



Ciencia Latina
Internacional

Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar, Ciudad de México, México.
ISSN 2707-2207 / ISSN 2707-2215 (en línea), enero-febrero 2024,
Volumen 8, Número 1.

DOI de la Revista: https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v8i1

EL CAMBIO CLIMÁTICO Y LOS SISTEMAS DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES

**EL CAMBIO CLIMÁTICO Y LOS SISTEMAS
DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES**

M Sc. Ing. Manuel Alberto Avila

Investigador Independiente, Guatemala

Dr. Dennis Argueta

Investigador Independiente, Guatemala

DOI: https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v8i1.10420

El Cambio Climático y los Sistemas de Tratamiento de Aguas Residuales

M.Sc. Ing. Manuel Alberto Avila¹mavila@wasyma.com<https://orcid.org/0009-0001-1065-0694>

Maestro en ingeniería sanitaria

Investigador Independiente

Guatemala

Dr. Dennis Arguetaarguetadennis@gmail.com

Doctor en cambio climático

Investigador Independiente

Guatemala

RESUMEN

El retraso de infraestructura, la contaminación de los cuerpos de agua, reducción del número de fuentes disponibles, el costo de agua apta para consumo humano y el cambio climático son de los problemas ambientales más graves al que se enfrenta la humanidad en la actualidad, la atmósfera no tiene fronteras, no puede detenerse “a voluntad”. Cepal, 2012 estima que menos del 10% de aguas residuales son tratadas antes de ser devueltas al cuerpo receptor, más del 90% de cuerpos de agua están siendo contaminados en la región centroamericana. La temperatura es uno de los parámetros físicos más importantes en el agua, influye en el retardo o aceleración de la actividad biológica. Es importante desarrollar y construir tecnologías, que contribuyan con la reducción de GEI y saneamiento, contribuyendo a la mitigación del cambio climático, como por ejemplo con una planta macrófita (*E. Crassipes*) que puede ser utilizada para absorber nitrógeno y fósforo a diferentes temperaturas medias máximas dentro de un tanque con aguas residuales. Los resultados obtenidos con *E. Crassipes* indican la capacidad significativa para absorber nitrógeno y fósforo en diferentes temperaturas. A medida que la temperatura varía, esta capacidad puede ser afectada, pero su capacidad fitodepuradora sigue siendo significativa. Es por ello que se determinó que el aporte de una planta macrófita como lo es la *E. Crassipes* en los sistemas de tratamiento para mitigar el cambio climático, tratando las aguas residuales domésticas con soluciones basadas en la naturaleza, ante el probable aumento de las temperaturas es eficiente y muy significativo.

Palabras clave: sistemas de tratamiento, cambio climático, Jacinto de agua, absorción de nitrógeno y fósforo

¹ Autor principal

Correspondencia: mavila@wasyma.com

Climate Change and Wastewater Treatment Systems

ABSTRACT

The delay in infrastructure, the contamination of rivers, the reduction in the number of available sources, the cost of water suitable for human consumption and climate change are some of the most serious environmental problems facing humanity today. atmosphere has no borders, it cannot be stopped “at will”. ECLAC, 2012 estimates that less than 10% of wastewater is treated before being returned to the receiving body, more than 90% of rivers are being contaminated in the Central American region. Temperature is one of the most important physical parameters in water, it influences the delay or acceleration of biological activity. It is important to develop and build technologies that contribute to the reduction of GHG and sanitation, contributing to the mitigation of climate change, such as with a macrophyte plant (*E. Crassipes*) that can be used to absorb nitrogen and phosphorus at different average temperatures. maximum within a tank with wastewater. The results obtained with *E. Crassipes* indicate the significant capacity to absorb nitrogen and phosphorus at different temperatures. As the temperature varies, this capacity may be affected, but its phytopurifying capacity remains significant. That is why it was determined that the contribution of a macrophytic plant such as *E. Crassipes* in treatment systems to mitigate climate change, treating domestic wastewater with nature-based solutions, given the probable increase in temperatures It is efficient and very significant.

Keywords: treatment systems, climate change, water hyacinth, nitrogen and phosphorus absorption

Artículo recibido 20 enero 2024

Aceptado para publicación: 28 febrero 2024



INTRODUCCIÓN

El cambio climático, una problemática ambiental que ha cobrado relevancia a nivel mundial en las últimas décadas, ha propiciado una serie de desafíos para la sociedad contemporánea. Se ha identificado que una de las principales causas de este fenómeno es la emisión desmedida de gases de efecto invernadero, consecuencia de las actividades humanas, tales como la quema de combustibles fósiles, la deforestación y la actividad industrial (IPCC, 2018). Las metrópolis y la Ciudad de Guatemala, no está exentas de esta problemática y enfrentan retos específicos relacionados con su crecimiento urbano y las consecuencias que ello acarrea en el medio ambiente.

En este contexto, los sistemas de tratamiento han emergido como una clave para afrontar y mitigar los impactos del cambio climático, centrando sus esfuerzos en el diseño, construcción y operación de sistemas que buscan conservar y mejorar la calidad del ambiente, particularmente del agua (Tchobanoglous, et al, 2003). Dentro de las múltiples soluciones que los sistemas de tratamiento ofrecen, se encuentran la utilización de sistemas naturales, como ciertas plantas acuáticas, que pueden contribuir significativamente a la limpieza y purificación del agua. Una de estas plantas es el Jacinto de agua (*Eichhornia crassipes*), conocido por su capacidad para absorber contaminantes, entre ellos, el nitrógeno y el fósforo (Malik, A. 2007). Estos nutrientes, aunque esenciales para la vida acuática, en concentraciones elevadas pueden causar problemas como la eutrofización, afectando la calidad del agua y los ecosistemas acuáticos.

En este trabajo, se presenta los resultados obtenidos en los que se estudió el potencial del Jacinto de agua para absorber diferentes parámetros entre ellos nitrógeno y fósforo en diferentes condiciones de temperatura. A través de este estudio, se busca proporcionar información valiosa que pueda ser utilizada para diseñar sistemas eficientes de tratamiento de agua, contribuyendo así a la mitigación del cambio climático y a la mejora de la calidad del ambiente.



Figura 1. Mapa de la República de Guatemala y de su orografía (altitud en m.s.n.m.)



Datos utilizados

Se gestionaron datos del Instituto Nacional de Sismología, Vulcanología, Meteorología e Hidrología de Guatemala para el periodo de 1971-2019, y se utilizaron los datos de temperatura diaria de la estación ubicada en la ciudad de Guatemala. Con estos datos se construyeron series de tiempo de temperatura máxima y mínima con resolución temporal.

El enfoque es de tipo cualitativo y el alcance del estudio es descriptivo en el cual se busca encontrar una planta macrófita que pueda ser estudiada para mitigar los efectos del cambio climático utilizando sistemas de tratamiento de agua residual.

Sistemas de tratamiento de agua residual afectados por el cambio climático

Existen muchos sistemas de tratamiento de aguas, pero debe escogerse uno y solamente uno con consideraciones, técnicas, económicas, de operación y sobre todo de buena calidad de agua en su efluente y que reduzca el GEI, una de las características por las que un diseñador selecciona la tecnología es por la temperatura, pero ¿qué sucede cuando este se convierte en variable?, o sea existe variabilidad climática.

Para el estudio de esta investigación, se abordan tratamientos como lo mencionado por el (IARNA, 2011) ya que “se esperan cambios drásticos en el territorio en el caso de climas con el efecto del fenómeno del niño y eventos extremos de más de 6 grados a más de 15 grados de la temperatura

promedio, que se pueden expresar en nuevas definiciones potenciales de vida además de nuevos aspectos a tomar en cuenta en el tratamiento de las aguas residuales domésticas”.

Muchas veces, los usuarios y técnicos en la materia se dejan llevar por sistemas económicos que resultan siendo los más caros del mercado de acuerdo a la operación, disposición, tratamiento y sobre todo la contaminación al ambiente que es un rubro que no se le da el valor real, siendo este un valor dentro de los más importantes.

En Estados Unidos Según (Ramalho,1983) “el costo promedio por cada mil galones de agua es de aproximadamente \$0,20, lo que corresponde a \$0,05/tonelada”. Es un producto relativamente barato, pero como resultado, la economía del tratamiento de aguas residuales es muy crítica. En principio, mediante la utilización de sofisticados procesos de tratamiento, se puede obtener agua potable a partir de aguas residuales. Sin embargo, consideraciones económicas impiden la aplicación práctica de muchos métodos de tratamiento disponibles. En países donde el agua es un bien escaso y altamente costoso. Al evaluar un proceso específico de tratamiento de aguas residuales, es importante estimar una relación costo-beneficio entre el beneficio derivado del tratamiento para obtener agua de una calidad específica y el costo de lograr esta mejora de la calidad.

El jacinto de agua, (*Eichhornia Crassipes*), es una planta acuática de la familia de las Pontederiaceae. “Tiene bulbos con aire que le permiten flotar y flores moradas” (Poi, 2016). A nivel mundial el “jacinto de agua” puede causar problemas más complicados y agudos que ninguna otra macrófita acuática flotante. Esto es el resultado de su alta intensidad de crecimiento y reproducción, alta habilidad competitiva con relación a otras plantas acuáticas flotantes, alto desempeño en diferentes temperaturas, el movimiento de las plantas por el viento y las corrientes de agua propagadas por el hombre, depositando nutrientes como el Nitrógeno y Fósforo, aparte de sus flores atractivas. Es una planta acuática de libre flotación con rosetas de hojas soportadas por pecíolos que pueden ser cortos y abultados o largos y delgados, de hasta 50 o aún 100 cm de longitud. Se propaga rápidamente mediante estolones que se desarrollan a partir de la base de la roseta. Los estolones crecen hasta 30 cm de longitud antes de desarrollar una roseta hija. Se ha investigado ampliamente y aunque se conoce mucho acerca de su biología, control y potencial de utilización, aún existen fallas significativas en el conocimiento sobre esta planta.



Stottmeister et al, (2003) indica que los humedales construidos con vegetación pueden tener una mayor eficacia para la eliminación de nutrientes que aquellos sin el uso alguna vegetación como por ejemplo Eichhornia Crassipes que es la vegetación que se seleccionó investigar en este estudio, ya que la selección de especies vegetación debe ser tomado en consideración. Martelo et al, (2012) en el estudio realizado en Colombia ha demostrado macrófitas flotantes Mixtas para la fitodepuración y obtuvo resultados eficientes de remoción significativamente altas en todos los constituyentes de las aguas residuales, utilizando macrófitas flotantes mixtas, siendo el jacinto de agua el de mejores resultados en cuanto a la fitodepuración.

Mishra et al, (2017). Aseveran que se deben realizar investigaciones a gran escala para mejorar la eliminación de nutrientes tóxicos de las aguas residuales e industriales utilizando jacinto de agua (Eichhornia Crassipes), que ha despertado un interés por tratar las aguas residuales, y Yan, et al (2017). indican que, investigar el efecto de la temperatura sobre la dinámica de absorción de Nitrógeno (N) Y Fósforo (P) de plantas macrófitas en este tipo de plantas de aguas residuales domésticas y puede ser la planta más prometedora para la eliminación de nutrientes de agua eutróficos a bajo costo y en condiciones de laboratorio sería el eje temático de una buena investigación.

Temperatura en sistemas de tratamiento de agua residual afectada por el cambio climático

El aspecto técnico de temperatura y la variabilidad climática son aspectos relevantes en las aguas residuales pero no son el día de hoy relevantes para muchos diseñadores de sistemas de tratamiento, ¿qué pasaría si la temperatura del sitio aumenta drásticamente?, este es uno de los parámetros más importantes en el agua, pues por lo general influye en el retardo o aceleración de la actividad biológica, la absorción de oxígeno, la precipitación de compuestos, la formación de depósitos, la desinfección y los procesos de mezcla, floculación, sedimentación y filtración. Múltiples factores, principalmente ambientales, pueden hacer que la temperatura del agua varíe continuamente.

Las proyecciones de temperatura presentan una tendencia creciente para la ciudad de Guatemala, presentará las posibles variaciones de temperatura según las predicciones de los estudios mencionados, con el propósito de darle mayor sustento a los tratamientos a evaluar sobre las posibles proyecciones de temperatura. Se utilizó la base de datos del INSIVUMEH, MARN, INE y del Comité

regional de recursos hidráulicos, (CRRH, 2021) con el propósito de apoyar el cálculo de los índices de cambio climático.

Cuando la temperatura baja a menos que 20 °C, el metabolismo celular afloja y menos células degradan, nitrifican y se dividen. Cuando sube a más que 40 °C, las proteínas se hacen inactivas y las membranas pueden romperse, lo que tiene como resultado la muerte de la célula (Ramirez, et al 2010).

Cuando se reúnen ciertas condiciones de temperatura malos sabores y olores desagradables de las aguas proliferan. La viscosidad, la desinfección del agua está relacionada con la temperatura de la misma, el fenómeno de adsorción, depende de la naturaleza de la sustancia, concentración y temperatura, para procesos aeróbicos la presencia de oxígeno disuelto en el agua cruda depende de la temperatura, para los procesos anaeróbicos la temperatura es fundamental sin metabolismo celular debajo de 20 °C la digestión que podría aplicarse no se separa y no hay aprovechamiento del gas o mejor dicho no se forma etapa de metalogénesis.

El aumento de la temperatura ocasiona una mayor demanda y menor disponibilidad de energía de enfriamiento, por lo que para sistemas aeróbicos se deben buscar energías limpias para un desarrollo sustentable.

Prozhhorina et al, (2018) hace ver la importancia de la temperatura del agua dada su influencia, tanto sobre el desarrollo de la vida acuática como sobre las reacciones químicas y velocidades de reacción, así como sobre la aptitud del agua para ciertos usos útiles, el aumento de temperatura del agua puede provocar cambios en las especies piscícolas y es fundamental la temperatura de captación del agua, en la solubilidad del agua, se indica que el cambio brusco de temperatura puede conducir a un fuerte aumento en la mortalidad de la vida acuática, pero las temperaturas anormalmente elevadas pueden dar lugar a una indeseada proliferación de plantas acuáticas y hongos.

Para el tratamiento biológico, la temperatura más adecuada está dentro de un rango de 25 a 35°C. En general, la actividad del tratamiento biológico se acelera a temperaturas cálidas y disminuye a temperaturas más bajas; sin embargo, temperaturas muy extremas, tanto frías como calientes, podrían obstaculizar el tratamiento (National Small Flows Clearinghouse, 1997).

Prozhhorina, Kosinova, Vasilyeva & Libina (2018) indica que la dependencia de la temperatura de las constantes de la velocidad de reacción biológica es muy importante a fin de asegurar la eficacia conjunta de un proceso de tratamiento biológico. La temperatura no sólo influye en las actividades metabólicas de la población microbiana, sino que también tiene un profundo efecto sobre factores tales como la velocidad de transferencia de gases y sobre las características de sedimentación de los sólidos biológicos.

Otros parámetros de tratamiento afectados por el cambio climático

El tratamiento de aguas residuales basa su operación en caudal y concentración de las aguas, algo muy importante en el cambio climático es el uso desmedido actual del agua potable, este se vería afectado por la reducción en la distribución de acuerdo al cambio climático que se vive por la reducción drástica de los caudales superficial y subterránea en donde comúnmente encontramos agua dulce por lo tanto los efectos del cambio climático provocarían sequías frecuentes y alargadas.

¿Se podrán adaptar las tecnologías de sistemas de tratamiento a la variabilidad de fenómenos extremos?

Los escenarios describen coherente, consistente y convincentemente una posible proyección del estado futuro del mundo (IPCC, 2001) como imágenes climáticas asumidas del mundo futuro para evaluar efectos en ecosistemas, sectores productivos y sectores socioeconómicos.

Para Guatemala (Rivera et al, 2020) indican que “se han generado múltiples escenarios de cambio climático, como los realizados por el Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales (MARN) en el año 2001; los del Centro del Agua del Trópico Húmedo para América Latina y el Caribe en 2008; de la Comisión Económica para América Latina y el Caribe en 2011; del Instituto de Investigación y Proyección sobre Ambiente Natural y Sociedad en 2011; y, dentro de los más recientes, están los escenarios realizados conjuntamente entre el MARN y la Universidad de Nebraska de Estados Unidos en el año 2015, basados en el quinto reporte del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático”.

DISCUSIÓN

Los resultados de varios estudios obtenidos indican que el Jacinto de agua tiene una capacidad significativa para absorber nitrógeno y fósforo de ambientes acuáticos. A medida que la temperatura

varía, esta capacidad puede ser afectada, pero no hay estudios que la relacionen a temperaturas medias máximas o en escenarios drásticos futuros.

El papel de los sistemas de tratamiento en la mitigación del cambio climático, sin duda alguna es de vital importancia. A medida que la urbanización aumenta, la necesidad de sistemas eficientes de tratamiento de aguas residuales se vuelve esencial, ya que un manejo inadecuado puede resultar en la liberación de gases de efecto invernadero como el metano, el cual tiene un potencial de calentamiento global significativamente mayor que el dióxido de carbono (Bogner, et al. 2007).

La utilización de sistemas naturales, como el Jacinto de agua, para la purificación de aguas es una estrategia que combina eficiencia y sostenibilidad. Como se discutió anteriormente, el Jacinto de agua tiene la capacidad de absorber nitrógeno y fósforo en diferentes temperaturas, es de realizar estudios para determinar si es apta para temperaturas medias máximas que puedan soportar diferentes climas tropicales, ya que otros elementos que en grandes cantidades pueden ser perjudiciales para ecosistemas acuáticos (Malik, A. 2007), esta planta pueda recuperar. Además, sistemas basados en plantas como el Jacinto pueden actuar como sumideros de carbono, capturando CO₂ y contribuyendo a la reducción de las concentraciones atmosféricas de este gas (Lal, R. 2004).

No obstante, es esencial mencionar que el uso desmedido del Jacinto de agua puede presentar desafíos. Si no se controla adecuadamente, esta planta puede convertirse en una especie invasora, afectando la biodiversidad y la dinámica de cuerpos de agua (Villamagna, A., & Myrphy, B. et al. 2010). Por ello, la implementación de estos sistemas requiere de un manejo adecuado y monitoreo constante para garantizar un equilibrio entre los beneficios y posibles impactos negativos.

A nivel global, muchas ciudades están adoptando prácticas sostenibles en su gestión de recursos hídricos, siendo la los sistemas de tratamiento un pilar fundamental en este proceso. La integración de soluciones basadas en la naturaleza, como el uso del Jacinto de agua, junto con tecnologías avanzadas de tratamiento, puede resultar en sistemas híbridos que maximicen los beneficios y minimicen los impactos ambientales (Chong, et al. 2010).

Los sistemas de tratamiento proveen soluciones viables para la mitigación del cambio climático en zonas urbanas como la Ciudad de Guatemala y son soluciones basadas en la naturaleza, tal como lo demuestra esta investigación doctoral. El uso de plantas acuáticas, específicamente el Jacinto de agua,

demuestra ser una estrategia prometedora para la remoción de contaminantes y, por ende, para mejorar la calidad del agua y el ambiente en general.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Bogner, J., Ahmed, M. A., Diaz, C., Faaij, A., Gao, Q., Hashimoto, S., ... & Pipatti, R. (2007). Waste management. In *Climate Change 2007: Mitigation. Contribution of Working Group III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental*
- CEPAL. (12 de 06 de 2012). *La economía del cambio climático en Centroamérica*. México: Comisión Económica para América Latina y el Caribe. Obtenido de NACIONES UNIDAS, CEPAL:
<https://www.cepal.org/es/publications>
- Chong, M. N., Jin, B., Chow, C. W., & Saint, C. (2010). Recent developments in photocatalytic water treatment technology: a review. *Water Research*, 44(10), 2997-3027.
- Esparza, Miguel. (2014). La sequía y la escasez de agua en México: Situación actual y perspectivas futuras. *Secuencia*, (89), 193-219. Recuperado en 17 de febrero de 2024, de
http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0186-03482014000200008&lng=es&tlng=es.
- FAIR G., GEYER J. y OKUN D. 1987. *Ingeniería Sanitaria y de Aguas Residuales*. Volumen 3. Primera edición.
- IPCC. (2001). IPCC. *Global Biogeochemical cycles*, 891-907.
- IPCC. (2018). *Global Warming of 1.5°C. An IPCC Special Report*. Intergovernmental Panel on Climate Change.
- Lal, R. (2004). Soil carbon sequestration impacts on global climate change and food security. *Science*, 304(5677), 1623-1627.
- Malik, A. (2007). Environmental challenge vis a vis opportunity: The case of water hyacinth. *Environmental International*, 33(1), 122-138.
- Martelo, J., & Lara Borrero, J. (2012). *Macrófitas flotantes en el tratamiento de aguas residuales*. Colombia.



- Mishra, S., & Maiti, A. (2017). The efficiency of *Eichhornia crassipes* in the removal of organic and inorganic pollutants from wastewater: a review. *Environmental Science and Pollution Research*, 24, 7921-7937. doi:10.1007/s11356-016-8357-7
- Prozhorina T.I, Kosinova I.I., Vasilyeva M. V. (2018), Irina Ivanovna Libina. Environmental assessment of the chemical composition of melt and rain runoff from residential areas of the city of Voronezh,
<https://doi.org/10.47470/0016-9900-2018-97-8-699-702>
- Ramalho R.S. (1983); [versión española, Domingo Jiménez Beltrán, Federico de Lora, Rubens Sette Ramalho. Tratamiento de aguas residuales, Academic press, inc. (London) LTD.
- Ramírez Agudelo, María Elena y Rojas López, Mauricio. (2010). La necrosis, un mecanismo regulado de muerte celular. *Iatreia*, 23 (2), 166-177. Recuperado el 17 de febrero de 2024, de
http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0121-07932010000200008&lng=en&tlng=es.
- Rivera, P., Ochoa, W. & Salguero, M., (2020). Escenarios de Cambio Climático para Guatemala. Programa Doctorado en Cambio Climático y Sostenibilidad. Universidad de San Carlos de Guatemala. Guatemala.
- Stottmeister, Ulrich & Wiessner, A & Kuschik, P & Kappelmeyer, Uwe & Kaestner, Matthias & Bederski, O & Müller, Roland & Moormann, H. (2004). Effects of Plants and Microorganisms in Constructed Wetlands for Wastewater Treatment. *Biotechnology advances*. 22. 93-117. 10.1016/j.biotechadv.2003.08.010
- Tchobanoglous, G., Burton, F. L., & Stensel, H. D. (2003). *Wastewater engineering: Treatment and reuse*. McGraw-Hill.
- Villamagna, A. M., & Murphy, B. R. (2010). Ecological and socio-economic impacts of invasive water hyacinth (*Eichhornia crassipes*): a review. *Freshwater Biology*, 55(2), 282-298.
- Wastewater Engineering: Treatment and Reuse* by George Tchobanoglous, Franklin L. Burton, H. David Stensel, Inc Metcalf & Eddy



Yan, S., Song, W., & Guo, J. (2017). Advances in management and utilization of invasive water hyacinth (*Eichhornia crassipes*) in aquatic ecosystems – a review. *Critical Reviews in Biotechnology*, 37, 218 - 228.

