

Troche Arias GA, Duré G, Velázquez Decoud L, López Arias TR. Reutilización del efluente de un humedal construido de flujo subsuperficial vertical en un cultivo hidropónico tipo NFT de *Lactuca sativa*. Rev. Soc. cient. Parag. 2021;26(1):35-48.
<https://doi.org/10.32480/rscp.2021.26.1.35>
Recibido: 15/03/2021. Aceptado: 10/05/2021.

ARTÍCULO ORIGINAL
ORIGINAL ARTICLE

Reutilización del efluente de un humedal construido de flujo subsuperficial vertical en un cultivo hidropónico tipo NFT de *Lactuca sativa*

Reuse of the effluent of a constructed wetland of vertical subsurface flow in a NFT-type hydroponic culture of *Lactuca sativa*

Guido Andrés Troche Arias¹ , Giselle Duré¹ , Lorena Velázquez Decoud² , Tomás Rodrigo López Arias^{1*} 

¹ Universidad Nacional de Asunción, Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, Departamento de Biotecnología, Laboratorio de Biotecnología Ambiental. San Lorenzo, Paraguay.

² Universidad Nacional de Asunción, Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, Dirección de Prestación de Servicios, Laboratorio de Calidad de Agua. San Lorenzo, Paraguay.

Autor correspondiente: tlopez@facen.una.py

Resumen: La creciente demanda de sistemas de tratamientos alternativos de aguas residuales de origen industrial y doméstico se ha convertido en un área de sumo interés, ubicando a los humedales construidos como una opción de probada eficiencia. Paralelamente se trabaja intensamente en la búsqueda de opciones para la reutilización de las aguas residuales según diferentes usos posibles. El objetivo del presente trabajo fue tratar un agua residual doméstica mediante un humedal construido de flujo subsuperficial vertical con *Typha dominguensis* y evaluar la efectividad de la reutilización del efluente tratado en un cultivo hidropónico de tipo NFT con *Lactuca sativa*. El humedal fue operado durante tres meses a una carga de 83 g DQO/m³ d. Los porcentajes de remoción en promedio para cada parámetro fueron de 91% para la DQO, 64% para el NTK, 89% para ortofosfato, 81% para nitrógeno amoniacal y 88% para coliformes fecales respectivamente. Los resultados de evaluación de la reutilización del efluente tratado como medio de cultivo hidropónico indican que el efluente del sistema permite el crecimiento de *L.*

sativa, pero en menor proporción respecto al crecimiento obtenido en el medio de cultivo convencional para sistemas hidropónicos.

Palabras claves: agua residual, fitorremediación, nitrificación, sistema hidropónico tipo NFT.

Abstract: The growing demand for alternative treatment systems for industrial and domestic wastewater has become an area of great interest, placing constructed wetlands as an option of proven efficiency. At the same time, intensive work is being done to find options for the reuse of wastewater according to different possible uses. The aim of this work was to treat a domestic wastewater by means of a constructed wetland of vertical subsurface flow with *Typha dominguensis* and to evaluate the effectiveness of the reuse of the treated effluent in a NFT-type hydroponic crop of *Lactuca sativa*. The wetland was operated for three months at a load of 83 g COD/m³ d. The mean removal rates for each parameter were 91% for COD, 64% for TKN, 89% for orthophosphate, 81% for ammonia nitrogen and 88% for faecal coliforms respectively. The results of the evaluation of the reuse of the treated effluent as a hydroponic culture medium indicate that the effluent of the system allows the growth of *L. sativa*, but in smaller proportion with respect to the growth obtained in the conventional culture medium for hydroponic systems.

Keywords: wastewater, phytoremediation, nitrification, NFT-type hydroponic system.

1. INTRODUCCIÓN

El rápido crecimiento de la población mundial y la consecuente demanda de recursos se reflejan en los problemas medioambientales que afectan a todo el planeta, como la contaminación del agua, suelo y aire, así como el agotamiento de los recursos⁽¹⁾. Estos efectos se ven acentuados en las grandes ciudades en las que no se disponen de mecanismos adecuados para la disposición y tratamiento de sus residuos. Esta situación hace necesaria la búsqueda de tecnologías para el control y saneamiento ambiental.

Un humedal construido (HC) opera como un sistema diseñado para el tratamiento de ciertos tipos de aguas residuales de diferentes orígenes con el objetivo de su mejoramiento desde el punto de vista de calidad. En el proceso se degradan y transforman la materia orgánica y microorganismos mediante la combinación entre procesos físicos, químicos y biológicos⁽²⁾. Los humedales construidos más utilizados son los de flujo subsuperficial. Estos

están constituidos por un lecho relleno de un medio granular poroso (por ejemplo, piedra volcánica, grava, arena), más las plantas o macrófitas emergentes. Las macrófitas son sembradas en la superficie del lecho filtrante, las aguas residuales atraviesan el sistema en dirección horizontal por debajo del nivel superficial. Dependiendo del tipo de flujo subsuperficial, los humedales construidos son clasificados en humedales de flujo horizontal y humedales de flujo vertical, según el paso y dirección de las aguas residuales a través del lecho filtrante⁽³⁾.

Marín⁽⁴⁾, afirma que la aplicación de tratamientos de aguas residuales es una necesidad a nivel mundial, y para llegar a sus aplicaciones, los humedales construidos (HC) representan una alternativa ecológica y económicamente viable. Los estudios recientes se encuentran enfocados en humedales no sólo como un sistema de tratamiento de aguas residuales, sino también el reuso del efluente tratado, resolviendo con esta alternativa algunas problemáticas para mitigar la escasez del líquido.

La reutilización de las aguas residuales requiere del manejo integral del curso hídrico, esto implica una gestión eficaz y la utilización de tecnologías e infraestructura para dicho fin. Su aplicación en el sector de producción está adquiriendo resultados positivos, Valencia et al.⁽⁵⁾ determinaron el potencial de reúso del efluente de la planta de tratamiento de aguas residuales de Nágata (Departamento de Huila, Colombia) en cultivo de cacao (*Theobroma cacao*). Bouzo⁽⁶⁾, propone la utilización de efluentes urbanos para la producción de brócoli (*Brassica oleracea* var. *italica*) mediante el riego por goteo.

El objetivo del presente estudio fue evaluar la reutilización de un efluente de origen doméstico proveniente de la Facultad de Ciencias Exactas y Naturales (FACEN-UNA), que previamente fue tratado mediante un humedal de flujo subsuperficial vertical utilizando *Typha dominguensis*. Dicha macrófita fue seleccionada por su elevada eficiencia en la remoción de contaminantes y por su alta capacidad de adaptación a los efluentes tratados en condiciones locales⁽⁷⁾. La reutilización se evaluó mediante el crecimiento de *Lactuca sativa* en un cultivo hidropónico tipo NFT (*Nutrient Film Technology*).

2. METODOLOGÍA

2.1. Construcción y operación del humedal

Los ejemplares de *T. dominguensis* fueron colectados de los humedales del Lago Ypacaraí (Latitud 25°21.978' S; longitud 57°18.179' O). Posteriormente fueron trasladadas al invernáculo del Laboratorio del Biotecnología Ambiental del Departamento de Biotecnología, FACEN-UNA.

La aclimatación se realizó en el humedal construido durante un periodo de 60 días.

El humedal construido de flujo vertical (HFV) posee las siguientes dimensiones: superficie de 1 m^2 y profundidad de 0,65 m. El sustrato del lecho lo conforman tres capas superpuestas de la siguiente manera: 10 cm de grava (inferior), 50 cm de arena gruesa (parte media) y 5 cm grava (parte superior). La arena gruesa presentó una porosidad de 37%, con d_{10} y d_{60} iguales a 0,05 y 1,19 respectivamente. Las condiciones de operación se resumen en la Tabla 1.

Tabla 1. Parámetros operacionales del HFV

Parámetro	Valor
Caudal, m^3/d	0,168
Carga orgánica diaria, Kg DQO/d	0,0538
Carga orgánica volumétrica, g DQO/ m^3 d	83
Carga orgánica superficial, g DQO/ m^2 d	54
Carga hidráulica, mm/ d	168

El efluente fue obtenido desde un registro ubicado a 60 m del HFV. El agua residual fue encauzada mediante una bomba sumergida de 0,5 HP hasta un tanque de fibra de vidrio de $0,25\text{ m}^3$ de volumen. Este último cumple la función de decantador de sólidos (Figura 1).

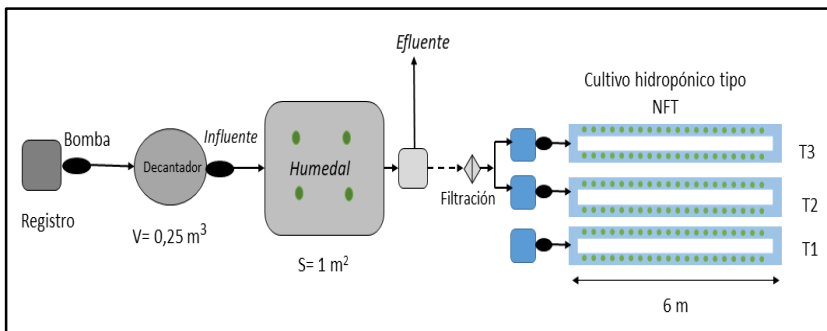


Figura 1. Ilustración esquemática del sistema de humedal construido e integrado al sistema hidropónico.

El HFV fue operado durante 3,5 días a la semana, para tal efecto en el decantador se ubicó una bomba que era controlada con un temporizador digital. El temporizador se configuró para que se active en 4 pulsos por día separados por 6 horas, los días jueves, viernes, sábado y domingo. De jueves a sábado la bomba peristáltica se activó a las 00:00 a.m., 06:00 a.m., 12:00 p.m. y 18:00 p.m. Mientras que los domingos se activó a las 00:00 a.m., 06:00 a.m. y 12:00 p.m., procesando así 168 L/d de agua residual en el HFV. A la salida del humedal se construyó un registro de 20 L, a fin de retener temporalmente el efluente tratado. Desde el registro de salida se extraía el agua tratada que posteriormente fue reutilizada en el cultivo hidropónico NFT.

Se realizaron diez muestreos del efluente tratado en el HFV durante un periodo comprendido entre octubre y diciembre del año 2019. Los análisis fisicoquímicos como Demanda Química de Oxígeno (DQO) y Nitrógeno Total Kjeldahl (NTK) fueron analizados en el Laboratorio de Efluentes de la FACEN-UNA. Los nitritos (NO_2^-), nitratos (NO_3^-), nitrógeno amoniacal (N-NH_4^+) y ortofosfatos fueron determinados en el Laboratorio de Biotecnología Ambiental. Los parámetros pH y conductividad eléctrica fueron obtenidos in situ con un equipo multiparamétrico HANNA serie HI 9828 (HANNA Instruments, Alemania). El parámetro microbiológico analizado fue el de coliformes fecales (CF), mediante la técnica de filtración por membrana de nitrocelulosa con $0,45 \mu\text{m}$ de porosidad. Los parámetros analizados y realizados en los laboratorios de Efluentes y de Biotecnología Ambiental tanto para el afluente (o influente) como el efluente del sistema de humedal se ajustaron a las metodologías descritas en los Métodos estándar para el análisis de agua y aguas residuales APHA⁽⁸⁾.

La eficiencia de remoción del humedal construido fue obtenida mediante la aplicación de la ecuación 1.

$$ER (\%) = \frac{ci - cf}{ci} \times 100 \dots\dots\dots (1)$$

Siendo *ER* la eficiencia de remoción en términos de porcentaje, *ci* y *cf* las concentraciones de los contaminantes medidos en el afluente y el efluente del HCV.

2.2. Reutilización del efluente tratado en cultivo hidropónico tipo NFT.

El sistema hidropónico tipo NFT se ubicó de forma contigua al humedal. Se utilizaron tubos de PVC de 100 mm revestidos con lámina de aluminio y montados sobre caballetes de metal. Cada tubo tenía perforaciones con

Troche Arias GA, Duré G, Velázquez Decoud L, López Arias TR. Reutilización del efluente de un humedal construido de flujo subsuperficial vertical en un cultivo hidropónico tipo NFT de *Lactuca sativa*

brocas de 5 cm de diámetros, dispuestos a 20 cm entre sí. Los tubos estaban ubicados de forma paralela y con una pendiente de 0,5%. El medio líquido era constantemente recirculado mediante unas bombas ubicadas en los reservorios para cada medio (Figura 1 y 2).

El efluente recuperado se obtuvo tras filtrar el agua de salida del HFV utilizando un equipo de filtración al vacío. El embudo de filtración Buchner y el frasco de succión fueron previamente esterilizados en autoclave. Se utilizaron membranas de nitrocelulosa de 0,45 µm, a efectos de eliminar la carga bacteriana del efluente tratado mediante un proceso físico de filtración.

Fueron adquiridos desde un comercio local 120 plantines de *Lactuca sativa* var. isabella con 20 días post germinación. El medio nutritivo utilizado fue solución estándar A+B (5 ml de solución A y B por cada litro de agua).

Se tuvieron en cuenta 3 tratamientos diferentes (1 control y 2 tratamientos con el efluente recuperado). En el tratamiento 1 (T1), los plantines fueron alimentados sólo con el medio nutritivo convencional para hidroponía (MC), mientras que en el tratamiento 2 (T2) el sistema fue alimentado con caldo nutritivo + efluente recuperado (MC + E). Finalmente, el tratamiento 3 (T3) fue alimentado exclusivamente con el efluente recuperado (E) obtenido del HCV. Fueron colocados 28 platines para cada tratamiento. Se midió la temperatura del caldo (25 - 27 °C), pH (6 - 7) y conductividad eléctrica (1,5 - 2 mS/m). Al final de los ensayos se realizó como control el análisis de coliformes fecales (CF), mediante la técnica de filtración por membrana tanto a los medios de cultivo como a los plantines.

Para la determinación del crecimiento de los plantines de *L. sativa*, se compararon el peso seco, peso fresco, longitud de las raíces y la parte aérea. Para la determinación de los pesos se midieron en una balanza 11 ejemplares de plantines de *L. sativa*. Inicialmente se determinó el peso fresco, posteriormente se colocaron en cajas de Petri de vidrio llevándolos a la estufa con una temperatura regulada a 60 °C por 24 h. Pasado el tiempo establecido, fueron nuevamente pesadas obteniendo el peso seco de las mismas. Este procedimiento se realizó al inicio como al final para cada tratamiento.

Con los valores de peso seco se determinó la Tasa de Crecimiento Relativa (TCR), aplicando la ecuación 2.

$$TCR = \frac{\ln \left(\frac{X_f}{X_i} \right)}{(T_f - T_i)} \dots\dots\dots (2)$$

Dónde X_f y X_i son el peso final e inicial respectivamente y T_f y T_i corresponde al tiempo final en inicial del experimento.

Para comparar los resultados del crecimiento en el cultivo hidropónico, se aplicó el test de ANOVA de una sola vía, comparando cuatro condiciones diferentes; la característica inicial, el cultivo hidropónico convencional con recirculación (MC), el tratamiento con medio de cultivo hidropónico convencional + efluente (MC + E) y el tratamiento con el efluente puro. Posteriormente se realizaron análisis Post-hoc utilizando el test de Tukey. Las comparaciones de media se efectuaron mediante el Software SPSS 21.0.

3. RESULTADOS Y DISCUSION

3.1. Funcionamiento del humedal construido

Los resultados obtenidos de los análisis fisicoquímicos y microbiológicos realizados al influente y efluente del humedal construido con *T. dominguensis* se resumen en la Tabla 2. Se presentan la media, mediana y desviación estándar.

Tabla 2. Valores promedios, mediana, desviación estándar y porcentaje de remoción de las concentraciones del influente y efluente del humedal construido

Parámetros n= 10	Influente HFV			Efluente HFV			Eficiencia en la remoción (%)
	Media	Mediana	SD	Media	Mediana	SD	
DQO, mgO ₂ /L	235,65	212,05	153,57	13,8	14,3	2,63	91
NTK, mg/L	10,87	6,73	11,29	2,497	2,68	1,69	64
Ortofosfatos, mg/L	11,97	9,58	8,74	0,925	0,71	0,63	89
Nitrógeno Amoniacal, mg/L	58,08	58,20	13,99	10,65	11,17	7,72	81
Nitritos, mg/L	0,06	0,02	0,08	1,063	0,99	0,61	-
Nitratos, mg/L	3,42	0,62	4,43	286,5	318,38	158,55	-
pH, UpH	7,59	7,5	0,46	7,123	7,22	0,68	-
Conductividad, μ s/cm	766,8	825	266,41	600,8	564	178,89	15
Coliformes fecales, UFC/100ml	403.780	153.200	514.709	45.108	1.838	91.723	88

La concentración media de la materia orgánica medida como DQO en la entrada como en la salida fue de 236,05 mgO₂ L⁻¹ y 13,80 mgO₂ L⁻¹ respectivamente. La concentración en el efluente se encuentra por debajo del límite máximo de vertido a cuerpos hídricos, criterio establecido en la resolución N° 222/02 del Ministerio del Ambiente y Desarrollo Sostenible (Anteriormente Secretaria del Ambiente) (9), el cual establece que éste no

debe superar 150 mgO₂ L⁻¹. En el estudio se obtuvo una remoción de la DQO de 91%, siendo este valor ligeramente mayor a la eficiencia de remoción de 81%, obtenido por Judith et al.⁽¹⁰⁾ utilizando la especie *Iris pseudocarus* (lirio amarillo) en un humedal construido de flujo subsuperficial vertical con cargas hidráulicas de 4.2, 8.3 y 16.6 cm/d (en orden cronológico) para el tratamiento de agua residual doméstica.

Las concentraciones registradas para nitrógeno amoniacal y ortofosfatos revelan la remoción de nutrientes en el humedal construido. Los valores promedios para el nitrógeno amoniacal en la entrada y salida del sistema fueron de 58,08 mg, 10,65 mg. Además, se obtuvo una eficiencia de remoción del 81% (Tabla 2), concordando con lo obtenido por Sezerino et al.⁽¹¹⁾. Estos investigadores utilizaron un sistema híbrido de humedales, siendo el humedal construido de flujo subsuperficial vertical el tratamiento terciario operado con carga hidráulica de 223 mm.d⁻¹.

En cuanto a los valores promedios para ortofosfato tanto en la entrada como en la salida del sistema fueron de 11,97 mg L⁻¹ y 0,925 mg L⁻¹ respectivamente, también se obtuvo una significativa eficiencia de remoción del 89% (Tabla 2). Estos valores fueron superiores a las reportadas por Rojas et al.⁽¹²⁾, que variaron de 5 a 25%, cuyo trabajo consistió en la influencia de las especies *Phragmites australis* y *Schoenoplectus californicus* en la eliminación de materia orgánica y nutrientes en humedales construidos.

La carga hidráulica del humedal fue de 168 mm d⁻¹ mientras que la carga orgánica fue de 0,038 KgDQO d⁻¹. Ambas variables de operación fueron inferiores en comparación a valores utilizados por Pelisari C⁽¹³⁾, cuya carga hidráulica y carga orgánica fueron de 375 mm d⁻¹ y 0,308 kgDQO d⁻¹ respectivamente. Esta diferencia entre ambas cargas es debida a que la carga orgánica del efluente tratado en esta investigación fue muy diluida.

El porcentaje de remoción fue elevado para el parámetro microbiológico analizado (CF), con 88% de remoción (Tabla 2). En cuanto a las concentraciones medias y \pm SD, los valores expresados en términos de Log₁₀ UFC/100ml fueron de 5,606 \pm 5,712 (influyente) y 4,654 \pm 4,962 (efluente) respectivamente. Chaparro T⁽¹⁴⁾ menciona una eficiencia de remoción del 49% para coliformes fecales, en el tratamiento de aguas residuales en un humedal construido de tipo vertical.

Los humedales de flujo subsuperficial vertical producen una reducción significativa del nitrógeno amoniacal que es atribuible tanto al crecimiento celular bacteriano como al fenómeno de nitrificación hacia nitrito y nitrato. La media y \pm SD para nitrito (NO₂⁻) y nitrato (NO₃⁻) obtenidos fueron de 0,06

mg L⁻¹ ± 0,08 (influyente) y 1,063 mg L⁻¹ ± 0,61 (efluente), y de 3,42 mg L⁻¹ ± 4,43 (influyente) y 286,5 mg L⁻¹ ± 158,55 (efluente) respectivamente. Mientras que los valores arrojados para el NTK fueron de 10,87 mg L⁻¹ ± 11,29 (influyente) y 2,497 mg L⁻¹ ± 1,69 (efluente), con una eficiencia de remoción del 64% (Tabla 2). El valor del NTK difiere con lo obtenido en el trabajo de Vieira et al.⁽¹⁵⁾, en donde seleccionaron las especies *Typha dominguensis* y *Hedychium coronarium* en un sistema de humedal construido híbrido de tipo superficial para el tratamiento de efluente industrial, obteniendo un valor del 73,4% de remoción para NTK.

Los valores del pH oscilaron de 7,59 UpH a 7,12 UpH para el influyente y efluente respectivamente. No obstante, dichos valores se encuentran debajo de límite establecido por el MADES, en donde el pH debe estar comprendido entre 6 y 9 UpH. Los valores de pH y conductividad obtenidos en este estudio fueron ligeramente inferiores a los registrados por Souza C et al.⁽¹⁶⁾, en donde utilizaron *Zantedeschia aethiopica* (Cala) como mecanismo de remoción de contaminantes, con valores medios de 7,4 UpH y 769,5 µS cm⁻¹, respectivamente.

3.2. Reutilización del efluente mediante cultivo hidropónico de *L. sativa*

Los plantines de *L. sativa* pudieron crecer en el sistema hidropónico NTF en las diferentes condiciones de cultivo (Figura 2). Los parámetros de crecimiento analizados, tales como peso fresco y seco, así como la longitud de la parte aérea y de la raíz se indican en la Figura 3. De los tres tratamientos los ejemplares de *L. sativa* crecidas en el tratamiento T1 (cultivo hidropónico convencional) fueron los que tuvieron mayor crecimiento, buen aspecto y no presentaron síntomas de déficit o exceso de nutrientes. Los ejemplares de T2 (50% del caldo nutritivo y 50% del efluente filtrado) en general fueron los que presentaron menores niveles de crecimiento. Por su parte, en T3 (100% de efluente filtrado) se observó una mayor tasa de crecimiento y adaptabilidad que T2 y menor que en T1.

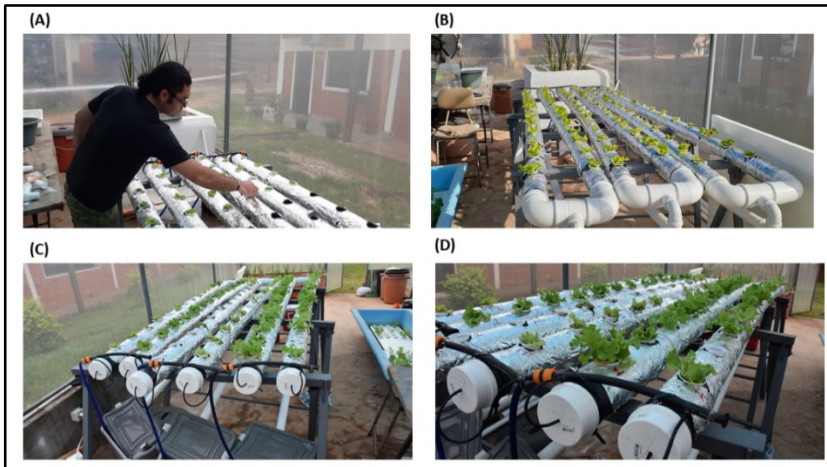


Figura 2. Cultivo hidropónico de *L. sativa* en sistema NFT. (A) Siembra de plantines en los tratamientos. Aspecto de los plantines en el día 5 (B), día 12 (C) y día 13 (D).

La longitud de las raíces de *L. sativa* crecidas en el cultivo NFT fueron de 8,1, 13,34, 7,64, y 9,37 cm siguiendo el orden de barras error que aparecen en la Figura 3.A. Por otra parte, las longitudes medias de la parte aérea fueron de 7,27, 14,16, 9,53, y 11,04 cm siguiendo el mismo orden de las barras error observadas en la Figura 3.B.

En cuanto al peso seco de los ejemplares de *L. sativa*, fueron de 0,43, 0,90, 0,36 y 0,48 g siguiendo el mismo orden correspondiente a la Figura 3.C. Mientras que, en el peso fresco, los valores fueron de 1,66, 13,78, 5,13 y 8,05 (Figura 3.D). Cuba, Rios, Souza, Bastos⁽¹⁷⁾, realizaron un trabajo reutilizando efluente doméstico en un cultivo hidropónico de *L. sativa*, en donde utilizaron tres tratamientos diferentes; uso de agua de abastecimiento y fertilizantes minerales, uso de efluentes domésticos tratados complementados con fertilizantes minerales y sólo efluente doméstico tratado; estos investigadores reportaron valores de crecimiento mayores a los obtenidos en nuestro estudio. Esto debido al mayor tiempo de crecimiento experimental establecido al cultivo hidropónico.

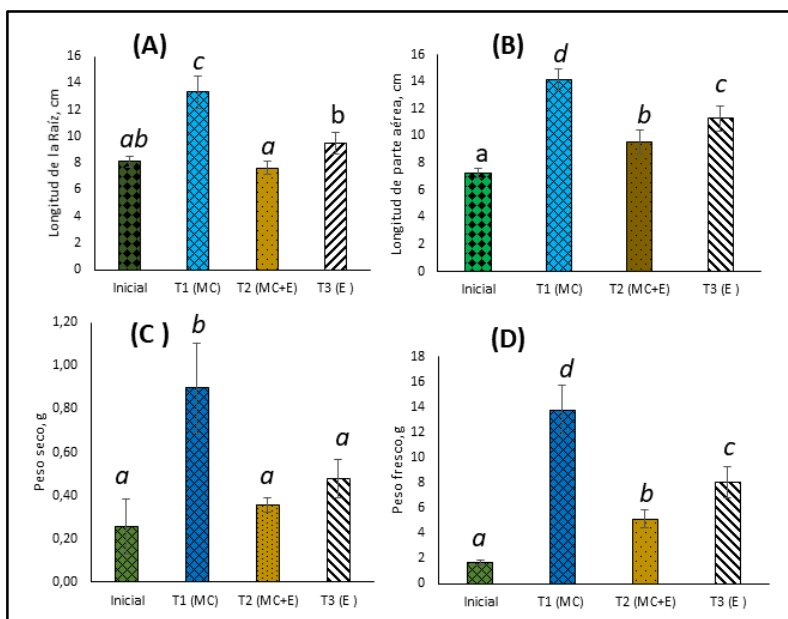


Figura 3. Barra error de las medidas de peso y longitud de *L. sativa*. Los errores corresponden al intervalo de confianza al 95 %. A, longitud de la raíz. B, longitud de la parte aérea. C, peso seco. D, peso fresco.

No se detectaron CF en los análisis desarrollados para control del T2 y T3 en el estudio de reutilización, evidenciándose la efectividad del proceso de filtración del efluente a reutilizar para la eliminación de bacterias. La metodología para esta reutilización es similar al aplicado por Testa et al.⁽¹⁸⁾, en donde fue analizado comparativamente la calidad de la lechuga regada con reúso de efluentes y lechuga comercializada habitualmente en el municipio de Taubaté-Brasil. Monge et al.⁽¹⁹⁾ realizaron una comparación bacteriológica de la lechuga (*Lactuca sativa*) producida en Costa Rica mediante un cultivo tradicional, orgánico o hidropónico con el fin de discernir diferencias entre los métodos del cultivo y el riesgo a la salud pública. Los microorganismos a determinar fueron el recuento total de mesófilos aerobio, recuento de coliformes totales, fecales y de *Escherichia coli*, también la presencia/ausencia en 25g de *Salmonella* spp. y *Listeria monocytogenes*. Los resultados demostraron que no existe una diferencia estadísticamente significativa en cuanto a los diferentes tipos de cultivo para ninguno de los parámetros evaluados.

4. CONCLUSIÓN

Para los contaminantes evaluados se obtuvieron elevados porcentajes de remoción, las eficiencias fueron de 81%, 64%, 89% y 91% para N-NH₄⁺, NTK, ortofosfato y DQO respectivamente. La eficiencia de remoción de CF fue de 88%, y un valor promedio de reducción de 0,95 Log. Sin embargo, esta reducción de CF no permite cumplir con la normativa exigida por el MADES para el vertido de efluentes, por lo que antes de su reutilización el efluente debe pasar por un sistema de desinfección. La carga hidráulica fue adecuada en el rendimiento de la remoción del nitrógeno amoniacal y nitrificando el efluente.

Se demostró que el efluente doméstico tratado con *T. dominguensis* en un humedal vertical, posteriormente puede ser reutilizado como medio de cultivo en un sistema hidropónico NFT de *Lactuca sativa* var. Isabella. El efluente reutilizado permite el crecimiento del cultivo en dos condiciones diferentes (T2 y T3), aunque con rendimientos menores al compararlo con el medio de cultivo estándar de hidroponía.

5. AGRADECIMIENTOS

A la Facultad de Ciencias Exactas y Naturales (FACEN) y al Departamento de Biotecnología por los recursos brindados y el espacio cedido. Al Programa Universitario de Becas para la Investigación “Andrés Borgognon Montero” (PUBIABM), por el apoyo económico para desarrollar y concluir el presente trabajo de investigación. Al Dr. Pablo Heleno Sezerino de la Universidad Federal de Santa Catarina por el diseño de ingeniería para la construcción del humedal.

REFERENCIAS

1. Amabilis-Sosa LE, Siebe C, Moeller-Chávez G, Durán-Domínguez-De-bazúa M del C. Remoción de mercurio por *Phragmites Australis* empleada como barrera biológica en humedales artificiales inoculados con cepas tolerantes a metales pesados. Rev Int Contam Ambient. 2016;32(1):47–53.
2. Delgadillo O, Camacho A, Pérez L, Andrade M. Depuración de aguas residuales por medio de humedales artificiales. Cochabamba, Bolivia: Centro AGUA; 2010. 115 p. Disponible en: http://www.infoandina.org/sites/default/files/publication/files/depuracion_de_aguas_residuales_por_medio_de_humedales_artificiales.pdf5Cn<http://www.aguasresiduales.info/revista/libros/depuracion-de-aguas-residuales-por-medio-de-humedales-artificiales>
3. Martínez SAA, Toro FMB, Rojas GG, Giraldo JPS, Ángel MLH. Fitorremediación con humedales artificiales para el tratamiento de

aguas residuales porcinas. Inf técnico. 2010;74.

4. Marín J. Humedales Construidos En México Para El Tratamiento De Aguas Residuales, Produccion De Plantas Ornamentales Y Reuso Del Agua Wetlands Built in México for the Treatment of Residual Waters, Production of Ornamental Plants and Water Reuse. 2017;10(5):90-5.
5. Valencia E, Aragón RA, Romero J. Potencial de reutilización del efluente de la planta de tratamiento de aguas residuales de nátaga en cultivo de cacao (*Theobroma cacao L.*). Rev UDCA Actual Divulg Científica. 2012;15(1):77-86.
6. Bouzo G. Utilización de efluentes urbanos tratados para la producción de brócoli mediante riego por goteo subterráneo. 2019;36:63-71.
7. López T, Duré G, Doldán T, Marín D, Galeano E. Desempeño de humedales construidos a escala piloto para el tratamiento de agua residual urbana utilizando *Cyperus giganteus Vahl* y *Typha domingensis* Pers. Rev Steviana. 2019;11(1):3-14.
8. American Public Health Association - APHA. Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. 20th ed. 1998.
9. SEAM. Resolución por la cual se establece el padrón de calidad de las aguas en el territorio Nacional. Resolución N° 222 Paraguay; 2002, p. 6.
10. Judith M-B, Alfredo J-B. Rodríguez-González María Reyes Suárez-López Joaquín. Humedal de flujo vertical para tratamiento terciario del efluente fisicoquímico de una estación depuradora de aguas residuales domésticas. Ing. Inv. Tec. 2013;(2):223-35.
11. Sezerino PH, Bento AP, Decezaró ST, Carissimi E, Philippi LS. Provided for non-commercial research and educational use only . Not for reproduction or distribution or commercial use . This article was originally published by IWA Publishing . IWA Publishing recognizes the retention of the right by the author (s) to .
12. Rojas K, vera I, Vidal G. Influencia de la estación y de las especies *Phragmites australis* y *Schoenoplectus californicus* en la eliminación de materia orgánica y nutrientes contenidos en aguas servidas durante la operación de puesta en marcha de humedales construidos de flujo horizontal. Rev Fac. Ing. Univ. Antioquía. 2013;289-299.
13. Pelissari C, Ávila C, Maria C, García J, Dultra R, Armas D, et al. Science of the Total Environment Nitrogen transforming bacteria within a full-scale partially saturated vertical subsurface flow constructed wetland

Troche Arias GA, Duré G, Velázquez Decoud L, López Arias TR. Reutilización del efluente de un humedal construido de flujo subsuperficial vertical en un cultivo hidropónico tipo NFT de *Lactuca sativa*

- treating urban wastewater. Sci Total Environ. 2017;574:390-9. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1016/j.scitotenv.2016.08.207>
14. Chaparro T. Humedales artificiales de flujo vertical para mejorar la calidad del agua del río de Bogotá. Ciencia e Ingeniería Neogranadina. 2015;15: 74-84.
 15. Vieira H, Bandeira C, Carraro A, Bastos R. Remoção de nitrogênio e fósforo de águas residuárias de laticínios por sistemas alagados construídos operando em bateladas. Rev Ambiente e Agua. 2012; 7(2): 75-87.
 16. Souza C, Bastos R, Gomez M, Pulschen A. Eficiência de estação de tratamento de esgoto doméstico visando reuso agrícola. Rev Ambiente e Agua. 2015; 10(3):587-597.
 17. Cuba R, Rios J, Souza C, Bastos R. Potencial de efluente de esgoto doméstico tratado como fonte de água e nutrientes no cultivo hidropônico de alface. Rev Ambiente e Agua. 2015;10(3):575-586.
 18. Testa A, Souza J, Rezende S, Souza C. Avaliação da qualidade sanitária da alface (*Lactuca sativa*, L.) irrigada com água de reúso comparada com amostras comercializadas. Rev Ambiente e Agua. 2011; 6(2): 295-304.
 19. Monge C, Chaves C, Arias ML. Bacteriological quality of traditional, organic and hydroponic cultured lettuce in Costa Rica | Comparación de la calidad bacteriológica de la lechuga (*Lactuca sativa*) producida en Costa Rica mediante cultivo tradicional, orgánico o hidropónico. Arch Latinoam Nutr. 2011;61(1):69-73.