

ALGUNOS CRITERIOS BIOLÓGICOS SOBRE EL PROCESO DE EUTROFIZACIÓN A ORILLAS DE SEIS LOCALIDADES DEL LAGO TITIKAKA

Francisco Fontúrbel Rada¹

Resumen

Se evaluaron las condiciones ambientales de 6 sitios a orillas del lago Titikaka (La Paz, Bolivia), encontrándose diferentes grados de eutrofización. Se emplearon 4 indicadores de evaluación rápida: macrófitas flotantes y sumergidas, fitoplancton y propiedades organolépticas, complementándolos con análisis de pH y micro-meso fauna. Se encontraron diferentes grados de afectación por el proceso eutrófico en parte debido a la influencia humana y la contaminación de los sitios de estudio. Se analizó la relevancia de cada indicador en este caso particular.

Palabras clave: Lago Titikaka, eutrofización, indicadores biológicos, fitoplancton.

Abstract

Environmental conditions were evaluated for 6 study sites at Titikaka's lake margins (La Paz, Bolivia), where I founded 4 different degrees of eutrophic processes. 4 fast-evaluation indicator parameters were used: floating and submerged macrophytes, phytoplankton and organoleptic properties, which were complemented with pH and micro-middle fauna analysis. Different affectations degrees of eutrophic process were founded in associated in part to human influence and contamination at the study sites. Indicator relevancy was analyzed for each particular case.

Key words: Titikaka Lake, eutrophication, biologic indicators, phytoplankton.

Introducción

En la actualidad, la eutrofización cultural (asociada a la hipertrofia) es uno de los problemas con mayor repercusión sobre los cuerpos de agua y el medio ambiente (Dolbeth *et al.*, 2003). La constante descarga de desechos sólidos y líquidos en lagos y lagunas ha ocasionado el desarrollo de este complejo problema en cuerpos de agua de todo el mundo, y el Lago Titikaka no es la excepción.

La eutrofización es un fenómeno complejo que involucra factores climáticos, físicos y biológicos (Dolbeth *et al.*, 2003; Howarth *et al.*, 2000), ocasionando cambios en la diversidad y la abundancia de las especies (Agatz *et al.*, 1999; Barrón *et al.*, 2003; Dolbeth *et al.*, 2003; Lang, 1997; Weithoff *et al.*, 2000). Si bien las implicancias de este proceso son muy complejas (Kim *et al.*, 2001) –incluso a nivel de metabolismo (Macek *et al.*, 2000)– algunos factores indicadores simples (Schroll, 2002) pueden ser usados para una detección y evaluación rápida del proceso de eutrofización.

Esta trabajo hace referencia a un hecho no esperado durante un proyecto de investigación realizado en el Lago Titikaka, donde se documentó la presencia de indicios de eutrofización en los seis sitios estudiados (Fontúrbel *et al.*, 2003), y por lo tanto pretende dar un informe preliminar de la situación observada.

Materiales y métodos

Sitios de muestreo

Se tomaron 6 sitios de muestreo (Tabla 1 y Figura 1) a orillas de la parte boliviana del Lago Titikaka, escogidos de acuerdo a su relevancia y aspectos paisajísticos.

Tabla 1: Identificación y localización de los sitios de estudio

Sitio	Localidad	Coordenadas
1	Ajaría Grande	16°1'58,71"S 68°45'43,87"W
2	Toke-Pucuru	16°1'16,81"S 68°49'25,84"W
3	Uricachi	16°3'40,18"S 68°50'16,84"W
4	Huatajata	16°12'35,58"S 68°41'11,54"W
5	Sorejapa	16°12'29,14"S 68°38'28,12"W
6	Huarina	16°13'26,58"S 68°35'9,66"W

Análisis de parámetros

En base a referencias de Pérez (1998, 2002) se analizaron los siguientes parámetros: pH del agua, abundancia y diversidad de fitoplancton, vegetación sumergida, vegetación flotante, micro y meso fauna, y adicionalmente se registró el grado de contaminación. Para todos los casos se tomaron muestras por triplicado, las que fueron analizadas en los

¹ Unidad de Post-Grado Universidad Loyola. Maestría en Ingeniería de Medio Ambiente y Recursos Naturales. Av. Busch # 1191, La Paz, Bolivia.

Autor: Casilla postal # 180, La Paz, Bolivia. Av. 20 de Octubre # 2005, Dep. 301, La Paz, Bolivia. Correo electrónico: fonturbel@mbotanica.zzn.com

Tabla 3: Resultados de los criterios de biológicos empleados para los sitios de estudio y ranking de eutrofización.

Sitio	Macrófitas flotantes	Vegetación sumergida	Fitoplancton	Propiedades organolépticas	pH agua	Fauna	Ranking de eutrofización
1	Poca cantidad de <i>Azolla</i> sp. y <i>Lemna</i> sp. (~10%)	Abundante <i>Myriophyllum quitense</i> , otras muy escasas	Abundante, poco diverso con predominancia de pirófitas y diatomeas	Aguas ligeramente turbias, muy poco olor	7,85	Moluscos (Planorbidae) y anélidos (Tubificidae)	Ligera
2	Ausentes	Abundante, 10% <i>S. californicus</i> ssp. Tatora, 15% <i>Chara</i> sp., 15% <i>Elodea</i> sp., presencia de <i>Volvox</i> sp.	Medianamente abundante, bastante diverso	Aguas ligeramente turbias, prácticamente sin olor	7,30	Alta diversidad de moluscos, anélidos e insectos. Larvas de dípteros y coleópteros. Anuros pequeños	Ausente
3	35% de la superficie cubierta por <i>Lemna minor</i> y <i>Azolla</i> sp.	Muy pocas macrófitas de <i>Chara</i> y clorófitas	Medianamente abundante, poco diverso	Aguas turbias de muy mal olor	7,23	Pocos moluscos pequeños e insectos. Presencia de oligoquetos (Tubificidae)	Avanzada
4	Presencia de <i>Lemna</i> sp. (~20%)	5% de <i>S. californicus</i> ssp. tatora, no hay otra vegetación sumergida	Muy abundante pero poco diverso, predominancia de diatomeas	Aguas claras con olor fétido	6,76	Ausente	Media
5	Poca cantidad de <i>Azolla</i> sp. y <i>Lemna</i> sp. (<10%)	Abundante, 10% de cobertura de <i>Chara</i> sp. y <i>Potamogeton pectinatus</i> ; musgos sumergidos	Escaso y poco diverso (predominan diatomeas)	Aguas claras y limpias, casi sin olor	7,61	Pequeños arácnidos y abundantes oligoquetos (Tubificidae)	Incipiente
6	Presencia de <i>Azolla</i> sp. (~20%)	Macrófitas casi ausentes, presencia de unas pocas clorófitas	Muy escaso	Aguas ligeramente turbias, casi sin olor	7,69	Ausente	Ligera

la diversidad de los demás niveles tróficos por medio de un aparente control bottom-up (Dolbeth *et al.*, 2003; Koivula & Rönkä, 1998), que puede a su vez ocasionar un fenómeno tipo top-down en otras redes tróficas (Manca *et al.*, 2000), o darse una combinación de ellos (Achá & Fontúrbel, 2003); (4) las propiedades organolépticas del agua –turbidez y olor– están indirectamente relacionadas con el proceso eutrófico, la turbidez puede deberse al incremento en la cantidad de fitoplancton por unidad de volumen (Kim *et al.*, 2001; Schroll, 2002; Weisner *et al.*, 1997), y el olor puede deberse a la descomposición de la materia orgánica de bacterias (Kim *et al.*, 2001) y a veces a la proliferación de cianobacterias (Ferreira *et al.*, 2002) que aprovechan el excedente de nitrógeno disponible, y proliferan mediante asociaciones simbióticas como *Anabaena* con los helechos del género *Azolla*. La presencia de de la familia Tubificidae es un indicador típico de los procesos de eutrofización con sedimentos de baja concentración orgánica (Lang, 1997).

Un aspecto importante a destacar, es que en los sitios donde el proceso eutrófico es menos conspicuo, se encontró mayor cobertura de *Schoenoplectus californicus* ssp. tatora, que actúa como un agente de descontaminación natural de las aguas (especialmente el nitrógeno) por sus propiedades fisiológicas (Meagher, 2000), aumentando de esa manera, la capacidad *buffer* del lago, que está en función a la resiliencia del ambiente (Carpenter & Cottingham, 1997; Petrucio & Esteves, 2000).

A pesar de la evidente utilidad de estos indicadores, la eficacia de los mismos no es del 100%, ya que no todos los ecosistemas responden de la misma manera a las perturbaciones ambientales y las interacciones de los factores climáticos, biológicos, físicos y químicos muchas veces dan resultados no esperados. Indicadores como la cantidad y diversidad de fitoplancton y la presencia de macrófitas flotantes invasoras son de un alto nivel de confiabilidad, mientras que indicadores como el pH, la presencia / ausencia de ciertos grupos de fauna, la cobertura relativa de macrófitas sumergidas y el olor son indicadores más subjetivos porque dependen de factores externos, a veces difíciles de cuantificar o predecir.

Si bien el proceso eutrófico en el lago Titikaka aun está localizado solamente en áreas próximas a asentamientos humanos importantes, si la contaminación persiste con los niveles actuales de emisión puede derivarse en una situación peligrosa para la salud de los pobladores por el metabolismo de tóxicos y toxinas (Ferreira *et al.*, 2002; Sohrin *et al.*, 1997), como es el caso de las bahías de Puno y Cohana (Northcote, 1991). Cuando el proceso eutrófico es aun poco significativo es relativamente sencillo controlar a las especies invasoras mediante compuestos químicos como el TBT (Zhihui & Tianyi, 1998) o mediante la construcción de fotobioreactores sencillos (Baumgarten *et al.*, 1999), pero una vez avanzado el proceso eutrófico, la recuperación del

lago sería un proceso largo, difícil y costoso (Myrbo & Ito, 2003).

Sería recomendable realizar un estudio más profundo del avance del proceso eutrófico en el lago Titikaka, tomando en cuenta los parámetros indicadores mencionados y realizando mediciones de parámetros fisicoquímicos y de diversidad que permitan construir un modelo de simulación dinámica (Heiskary, 2000) que sería de mucha utilidad para el monitoreo del proceso, y también debería plantearse un modelo social-ambiental para gestión del problema como sugieren Janssen & Carpenter (1999).

Conclusiones

Se percibió que los sitios cercanos a asentamientos humanos están más expuestos a la contaminación y a la descarga de contaminantes ricos en nutrientes, y están desarrollando, todavía de manera localizada y temprana, procesos de eutrofización.

El uso de los indicadores planteados se muestra como una herramienta útil para la evaluación rápida de la eutrofización localizada a orillas del Lago Titikaka. Sin embargo, para un estudio integral estos indicadores deberían complementarse con otro tipo de estudios fisicoquímicos y de diversidad más profundos, puesto que los indicadores biológicos a veces son contradictorios y no son 100% confiables por la influencia de externalidades ambientales.

Es recomendable el proseguir con estudios más profundos y detallados sobre esta problemática, que permitan construir un modelo socio-ambiental adecuado para la gestión de esta problemática.

Agradecimientos

A Gabriela Mirones por su apoyo y ayuda incondicional. Al equipo de trabajo del proyecto *Telmatobius*: Dr. E. Richard, G. García, R. Rocha, M. Ferruffino y N. Brun.

Literatura citada

Achá D. & Fontúrbel F. 2003. La diversidad de una Comunidad, ¿Está controlada por Top-Down, Bottom-Up o una combinación de estos?. *Revista de Biología*.Org. 13: 1-16.

Agatz M., Asmus R.M. & Deventer B. 1999. Structural changes in the benthic diatom community along a eutrophication gradient on a tidal flat. *Helgol Mar Res.* 53: 92-101.

Barrón C., Marbà N., Duarte C.M., Pedersen M.F., Lindblat C, Kersting K., Moy F. & Bokn T. 2003. High organic carbon export precludes eutrophication responses in experimental rocky shore communities. *Ecosystems.* 6: 144-153.

Baumgarten E., Nagel M. & Tischner R. 1999. Reduction of the nitrogen and carbon content in swine waste with algae and bacteria. *Appl Microbiol Biotechnol.* 52: 281-284.

Carpenter S. & Cottingham K. 1997. Resilience and Restoration of Lakes. *Conservation Ecology.* 1, art 2.

Dolbeth M., Pardal M.A., Lilleblo A.I., Azeiteiro U. & Marques J.C. 2003. Short- and long-term effects of eutrophication on the secondary production of an intertidal macrobenthic community. *Marine Biology.* 10 (1007): 1133-1135.

Ferreira A. 2001. Disponibilidade de nitrogênio, alterações nas características químicas do solo e do milho pela aplicação de efluente de esgoto tratado. MSc., Universidade de São Paulo, São Paulo.: 126.

Ferreira F., Góis M.H., Marques C., Rosas A., Kingwell P. & Simões I. 2002. Ocorrência de cianobactérias em três praias fluviais, localizadas na rede hidrográfica da bacia do Rio Tâmega-Praia Fluvial Aurora, itetos e Pontinha. 6º Congresso da água, Porto.: 2.

Fontúrbel F., García G., Brun N., Ferruffino M. & Rocha R. 2003. Propuesta de producción sostenible de *Telmatobius culeus* (Anura: Leptodactylidae) en el lago Titikaka, mediante la implementación conjunta de un sistema de control de calidad ambiental. En: Fontúrbel, F. & G. García (eds.), *Propuestas Para Un Desarrollo Sostenible: Lago Titikaka Por Estrategas* K. Publicaciones Integrales, La Paz.: 19-52.

García P. 2003. Macrófitos acuáticos en los humedales andaluces. *Revista Medio Ambiente.* Junta de Andalucía, Sevilla.

Heiskary S. 2000. Simplified Lake Eutrophication Modeling: Using the Ecoregionbased model MINLEAP. Minnesota Pollution Control Agency Minnesota Pollution Control Agency, Minnesota.: 19.

Howarth R., Swaney D.P., Butler T.J. & Marino R. 2000. Climatic control on eutrophication of the Hudson River Estuary. *Ecosystems.* 3: 210-215.

Janssen M. & Carpenter S. 1999. Managing the Resilience of Lakes: A Multiagent Modeling Approach. *Conservation Ecology.* 3, art 15.

Kim B., Park J.H., Hwang G., Jun M.S. & Choi K. 2001. Eutrophication in reservoirs of South Korea. *Limnology.* 2: 223-229.

Koivula K. & Rönkä A. 1998. Habitat deterioration and efficiency of antipredator strategy in a meadow-breeding wader, Temminck's stint (*Calidris temminckii*). *Oecologia.* 116: 348-355.

Lang C. 1997. Oligochaetes, organic sedimentation, and trophic state: how to assess the biological recovery of sediments in lakes? *Aquat.sci.* 59: 26-33.

Macek T., Macková M. & Kás J. 2000. Exploitation of plants for the removal of organics in environmental remediation. *Biotechnology Advances.* 18: 23-34.

Manca M., Ramoni C. & Comoli P. 2000. The decline of *Daphnia hyalina galeata* in Lago Maggiore: a

- comparison of the population dynamics before and after oligotrophication. *Aquat.sci.* 62: 142-153.
- McCook L.J. 1999. Macroalgae, nutrients and phase shifts on coral reefs: scientific issues and management consequences for the Great Barrier Reef. *Coral Reefs.* 18: 357-367.
- Meagher R. 2000. Phytoremediation of toxic elemental and organic pollutants. *Current Opinion in Plant Biology.* 3: 153-162.
- Myrbo A. & Ito E. 2003. Eutrophication and remediation in context: High-resolution study of the past 200 years in the sedimentary record of Lake McCarrons (Roseville, Minnesota). USGS-WRRI 104B National Grants Competition and the Center for Agricultural Impacts on Water Quality, Minnesota.: 5.
- Northcote T. 1991. Eutrofización y problemas de polución. En: Dejoux, C. & A. Iltis (eds.), *El Lago Titicaca: Síntesis Del Conocimiento Limnológico Actual.* Hisbol - ORSTOM, La Paz.: 563-572.
- Pérez E. 1998. Dieta y ciclo gametogénico anual de *Telmatobius culeus* (Anura: Leptodactylidae) en el lago Titicaca (Huiñaimarca). Licenciatura, Universidad Mayor de San Andrés, La Paz. : 140.
- Pérez E. 2002. Evaluación de la población de la rana gigante en Bolivia. Subcontrato 21.22 del Proyecto de Conservación de la Biodiversidad en la Cuenca del sistema TDPS, ALT-IE-FUNDECO, La Paz.: 114.
- Petrucio M. & Esteves F.A. 2000. Uptake rates of nitrogen and phosphorus in the water by *Eichhornia crassipes* and *Salvinia auriculata*. *Rev. Brasil. Biol.* 60: 229-236.
- RAMSAR. 1999. Ramsar COP7 DOC. 24: Especies invasoras y humedales. RAMSAR COP, San José. : 9.
- Rodríguez J.A. 2002. ¿Cuál es la flora característica de un proceso eutrófico? *Sierra de Baza.* Vol. 2003.
- Schroll H. 2002. Indicators of the Long-term Eutrophication of a Danish lake (Karlsø), and Water Pollution Management. *The Journal of Transdisciplinary Environmental Studies.* 1: 1-10.
- Sohrin Y., Matsui M., Kawashima M., Hojo M. & Hasegawa H. 1997. Arsenic Biogeochemistry Affected by Eutrophication in Lake Biwa, Japan. *ICR Annual Report.* 4: 14-15.
- Weisner S.E.B., Strand J.A. & Sandsten H. 1997. Mechanisms regulating abundance of submerged vegetation in shallow eutrophic lakes. *Oecologia.* 109: 592-599.
- Weithoff G., Lorke A. & Walz N. 2000. Effects of water-column mixing on bacteria, phytoplankton, and rotifers under different levels of herbivory in a shallow eutrophic lake. *Oecologia.* 125: 91-100.
- Zhihui S. & Tianyi C. 1998. Toxicity of Tributyltin to *Lemna minor L.* and *Azolla filiculoides Lamk.* *Bull. Environ. Contam. Toxicol.* 60: 318-322.