

Sistemas de lagunaje como tecnología alternativa para el tratamiento de aguas residuales: vigencia de esta técnica en Costa Rica.

María Carolina Alfaro-Chinchilla
carolina.alfaro.chinchilla@una.cr

Escuela de Química
Universidad Nacional
Costa Rica

Narcy Villalobos-Sandí
narcy.villalobos.sandi@una.cr

Escuela de Ciencias Biológicas
Universidad Nacional
Costa Rica

Roy Pérez-Salazar
roy.perez.salazar@una.cr

Escuela de Química
Universidad Nacional
Costa Rica

Carola Scholz
carola.scholz@una.cr

Escuela de Ciencias Biológicas
Universidad Nacional
Costa Rica

Resumen

Los sistemas de lagunaje son una tecnología ampliamente utilizada a nivel mundial para el tratamiento de las aguas residuales, especialmente en pequeñas poblaciones y zonas rurales. Actualmente el reto en su funcionamiento consiste en maximizar la eficiencia para recibir cargas altas y potenciar el aprovechamiento biotecnológico de las algas que proliferan en este tipo de sistemas. En el presente estudio se presenta el análisis de un sistema de lagunas para el tratamiento de aguas residuales, ubicado en Costa Rica, que recibe aguas residuales domésticas. El sistema se estudió en cuanto a la remoción individual de contaminantes en cada una de las lagunas que lo

Tema: 1 Gestión y sustentabilidad del territorio y los recursos naturales
Principal área: Química

Alfaro-Chinchilla, C., Villalobos-Sandí, N., Pérez-Salazar, R., Scholz, C. (2019). Sistemas de lagunaje como tecnología alternativa para el tratamiento de aguas residuales: vigencia de esta técnica en Costa Rica. En Y. Morales-López (Ed.), *Memorias del I Congreso Internacional de Ciencias Exactas y Naturales de la Universidad Nacional, Costa Rica, 2019* (e211, pp. 1-10). Heredia: Universidad Nacional. doi <http://dx.doi.org/10.15359/cicen.1.69>

componen y se identificaron los principales tipos de algas presentes en las aguas residuales dentro de la misma. Se observó una remoción alta especialmente de materia orgánica y la presencia de algas con un papel relevante a nivel de su aprovechamiento biotecnológico.

Palabras clave: saneamiento; aguas residuales; lagunaje; tecnología; algas.

Abstract

Wastewater treatment ponds are a sanitation technology used worldwide especially in small towns and rural areas. The current challenge in its operation is to maximize efficiency, to receive high loads and enhance the biotechnological use of the algae that proliferate in this type of system. This study presents the analysis of a domestic wastewater treatment pond, located in Costa Rica. The system was studied in terms of the individual removal of contaminants in each of the ponds and the main types of algae present in wastewater. It was observed a high removal especially of organic matter and the presence of algae with a relevant biotechnological use.

Keywords: sanitation; wastewater; ponds; technology; algae.

Introducción

El aseguramiento del acceso al agua y al saneamiento constituye una de las principales preocupaciones mundiales que han sido consideradas en los compromisos para alcanzar los objetivos de desarrollo sostenible, propuestos por las Naciones Unidas. (Asamblea General Naciones Unidas, 2015). En esta temática, Costa Rica ha logrado destacarse en aspectos relacionados con el acceso al agua potable, llegando a tener coberturas de abastecimiento intradomiciliar del 92.5% (Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados, 2016). Sin embargo, los avances en tema de saneamiento han sido pocos en los últimos años, siendo el tanque séptico la principal técnica de disposición de aguas residuales domésticas al tratar cerca del 70% de ellas, mientras que solamente el 8% son enviadas a un alcantarillado sanitario que cuenta con planta de tratamiento, dentro de los cuales se incluye el tratamiento con sistemas de lagunaje. (AyA, MINAE, Ministerio de Salud, 2016).

Las instalaciones de tratamiento de aguas residuales existentes no siempre están en pleno funcionamiento debido a la falta de recursos y de mantenimiento adecuado, especialmente cuando se trata de sistemas convencionales, que son intensivos en uso de energía y de personal para su operación. Por esta razón la implementación de tecnologías basadas en procesos biológicos, de bajo costo y a la vez respetuosas con el ambiente, pueden desempeñar funciones clave en el tratamiento de aguas residuales mediante la eliminación de nutrientes y metales tóxicos antes de su descarga en los cuerpos de agua superficiales o bien para el reúso de estas aguas tratadas por ejemplo en la agricultura, siempre cumpliendo con la normativa vigente y el adecuado tratamiento, entendido como el



proceso mediante el cual las aguas logran cumplir con los objetivos de calidad establecidos a nivel local (Jené-Petschen).

Muchas de las inversiones planteadas en proyectos de saneamiento en el país, están pensadas para sistemas centralizados de alto costo, que si bien es cierto son ventajosos para zonas de grandes aglomeraciones urbanas, pueden ser poco viables en pequeñas poblaciones. Es por esta razón que es necesario analizar y divulgar experiencias exitosas de depuración que utilizan tecnologías de bajo costo, por lo que se presenta un estudio local de tratamiento de aguas por medio de lagunas facultativas, orientado a buscar el aprovechamiento biotecnológico del mismo.

Marco teórico

El lagunaje como opción para el tratamiento de las aguas residuales es una tecnología de origen muy antiguo y de amplio uso especialmente en pequeñas poblaciones y en zonas rurales (Mudrack y Kunst, 2003).

Dentro de las ventajas de estos sistemas se encuentran su bajo costo de construcción, la facilidad de operación y consumo mínimo de energía, entre otras (Crites y Tchobanoglous, 2000), razones por las cuáles es una de las tecnologías más importantes de depuración de aguas (EPA, 2011). Por otra parte una de sus principales desventajas es la alta concentración de algas, que dificulta el cumplimiento de la normativa por ejemplo en sólidos suspendidos. Además, requieren de una buena impermeabilización para evitar la contaminación de aguas subterráneas, ocupan un gran terreno y su funcionamiento depende de variables ambientales como la temperatura, radiación solar, la velocidad del viento, entre otras (Orth y Saptoka, 1988) (Comisión Nacional del Agua, 2007).

La concentración de oxígeno presente en las lagunas define si su funcionamiento es aerobio, anaerobio o facultativo (Crite y Tchobanoglous, 2000), condición que es utilizada junto con la configuración del sistema para definir la función de las lagunas (lagunas de estabilización, lagunas de oxidación o lagunas de maduración). La caracterización de estos sistemas también depende de su carga, por ejemplo para la lagunas de oxidación de tasa alta o baja; por otra parte también pueden clasificarse según el tipo de planta predominante, como por ejemplo lagunas a base de algas o lagunas con lenteja de agua (Mudrack y Kunst, 2003).

A nivel de remoción de contaminantes, los procesos de depuración se deben a oxidación de materia orgánica y sedimentación. Se describen a continuación los principales mecanismos de remoción por tipo de contaminante:

Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO): la fracción de DBO soluble disminuye por efecto de la oxidación bacteriana y la fracción de DBO particulada es removida principalmente en procesos de sedimentación.

Sólidos: el régimen de flujo bajo y los altos tiempos de residencia en las lagunas permiten la remoción de sólidos por sedimentación.

Nitrógeno: la remoción de nitrógeno se da por volatilización del amoníaco, así como por los procesos de nitrificación-desnitrificación mediante la captura por algas.

Fósforo: los sistemas de lagunaje no remueven fósforo, excepto aquellos que involucran la adición de reactivos en procesos paralelos de coagulación-floculación.

Organismos patógenos: los altos tiempos de residencia en las lagunas favorecen la



remoción de parásitos, bacterias y virus presentes en las aguas residuales. La sedimentación también favorece la remoción de quistes y huevos de helmintos (Crite y Tchobanoglous, 2000).

El bajo costo de construcción, operación y mantenimiento de los sistemas de lagunaje hace que esta técnica todavía sea de amplia aplicación a nivel mundial, especialmente en las zonas alejadas de centros urbanos, donde existe espacio físico disponible pero el abastecimiento energético es una limitante. Aun así, en países industrializados, los sistemas de lagunaje siguen siendo un componente importante de las tecnologías de tratamiento de aguas residuales.

A pesar de que las lagunas como tecnología de depuración son utilizadas desde hace algunas décadas, se sigue haciendo investigación especialmente con el fin de mejorar aspectos constructivos y operativos que aumenten la eficiencia de estos sistemas. Entre estos se incluyen mejoras en el comportamiento hidráulico para aumentar la eficiencia de tratamiento, el acondicionamiento de las aguas en cuanto a desinfección para promover su reúso así como la utilización de biogás y la producción de algas como biomasa útil en la producción alternativa de energía.

A pesar de los grandes avances en tecnología para el tratamiento de aguas residuales, el lagunaje seguirá siendo una técnica útil por muchos años, especialmente en países en desarrollo y zonas rurales. Particularmente en Costa Rica, el Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados opera desde 1974 cinco sistemas de depuración de aguas por medio de lagunas facultativas en las zonas de Liberia, Cañas, Nicoya, Santa Cruz, Buenos Aires y San Isidro de Pérez Zeledón, como producto de la construcción de redes de alcantarillado sanitario en cantones fuera del área central. La población cubierta por estos sistemas ha crecido, por lo que es necesario valorar el funcionamiento actual de las lagunas con el fin conocer su eficiencia en la depuración y promover opciones de operación y funcionamiento que la maximicen.

Metodología

El estudio se realizó en las lagunas facultativas para el tratamiento de aguas residuales domésticas de la zona de Cañas Guanacaste, Costa Rica. La configuración del tratamiento consiste en 2 sistemas dispuestos en serie, cada uno con dos lagunas, con una única salida que descarga al río. Se realizaron muestreos en los puntos de entrada (E1 y E2), intermedio (I1 e I2) y salida (S1 y S2). Cada muestra fue analizada con el fin de valorar la eficiencia tanto global como en cada una de las lagunas. Los parámetros analizados fueron Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO), Demanda Química de Oxígeno (DQO), Sólidos Suspendedos Totales (SST), pH, Temperatura (T) y conductividad eléctrica (CE), realizados según lo establecido en el Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. Se calcularon las eficiencias de remoción y los valores de salida fueron analizados en cuanto al cumplimiento de los parámetros de vertido establecidos en la normativa nacional.

Se tomaron muestras para la identificación de los tipos de algas presentes en el agua residual. Las muestras fueron analizadas en fresco en el microscopio óptico Nikon Eclipse Ni, y también se siguió la técnica de enriquecimiento de la muestra con medio de cultivo,



con el fin de poder observar otros géneros que se encuentran en forma de estructuras de resistencia. Por lo que cada dos semanas, los frascos enriquecidos fueron observados en el microscopio con el fin de realizar su caracterización y clasificación, según literatura específica. (Bellinger y Sigg, 2010) (John, Whitton y Brook, 2011).

Análisis

En la figura 1 se observa el sistema lagunar, compuesto por las 4 lagunas. Los puntos de entrada son E1 y E2, los puntos intermedios son I1 e I2 y las salidas E1 y E2. Según el flujo se definen dos sistemas paralelos en la secuencia E1-I1-S1 y E2-I2-S2. Tal y como se observa, las coloraciones en cada sistema varían según las condiciones de concentración y caudal recibido, según se observó en los muestreos realizados en las diferentes épocas del año. Las eficiencias de remoción fueron altas para la $DBO_{5,20}$ y similares en ambos sistemas, a pesar de las diferencias en las condiciones de caudal y concentración que pueden darse en ambas entradas pues reciben aguas de diferentes zonas de la ciudad. Esto demuestra el potencial amortiguador de las lagunas.



Figura 1. Fotografía área del sistema lagunar (ref Google Earth).



Cuadro 1 Porcentajes de remoción de contaminantes en el sistema de lagunas

Punto de muestreo	DBO _{5,20}	DQO	NTK	Amonio	Norg	Fosfato
E1- I1 (laguna 1)	64%	50%	32%	54%	5%	12%
E2-I2 (laguna 2)	70%	36%	29%	55%	3%	64%
I1-S1 (laguna 3)	60%	20%	37%	47%	28%	27%
I2-S2 (laguna 4)	50%	43%	33%	6%	0,44	-44%
Porcentaje total de remoción en laguna 1	85%	60%	57%	76%	32%	36%
Porcentaje total de remoción en laguna 2	85%	64%	52%	58%	46%	48%

^a Valores corresponden al promedio de todos los muestreos, n=14.

La remoción de nitrógeno total es similar en ambos sistemas, y en cada una de las lagunas de los sistemas, sin embargo, en términos de la remoción del amonio se observa un comportamiento diferente en el segundo sistema con un porcentaje menor de remoción principalmente en la segunda laguna del sistema 2. Este efecto se notó en muchos de los muestreos en términos de una coloración diferente en esta laguna, lo que evidencia un comportamiento de la biomasa diferente, debido probablemente al tipo y origen de las aguas residuales en este segundo sistema. En cuanto a la normativa de vertidos local, se observó un cumplimiento en términos de concentración de DBO cercano a la normativa, con valores entre 43 mg/L a 52 mg/L, siendo el valor límite 50 mg/L, lo que evidencia la necesidad de valorar los caudales recibidos y sobre todo de evaluar el volumen efectivo del sistema, considerando la acumulación de lodos en los fondos que pueden estar influyendo en los tiempos de residencia de diseño.

En cuanto la biomasa analizada, los géneros de cianobacterias y microalgas encontradas con mayor frecuencia se presentan en el cuadro 2.



Cuadro 2 Género de microalgas y cianobacterias más frecuentes en la laguna de Cañas

Cianobacterias	Microalgas verdes	Diatomeas
<i>Oscillatoria</i>	<i>Scenedesmus</i>	<i>Navicula</i>
<i>Phormidium</i>	<i>Chlamydomonas</i>	<i>Nitzschia</i>
<i>Arthrospira</i>	<i>Chlorella</i>	
<i>Nostoc</i>	<i>Euglena</i>	
<i>Microcystis</i>	<i>Phacus</i>	
	<i>Chlorococcum</i>	
	<i>Chlamydomonas</i>	

Los géneros que aparecieron en todos los muestreos fueron las cianobacterias *Microcystis* y *Arthrospira* (anteriormente conocida como *Spirulina*). Ambas tienen aplicaciones biotecnológicas muy estudiadas. En el primer caso, se trata de un grupo de microorganismos potencialmente tóxicos, por lo que es necesario realizar una evaluación de su toxicidad en forma regulada (Aranda-Rodriguez et al. 2015). La segunda ha sido muy usada en acuicultura por la presencia de proteínas de alto valor y pigmentos (Shah et al. 2018). Por otro lado, un género como *Nostoc*, aunque no fue frecuente encontrarlo, se considera importante por su capacidad de fijar nitrógeno atmosférico (Figura 2).

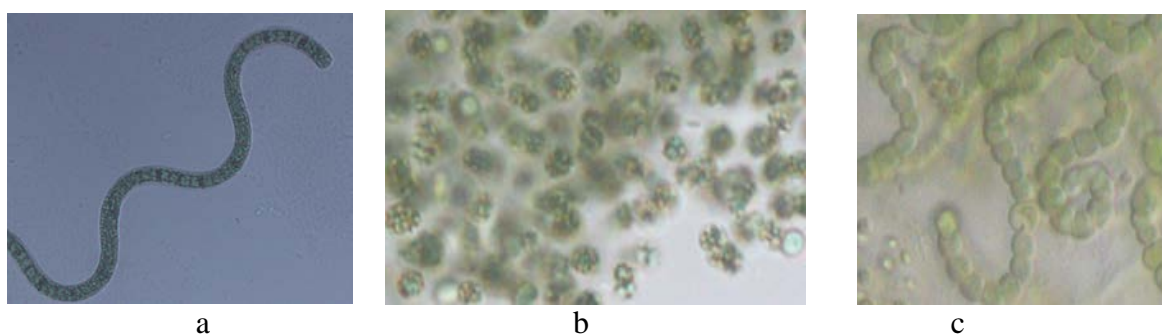


Figura 2. *Arthrospira* (a), *Microcystis* (b) y *Nostoc* (c) presentes en las lagunas (Tomadas en microscopio óptico Nikon Eclipse Ni a 40X).

Se identificaron además otras microalgas verdes como la *Scenedesmus* que además fue aislada debido a que se caracteriza porque ha sido usada en la biorremediación de aguas residuales para bajar el contenido de compuestos nitrogenados y fosfatados. Ejemplos de estas, se encuentran en la figura 3.

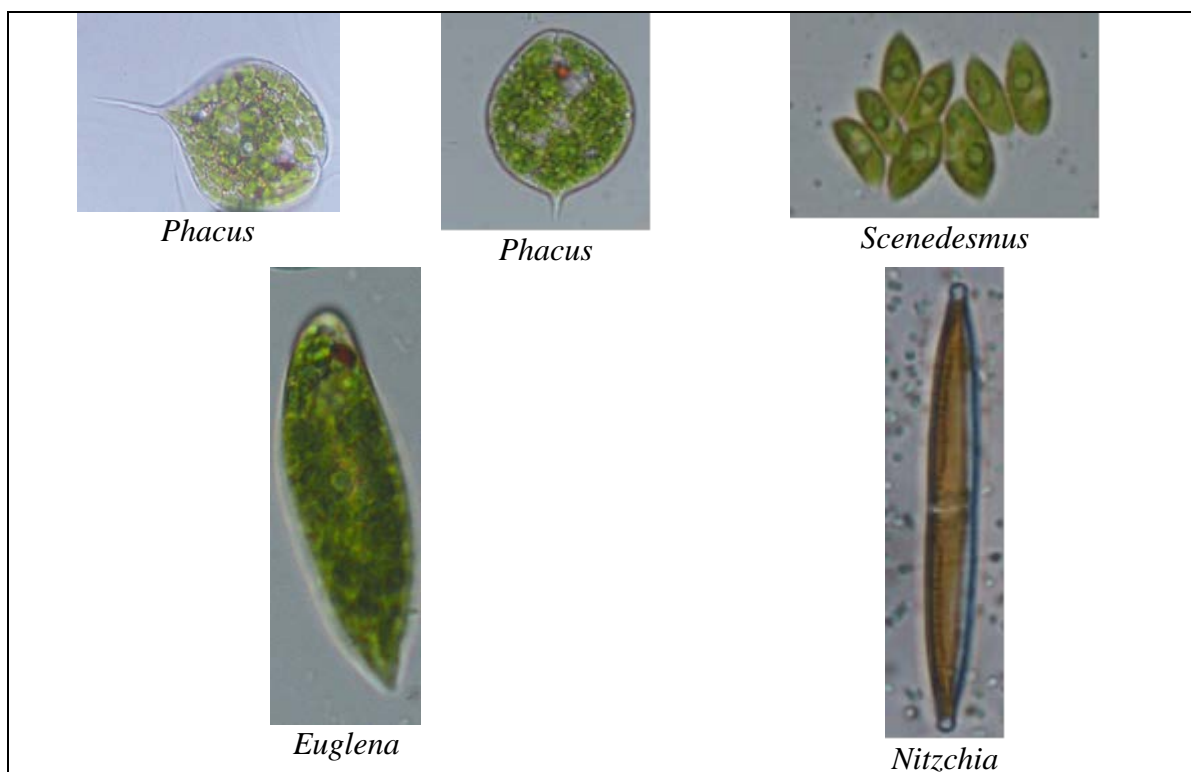


Figura 3. Otros géneros de microalgas encontrados en las lagunas con menor frecuencia (Tomadas en microscopio óptico Nikon Eclipse Ni a 40X).

Aunque las lagunas presenten variaciones en el tiempo en cuanto a la composición de la comunidad fitoplanctónica, la naturaleza del funcionamiento de la misma hace que se vuelva a establecer su equilibrio. Esto se infiere de esta manera porque se evidenció la presencia de poblaciones ya establecidas de algunos géneros como *Microcystis* y *Arthrospira* en forma frecuente durante el muestreo, en cambio la diversidad entre los diferentes grupos fue baja. El funcionamiento de las lagunas es sinérgico, lo cual quiere decir que todos los factores que influyen están conectados, desde los parámetros físicos, químicos y biológicos. En este sentido, el nivel trófico que ocupan las cianobacterias y microalgas y su relación con la eficiencia de estos ecosistemas es fundamental pero no único.



Conclusiones

El sistema cumple con una eficiencia global de materia orgánica esperada, que puede ser optimizada con acciones de operación y mantenimiento que permitan aumentar el tiempo de retención en el sistema.

Es importante realizar mejoras operativas en términos de los caudales dirigidos a ambos sistemas, dado que la laguna funciona en los márgenes de los límites de vertido locales.

En términos de optimizar la remoción de nitrógeno es importante identificar los vertidos dirigidos al segundo sistema, pues el comportamiento de la biomasa es diferente, lo que se refleja en las concentraciones de nitrógeno.

Las características fisicoquímicas y ambientales de estas lagunas favorecen el crecimiento en biomasa de algunos géneros, los cuales tienen un papel relevante a nivel de la biotecnología. En este contexto, es importante visualizar el potencial que en esta área tiene el aprovechamiento de las algas, y pensar en los sistemas existentes a nivel local, como opciones de innovación que le den un nuevo ímpetu a esta tecnología.

Referencias

- Aranda-Rodriguez, R., Jin, Z., Harvie, J. y Cabecinha, A. (2015). Evaluation of three field test kits to detect microcystins from a public health perspective. *Harmful Algae* 42: 34–42. doi <https://doi.org/10.1016/j.hal.2015.01.001>
- Asamblea General Naciones Unidas . (2015). Transformar nuestro mundo: la Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible (A/RES/70/1). Recuperado de <https://undocs.org/es/A/RES/70/1>
- AyA, MINAE, Ministerio de Salud. (2016). *Política Nacional de Saneamiento en Aguas Residuales 2016-2045* . San José, Costa Rica.
- Bellinger, E., y Sigeo, D. (2010). *Freshwater Algae: Identification and Use as Bioindicators*. Oxford, UK: Wiley-Blackwell.
- Comisión Nacional del Agua. (2007). *Manual de Agua Potable, alcantarillado y saneamiento: diseño de lagunas de estabilización* . México: Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales.
- Crite, R., y Tchobanoglous, G. (2000). *Tratamiento de aguas Residuales en pequeñas poblaciones*. Bogotá.
- EPA. (2011). *Principles of Design and Operations of wastewater treatment pond system for plant operators, engineers and managers* . Ohio, Estados Unidos.
- Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados. (2016). *Política Nacional de Agua Potable de Costa Rica 2017 – 2030*. San José, Costa Rica.
- Jené-Petschen, Xavier. (s.f.). *Monográficos agua en Centroamérica [3]. Manual de depuración de aguas residuales urbanas*. España: Ideasamares.
- John, D., Whitton, B., y Brook, A. (2011). *The Freshwater Algal Flora of the British Isles. An identification guide to freshwater and terrestrial algae*. Cambridge, UK.



- Mudrack, K., y Kunst, S. (2003). *Biologie der Abwasserreinigung*. Alemania: Spektrum Akademischer Verlag.
- Orth, H. y Saptoka, D. (1988). Upgrading facultative pond by implanting water hyacinth. *Water Research*, 22(12), 1503-1511. doi [https://doi.org/10.1016/0043-1354\(88\)90162-5](https://doi.org/10.1016/0043-1354(88)90162-5)
- Shah, M. R., Lutz, G. A., Alam, A., Sarker, P., Chowdhury, M.A.K., Parsaeimehr, A., Liang, Y. y Daroch, M. (2018). Microalgae in aquafeeds for a sustainable aquaculture industry. *Journal Applied Phycology* 30:197–213. doi <https://dx.doi.org/10.1007/s10811-017-1234-z>



Esta obra está bajo una licencia de Creative Commons Reconocimiento-NoComercial-SinObraDerivada 4.0 Internacional.

