



Encuentro
de JÓVENES
INVESTIGADORES

REMOCIÓN DE P, N Y METALES (Cr, Pb y Ni) DE EFLUENTES CLOACALES UTILIZANDO HUMEDALES DE FLUJO VERTICAL

López López, Jesús Andrés¹

¹Instituto de Química Aplicada del Litoral (IQAL, CONICET-UNL)

Director/a: Sanchez, Gabriela Cristina

Codirector/a: Maine, Maria Alejandra

Área: Ciencias Biológicas

Palabras claves: Tratamiento de Efluentes, Metales, Diatomita.

INTRODUCCIÓN

El tratamiento de los efluentes antes de su disposición final es crucial para preservar la salud de nuestros ecosistemas acuáticos y garantizar la calidad del agua. Sin embargo, la presencia de contaminantes como Fósforo (P), Nitrógeno (N) y metales, representa un desafío significativo. Los humedales de tratamiento, son parte de las llamadas tecnologías basadas en la naturaleza (NBS) que imitan procesos naturales para reducir la carga de contaminantes de distintos efluentes, además de brindar múltiples beneficios ecosistémicos.

En los humedales subsuperficiales de flujo vertical (HFVs), el efluente ingresa de manera intermitente al sustrato permitiendo su aireación y por ende, la eliminación de contaminantes que son degradados aeróbicamente. Además otros procesos como filtración, adsorción, sedimentación, etc., contribuyen a la depuración del efluente. El tipo de sustrato utilizado, determina en gran parte la eficiencia del tratamiento de aguas residuales.

En este trabajo se propone la utilización de HFVs con dos tipos de sustratos diferentes, para el tratamiento final de efluentes cloacales, con énfasis en la remoción de P, compuestos nitrogenados, Cromo (Cr), Níquel (Ni) y Plomo (Pb).

OBJETIVOS

- Evaluar la eficiencia de remoción de P, N y metales (Cr, Ni y Pb) en HFVs para el tratamiento de efluentes cloacales
- Comparar la performance de HFVs con dos tipos de sustratos.

Título del proyecto: Sistemas de humedales para tratamiento de diferentes efluentes

Instrumento: CAID

Año convocatoria: 2020

Organismo financiador: UNIVERSIDAD NACIONAL DEL LITORAL

Director/a: Maine, Maria Alejandra



METODOLOGÍA

Se realizó un experimento de invernadero a fin de evaluar la eficiencia de los HFVs en cuanto a la remoción de P, N y metales del efluente. Se determinaron las concentraciones de fósforo total (PT), especies nitrogenadas (amonio, nitrato y nitrito), DQO, Cr, Ni y Pb en el efluente antes y después de los tratamientos y se calcularon los porcentajes de remoción. Se utilizaron 6 reactores plásticos, dispuestos en el invernadero de la FIQ, simulando a los HFVs. Las dimensiones de los mismos fueron 60 cm de altura y 30 cm de diámetro. En cada reactor se colocaron tubos de aireación y canillas plásticas en el borde inferior para la toma de muestra post tratamiento. 3 de los reactores se rellenaron con el sustrato A y el resto con el sustrato D. 2 de los 3 reactores por cada sustrato fueron plantados con 3 individuos de *Typha domingensis*, los reactores restantes se utilizaron como blancos de sustrato. Los materiales utilizados como sustratos fueron: LECA (10-20 mm), arena (3-6 mm) y diatomita (3-10 mm). El sustrato A consistía en LECA (4 cm), arena (46 cm) y LECA (3 cm) (por capas de abajo hacia arriba); y el D: LECA (4 cm), arena (23 cm), mezcla arena-diatomita 3:1 (23 cm) y LECA (3 cm). Los ejemplares de *Typha domingensis* fueron recolectados en un humedal periurbano de Rincón, provincia de Santa Fe. En la tabla 1 se observa la conformación de los reactores.

Tabla 1: Tipos de humedales utilizados en la experiencia

Tratamiento	Sustrato	Macrófita
A	arena, LECA	si
A control (Ac)	arena, LECA	no
D	arena, LECA y diatomita	si
D control (Dc)	arena, LECA y diatomita	no

En base a datos de bibliografía, se formuló el efluente sintético con las características fisicoquímicas esperadas en un efluente cloacal luego del tratamiento primario. Para ello se utilizó agua de red, glucosa y sacarosa (fuente de carbono); NH_4Cl (fuente de amonio); starter proteico comercial, a base de proteínas de suero (fuente de proteínas y carbono orgánico); NaH_2PO_4 (fuente de P); $\text{Cr}(\text{NO}_3)_3 \cdot 9\text{H}_2\text{O}$ (fuente de Cr); $\text{Ni}(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ (fuente de Ni) y $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$ (fuente de Pb).

Después de dos meses de aclimatación, los HFVs fueron operados con un régimen de alimentación intermitente (períodos de saturación e insaturación-aireación). El mismo consistió en el agregado de efluente a cada reactor, su posterior vaciado y luego dos días de reposo o aireación, repitiendo este ciclo durante tres semanas. Se tomaron y analizaron muestras del efluente antes y después de los tratamientos. Se determinó: pH, amonio, nitrato, nitrito, DQO, PT, Cr, Ni y Pb de acuerdo a Standard Methods (APHA, 2012). El pH se midió con un equipo multiparamétrico WTW. El NO_2^- se determinó mediante diazo-copulación seguida de una técnica colorimétrica. NH_4^+ y NO_3^- se determinaron por potenciometría (electrodos selectivos de iones); DQO se determinó por el método a reflujos cerrados. TP y metales se analizaron luego de la extracción asistida por microondas, mediante espectrometría visible (método del azul de molibdeno) y espectrometría de absorción atómica, respectivamente.

Se realizó análisis de la varianza para determinar si existían diferencias estadísticamente significativas de los parámetros estudiados entre los distintos tratamientos con un valor de significancia (α) de 0,05.

RESULTADOS

En la imagen 1 se visualizan los reactores con las macrófitas aclimatadas después de 2 meses.

En la tabla 2 se visualizan resultados correspondientes a tres semanas de operación, indicando las concentraciones de los parámetros (Promedio \pm Desviación estándar) en el efluente antes y después del tratamiento con HFVs.

Se observó que las concentraciones de amonio, PT, Cr, Pb, Ni y DQO disminuyeron significativamente en el efluente luego del tratamiento con HFVs.

Con respecto al pH del efluente si bien, fue cercano a la neutralidad en todos los casos, se observó un aumento significativo luego del tratamiento. Las concentraciones de nitrato y nitrito aumentaron significativamente. Estos resultados junto con el descenso en la concentración de amonio sugieren que la nitrificación sería el proceso dominante.



Imagen 1: HFVs después de 2 meses de aclimatación

No se observaron diferencias significativas en la eficiencia de los HFVs con y sin macrófitas, probablemente debido a que aún no se encuentra completamente desarrollado el sistema radicular.

Tabla 2: Concentraciones de los parámetros en el efluente (Promedio \pm DV)

Parámetro	Inicial	Post tratamiento			
		A	Ac	D	Dc
pH	6,2 \pm 0,1	6,5 \pm 0,1	6,7 \pm 0,1	6,6 \pm 0,1	6,7 \pm 0,1
Amonio (mg NH ₄ ⁺ .L ⁻¹)	104,6 \pm 8,0	71,5 \pm 10,7	77,8 \pm 6,8	23,6 \pm 8,9	24,5 \pm 9,0
Nitrito (mg NO ₂ ⁻ .L ⁻¹)	ND (0,02)	0,20 \pm 0,15	0,26 \pm 0,05	0,21 \pm 0,14	0,32 \pm 0,13
Nitrato (mg NO ₃ ⁻ .L ⁻¹)	31,3 \pm 7,2	44,1 \pm 10,3	49,2 \pm 8,8	44,6 \pm 6,9	51,4 \pm 9,8
Fósforo Total (TP) (mg P.L ⁻¹)	10,4 \pm 0,7	6,2 \pm 0,6	6,6 \pm 0,8	5,3 \pm 0,8	5,6 \pm 0,9
Cromo (mg Cr ⁺³ .L ⁻¹)	0,89 \pm 0,02	0,28 \pm 0,01	0,31 \pm 0,01	0,22 \pm 0,02	0,27 \pm 0,03
Plomo (mg Pb ⁺² .L ⁻¹)	0,43 \pm 0,01	ND (0,08)	ND (0,08)	ND (0,08)	ND (0,08)
Níquel (mg Ni ⁺² .L ⁻¹)	0,69 \pm 0,02	0,16 \pm 0,02	0,16 \pm 0,01	0,15 \pm 0,01	0,14 \pm 0,01
DQO (mg O ₂ .L ⁻¹)	323,0 \pm 5,8	184,8 \pm 11,8	177,7 \pm 52,7	157,7 \pm 11,0	140,7 \pm 24,0

En la tabla 3 se visualizan los porcentajes de remoción (Promedio \pm Desviación estándar) de los contaminantes analizados en el efluente según el tipo de sustrato.

Los tratamientos con HFVs con el sustrato D presentaron mayores porcentajes de

remoción de amonio, Cr y Ni del efluente, en comparación con los HFVs con sustrato A. La utilización de diatomita, mejoró la eficiencia de los sistemas, probablemente debido a su capacidad como adsorbente.

Los HFVs continúan en operación con la finalidad de corroborar si estos resultados se sostienen en el tiempo.

Tabla 3: Porcentajes de Remoción de los tratamientos (Promedio \pm DV)

Parámetro	Post tratamiento			
	A	Ac	D	Dc
NH₄⁺	31,8 \pm 8,4	25,5 \pm 5,5	77,6 \pm 8,2	76,8 \pm 7,9
PT	40,5 \pm 8,4	36,6 \pm 10,3	48,6 \pm 7,7	46,1 \pm 7,9
Cr	68,1 \pm 2,2	65,5 \pm 0,4	74,8 \pm 2,8	69,5 \pm 2,9
Pb	> 81,4 \pm 0,5			
Ni	76,1 \pm 2,2	76,0 \pm 0,8	78,5 \pm 1,0	79,8 \pm 0,5
DQO	42,8 \pm 2,6	45,0 \pm 15,9	51,8 \pm 3,7	56,4 \pm 8,1

CONCLUSIONES

Los HFVs resultaron eficientes para el tratamiento del efluente cloacal en términos de los porcentajes de remoción de N como amonio, P, Cr, Ni, Pb y DQO. La performance de HFVs es mejor con el sustrato D en comparación con los HFVs con sustrato A.

BIBLIOGRAFÍA BÁSICA

Maine, M.A., Sanchez, G.C., Hadad, H.R., Caffaratti, S.E., Pedro, M.C., Di Luca, G.A., Mufarrege, M.M., Nocetti, E. 2022. Hybrid wetland system for a pet-care center wastewater treatment. *Ecological engineering*. 182, 106700.

Maine, M.A., Hadad, H.R., Camaño Silvestrini, N.E., Nocetti, E., Sanchez, G.C., Campagnoli, M.A. 2022. Cr, Ni, and Zn removal from landfill leachate using vertical flow wetlands planted with *Typha domingensis* and *Canna indica*. *International Journal of Phytoremediation*.

Maine, M.A., Sánchez, G.C., Hadad, H.R., Caffaratti, S.E., Pedro, M.C., Mufarrege, M.M., Di Luca, G.A. 2019. Hybrid constructed wetlands for the treatment of wastewater from a fertilizer manufacturing plant: Microcosms and field scale experiments. *Science of the Total Environment*. 650(1): 297-302.

Stefanakis A, Akratos CS, Tsihrintzis VA. 2014. Vertical flow constructed wetlands. *Eco-engineering systems for wastewater and sludge treatment*. The Netherlands, Elsevier.

Zehua Ji, Wenzhong Tang, Yuansheng Pei, 2022 Constructed wetland substrates: A review on development, function mechanisms, and application in contaminants removal. *Chemosphere*, The Netherlands, Elsevier.

