

Restauración de lagos a través de un manejo adecuado de las aguas residuales generadas en la cuenca y de las cargas internas de nutrientes que se acumulan en el fondo del lago



Crecimiento de cianobacterias en el lago de Atitlán julio 2015. (Foto propiedad del Programa de Educación Ambiental, Centro de Estudios Atitlán, UVG).

Introducción

El aumento de las actividades humanas ha incrementado el proceso de eutrofización de las aguas superficiales principalmente de lagos profundos como los existentes en nuestro país. La restauración de un lago bajo un estrés ecológico significa regresarlo a un estado en el cual se regula naturalmente sin intervención humana y se integra a su ecosistema (Zamparas y Zacharias, 2014). La restauración implica un conjunto de acciones coordinadas dentro de una administración ecológica, técnica, económica y socialmente factible.

Las acciones tienen como objetivo básico disminuir el nivel de nutrientes causantes de la eutrofización, es decir, se centran sobre las causas que la originan. Se ha llegado a identificar, podría decirse por consenso, que son los niveles de nitrógeno (N) y fósforo (P) en el agua los malhechores de la historia (Conley et al, 2009; Stamm et al, 2014). Las acciones correctivas se dirigen, en secuencia o simultáneamente, hacia: a) el propio lago, y b) la cuenca y el entorno del lago. Sin embargo, todas las acciones ecológicas que se han ensayado han mostrado a largo plazo ventajas y desventajas y lo que ha quedado claro es que es necesario seleccionar varias de ellas de acuerdo a las condiciones propias del lago en cuestión (Zhang et al, 2014).

¿Cuáles son las fuentes y las rutas que siguen el N y el P hacia las aguas del lago?

Son dos, las aguas servidas de ciudades e industrias aledañas descargadas directamente al lago o a ríos que desembocan en el lago, y la escorrentía de los suelos fertilizados localizados dentro de la cuenca del lago.

¿Es posible eliminar el N y P en estas descargas?

Con la tecnología actual no pueden eliminarse, pero sí pueden disminuirse, aunque el costo es elevado. La denominada planta de tratamiento de lodos activados para aguas servidas en su versión moderna combina etapas anaerobias con etapas aerobias, con el objetivo de favorecer la proliferación bacteriana que almacena P en sus células, de tal manera que este compuesto queda atrapado en el lodo. Por ejemplo, Cao et al, (2006) informan una eliminación del 66 % del P entrando a la planta de tratamiento Jurong en Singapore con una capacidad operativa de 140,000 m³/día de aguas servidas.

El traslado del P del agua a los lodos implica darles a estos un tratamiento posterior y sobretodo un uso. Tecnología existe para estabilizar los lodos en un digestor anaerobio con la simultánea producción de metano. Luego el lodo residual continúa su estabilización por medio de un compostaje aerobio.

En dicho proceso los lodos pueden mezclarse con la parte orgánica de la basura municipal, alternativa que ha sido descrita por Poganani et al, (2012) quienes documentaron la retención en el compost final de un 50 % del N y un 86 % del P presente en la basura. El compost producido, enriquecido en N y P, puede emplearse como un fertilizante orgánico y acondicionador de suelo. Debe notarse que el anterior sistema considera a las aguas servidas y la basura municipal como materias primas en un proceso que genera un producto vendible, el compost, y a su vez energía en forma de metano, y no como un problema que debe ser eliminado al menor costo posible. Dicho concepto es una visión futura innovadora del tratamiento de los desechos, del cual se han propuesto varios, como ha sido descrito recientemente (Verstraete et al, 2009).

¿Y la escorrentía de los suelos?

Existen técnicas agrícolas para minimizar el arrastre del suelo originado por la práctica agrícola y las lluvias, principalmente en terrenos de pendientes elevadas. Sin embargo, su aplicación no se encuentra generalizada. Es pertinente mencionar que una mayoría del N en el suelo reacciona química o biológicamente, y su concentración final depende de la intensidad de la fertilización. Por otro lado, el P generalmente queda inmovilizado en los compuestos del suelo y por lo tanto entra a los lagos en la escorrentía. Lo anterior contribuye negativamente en la calidad de agua en los lagos como más adelante se describirá.

¿No son otra opción a tomar en cuenta las lagunas estabilizadoras y los humedales?

Son otra opción de relativamente menor costo inicial, pero requieren de áreas terrestres relativamente grandes que en muchos casos no están disponibles. Se han construido lagunas estabilizadoras sin cubierta, tanto de poca profundidad como profundas, en las cuales crecen microorganismos fotosintéticos, incluyendo algas, que disminuyen el N y el P del agua. En otras instancias se estimula el crecimiento de plantas acuáticas que llegan a cubrir la superficie y que en su sistema radicular absorben el N y el P del agua. También se han construido lagunas con cubierta de manera de generar un ambiente anaerobio con el objetivo de producir metano. En todas las alternativas, de nuevo, es necesario, darles un uso final a los sólidos recuperados de dichos sistemas.

¿Cuáles son las razones para aplicar acciones correctivas del agua en el propio lago?

Es válido preguntar ¿por qué se necesita considerar un tratamiento de las aguas en el lago si se han disminuido las entradas de contaminantes al mismo? Todo se debe al P. Resulta que si un lago ha recibido por un periodo largo de tiempo descargas de P que han iniciado el proceso de eutrofización, una apreciable cantidad del P recibido se depositará en el lodo del fondo del lago. La fijación química es reversible, de manera que una columna de agua libre o con cantidades mínimas de P, pronto se enriquecerá de P proveniente del fondo del lago. Esta ha

sido la causa principal de la lentitud en la restauración de lagos en donde únicamente se han disminuido las descargas de contaminantes.

¿Qué tecnologías están disponibles?

Las tecnologías que se han ensayado en el propio lago para reducir la eutrofización han consistido en: a) la adición de químicos para aumentar la fijación del fósforo en el sedimento, evitando que se solubilice y estimule el crecimiento de algas y cianobacterias, b) la remoción física del sedimento del lago con el mismo objetivo anterior, c) la adición de químicos para reducir las cianobacterias, d) la construcción de humedales artificiales y/o vegetación acuática con el objetivo de eliminar carbono y nitrógeno orgánicos y fósforo en la columna de agua, así como compuestos tóxicos para el ser humano y persistentes en el ambiente, y e) la mezcla y aireación de agua profunda para eliminar la estratificación térmica y estimular la degradación de compuestos solubles.

¿Se han reportado intentos de emplear humedales para tratar el agua del lago?

Si se han reportado, por ejemplo, Cui et al (2011) evaluaron un humedal artificial de flujo subsuperficial construido al lado del Lago Xing-qing de la ciudad de Xian en China; Rodríguez-Gallego et al (2004) emplearon pequeñas piscinas convertidas en humedales por medio de plantas acuáticas, para recircular el agua del Lago Rodo en Montevideo; Lu et al (2015) describen la interesante aplicación de islas (humedales) flotantes que se desplazan en la superficie y evalúan su funcionamiento en el tratamiento del agua del Lago Lize localizado en la Universidad de MingDao en Taiwan; finalmente Zhang et al (2014) informan de la combinación de diferente tipos de humedales para tratar el agua del más grande lago artificial de China, el Lago Dishui localizado en la Ciudad Nueva Lingang.

¿Cómo puede fijarse el fosforo en los sedimentos?

De acuerdo con Zamparas y Zacharias (2014) los químicos que más se han empleado en lagos son: a) sales de aluminio, b) carbonato de calcio, c) *Phoslock* (bentonita modificada con Lantano desarrollada por CSIRO en Australia) y d) zeolitas modificadas. Los autores de este artículo presentan un resumen de los resultados obtenidos en 16 lagos en siete países que se han tratado. Así mismo, Spears et al (2013) reportan datos comparativos de la capacidad de adsorción de fósforo de algunos de ellos en lagos tratados en Inglaterra.

¿Por qué se desea reducir la presencia de cianobacterias?

Principalmente por las toxinas que producen algunas de ellas las cuales son compuestos altamente tóxicos para el ser humano (Dittmann y Wiegand, 2006). En el caso del lago de Amatitlán (Guatemala) es de importancia para la salud humana la reducción de cianobacterias ya que en un informe reciente (Romero-Oliva

et al, 2014) se demostró la prevalencia de la cianobacteria *Mycrocystis aeruginosa* y las toxinas hepatotóxicas denominadas microcistinas. La bio-concentración de las toxinas por la fauna del lago, las plantas acuáticas flotantes y por cultivos regados con agua del lago colocan en riesgo a los potenciales consumidores de dichos productos.

¿Cómo se disminuyen las cianobacterias?

Obviamente eliminando el P de la columna de agua. Por otro lado, Jankula y Marsalec (2011) revisaron la metodología de adición de químicos específicamente para reducir cianobacterias en los lagos. En la revisión incluyeron: a) sales de aluminio, hierro, cobre y calcio, b) compuestos foto inductores como el peróxido de hidrógeno, las ftalocianinas y el dióxido de titanio, c) herbicidas como el *Diuron* y el *Endothall* y d) compuestos derivados de productos naturales: antraquinonas, estilbenos, y ciertos alcaloides.

¿Se tienen ejemplos de lagos que han sido objeto de diferentes tratamientos con compuestos químicos?

Puede decirse que la adición de químicos es una práctica comúnmente empleada, siempre y cuando (a) se sepa que químico se usa y con qué objetivo (b) cuando se ha tratado las fuentes puntuales de nutrientes que traen las aguas residuales domésticas y se ha controlado los fertilizantes usados en la agricultura, y (c) se evalúe científicamente el efecto de dicho tratamiento, midiendo indicadores físicos, químicos y biológicos de la calidad del agua, antes y después del tratamiento. Referencias recientes muestran los resultados de corto plazo en la restauración de lagos por la adición de químicos. Por ejemplo, Gálvez-Cloutier et al (2012) reporta sobre el tratamiento con sales de aluminio y carbonato de calcio del Lago Saint Augustine próximo a la ciudad de Quebec, Canadá; Lürling y Oosterhout (2013) el tratamiento con el coagulante cloruro de polialuminio y el fijador de fósforo Phoslock en el Lago Rauwbraken en Holanda; Wang et al (2013) el tratamiento con peróxido de hidrógeno, sedimento arcilloso y sulfato ferroso polimérico en el Lago Chouhu en la provincia de Anhui en China; Steinman y Ogdahl (2012) el tratamiento con sales de aluminio del Lago Michigan.

Bibliografía

- Cao YS, CM Ang, KS Raajeevan, AK Kiran, KC Lai, SW Ng, I Zulkifli, YL Wah (2006) Analysis of phosphorus removal and anaerobic selector performance in a full-scale activated sludge process in Singapore *Water Sci Technol* **54**: 237-246
- Conley DJ, HW Paerl, RW Howarth, DF Boesch, SP Seitzinger, KE Havens, C Lancelot, GE Likens (2009) Controlling Eutrophication: Nitrogen and Phosphorus Science **323**: 1014- 1015
- Cui F, Q Zhou, Y Wang, YQ Zhao (2001) Application of constructed wetland for urban lake water purification: Trial of Xing-qing Lake in Xi'an city, China *Journal of Environmental Science and Health Part A* (2011) **46**: 795-799

- Dittmann E, C Wiegand (2006) Review Cyanobacterial toxins - occurrence, biosynthesis and impact on human affairs *Mol Nutr Food Res* **50**: 7 - 17
- Galvez-Cloutier R, SKM Saminatham, C Boillot, G Triffaut-Bouchet, A Bourget, G Soumis-Douglas (2012) An Evaluation of Several In-Lake Restoration Techniques to Improve the Water Quality Problem (Eutrophication) of Saint-Augustin Lake, Quebec, Canada *Environmental Management* **49**: 1037-1053
- Jancula D, B Maršalek (2011) Critical review of actually available chemical compounds for prevention and management of cyanobacterial blooms *Chemosphere* **85**: 1415-1422
- Lu H-L, C-R Ku, Y-H Chang (2015) Water quality improvement with artificial floating islands *Ecological Engineering* **74**: 371-375
- Lürling M, F van Oosterhout (2013) Controlling eutrophication by combined bloom precipitation and sediment phosphorus inactivation *Water Research* **47**: 6527-6537
- Meis S, BM Spears, SC Maberly, RG Perkins (2013) Assessing the mode of action of Phoslock_® in the control of phosphorus release from the bed sediments in a shallow lake (Loch Flemington, UK) *Water Research* **47**: 4460-4473
- Pognani M, R Barrena, X Font, A Sanchez (2012) A complete mass balance of a complex combined anaerobic/aerobic municipal source-separated waste treatment plant *Waste Manag* **32**: 799-805
- Rodríguez-Gallego L.R, N Mazzeo, J Gorga, M Meerhoff, J Clemente, C Kruk, F Scasso, G Lacerot, J García, F Quintans (2004) The effects of an artificial wetland dominated by free-floating plants on the restoration of a subtropical, hypertrophic lake *Lakes & Reservoirs: Research and Management* **9**: 203-215
- Romero-Oliva CS, V Contardo-Jara, T Block, S Plugmacher (2014) Accumulation of microcystin congeners in different aquatic plants and crops - A case study from lake Amatitlán, Guatemala *Ecotoxicology and Environmental Safety* **102**: 121-128
- Spears BM, S Meis, A. Anderson, M Kellou (2013) Comparison of phosphorus (P) removal properties of materials proposed for the control of sediment P release in UK lakes *Science of the Total Environment* **442**: 103-110
- Stamm C, HP Jarvie, T Scott (2014) What's More Important for Managing Phosphorus: Loads, Concentrations or Both? *Environ Sci Technol* **48**: 23-24
- Steinman A. D, Ogdahl ME (2012) Macroinvertebrate Response and Internal Phosphorus Loading in a Michigan Lake after Alum Treatment *J. Environ. Qual.* **41**: 1540-1548
- Verstraete W, P Van de Caveye, V Diamantis (2009) Maximum use of resources present in domestic "used water" *Biores Technol* **100**: 5537-5545
- Wang ZH, D Li, H Qin, Y Li (2012) An integrated method for removal of harmful cyanobacterial blooms in eutrophic lakes *Environmental Pollution* **160**: 34-41
- Zamparas M, I Zacharias (2014) Restoration of eutrophic freshwater by managing internal nutrient loads A review *Science of the Total Environment* **496**: 551-562
- Zhang Q, C Ding, V Achal, D Shan, Y Zhou, Y Xu, W-N Xiang (2014) Potential for nutrient removal by integrated remediation methods in a eutrophicated artificial lake - a case study in Dishui Lake, Lingang New City, China *Water Science & Technology* **70**: 2031-2039

Carlos Rolz
Editor

COMENTARIO DE PERSPECTIVA

Dr. Edwin Castellanos
Co-Director, Centro de Estudios Ambientales y Biodiversidad
Instituto de Investigaciones
Universidad del Valle de Guatemala
ecastell@uvg.edu.gt

El tema presentado en este ensayo es de mucha relevancia para Guatemala no solo por los recientes sucesos relacionados con el intento fallido de limpiar el lago de Amatitlán, sino más bien porque el problema de la contaminación de los lagos de Guatemala ha sido un problema muy grave que se ha ignorado por mucho tiempo. Como guatemaltecos hemos sido muy irresponsables al no hacer nada por limpiar el agua que usamos en nuestras casas, fábricas, industrias y comercios antes de devolverlas a los ríos y lagos que las proveyeron. A pesar de que apenas usamos un estimado de 10-15% del agua disponible en el país, mucha del agua que no se usa se ha vuelto prácticamente inutilizable por problemas de contaminación. Hay problema de escasez de agua en un país bendecido con abundancia de este preciado líquido.

Específicamente, en el tema de restauración de lagos, el ensayo enfatiza que es necesario atacar el problema desde dos frentes: primero atacando las fuentes de la contaminación, especialmente el flujo de nutrientes en aguas servidas; y segundo, atacando el exceso de nutrientes ya acumulados en el cuerpo de agua. Es importante resaltar que este segundo proceso nunca tendrá éxito si no se hace acompañar del primer proceso. Esto es así por un principio muy sencillo de entender: nunca podremos mantener limpio algo que continuamente lo estamos ensuciando. O dicho de otra manera, para poder limpiar algo, lo primero es dejar de ensuciarlo.

Si aplicamos este concepto al problema del lago de Amatitlán y a la estrategia que pretendía usar el gobierno de Guatemala, vemos que aunque el líquido adquirido a un precio significativo hubiera tenido el efecto deseado, el lago no podría limpiarse si primero no se controlan los ingresos de aguas servidas generadas por al menos un millón de personas que viven en la parte sur de la Ciudad de Guatemala. Por supuesto hay que señalar otros problemas en el proceso, especialmente lo relativo a la falta de pruebas de laboratorio y campo para confirmar que el famoso líquido si podía tener el efecto deseado en el lago en cuanto a disminuir el contenido de nutrientes en el agua.

De esta infortunada y fallida iniciativa de limpiar el lago de Amatitlán surgieron algunos puntos positivos. En primer lugar, el hecho de que por varias semanas el agudo problema de la situación de contaminación de aguas superficiales del país se mantuvo entre las principales noticias que la población recibió. Esto resulta en una oportunidad de oro para continuar hablando del problema que los guatemaltecos hemos relegado por muchos años: el de mejorar nuestro sistema de manejo de agua, especialmente estableciendo una legislación adecuada sobre el tema. Pero más allá del problema de contaminación de agua, hay que recordar que el problema de Amatitlán y los hallazgos de irregularidades en el proceso administrativo fue uno de los detonantes del descontento popular que nos tiene actualmente buscando una mejora en nuestro proceso político. Esperemos que así como los guatemaltecos estamos pidiendo cambios en nuestro sistema político, también pidamos cambios que mejoren el manejo del agua que es esencial para nuestra vida y desarrollo.