



## **Materiales innovadores utilizados en Humedales Construidos para el tratamiento de diferentes efluentes: experiencias argentinas en el marco de la Economía Circular**

**Schierano, María Celeste<sup>a,b\*</sup>, Gutierrez, Gonzalo<sup>a,b</sup> y Panigatti, María Cecilia.<sup>a</sup>**

<sup>a</sup> Grupo de Estudios de Medio Ambiente (GEM). Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional Rafaela. Acuña 49. Rafaela (2300), Santa Fe, Argentina. Celeste\_schierano@hotmail.com

<sup>b</sup> Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas. Godoy Cruz 2290 (C1425FQB) CABA-Argentina

### **Resumen.**

Los humedales construidos (HCs) son opciones de tratamiento naturales, que subsanan ciertas limitaciones tecnológicas, constituyendo una alternativa para el reúso del agua. El uso de materiales locales para construirlos los ha convertido en sistemas atractivos y si éstos provienen del reciclado de otros productos, el humedal cobra relevancia en el marco de la Economía Circular. Se han utilizado materiales innovadores y de bajo costo, como sustratos en HCs para el tratamiento de diversos efluentes. Se evaluaron los materiales Arqlite<sup>R</sup> y residuos de RETAK<sup>R</sup>. Arqlite<sup>R</sup> es un material obtenido a partir del reciclado de residuos plásticos. RETAK<sup>R</sup>, consiste en ladrillos de hormigón celular curado en autoclave. Se trabajó a diversas escalas y con diferentes efluentes, presentándose a continuación los valores de remoción obtenidos para algunos contaminantes. En todos los casos el tiempo de retención hidráulico fue de 7 días y se utilizó a *Typha domingensis* como especie vegetal.

#### **1. Escala Laboratorio.**

1.1. Efluente Cloacal (Arqlite<sup>R</sup>). Remoción: DBO: 97%; DQO: 88%; PT: 89%; NTK: 72%; NH<sub>4</sub><sup>+</sup>: 88%; SST: 87%.

1.2. Lixiviado de Relleno Sanitario (Arqlite<sup>R</sup>). Remoción: DBO: 66%; DQO: 49%; PT: 27%; NTK: 68%; NH<sub>4</sub><sup>+</sup>: 70%; SST: 79%.

1.3. Lixiviado de Relleno Sanitario (RETAK<sup>R</sup>). Remoción: DBO: 63%; DQO: 43%; PT: 91%; NTK: 86%; NH<sub>4</sub><sup>+</sup>: 88%; SST: 88%.

#### **2. Escala Piloto.**

2.1 Efluente de Industria Láctea (RETAK<sup>R</sup>). Remoción: DBO: 59%; DQO: 58%; PT: 67%; NTK: 52%; NH<sub>4</sub><sup>+</sup>: 46%; SST: 83%.

#### **3. Escala Real.**

3.1 Efluente de Tambo (Arqlite<sup>R</sup>). En evaluación.

En todos los efluentes evaluados se obtuvieron mejoras en las características fisicoquímicas de los mismos, aunque las eficiencias más altas fueron observadas en los

*Por una universidad de excelencia y solidaria*



**HUPANAM**  
Red Panamericana  
de Sistemas de Humedales



ensayos a escala laboratorio, lo cual es un comportamiento esperable. La mejora de los tratamientos de aguas residuales aplicando HCs, una mayor reutilización y la recuperación de los subproductos son factores que fomentan la transición hacia una economía circular.

**Palabras claves:** lixiviados, industria láctea, Arqlite<sup>R</sup>, RETAK<sup>R</sup>

## Introducción

Los HCs son tecnologías de tratamiento de aguas residuales basadas en la naturaleza, en las que intervienen un medio soporte o sustrato, plantas acuáticas o macrófitas y microorganismos para la depuración de diversos efluentes [1]. Específicamente el sustrato, constituye uno de los principales componentes en estos sistemas, desempeñando un rol fundamental en la performance general del humedal: como soporte para el desarrollo de biofilms, como medio para el desarrollo y crecimiento de las macrófitas y como adsorbente de ciertos contaminantes [2]. La incorporación de materiales locales como sustratos, los ha convertido en alternativas de tratamiento atractivas y, si éstos provienen del reciclado de otros productos, el sistema cobra relevancia en el marco de la Economía Circular. De acuerdo a autores como [3] y [4], los materiales usados como sustratos en estos sistemas de tratamiento pueden ser categorizados como naturales, artificiales y sub productos industriales. Dentro del grupo de sub productos se pueden hallar experiencias utilizando apatita, esquistos bituminosos, residuos de construcción como trozos de ladrillos, aserrín, residuos de polietileno, escorias, fragmentos de ostras, residuos de alumbre, etc. Su uso como sustratos en los humedales de tratamiento presenta un interés creciente por parte de la comunidad científica como un medio para la reutilización de residuos, en el marco de la Economía Circular [5, 6, 7].

Se ha trabajado en la aplicación de materiales innovadores y de bajo costo, como sustratos en HCs para el tratamiento de diversos efluentes: aguas residuales de tambos e industrias lácteas y lixiviados de relleno sanitario. Específicamente se han estudiado los materiales Arqlite<sup>R</sup> y residuos de RETAK<sup>R</sup>. El objetivo del presente trabajo es evaluar el desempeño de HCs a diferentes escalas y tratando diferentes tipos de efluentes, utilizando sustratos innovadores (Arqlite<sup>R</sup> y residuos de RETAK<sup>R</sup>).

## Metodología

En la Tabla 1 se resumen los diferentes experimentos llevados a cabo, con el detalle de las condiciones operativas de cada uno de ellos. En todos los casos se trabajó con un tiempo de retención hidráulico (TRH) de 7 días y se utilizó como macrófita a la especie *Typha domingensis* (totora), la cual es de amplia distribución en canales naturales de la zona.





En los casos en los que se trabajó a escala laboratorio, se utilizaron microcosmos plásticos con alimentación tipo Batch, simulando humedales subsuperficiales de flujo horizontal (HSSH). Las dimensiones de los mismos eran: 0,25 m de ancho, 0,60 m de largo, 0,40 m de profundidad. En el experimento a escala piloto, se trabajó con dos mesocosmos con alimentación continua, simulando también el flujo de un HSSH. Los mismos fueron contruidos de hormigón armado y tenían las siguientes dimensiones: 1,00 m de ancho, 2,50 m de largo, 0,80 m de profundidad. La evaluación a escala real aún no pudo iniciarse, pero se indican a continuación las características del HSSH: 4,00 m de ancho, 6,00 m de largo y 0,70 m de profundidad, conectado a un canal de 1,0 m de ancho, 16,0 m de largo y 0,70 m de profundidad. Para cada HSSH se utilizaron los sustratos Arqlite<sup>R</sup>, RETAK<sup>R</sup> mezcla de Arqlite<sup>R</sup> y grava de río. Arqlite<sup>R</sup> consiste en un material obtenido a partir del reciclado de residuos plásticos. Por su parte, RETAK<sup>R</sup> consiste en ladrillos de hormigón celular curado en autoclave (HCCA). El HCCA es un material a base de arena, cemento, cal y un agente expansor, que luego de un curado en autoclave, adopta forma de ladrillo. En nuestro estudio, se utilizó un subproducto formado por trozos de descarte de estos ladrillos.

**Tabla 1.** Resumen de las experiencias realizadas y principales resultados obtenidos.

EFLUENTE	SUSTRATO	ESCALA/TIPO DE ALIMENTACIÓN	PERÍODO DE EVALUACIÓN
Cloacal	Arqlite <sup>R</sup>	Laboratorio/Batch	Octubre-diciembre 2020
Tambo	Grava de río + Arqlite <sup>R</sup>	Real/Continuo	En evaluación
Lixiviados de relleno sanitario	RETAK <sup>R</sup>	Laboratorio/Batch	Noviembre 2021-enero 2022
	Arqlite <sup>R</sup>	Laboratorio/Batch	Noviembre 2021-enero 2022
Industria láctea	RETAK <sup>R</sup>	Piloto/Continuo	Marzo-mayo 2023

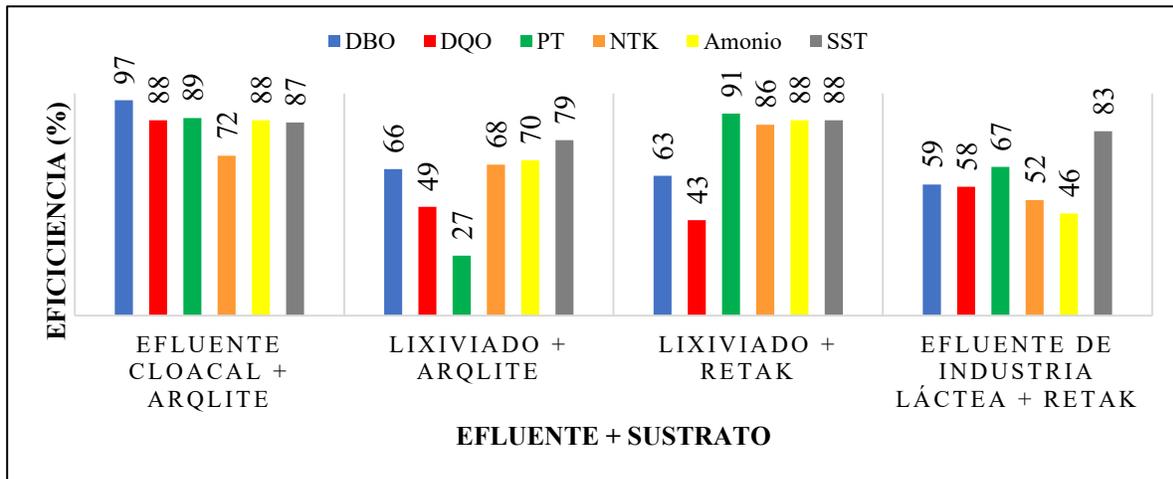
Se recolectaron muestras a la entrada y salida de cada sistema en evaluación luego del TRH indicado. Las mismas fueron trasladadas al laboratorio y se almacenaron a 4 °C hasta el momento de analizarlas. Se determinaron por duplicado los siguientes parámetros fisicoquímicos para calcular posteriormente eficiencias de remoción: sólidos suspendidos totales (SST), demanda química de oxígeno (DQO), demanda biológica de oxígeno (DBO), nitrógeno total Kjeldahl (NTK), amonio (NH<sub>4</sub><sup>+</sup>) y fósforo total (PT). Para los análisis se emplearon técnicas normalizadas de acuerdo a APHA [8].





## Resultados y discusión

En la Figura 1 pueden observarse las eficiencias de remoción obtenidas en cada caso evaluado y para cada contaminante analizado. La eliminación de SST fue alta en todos los casos (79-88%), lo cual sucede en la mayoría de los HCs de flujo subsuperficial horizontal.



Para los parámetros asociados a materia orgánica se obtuvieron porcentajes de eliminación entre 59-97% para DBO y entre 43-88% para DQO, correspondiendo los más altos al experimento con efluente cloacal. Esto podría deberse a que este efluente presentaba los menores valores de entrada al HC. En los casos en que se trabajó con lixiviado de relleno sanitario, es destacable el hecho de que con RETAK<sup>R</sup> se hayan obtenido en general mejores eficiencias de remoción que con Arqlite<sup>R</sup>. Esto podría deberse al hecho de que el primero tenga en su composición agentes alcalinos y polvos metálicos como agentes aireantes, disminuyendo su densidad. Asimismo, estos polvos metálicos, como el aluminio o el zinc, funcionan como precipitantes de fósforo [9] lo que también contribuye a mejorar la eliminación de este nutriente (en el caso de Arqlite<sup>R</sup> fue del 27% mientras que con RETAK<sup>R</sup> se alcanzó hasta el 91%).

**Fig 1.** Eficiencias de remoción obtenidas para cada caso evaluado.

En lo que refiere a los compuestos nitrogenados, las eficiencias observadas para NTK fueron entre el 68-86% a escala laboratorio, mientras que disminuyeron a 52% a escala piloto, presentando para amonio un comportamiento similar. De todos modos, en todos los ensayos llevados a cabo habría disponibilidad de oxígeno suficiente para llevar a cabo el proceso de nitrificación, una de las principales vías de eliminación de nitrógeno en los HCs [10]. Otro aspecto para remarcar es que en el caso en que se trabajó a escala piloto (efluente de industria láctea más RETAK<sup>R</sup>) las eficiencias obtenidas para los contaminantes evaluados fueron en



general más bajas que las observadas en los experimentos a escala laboratorio. La literatura sostiene que el tipo de alimentación Batch, suele proveer mejores desempeños que los sistemas de alimentación continuos, que es el caso del último experimento llevado a cabo a escala piloto [11].

## Conclusiones

- Utilizando como sustratos en HSSH materiales de bajo costo y obtenidos a partir de procesos de reciclado o como subproductos, se han logrado eficiencias de remoción satisfactorias en la totalidad de los casos evaluados.
- La Economía Circular es una premisa a aplicar en los procesos productivos actuales y los HCs constituyen una herramienta tecnológica viable para su implementación.
- Se espera poder contar a la brevedad con los resultados del monitoreo del HC a escala real para tratamiento de efluentes de tambo.

## Referencias

- [1] Gorito, A., Ribeiro, A., Almeida, C., Silva, A., 2017. *A review on the application of constructed wetlands for the removal of priority substances and contaminants of emerging concern listed in recently launched EU legislation.* *Environ. Pollut.* 227, 428–443. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2017.04.060>.
- [2] Wu, H., Zhang, J., Ngo, H. H., Guo, W., Hu, Z., Liang, S., ... & Liu, H., 2015. *A review on the sustainability of constructed wetlands for wastewater treatment: design and operation.* *Bioresource technology*, 175, 594-601.
- [3] Chyan, J. M., Lin, C. J., Yu, M. J., Shiu, R. F., Lin, C. S., & Senoro, D. B., 2022. *An innovative reuse of bottom ash from municipal solid waste incinerators as substrates of constructed wetlands.* *Chemosphere*, 307, 135896.
- [4] Yang, Y., Zhao, Y., Liu, R., & Morgan, D., 2018. *Global development of various emerged substrates utilized in constructed wetlands.* *Bioresource technology*, 261, 441-452.
- [5] Ji, Z., Tang, W., & Pei, Y., 2022. *Constructed wetland substrates: A review on development, function mechanisms, and application in contaminants removal.* *Chemosphere*, 286, 131564.
- [6] Delgado-González, L., Prost-Boucle, S., Troesch, S., & Molle, P., 2021. *Granulated apatite filters for phosphorous retention in treatment wetlands: experience from full-scale applications.* *Journal of Water Process Engineering*, 40, 101927.
- [7] Yuan, C., Zhao, F., Zhao, X., & Zhao, Y., 2020. *Woodchips as sustained-release carbon source to enhance the nitrogen transformation of low C/N wastewater in a baffle subsurface flow constructed wetland.* *Chemical Engineering Journal*, 392, 124840.
- [8] APHA, 2017. *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*, 23rd Edition.

*Por una universidad de excelencia y solidaria*



**HUPANAM**  
Red Panamericana  
de Sistemas de Humedales

Grupo GCISA - Facultad de Ingeniería Civil  
Carrera 2 # 15N esquina. Sector Tulcán - Popayán - Cauca - Colombia  
Teléfono 312 815 7158 – 315 610 8844  
[panamericanohumedales@unicauca.edu.co](mailto:panamericanohumedales@unicauca.edu.co) / [www.unicauca.edu.co](http://www.unicauca.edu.co)  
[sites.google.com/unicauca.edu.co](https://sites.google.com/unicauca.edu.co)



# VI Conferencia Panamericana Sistemas de Humedales para el tratamiento y mejoramiento de la calidad del agua



[9] Narayanan, N., & Ramamurthy, K., 2000. *Structure and properties of aerated concrete: a review. Cement and Concrete composites*, 22(5), 321-329.

[10] Vymazal, J., 2022. *The historical development of constructed wetlands for wastewater treatment. Land*, 11(2), 174.

[11] Zhang, D. Q., Tan, S. K., Gersberg, R. M., Zhu, J., Sadreddini, S., & Li, Y., 2012. *Nutrient removal in tropical subsurface flow constructed wetlands under batch and continuous flow conditions. Journal of environmental management*, 96(1), 1-6.



**HUPANAM**  
Red Panamericana  
de Sistemas de Humedales

*Por una universidad de excelencia y solidaria*

---

Grupo GCISA - Facultad de Ingeniería Civil  
Carrera 2 # 15N esquina. Sector Tulcán Popayán - Cauca - Colombia  
Teléfono 312 815 7158 – 315 610 8844  
[panamericanohumedales@unicauca.edu.co](mailto:panamericanohumedales@unicauca.edu.co) / [www.unicauca.edu.co](http://www.unicauca.edu.co)  
[sites.google.com/unicauca.edu.co](https://sites.google.com/unicauca.edu.co)