

## Experiencia en la fase de estabilización del nuevo sistema de tratamiento de aguas residuales en la Escuela de Medicina Veterinaria, Campus Benjamín Núñez, UNA.

**Roy Pérez-Salazar**  
[roy.perez.salazar@una.cr](mailto:roy.perez.salazar@una.cr)

Escuela de Química  
Universidad Nacional  
Costa Rica

**Carolina Alfaro-Chinchilla**  
[carolina.alfaro.chinchilla@una.cr](mailto:carolina.alfaro.chinchilla@una.cr)

Escuela de Química  
Universidad Nacional  
Costa Rica

**Carola Scholz**  
[carola.scholz@una.cr](mailto:carola.scholz@una.cr)

Escuela de Ciencias Biológicas  
Universidad Nacional  
Costa Rica

### Resumen

La Escuela de Medicina Veterinaria de la UNA, inauguró en marzo del 2018, un sistema alternativo de tratamiento de aguas residuales (SATAR) utilizando la tecnología de humedales construidos (HC) de flujo subsuperficial. El objetivo fue monitorear la fase de estabilización del sistema de tratamiento con el fin de observar el porcentaje de remoción de los parámetros fisicoquímicos, el cumplimiento del reglamento de vertido y reuso de aguas residuales, el comportamiento de las plantas (*Heliconia psittacorum*, *Cyperus Rotundus* y *Penicettum villosum*), así como la configuración más adecuada. Esta experiencia creó una línea base estabilización, remoción y funcionamiento de los sistemas para iniciar la ejecución del proyecto "Valoración del desempeño de los humedales artificiales subsuperficiales de flujo horizontal para el tratamiento de aguas residuales en la Escuela de Medicina Veterinaria de la

Tema: Gestión y sustentabilidad del territorio y los recursos naturales

Principal área: Química

Pérez-Salazar, R., Alfaro-Chinchilla, C. & Scholz, C. (2019). Experiencia en la fase de estabilización del nuevo sistema de tratamiento de aguas residuales en la Escuela de Medicina Veterinaria, Campus Benjamín Núñez, UNA. En Y. Morales-López (Ed.), *Memorias del I Congreso Internacional de Ciencias Exactas y Naturales de la Universidad Nacional, Costa Rica, 2019* (e210, pp. 1-8). Heredia: Universidad Nacional. doi <http://dx.doi.org/10.15359/cicen.1.68>

ISBN: 978-9968-9661-6-0.

Universidad Nacional, Costa Rica. SIA-614-17", el cual inició en enero del 2019 y futuros proyectos de investigación que se puedan desarrollar por la implementación de humedales construidos.

*Palabras clave:* Humedales construidos; aguas residuales, contaminación; estabilización; tratamiento.

### Abstrac

The School of Veterinary Medicine of the UNA, inaugurated in March 2018, an Alternative system of wastewater treatment (SATAR) using the technology of constructed wetlands (HC) of subsurface flow. The objective was to monitor the stabilization phase of the treatment system in order to observe the percentage of removal of the physicochemical parameters, compliance with the regulation of dumping and reuse of wastewater, the behavior of the plants (*Heliconia psittacorum*, *Cyperus Rotundus* and *Penicettum villosum*), as well as the most appropriate configuration. This experience created a baseline, stabilization, removal and operation of the systems to initiate the execution of the project "Valuation of the performance of artificial sub-surface hydrological fluids for the treatment of wastewater in the School of Veterinary Medicine of the National University, Costa Rica SIA-614-17 ", which began in January 2019 and future research projects that can be developed by the implementation of constructed wetlands.

*Keywords:* Constructed wetlands; wastewater; contamination; stabilization; treatment.

### Introducción

Este estudio se realizó como parte de una actividad académica titulada "Fase de Arranque y Estabilización del Sistema de tratamiento de Aguas Residuales con Humedales Artificiales de la Escuela de Medicina Veterinaria SIA-91-18 en donde participaron el Laboratorio de Gestión de Desechos y Aguas Residuales (LAGEDE) y el Laboratorio de Botánica de la Escuela de Ciencias Biológicas de la Universidad Nacional. Ambos laboratorios poseen amplio conocimiento y experiencia en la temática de humedales construidos (HC) o llamados en Costa Rica, biojardineras (referencia omitida). El diseño del sistema fue realizado por personal del LAGEDE y construido por una empresa contrada, siguiendo el concepto de que el sistema sirva tanto para tratar las todas las aguas que provinieran de la Escuela de Medicina Veterinaria (EMVE) y a su vez fuese un sistema versátil para la investigación, academia y desarrollo de esta tecnología en el país. Este sistema es uno de los primeros a nivel nacional que contempla tanto el tratamiento de aguas residuales ordinarias como especiales, el cual sirve como modelo nacional para su incorporación como una tecnología verde, que no utiliza energía para su funcionamiento y que puede ser replicado en otros lugares tanto como universidades, hoteles y comunidades rurales.



## **Marco teórico**

La Organización de las Naciones Unidas (ONU), en 2015 aprobó la Agenda 2030 sobre el Desarrollo Sostenible, la cual cuenta con 17 Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS), entre ellos el objetivo 6, el cual alude sobre “garantizar la disponibilidad y la gestión sostenible del agua y el saneamiento para todos” y dentro del objetivo se plantea la meta: “de aquí al 2030, mejorar la calidad del agua reduciendo la contaminación, eliminando el vertimiento y minimizando la emisión de productos químicos y materiales peligrosos, reduciendo a la mitad el porcentaje de aguas residuales sin tratar y aumentando considerablemente el reciclado y la reutilización sin riesgos a nivel mundial (ONU, 2015). En esa misma línea de cumplimiento de los ODS en el año 2016, Costa Rica creó la Política Nacional de Saneamiento en Aguas Residuales 2016-2045, teniendo en cuenta los problemas de salud pública y contaminación del ambiente asociados a la deficiencia en sistemas adecuados tratamiento de aguas residuales (AyA, MINAE y MS, 2016). Por consiguiente, existe en Costa Rica, una necesidad para implementar técnicas y sistemas alternativos de tratamiento de aguas residuales eficientes, con costos bajos de mantenimiento y operación que puedan ser aplicados en las zonas más vulnerables del país. Los sistemas de humedales construidos cumplen con muchos requisitos para ser utilizados como sistemas de saneamiento en países en vías de desarrollo.

Los humedales construidos son sistemas tratamiento de aguas residuales, en muchas ocasiones llamados también biofiltros (o filtros biológicos), consiste en una excavación poco profunda que contiene una fase de grava o piedra volcánica que funciona como filtro y soporte del biofilm, el cual se encarga de la degradación de la materia orgánica. En algunos casos pueden tener el flujo superficial o subsuperficial y se pueden clasificar también por la funcionalidad de las macrófitas que poseen (Brix, 1994; Vymazal, 2014).

Existen muchas experiencias con HC que han sido implementado con éxito como una tecnología apropiada para los problemas de saneamiento en zonas tropicales-subtropicales, muchos de ellos en países en vías de desarrollo. Estudios han demostrado que los HC poseen gran potencial para tratar una variedad de aguas residuales, especialmente en países en desarrollo (Zang et al, 2015; Pérez et al, 2019). Según reporta Vymazal 2014, el uso de la HC ha avanzado desde sus inicios y es una tecnología confiable, muy utilizada a nivel mundial y también es una técnica que ha sido manejada para tratar varios tipos de efluentes industriales, con su eficiencia comprobada.

Los HC, en general, no han sido diseñados para la eliminación de productos farmacéuticos o moléculas de compuestos orgánicos complejos como las hormonas o los antibióticos, pero existen a nivel mundial muchas experiencias que muestran la efectividad de este tipo de sistemas para la degradación de estas dentro del lecho del humedal (Santos et al, 2019; Wang et al, 2019; Dires et al, 2019)

## **Metodología**

El área del sistema de tratamiento se encuentra en el valle Central de Costa Rica, específicamente en Campus Benjamín Núñez de la Universidad Nacional en distrito Ulloa el cantón de Heredia. El SATAR consiste en una rejilla de sólidos gruesos, un tanque



Imhoff y cuatro humedales construidos. Los HC están diseñados para que puedan operar cada uno con flujo independiente (C1, C2, C3, C4), pero también con un flujo en serie y en paralelo (C2-C3; C1-C4). Todos los HC poseen un área superficial de 240 m<sup>2</sup> cada uno y una relación largo-ancho (L: W) de 1.5:1 y se rellenaron hasta una profundidad media de 0,50 m con piedra bola (en el inicio y final del sistema) y piedra cuarta (D60 = 4 mm). La porosidad del medio granular es del 40%. El nivel del agua estuvo aproximadamente a 0,10 m por debajo de la superficie de la piedra y todos los humedales fueron impermeabilizados con una membrana de plástico de HDPE y un geotextil. La celda 1, 2 y 3 están plantadas con *Heliconia psittacorum* (avecilla), *Cyperus rotundus* (coquito) y *Pennisetum villosum* (penicettum), respectivamente y la celda 4 no posee plantas. En total el SATAR en total esta diseñado para tratar 60 m<sup>3</sup> diarios con un tiempo de retención hidráulico teórico de 4 días.

Se realizaron 6 campañas de muestreos, se efectuó una división equitativa del caudal del agua proveniente del tanque Imhoff (40 m<sup>3</sup>/d), con el objetivo de regular la carga orgánica a cada una de las cuatro celdas. La figura 1 muestra un esquema simple del SATAR, así como los 7 puntos de muestreo (P1-P7) para determinar el porcentaje de remoción de cada una de las celdas y del sistema en total.

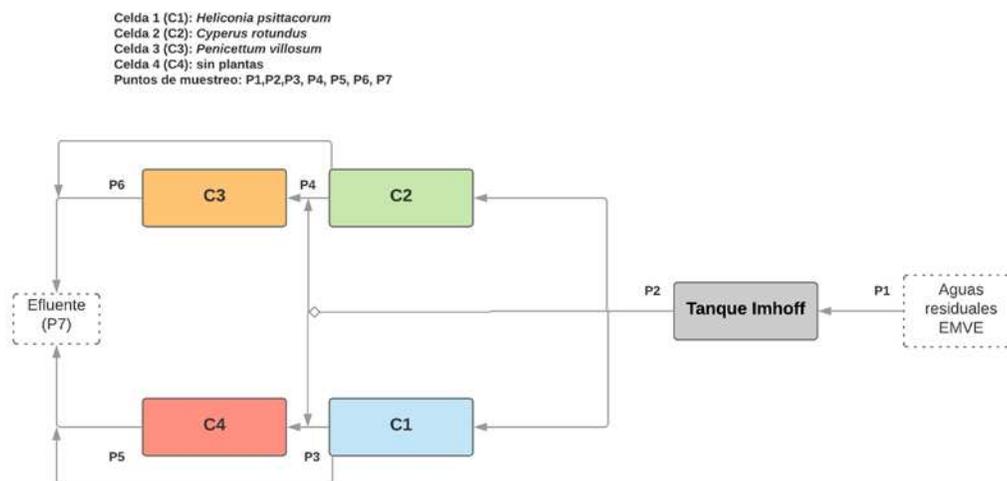


Figura 1. Esquema del SATAR de la Escuela de Medicina Veterinaria (EMVE).

Se evaluó el sistema en términos de remoción, de la demanda bioquímica de oxígeno (DBO), de la demanda química de oxígeno (DQO), de los sólidos suspendidos totales (SST), del nitrógeno total Kjeldahl, del nitrógeno amoniacal y el fósforo soluble. In situ se midió la conductividad eléctrica, la temperatura, OD, ORP y el pH. Todos los análisis fueron realizados de acuerdo a la 22th edition del Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater (Eaton, 2015).



## Análisis

El sistema de tratamiento se encuentra en una fase de estabilización debido a la fecha de su inicio del funcionamiento (marzo 2018) en donde no ha llegado a su comportamiento bacteriano óptimo. En la tabla 1, se puede observar que, aunque se encuentre en la fase de estabilización, en los primeros muestreos realizados, el sistema de tratamiento el agua efluente presenta una concentración de BDO y DQO, para las cuatro celdas de humedales, que cumple con la normativa nacional contemplada en el Reglamento de Vertido y Reuso de Aguas Residuales (RVRAR) el cual indica los límites máximos permitidos 50 y 100 mg/L para los dos contaminantes respectivamente. Para los otros parámetros, las condiciones de salida son las óptimas para el vertido a los cuerpos de agua.

*Tabla 1*

*Parámetros de Calidad del agua afluente y efluente al sistema de tratamiento de la Escuela de Medicina veterinaria 2018.*

Punto de Muestreo	pH	T (°C)	CE (μS/cm)	ORP (mV)	DBO (mg/L)	DQO (mg/L)	NTK (mg/L)	N-NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> (mg/L)	P-PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> (mg/L)	SST (mg/L)
P1	7.55	24.9	481	96	145	162	32	19	1.66	252
P2	7.10	25.2	427	76	68	80	20	17	1.25	208
P3	7.30	24.2	432	73	16	48	7	5	0.85	171
P4	7.34	25.2	412	69	16	56	11	9	1.20	182
P5	7.29	25.0	390	59	21	39	7	5	0.76	161
P6	7.43	24.2	375	57	12	50	3	2	0.59	147
P7	7.25	25.2	410	74	16	38	9	8	1.14	173

‡: Valores corresponden al promedio de todos los muestreos, n=6. EC: conductividad eléctrica, DBO; demanda bioquímica de oxígeno, DQO

Se puede observar en la tabla 2 que el porcentaje de remoción promedio de las celdas en términos de DBO, oscila en cada celda cercano al 68-82% y el porcentaje de remoción total del SATAR es aproximadamente 89%. Lo cual nos indica que los valores son esperados y coherentes respecto a los reportados con Zhang et al 2015, para sistemas en países con climas tropicales y estabilizados. Es necesario señalar que los sistemas de humedales construidos generalmente se diseñan para eliminar la carga orgánica como DBO. Para realizar un análisis comparativo entre las especies plantadas es necesario mayor cantidad de muestreos y mayor tiempo de estabilización de biofilm para poder observar diferencias significativas entre el comportamiento de las celdas sembradas con las especies *Heliconia psittacorum*, *Cyperus rotundus*, *Pennisetum villosum* y la celda sin plantar. En resumen, la remoción en las celdas de humedales para la DQO oscila entre 30 y 50%; para el nitrógeno



total Kjeldahl entre 45 y 83% y el fósforo soluble entre 4 y 52%, y según reporta Vera y autores en el 2011, en donde enlistan 11 sistemas de humedales construidos, en España, con los porcentajes de remoción para DBO, fósforo, nitrógeno muy similares a los encontrados en este estudio, lo cual nos indica que el sistema puede ir mejorando en su comportamiento de remoción conforme aumenta la madurez del mismo. (Vera et al, 2011)

Tabla 2

*Porcentaje de remoción promedio para los humedales construidos en la fase de arranque del SATAR, 2018.*

CW	DBO (rem %)	DQO (rem %)	N-NTK (rem %)	N-NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> (rem %)	P-PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> (rem %)	SST (rem %)
Tanque Inhoff	53.5	50.7	36.3	11.5	24.5	17.6
C1	75.8	40.1	66.7	67.7	31.9	17.5
C2	76	30.3	45.7	45.8	4.4	12.5
C3	68.4	50.6	65.2	68.8	39.2	22.4
C4	82.3	37.1	82.9	89.6	52.5	29.4
STAR	88.9	76.8	72.9	59.1	31.2	31.5

Por otra parte, se destaca que el SATAR ha servido como un complemento a la docencia dentro de algunos cursos de la Universidad Nacional. Desde sus inicios se han realizado varias giras de reconocimiento por parte de algunos estudiantes de los cursos de análisis de procesos industriales para estudiantes de la Escuela de Química, degradación ambiental y biorremediación para los estudiantes de la Escuela de Ciencias Biológicas. A su vez, varias visitas de otros grupos de investigación como el SEE URBAN WATER de la Universidad de Darmstadt de Alemania, así como la comisión de agua y saneamiento de CONARE, brindando el SATAR un espacio de enseñanza aprendizaje activo dentro del recinto universitario. Este tipo de vinculación de la investigación con la docencia es de mucha importancia dentro de este sistema alternativo de aguas residuales ya que brinda un espacio para la investigación interdisciplinaria dentro de los diferentes grupos la UNA y de otras universidades ya que se pueden explotar otros campos como la cuantificación de la degradación de sustancias complejas dentro del sistema, se pueden identificar sustancias utilizadas para el cuidado personal, antibióticos, hormonas entre muchas moléculas complejas más; también se puede identificar a nivel macrocosmos la efectividad de las plantas más utilizadas en Costa Rica en HC y que se pueda encontrar su especificidad para el tratamiento de aguas residuales.



## Conclusiones

El sistema de tratamiento con HC, desde el primer mes de construido cumple con la legislación nacional y es un modelo para seguir para varias instituciones a nivel país. El sistema de tratamiento en total tiene una remoción de 89% de DBO, 77% de DQO, 73% NTK, 94% de N orgánico y 31% de P soluble.

## Referencias

- Acueductos y Alcantarillados, Ministerio de Ambiente y Energía, Ministerio de Salud. (2016) Política Nacional de Saneamiento en Aguas Residuales 2016-2045. Primera edición, San José, Costa Rica
- Brix, H. (1994). Use of constructed wetlands in water pollution control: historical development, present status, and future perspectives. *Water Sci. Technol.* 30 (8), 209-223. doi: <https://doi.org/10.2166/wst.1994.0413>
- Dires, S., Birhanu, T., Ambelu, A., y Sahilu, G. (2019). Antibiotic resistant bacteria removal of subsurface flow constructed wetlands from hospital wastewater. *Journal of Environmental Chemical Engineering.* 6, 4265–4272. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jece.2018.06.034>
- Eaton, A.D., Clesceri, L.S., Rice, E.W., Greenberg, A.E., (2005). Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. twenty-first ed. APHA, AWWA, WEF, Washington
- Organización de las Naciones Unidas. (2015) *Transformar nuestro mundo: la agenda 2030 para el desarrollo sostenible*, Estados Unidos, pp 16,21
- Pérez-Salazar, R., Mora-Aparicio, C., Alfaro-Chinchilla, C., Sasa-Marín J., Scholz, C., Rodríguez-Corrales, J. (2019). Biogardens as constructed wetlands in tropical climate: A case study in the Central Pacific Coast of Costa Rica. *Science of the Total Environment.* 658, 1023-1028. doi: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.12.259>
- Reglamento de vertido y Reuso de aguas Residuales (2010). Gaceta 55, Decreto 33601, Costa Rica
- Santos, F., Ribeiro, C., Ribeiro I., Ferreira, A., y Mucha A. (2014). Removal of veterinary antibiotics in constructed wetland microcosms-Response of bacterial communities. *Ecotoxicology and Environmental Safety.* 169, 894–901. doi: <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2018.11.078>
- Vera, I., García, J., Sáez, K., Moragas, L., Vidal, P. 2011. Performance evaluation of eight years' experience of constructed wetland systems in Catalonia as alternative treatment for small communities. *Ecol Eng.* 37, 364–371. doi: <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2010.11.031>
- Vymazal, J. (2014). Constructed wetlands for treatment of industrial wastewaters: A review. *Ecol. Eng.* 73, 724–75. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.ecoleng.2014.09.034>



- Wang, Y., Yin, T., Kelly, B., y Yew-Hoong, K. (2019). Bioaccumulation behavior of pharmaceuticals and personal care products in a constructed wetland. *Chemosphere*, (222), 275-285. doi: <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2019.01.116>
- Zhang, D., Jinadasa, K., Gersberg, R., Liu, Y., Tan, S., y Ng, W. (2015). Application of constructed wetlands for wastewater treatment in tropical and subtropical regions (2000-2013). *J. Environ. Sci.* 30, 30-46. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jes.2014.10.013>



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

