del peso seco. Análisis posteriores se realizaron en los laboratorios de la Universidad Técnica de Berlín: Pérdida de materia orgánica por calcinación (550°C, durante 1 hora), contenido de  $C_{total}$  y  $N_{total}$  (anализador de C/N NA 1500, FISOONS), y el contenido de  $P_{total}$  (digestión en autoclave y determinación espectrofotométrica).

También se analizaron muestras de agua tomadas en la zona central de cada lago a diferentes profundidades. Las determinaciones de conductividad y temperatura fueron realizadas inmediatamente en el campo, con un instrumento tipo LF 95 (WTW). Las determinaciones de oxígeno disuelto (método Winkler), el valor del pH y de los contenidos de fosfato, nitrato, nitrito y amonio se hicieron en los laboratorios de EMAAP-Quito. En todos los lagos se estableció la transparencia del agua con ayuda de un disco Secchi.

La identificación de los ejemplares de macrófitas recolectados se basó en los manuales de Cook *et al.* (1974), Velásquez (1994) y Harling y Sparre (1973). Además, se utilizaron las descripciones específicas para las especies de Characeae (Wood y Imahori 1964, 1965, Guerlesquin 1981), Azollaceae (Slocum y Robinson 1997), Hydrocharitaceae (Holm-Nielson y Haynes 1986), Potamogetanaceae (Holm-Nielson y Haynes 1986a) y Pontederiaceae (Horn 1987).

## RESULTADOS

**Análisis del agua:** Según Gunkel (2000) durante el período de estratificación (desde septiembre hasta mayo) en el epilimnion del Lago San Pablo se encuentra fósforo reactivo soluble ( $\text{PO}_4^{3-}\text{-P}$ ) en concentraciones promedio de 0.07 mg/l (reacciones estándar  $\sigma = 0.02$  mg/l) y de 0.11 mg/l de fósforo total ( $\sigma = 0.02$ ). En el hipolimnion se alcanzan valores de hasta 0.29 mg/l  $\text{PO}_4^{3-}\text{-P}$  y de hasta 0.60 mg/l  $\text{P}_{\text{total}}$ . En la temporada de estratificación existe un ambiente anaeróbico en el hipolimnion. La transparencia del disco Secchi oscila entre 2.5 a 4 m. Debido a su similitud con los lagos fríos de la zona templada, el Lago San Pablo puede ser clasificado como lago eutrófico, de acuerdo con los modelos de la OECD y de Vollenweider (Gunkel 2000).

Durante el período de mezcla (de junio a agosto) en general se puede afirmar que la columna de agua está bien mezclada y se pueden encontrar concentraciones de fósforo

reactivo soluble hasta de 0.15 mg/l  $\text{PO}_4^{3-}\text{-P}$ . Las concentraciones de nitrógeno son comparativamente bajas (menores de 0.3 mg/l  $\text{NH}_4^+\text{-N}$  y 0.5 mg/l  $\text{NO}_3^-\text{-N}$ ). Durante el período de mezcla el contenido de  $\text{NO}_3^-\text{-N}$  puede subir hasta 3 mg/l.

La Laguna La Mica puede ser clasificada también como eutrófica. Las concentraciones promedio son:  $\text{PO}_4^{3-}\text{-P} = 0.067$  mg/l ( $\sigma = 0.013$  mg/l);  $\text{NO}_3^-\text{-N} = 0.6$  mg/l ( $\sigma = 0.08$  mg/l);  $\text{NH}_4^+\text{-N} = 0.248$  mg/l ( $\sigma = 0.15$  mg/l). La relación N/P se encuentra entre 10:1 y 15:1, por lo cual la concentración de fósforo podría actuar como factor limitante en la producción primaria. La transparencia con disco Secchi se encuentra entre 2 y 4 m. En esta laguna no se presentan estratificaciones. El carácter polimíctico de la misma impide que se produzcan condiciones anaeróbicas. Las razones para la eutrofización son desconocidas. Probablemente se pueda descartar la actividad humana como factor importante porque esta región es poco poblada.

En los años 1977 y 1981 Steinitz-Kannan *et al.* (1983) realizaron un análisis del agua del Lago Cuicocha, obteniendo valores de fósforo y nitrógeno típicos para lagos oligotróficos. La transparencia con disco Secchi llega a la profundidad de 19.5 m, siendo esto un indicador de su situación oligotrófica. No existe una estratificación en el lago debido a que los resultados de Giggenbach *et al.* (1992) comprueban que los parámetros físico-químicos de las muestras tomadas a 149 m de profundidad no son significativamente diferentes de las muestras de la superficie. Son notables los altos valores de la conductividad (780-790  $\mu\text{S/cm}$ ). La hidrología del lago puede dar una explicación para este fenómeno, pues no tiene un desagadero y la evaporación parece ser la única vía de pérdida de agua.

**Análisis del sedimento:** La mayoría de las muestras de sedimento obtenidas en el Lago San Pablo son de carácter orgánico, con un contenido promedio de agua de 87.3%,  $\sigma = 5.0\%$  y una pérdida por calcinación del sedimento seco de más del 10%. Cerca del afluente se encuentran sedimentos de carácter mineral con contenidos promedio de agua de 45.7% ( $\sigma = 5.8\%$ ) y una

pérdida por calcinación menor al 10%. La concentración promedio de  $P_{total}$  es de 0.60 g/kg, y la de  $N_{total}$  es de 5 g/kg. La relación  $N_{total}/P_{total}$  tiene un valor medio de 7.3:1, esto es sin tener en cuenta los sedimentos del afluente (0.5:1) y el desagadero (35:1). Esta relación no podría indicar un factor limitante para la producción primaria. Todos los sedimentos litorales mostraron condiciones aeróbicas. No hay indicios que permitan establecer, si las características del sedimento influyen sobre la profundidad máxima a la cual las macrófitas se pueden desarrollar.

La mayoría de las muestras de sedimentos de la zona litoral de la Laguna La Mica son de carácter orgánico, con las concentraciones de nitrógeno y fósforo más altas que en los sedimentos del Lago San Pablo. Estas concentraciones son particularmente altas en el sedimento de la desembocadura del Río Sarpache (4 420 mg/kg para  $N_{total}$  y 4 560 mg/kg para  $P_{total}$ ), confirmando que el Río Sarpache es la fuente más importante de fósforo en esta laguna. La relación  $N_{total}/P_{total}$  es variable y oscila entre 6:1 y 49:1. En el sedimento de la laguna, el fósforo podría ser el factor limitante para el desarrollo de la vegetación.

En la mayoría de los transectos del Lago Cuicocha fue imposible sacar muestras del sedimento a causa de la densa vegetación de macrófitas impidiendo establecer las características del mismo.

### Vegetación acuática

**Lago San Pablo:** En el Lago San Pablo existen extensas zonas cubiertas por una vegetación densa de macrófitas, las cuales alcanzan, en algunos casos, un par de metros de altura desde el nivel del sedimento. La única excepción se presenta en la desembocadura del Río Itambi, donde el sedimento esta libre de macrófitas. Las especies dominantes son: *Ceratophyllum demersum*, *Myriophyllum quitense*, *Potamogeton illinoensis* y *Potamogeton striatus* (Cuadro 1). La profundidad máxima para el crecimiento de las macrófitas oscila entre 4.7 y 7.7 m, con un promedio de 6.5 m (Fig. 1).

*C. demersum* está presente en casi todo el lago, formando un espeso colchón vegetal a una profundidad de 3-6 m. Casi siempre la especie se extiende hasta la profundidad máxima de macrófitas. *M. quitense* crece en casi todo el lago, dominando las zonas menos profundas hasta los 4 m. Excepto en dos transectos *P. illinoensis* se puede encontrar en todas las zonas del lago, prefiriendo profundidades de 3-6 m. *P. striatus* también es una planta corriente en el Lago San Pablo, con una biomasa máxima desarrollada entre 1-2 m de profundidad. En la región del desagadero hay zonas extensas con *Schoenoplectus tatora*, en el resto del lago esta planta está presente sin alcanzar a ser dominante. Solo en la zona donde los habitantes suelen lavar ropa y existen sedimentos pedregosos, se encontraron pocos ejemplares de *C. demersum*. Otras plantas de menor importancia que existen en el Lago San Pablo son: *Elodea matthewsii*, *Hydrocotyle ranunculoides*, *Lemna minor*, *Azolla caroliniana*, *Potamogeton pusillus* y *Nitella flexilis*. Cabe destacar que *P. pusillus*

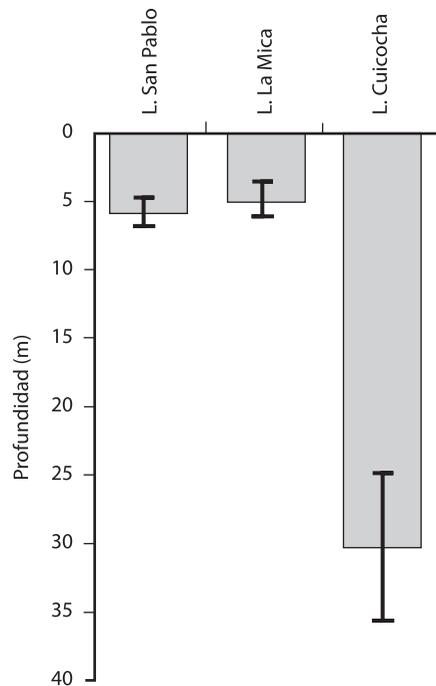


Fig. 1. Profundidades máximas de las macrófitas en el Lago San Pablo, Lago Cuicocha y la Laguna La Mica.

CUADRO 1  
*Macrófitas presentes en lagunas alto-andinas de Ecuador*

TABLE 1  
*Macrophytes recorded in high Andean lakes from Ecuador*

Clase/Familia	Especies	Lago San Pablo	Laguna La Mica	Laguna Cuicocha
Charophyta:				
Characeae	<i>Chara rusbyana</i>			+
	<i>Ch. globularis</i>			++
	<i>Nitella flexilis</i>	+		
	<i>N. acuminatus</i>			++
Bryophyta:				
Amblystegiaceae	<i>Drepanocladus capillifolius</i>			+
Pteridophyta:				
Azollaceae	<i>Azolla caroliniana</i>	+		
Spermatophyta:				
Apiaceae	<i>Hydrocotyle ranunculoides</i>	+		
Callitricheaceae	<i>Callitriche</i> sp.		+	
Ceratophyllaceae	<i>Ceratophyllum demersum</i>	++		
Cyperaceae	<i>Schoenoplectus tatora</i>	+	+	++
Haloragaceae	<i>Myriophyllum quitense</i>	++	++	+
Hydrocharitaceae	<i>Elodea matthewsii</i>	+	++	
Lemnaceae	<i>Lemna minor</i>	+		
Pontederiaceae	<i>Eichhornia crassipes</i>	+		
Potamogetonaceae	<i>Potamogeton illinoensis</i>	++	++	+
	<i>P. pectinatus</i>			++
	<i>P. pusillus</i>	+		
	<i>P. striatus</i>	++	+	

Nota: + = abundancia baja, ++ = abundancia alta.

fue la única macrófita encontrada en la zona cercana al afluente del Río Itambi. En algunas partes protegidas y pantanosas de la orilla se encontró la *Eichhornia crassipes*, pero únicamente en zonas limitadas.

**Laguna La Mica:** En la Laguna La Mica existen zonas de vegetación densa, sobre todo en la región del desaguadero. La profundidad máxima a la cual se desarrollan las macrófitas oscila entre 3.1-6.5 m y tiene un valor medio de 5 m (Fig. 1).

*M. quitense* domina las zonas poco profundas en toda la laguna hasta los 2 m y forma un espeso colchón vegetal. *E. matthewsii* domina la vegetación acuática en profundidades de 2 m a 6 m (biomasa máxima entre 2-3 m), sin embargo esta ausente de la orilla del desaguadero. *E. matthewsii* crece en grandes cantidades en la zona del afluente, en esta zona sólo

existen ejemplares aislados de otras macrófitas. *P. illinoensis* se desarrolla en todas las zonas de la Laguna La Mica, aunque ligeramente en la zona del afluente, esta especie muestra una distribución irregular porque en la región del desaguadero crece en profundidades entre 0.3-3.5 m, mientras que en otros sitios se la encuentra solo sobre los 0.5 m. Otras dos especies se pueden observar solamente en pocos lugares: *P. striatus* que crece en profundidades de hasta 4.3 m, y *Callitriche* sp. que se puede observar en zonas poco profundas de hasta 1 m.

**Lago Cuicocha:** En el Lago Cuicocha existen las clases de macrófitas Bryophyta y Charophyta que crecen en profundidades de hasta 35 m, las plantas vasculares se encuentran hasta en 14 m. La profundidad máxima para las macrófitas oscila entre 24-35 m, con un promedio de 30 m (Fig. 1).

La biomasa de las macrófitas es dominada por dos grupos: el género *Potamogeton* (*P. pectinatus* y *P. illinoensis*) y las Characeae (*Chara rusbyana*, *Ch. globularis* y *Nitella acuminata*).

*P. pectinatus* crece en grandes cantidades a profundidades entre 2-14 m, con un máximo en la biomasa entre los 4-8 m. En todos los transectos, ésta especie desaparece entre los 11 y 14 m de profundidad. *P. illinoensis* no fue encontrada en la zona de las islas, pero está presente en todos los otros transectos. Esta macrófita extiende sus raíces a profundidades de 2-8 m. La *Ch. globularis* se encuentra entre los 8 y 30 m y domina la vegetación entre los 12 y 22 m, tiene un máximo de biomasa en las profundidades de 12-16 m. La *Ch. rusbyana* se encuentra en las profundidades de 27-29 m. La *N. acuminata* es la única especie que alcanza la máxima profundidad de 35 m en el Lago Cuicocha, esta macrófita crece a una profundidad de entre 20 y 35 m, con un máximo de biomasa entre 25-30 m. Además, se encontraron ejemplares de *Drepanocladus capillifolius* entre los 20 y 28 m. La *Schoenoplectus tatora* forma un juncal denso en muchas partes de la orilla del lago. En la orilla adjunta al centro turístico, se encuentra una vegetación diferente; allí crece la *M. quitense* desde la superficie hasta una profundidad de 2.3 m.

## DISCUSIÓN

La utilización de las macrófitas como bioindicadores de monitoreo depende de la presencia de las especies y el valor individual por especies. El monitoreo de la diversidad y abundancia de las macrófitas, aceptado en algunos países europeos, es un método del proceso de eutroficación, además es un método simple (Dennis 1984, Schmieder 1995) de control y determinación del nivel de contaminación de los lagos que proporciona información práctica sobre la calidad del agua y el estado trófico de los lagos (Melzer 1999). La presencia de las macrófitas en el agua depende básicamente de los siguientes parámetros conocidos como "parámetros de posición":

- 1) Transparencia del agua, que determina la profundidad máxima en la cual las plantas macrófitas sobreviven;
- 2) Calidad del agua con referencia a la producción primaria de las especies presentes, su valoración y significado como bioindicadores. La producción primaria depende de la concentración de los nutrientes y los efectos de la eutroficación que producen la disminución de las concentraciones de dióxido de carbono, del pH y la variación del contenido de oxígeno;
- 3) La calidad de los sedimentos, aeróbicos y anaeróbicos, respecto al contenido de materia orgánica, de oxígeno y el tipo de materiales minerales, por ejemplo, arcilla, limo y arena.
- 4) Entre los otros parámetros de posición están el oleaje, las corrientes de agua y los predadores.

La profundidad máxima a la cual se desarrollan las plantas refleja la transparencia del agua, este hecho es un importante indicador del estado trófico (Chambers y Kalf 1985). Este parámetro proporciona el valor medio de generación de las macrófitas en función del tiempo y la visibilidad de Secchi, pero representa el valor puntual del momento en que se toma la muestra.

La distribución de las dos especies del género *Chara* y de *N. acuminata* presenta significativas diferencias entre los lagos San Pablo y La Mica a profundidades de 5 y 6.5 m, que son lagos con altas concentraciones de nutrientes con respecto al Lago Cuicocha (35 m), en donde alcanza profundidades de hasta 35 m, este lago tiene bajas concentraciones de nutrientes; demostrando la utilidad de dichas especies como bioindicadores. Por otra parte, se deduce que el desarrollo del plancton está limitado por la escasez de nutrientes, por lo tanto, hay una transparencia máxima del agua.

La abundante presencia de la especie *M. quitense* en los lagos eutróficos de San Pablo y La Mica y su ausencia bajo las condiciones oligotróficas del Lago Cuicocha (con la excepción del lugar donde ocurre la descarga de aguas residuales) son indicadores de que

ésta especie necesita para su desarrollo una concentración de nutrientes de media a alta.

Según el sistema de bioindicadores de macrófitas desarrollado por Melzer (1999), *P. pusillus* es un indicador útil para una alta contaminación con nutrientes. Su presencia como única planta en la desembocadura del Río Itambi, la fuente más importante de nutrientes, probablemente, está relacionada con las altas concentraciones de fósforo.

*P. striatus* también es posiblemente un indicador de condiciones eutróficas, debido a que se encontraron ejemplares de esta especie solamente en los lagos eutróficos de San Pablo y La Mica.

En los sistemas que utilizan bioindicadores con las macrófitas mencionadas anteriormente, la *P. pectinatus* se destaca como bioindicador de condiciones eutróficas, sin embargo, en el Lago Cuicocha se desarrolla en grandes cantidades bajo condiciones oligotróficas. Por esto, además del estado trófico, existen otros factores que influyen en el éxito de la especie dentro del ecosistema (descrito como muy adaptable), tal es el caso del alto valor de la conductividad.

La presencia de *P. illinoensis* en los lagos estudiados, al parecer no tiene ninguna relación con el estado trófico, aunque, hay diferencias en su distribución con respecto a la profundidad, como consecuencia de factores no conocidos.

El crecimiento de grandes cantidades de *C. demersum* sirve como indicador de zonas contaminadas con altas cargas de nutrientes, esta especie alcanza un máximo de biomasa en los lagos mesotróficos de Alemania. Parece que en el Lago San Pablo la especie puede beneficiarse de las condiciones eutróficas. *C. demersum* esta ausente en la Laguna La Mica, que también es eutrófica, las causas son desconocidas. Posiblemente, el fuerte oleaje en esta laguna la impide el crecimiento de esta especie que carece de raíces.

*E. matthewsii* presente en los lagos de San Pablo y La Mica, apoya el criterio de que se trata de un indicador de condiciones eutróficas, aunque, probablemente existen otros factores que influyen sobre su distribución. *E. matthewsii*

de presencia dominante en la desembocadura de la Laguna La Mica, donde se encontraron concentraciones muy altas de fósforo total en el sedimento, confirma que la especie aprovecha altos contenidos de nutrientes.

Las especies de Charophyta prefieren condiciones oligotróficas, pero algunas especies pueden tolerar condiciones eutróficas y desaparecen cuando hay concentraciones altas de nutrientes, por eso pueden servir como bioindicadores.

*N. flexilis* se encuentra en el Lago San Pablo, pero esta especie no tiene un valor significativo de bioindicador.

La existencia de *D. capillifolius* no había sido reportada en el Ecuador antes de nuestras investigaciones, pero en el Lago Cuicocha se ha observado su presencia a la máxima profundidad entre los 20-28 m. El hecho de que *D. capillifolius* crezca en esta profundidad es probablemente un indicador para condiciones oligotróficas. Sin embargo, parece inconveniente que esta especie que es rara en los lagos estudiados sea apropiada para un sistema referencial de bioindicadores utilizable en la mayoría de lagos.

En muchos casos, el abundante desarrollo de *Eichhornia crassipes* se considera como el efecto de la eutroficación (Haller y Sutton 1973), por esto la especie puede servir como bioindicador, sin embargo, se debe tener en cuenta que la intensidad del viento puede influir en la distribución de esta especie flotante.

Las macrófitas señaladas son especies bioindicadoras importantes, aunque su diversidad es baja: En el Lago Quicocha hay ocho especies, en la Laguna La Mica hay seis especies y en el Lago San Pablo hay 12 especies. El número de las especies con valor de bioindicadores es cinco, tres y ocho respectivamente, los cuales se consideran valores bajos (Cuadro 2). La vegetación se compone de una cantidad limitada de especies, que parecen estar bien adaptadas a las diversas condiciones existentes. Por este motivo es difícil de hacer un monitoreo significativo de los lagos con estas macrófitas, y es recomendable realizar más investigaciones sobre este grupo en los lagos alto andinos.

CUADRO 2  
*Valor de bioindicación de macrófitas en lagunas alto-andinas en Ecuador*

CUADRO 2  
*Bioindicatin values of macrophytes recorded in high Andean lakes from Ecuador*

Especies	Presencia en los lagos	Profundidad máxima de presencia
Especies oligotróficos:		
Characeae		
<i>Chara globularis</i>	Laguna Cuicocha	22.6 ( $\sigma = 7.5$ )
<i>Chara rusbyana</i> *)	Laguna Cuicocha	28.7
<i>Nitella acuminatus</i> *)	Laguna Cuicocha	31.5 ( $\sigma = 4.9$ )
<i>Drepanocladus capillifolius</i> .	Laguna Cuicocha	31
<i>Potamogeton pectinatus</i>	Laguna Cuicocha	11.8 ( $\sigma = 1.6$ )
Especies eutróficos:		
<i>Ceratophyllum demersum</i>	Lago San Pablo	5.6 ( $\sigma = 1.2$ )
<i>Elodea matthewsii</i>	Lago San Pablo	1.9 ( $\sigma = 0.8$ )
	Laguna La Mica	5.2 ( $\sigma = 1.5$ )
<i>Myriophyllum quitense</i>	Lago San Pablo	3.7 ( $\sigma = 1.1$ )
	Laguna La Mica	2.0 ( $\sigma = 1.0$ )
	Laguna Cuicocha	2.3
<i>Potamogeton pusillus</i>	Lago San Pablo	1.0
<i>P. striatus</i> *	Lago San Pablo	3.9 ( $\sigma = 1.2$ )
	Laguna La Mica	4.3
<i>Azolla caroliniana</i>	Lago San Pablo	flotante
<i>Lemna minor</i>	Lago San Pablo	flotante
<i>Eichhornia crassipes</i>	Lago San Pablo	flotante
Especies sin valor trófico:		
<i>Callitriche</i> sp.	Laguna La Mica	0,8
<i>Nitella flexilis</i>	Lago San Pablo	2.6 ( $\sigma = 0.5$ )
<i>Hydrocotyle ranunculoides</i> *	Lago San Pablo	0.1
<i>Potamogeton illinoensis</i> *	Lago San Pablo	4.9 ( $\sigma = 1.3$ )
	Laguna La Mica	2.2 ( $\sigma = 0.9$ )
	Laguna Cuicocha	7.2 ( $\sigma = 0.6$ )
<i>Schoenoplectus tatora</i>	Lago San Pablo	
	Laguna La Mica	
	Laguna Cuicocha	

\* no hay dato disponible del valor de bioindicadores.

## AGRADECIMIENTOS

Muchos gracias por la ayuda y determinación de las macrófitas a Thomas Raus, Universidad Libre de Berlín; J. Steven Athens, Universidad de Hawaii y Rydzard Ochyra, Instituto Botánico, Kraków.

## RESUMEN

Se estudió la presencia de macrófitas en tres lagos de altoandinos en Ecuador, Lago San Pablo, Laguna La Mica y Lago Cuicocha. Los primeros dos son eutróficos, mientras que el último es un lago de caldera

extremadamente oligotrófico. Las especies dominantes en los lagos eutróficos son: *Ceratophyllum demersum*, *Myriophyllum quitense*, *Potamogeton illinoensis*, *P. striatus* y *Elodea matthewsii*. En el lago oligotrófico están presentes *P. pectinatus*, *P. illinoensis*, y las Characeae *Chara rusbyabana*, *Ch. globularis* y *Nitella acuminata*. La máxima profundidad para la presencia de macrófitas puede ser usada como un indicador del estado de eutroficación, la cual va desde 5 m en la Laguna Mica a 35 m en el Lago Cuicocha. El valor de la bioindicación de las especies de macrófitas en estos lagos altoandinos es bajo, debido a que solo unas pocas especies están presentes, y algunas de ellas no son específicas para las condiciones ambientales.

**Palabras clave:** Limnología, macrofitas, lagos de alta montaña, bioindicadores, America Latina, Ecuador.

## REFERENCIAS

- Carpenter, S.R. & D.M. Lodge. 1986. Effects of submersed macrophytes on ecosystem processes. *Aquat. Bot.* 26: 341-370.
- Chambers, P.A. & J. Kalf. 1985. Depth distribution and biomass of submersed aquatic macrophyte communities in relation to Secchi depth. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 42: 701-709.
- Cimdins, P., I. Druvietis, R. Liepa, E. Parele, L. Urtane & A. Urtans. 1995. A Latvian catalogue of indicator species of freshwater. *Proc. Latv. Acad. Sci., Section B* 1/2: 122-133.
- Cook, C.D.K. 1990. *Aquatic Plant Book*. SPB Academic, Amsterdam. 228 p.
- Cook, C.D.K., B.J. Gut, E.M. Rix, J. Schneller & M. Seitz. 1974. *Water Plants of the World*. W. Junk, The Hague. 561 p.
- Dennis, W.M. 1984. *Aquatic Macrophyton Sampling: An overview. Ecological Assessment of Macrophyton: Collection, use and meaning of data*, American Society for Testing and Materials ASTM Spec. Tech. Publ. 843: 2-6.
- Giggenbach, W.F., B. Beate & L. Lemarie. 1992. Chemical surveillance of two deep crater lakes in Ecuador. *International Working Group on Crater Lakes and Commission on Crater Lakes Newsletter* 5: 3-6.
- Guerlesquin, M. 1981. Contribution à la connaissance des Characés d'Amérique du Sud (Bolivie, Equateur, Guyane française). *Rev. Hydrobiol. Trop.* 14: 381-404.
- Gunkel, G. 2000. Limnology of an equatorial high mountain lake in Ecuador, Lago San Pablo. *Limnologica* 30: 113-120.
- Gunkel, G. 2003. Limnología de un Lago Tropical de Alta Montaña, en Ecuador: Características de los sedimentos y tasa de sedimentación. *Rev. Biol. Trop.* 51: 381-390.
- Haller, W.T. & D.L. Sutton. 1973. Effect of pH and high phosphorus concentrations on growth of water hyacinth. *Hyacinth Control J.* 11: 59-61.
- Harling, G. & L. Sparre. 1973. *Flora of Ecuador*. (Opera botanica: Series B). Gleerup, Lund, Suecia.
- Haynes, R.R. & L.B. Holm-Nielsen. 1986. Hydrocharitaceae. *Flora of Ecuador* 26: 35-43.
- Haynes, R.R. & L.B. Holm-Nielsen. 1986a. Potamogetonaceae. *Flora of Ecuador* 26: 51-66.
- Horn, C.N. 1987. Pontederiaceae. *Flora of Ecuador* 29: 1-19.
- Husák, S., V. Sládeček & A. Sládecková. 1989. Freshwater macrophytes as indicators of organic pollution. *Acta Hydrochim. Hydrobiol.* 17: 693-697.
- Lachavanne, J.B., J. Perfetta & R. Juge. 1992. Influence of water eutrophication on the macrophytic vegetation of Lake Lugano. *Aquat. Sci.* 54: 351-363.
- Margalef, R. 1983. *Limnología*. Omega, Barcelona. 1010 p.
- Melzer, A. 1999. Aquatic macrophytes as tools for lake management. *Hydrobiol.* 395/396: 181-190.
- Ozimek, T. & A. Kowalczeski. 1984. Long-term changes of the submerged macrophytes in eutrophic Lake Mikolajski (North Poland). *Aquat. Bot.* 19: 1-11.
- Pérez, G.R. 1992. *Fundamentos de Limnología Neotropical*. Universidad de Antioquia, Medellín, Colombia. 529 p.
- Pip, E. 1987. The ecology of *Potamogeton* spp. in Central North America. *Hydrobiologia* 153: 203-216.
- Schmieder, K. 1995. Application of geographic information system (GIS) in lake monitoring with submerged macrophytes at lake Constance: Conception and purposes. *Acta Bot. Gallica* 142: 551-554.
- Slocum, P.D. & P. Robinson. 1997. *Water Gardening, Water Lilies and Lotuses*. Timber, Oregon. 322 p.
- Steinitz-Kannan, M., P. Colinvaux & R. Kannan. 1983. *Limnological studies in Ecuador: a survey of chemical and physical properties of Ecuadorian Lakes*. *Hydrobiology* 65: 61-103.
- Velásquez, J. 1994. *Plantas acuáticas vasculares de Venezuela*. Universidad Central de Venezuela, Caracas. 992 p.
- Wood, R. & K. Imahori. 1964. *A Revision of the Characeae*. Vol. 2. *Iconograph of the Characeae*. Cramer, Weinheim.
- Wood, R. & K. Imahori. 1965. *A Revision of the Characeae*. Vol. 1. *Monograph of the Characeae*. Cramer, Weinheim, 904 p.

