

Tratamiento de Aguas Residuales de Servicios Cosméticos en Humedales Artificiales con *Sagittaria Latifolia*

Monserrat Guadalupe Barco-Méndez ¹, Gaspar López-Ocaña ^{1,*}, David Guerrero-Zarate ², Carlos Alberto Torres Balcázar ¹, Melina del Carmen Uribe López ³

¹ Laboratorio de Tecnología del Agua, División Académica de Ciencias Biológicas, Universidad Juárez Autónoma de Tabasco, Villahermosa, Tabasco

² Laboratorio Termodinámica de Fluidos, División Académica Multidisciplinaria de Jalpa de Méndez, Universidad Juárez Autónoma de Tabasco

³ Laboratorio de contaminación acuática y toxicología, División Académica de Ciencias Biológicas, Universidad Juárez Autónoma de Tabasco

* Autor de correspondencia: oceanagl77@hotmail.com; Tel: +52 993 193 3824

Contaminación de Agua, Suelo y Tierra (Tratamientos biológicos)

Recibido: 11 de junio de 2025

Aceptado: 26 de julio de 2025

Publicado: 24 de diciembre de 2025

DOI: <https://doi.org/10.56845/terys.v4i3.492>

Resumen: Los humedales artificiales (HA) se continúan estudiando por sus bondades en la remoción de diferentes contaminantes en diversas aguas residuales industriales incluyendo especies vegetales. En esta investigación se evaluó la especie *Sagittaria latifolia* (cola de golondrina) en la remoción de contaminantes de aguas residuales de servicios cosméticos por medio de humedales artificiales de flujo libre y subsuperficial con dimensiones de 2.5 m de largo x 1.2 m de ancho x 0.5 m de profundidad con tiempos de retención de 7 días y 3.5 días respectivamente. Se evaluaron 4 tratamientos: HAFL-T (humedal artificial de flujo libre testigo), HAFL-SL (humedal artificial de flujo libre con *Sagittaria latifolia*), HAFSS-T (humedal artificial de flujo subsuperficial testigo) y HAFSS-SL (humedal artificial de flujo subsuperficial con *Sagittaria latifolia*). Cada tratamiento se corrió por triplicado, tratando 200 L/día de aguas residuales cosméticas. Se realizó la caracterización de calidad del agua (entrada y salida). La calidad del agua de entrada presentó una turbiedad promedio de 70.8 ± 15.4 NTU, color de 3094.58 ± 49.75 UC y DQO de 1692.4 ± 241.5 mg/L. En los experimentos las eficiencias de remoción más altas se obtuvieron en el HAFL-SL, con un 94% de remoción de turbiedad (de 70.8 NTU a 4.0 NTU), 92.6% de color (de 3094.58 UC a 305.8 UC) y 88.8 % de DQO (de 1692.4 mg/L a 190 mg/L).

Palabras clave: humedales artificiales, contaminantes, *Sagittaria latifolia*, aguas residuales, industria cosmética

Removal of Contaminants from Cosmetic Services Wastewater in Constructed Wetlands with *Sagittaria Latifolia*

Abstract: Constructed wetlands continue to be studied for their effectiveness in removing various contaminants from different types of industrial wastewater, including those containing new compounds. In the present study, the species *Sagittaria latifolia* (commonly known as arrowhead) was evaluated for its capacity to remove contaminants from cosmetic service wastewater using free surface flow and subsurface flow artificial wetlands, each with dimensions of 2.5 m in length x 1.2 m in width x 0.5 m in depth, and hydraulic retention times of 7 days and 3.5 days, respectively. Four treatments were evaluated: HAFL-T (free surface flow artificial wetland control), HAFL-SL (free surface flow artificial wetland with *Sagittaria latifolia*), HAFSS-T (subsurface flow artificial wetland control), and HAFSS-SL (subsurface flow artificial wetland with *Sagittaria latifolia*). Each treatment was run in triplicate, treating 200 L/day of cosmetic wastewater. Water quality characterization was carried out for both the inflow and outflow. The influent water quality showed an average turbidity of 70.8 ± 15.4 NTU, color of 3094.58 ± 49.75 CU, and COD of 1692.4 ± 241.5 mg/L. The highest removal efficiencies were achieved in the HAFL-SL treatment, with 94% turbidity removal (from 70.8 NTU to 4.0 NTU), 92.6% color removal (from 3094.58 CU to 305.8 CU), and 88.8% removal (from 1692.4 mg/L to 190 mg/L).

Keywords: Constructed wetlands, pollutants, *Sagittaria latifolia*, wastewater, cosmetic industry.

Introducción

México durante el 2023 se convirtió en el decimotercer mercado en la industria de servicios cosméticos con un incremento del 11 % respecto al 2020, lo que incrementó el volumen y complejidad de las aguas residuales generadas (Sánchez, 2023). Los servicios cosméticos abarcan una amplia gama de productos depilatorios, maquillajes, tratamientos corporales y capilares (Castro & Ramírez, 2020). Los componentes básicos en los productos cosméticos, como conservantes, emulgentes, bactericidas, antioxidantes y gelificantes generan una alta demanda química de oxígeno (DQO), grasas, aceites, detergentes, compuestos orgánicos volátiles y metales que contribuyen a la toxicidad de estos (Mulford, 2023). Estos se descargan continuamente en ecosistemas acuáticos creando impactos ecológicos relacionados con la bioactividad, la toxicidad y la bioacumulación entre diversas especies biológicas (Rosas *et al.*, 2020).

Frente a este panorama, ha surgido la necesidad de buscar nuevas alternativas para el tratamiento de aguas residuales de bajo costo y requerimientos sencillos en operación y mantenimiento para el mejoramiento continuo en la gestión de los recursos hídricos. Witthayaphirom *et al.* (2020) señalan que los humedales artificiales (HA) han demostrado ser una tecnología eficaz en la eliminación de contaminantes básicos presentes en aguas residuales, estos sistemas imitan los procesos que ocurren en humedales naturales (Nava *et al.*, 2023), a través del cultivo de macrófitas enraizadas (emergentes, flotantes o sumergidas) sobre un medio de soporte (grava, arena u otros) y la presencia de microorganismos en la zona de raíces. Debido a la popularidad de estos sistemas se requiere mayores estudios sobre el potencial de fitorremediación de las especies vegetales nativas (Benny & Chakraborty, 2020).

En el sureste de México, particularmente en Tabasco, existe una gran diversidad de flora de pantanos para ser evaluada en el tratamiento de aguas residuales (Martínez & Meraz, 2023). En el tratamiento de aguas residuales de la industria cosmética, Najul *et al.* (2024) obtuvo buenos resultados aplicando coagulantes (sulfato de aluminio-20 mg/L) y floculantes (polímeros aniónicos-15 mg/L) obteniendo remociones de DQO del 77% y del 80% por medio de flotación con aire disuelto. Por otro lado, Mulford (2023), reportó eficiencias de remoción entre el 70-90% de turbiedad en el tratamiento con lodos activados con un alto rendimiento en la degradación de materia orgánica. Sin embargo, es válido revisar y proponer pruebas de tratabilidad para verificar si la remoción de contaminantes, metales pesados y toxicidad de este tipo de aguas es exitosa mediante alternativas naturales como los humedales artificiales, donde Valero *et al.* (2020) ha obtenido eficiencias de remoción de fosforo del 78% y de metales pesados como el cromo hasta un 36% en aguas residuales de la industria agrícola utilizando *Phragmites australis* en un sistema horizontal de flujo subsuperficial con un tiempo de retención de 3 días.

La Universidad Juárez Autónoma de Tabasco (UJAT), a través de la División Académica de Ciencias Biológicas (DACPBIOL), tiene el compromiso de desarrollar tecnologías que beneficien a la sociedad y contribuyan a mitigar el daño ambiental, asegurando que estas sean técnica y económicamente viables, además de sustentables. Los humedales artificiales tienen la capacidad de reducir la turbidez del agua y esta reducción suele relacionarse con una disminución en la carga orgánica reflejada en parámetros como DQO y DBO. En este contexto, la presente investigación está dirigida al estudio de *Sagittaria latifolia*, una especie acuática nativa de Tabasco, pequeña y de fácil manejo y transporte, con el fin de observar cuál es su adaptación e implementación en la fitorremediación de este tipo de aguas residuales.

Materiales y Métodos

Área de estudio

Este trabajo fue realizado en la División Académica de Ciencias Biológicas (DACPBIOL) de la Universidad Juárez Autónoma de Tabasco (UJAT), en el área de planta piloto de Humedales del Laboratorio de Tecnología del agua.

Colecta y siembra de la especie

La colecta de *Sagittaria latifolia* se llevó a cabo en el tiradero a cielo abierto Loma de Caballo ubicado en la Ranchería Lázaro Cárdenas, Centro, Tabasco; 17°59'26" N, 92°58'16" O y 17°59'17" N, 92°58'37" O debido a que es una especie nativa de la región, es capaz de crecer con abundancia y es de fácil transportación. Se procedió a transportarla a la División de Ciencias Biológicas en donde se encuentran las unidades experimentales y fueron sembradas en el medio de soporte (grava de río) a una profundidad de 20 cm a lo largo del humedal artificial.

Creación del agua sintética

Se generó una lista de productos y marcas utilizadas con mayor frecuencia en la ciudad de Villahermosa Tabasco por medio de encuestas a los trabajadores de los salones de belleza. (Tabla 1).

Tabla 1. Resumen de resultados de las encuestas

Servicio	Productos y marcas más utilizadas según la encuesta	
	Productos	Marcas
Tratamiento capilar	Tratamiento revitalizante, ampolletas intensivas y mascarilla capilar	Wella, Kuul, Nefertiti
Manicura	Removedor de cutícula, acetona pura y exfoliante	Xiomarc, Loquay y OPI
Masajes corporales	Aceite de eucalipto y aceite de almendras	Jaloma, Rusens y Cocoa Butter
Decoloración	Peróxido de 20 VOL	Xio mara, Kuul y Anven
Tinte	Tinte	Loquay, Anven y Keractive
Alaciado con Queratina	Queratina Brasileña y acondicionador	Keramax, Keraliss y Kativa
Permanente	Loción neutralizante y loción ondulante	OPI, Nefertiti y Loquay

Con base en lo anterior, se determinaron los productos y cantidades para la preparación de un tanque de 200 L de agua residual sintética de servicios cosméticos (Tabla 2).

Tabla 2. Productos del agua residual sintética de servicios cosméticos

Insumos	Cantidad (ml)
Tratamiento revitalizante de residuos y pH marca NEFERTITI	120
Mascarilla de sistema capilar marca KUUL	90
Removedor de cutícula marca Loquay	80
Crema Alaciante con Keratina marca LISE	120
Revelador en crema (peróxido) marca KUUL	50
Loción neutralizante marca NEFERTITI	80
Loción Ondulante marca NEFERTITI	80
Shampoo matizador marca NEFERTITI	100
Decolorante en polvo para mechas marca ANVE	50
Tinte marca KUUL	50
Ampolla Intensiva marca N	30
Total	850

Diseño experimental

Se empleó un diseño completamente aleatorizado de un factor (tratamiento) de cuatro niveles: 1 humedal artificial de flujo libre testigo (HAFL-T), 2 humedal artificial de flujo libre con *S. latifolia* (HAFL-SL), 3 humedal artificial de flujo subsuperficial testigo (HAFSS-T) y 4 humedal artificial de flujo subsuperficial con *S. latifolia* (HAFSS-SL); el experimento se corrió por triplicado (Figura 1), y el efecto planta se consideró sub-factor. Se Analizó como variables dependientes: pH, la temperatura, conductividad eléctrica (CE), sólidos disueltos totales (SDT), color aparente, turbiedad, oxígeno disuelto (OD) y DQO. Todos los tratamientos fueron alimentados de un mismo afluente de agua residual y mismas condiciones de operación. Cada unidad experimental consistió en HA con dimensiones de 2.5 m de largo x 1.2

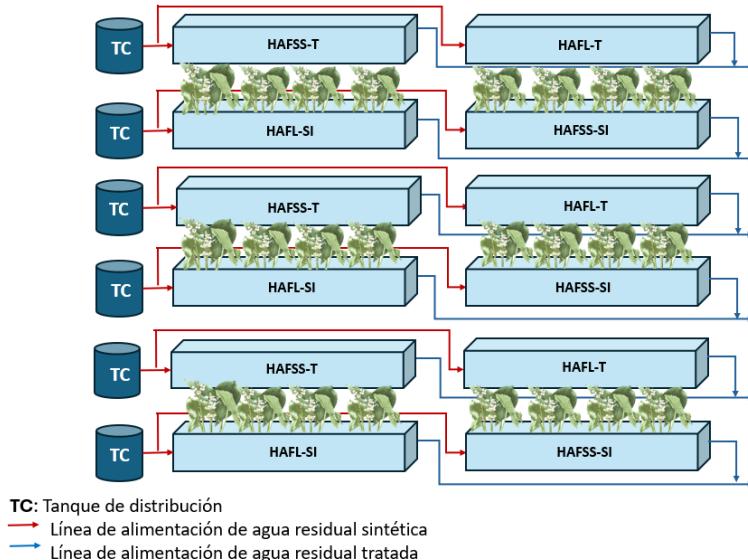


Figura 1. Esquema del sistema de tratamiento de aguas residuales de flujo libre (HAFL) y subsuperficial (HAFSS) con *Sagittaria latifolia* y los humedales testigo con sus réplicas

m de ancho y 0.5 m de profundidad (López *et al.*, 2014). Para datos paramétricos (datos normales y homocedásticos) se procedió a realizar un ANOVA y las pruebas de medias de Fisher para identificar diferencias estadísticas significativas, para los datos no paramétricos se empleó un análisis de Kruskal – Wallis y un contraste de medianas de Mann – Whitney determinando diferencias estadísticamente significativas, todos los análisis estadísticos se realizaron empleando el software STAGRAFICS CENTURION™ v 19.0 con un nivel de significancia de $\alpha=0.05$.

Caracterización fisicoquímica del agua

Se recolectó una muestra de la entrada y la salida de cada una de las 12 unidades experimentales, tomándose en un recipiente de 1 L. Posteriormente se transportó el agua al Laboratorio de Tecnología del Agua para su correspondiente caracterización resguardándose a una temperatura de 4°C para su conservación. Se determinó la turbidez y color mediante un turbidímetro marca LaMotte modelo TC-3000we Trimeters. Para el pH, temperatura, conductividad (CE) y sólidos disueltos totales (SDT) se utilizó el equipo HI98130 HANNA. Para el oxígeno disuelto (OD) se utilizó el equipo RCYAGO y para el cálculo de DQO se utilizó el equipo HI839150 HANNA.

Se determinaron los siguientes métodos para medir los parámetros: Temperatura (SM 2550), Turbiedad (SM 2130 B), Color (APHA 2120), pH (SM 9040 B), CE (SM 2510 B), SDT (SM 2540), OD (SM 4500-OG) y DQO (USEPA 410.4).

Eficiencia de remoción

La eficiencia de remoción del color aparente y la turbiedad de cada tratamiento se calculó con base a la Ecuación 1 (García *et al.*, 2019).

$$ER(\%) = \frac{Ce - Cs}{Ce} \times 100 \quad (1)$$

Donde: ER=Eficiencia de remoción; Ce=Concentración del contaminante “x” a la entrada (afluente); y Cs=Concentración del contaminante “x” a la salida (efluente)

Resultados y Discusión

Calidad del agua residual en los tratamientos

En la Tabla 3, se presentan los parámetros evaluados de aguas residuales domésticas tratadas por los 4 tratamientos con numero de muestras de 15 ($N=15$). El agua residual de servicios cosméticos del tanque de distribución presenta un pH de 8.1 ± 0.2 UpH, temperatura de 27.00 ± 0.6 °C, SDT de 726.7 ± 27.7 mg/L, turbiedad de 70.8 ± 15.4 UNT, color de 3094.58 ± 49.75 UC, OD de 4.1 ± 4.0 mg/L y DQO de 1692.4 ± 241.5 mg/L. Para el caso de la Tabla 4 se muestra la eficiencia de remoción de contaminantes y en el caso de las eficiencias negativas nos indican un aumento en la concentración de salida en ese parámetro, tal es el caso del pH que indica que incrementa de neutro a ligeramente alcalino y para el caso del OD se incrementa la concentración debido a la liberación de oxígeno por las raíces de la especie vegetal.

Tabla 3. Concentración promedio $\pm DE$ de los efluentes de los tratamientos ($N=15$)

Parámetros	HAFL-SL		HAFSS-SL		HAFSS-T		HAFL-T	
	X	$\pm DE$	X	$\pm DE$	X	$\pm DE$	X	$\pm DE$
pH (UpH)	7.1	0.2	7.4	0.2	8.3	0.4	8.4	0.4
Temperatura(°C)	24.3	2.0	26.2	0.8	26.1	1.5	25.9	1.5
CE ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	710.3	27.3	906.0	45.0	798.7	44.7	601.3	29.0
SDT (mg/L)	316.0	19.2	403.3	23.2	362.0	19.0	270.0	10.7
Color (UC)	305.8	210.2	398.3	174.1	338.27	78.40	351.3	91.1
Turbiedad (UNT)	4.0	2.9	8.7	3.1	4.4	1.2	5.5	3.3
OD (mg/L)	1.8	0.2	2.0	0.4	1.6	0.1	2.0	0.4
DQO (mg/L)	190.0	22	190.6	13.8	172.2	27.7	201.6	40.3

Tabla 4. Eficiencias de entrada-salida de los tratamientos evaluados (N=15)

Parámetro	HAFL-SL (%)	HAFSS-SL (%)	HAFSS-T (%)	HAFL-T (%)
pH (UpH)	12.3	9.1	-1.6	-3.8
Temperatura (°C)	10.2	3.1	3.3	4.3
CE ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	55.9	43.8	50.5	62.7
SDT (mg/L)	56.5	44.5	50.2	62.8
Color (UC)	92.6	90.4	91.8	91.5
Turbiedad (UNT)	94.4	87.7	93.8	92.2
OD (mg/L)	-12.2	-23.2	0.8	-20.3
DQO (mg/L)	88.8	88.7	89.8	88.1

pH y temperatura

El pH es crucial en el desarrollo de microorganismos, asociados a la degradación de los contaminantes y pueden verse afectados por cambios ácidos o alcalinos (Javier *et al.*, 2024). En el análisis de pH la prueba de Kruskal-Wallis reportó que el valor mediano más bajo corresponde al tratamiento HAFSS-SL con $9.14 \pm (9.1, 9.30)$, seguido del tratamiento HAFL-SL con $9.15 \pm (9.02, 9.28)$ y el valor mediano más alto se presenta en el tratamiento HASS-T con $9.32 \pm (9.23, 9.48)$. El agua que ingresa a los humedales artificiales presenta características altamente alcalinas, pero tiende a neutralizarse en los tratamientos al utilizarse *Sagittaria latifolia*, lo que favorece el establecimiento de las bacterias (Rincón, 2023). Los tratamientos cumplen con un rango adecuado para conservar la vida acuática dentro de los cuerpos receptores y se favorecen los procesos de nitrificación y desnitrificación (Giaveno & Gatti, 2022). En cuanto a la temperatura, el análisis de varianza (ANOVA) revela que no existen diferencias estadísticamente significativas entre los tratamientos. El valor más bajo fue el tratamiento HASS-T (22.64 ± 1.32 °C) seguido del HASS-SL (22.8 ± 1.35 °C) y el valor más alto es el HAFL-SL (22.8 ± 1.20 °C). Estas temperaturas son adecuadas para la eliminación de materia orgánica suspendida, ya que influyen positivamente en los procesos microbianos que tienen lugar en los humedales artificiales (Mora *et al.* 2020). Además, promueven el desarrollo de organismos mesófilos, encargados de llevar a cabo funciones biogeoquímicas. La temperatura observada se considera óptima, ya que se mantiene por debajo del umbral de 50 °C, punto en el cual se detienen procesos como la nitrificación bacteriana (Sánchez *et al.*, 2021).

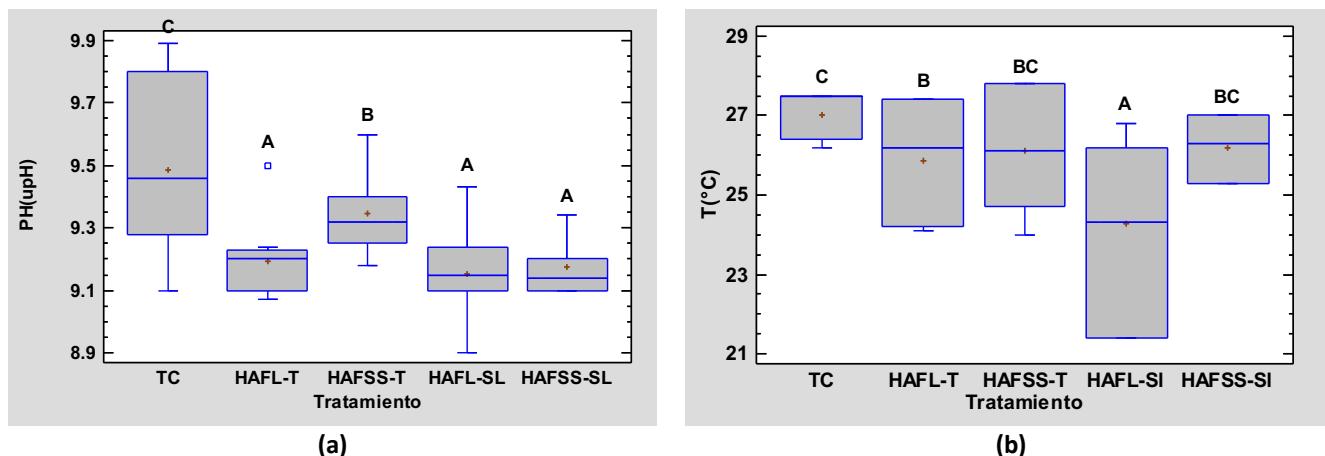


Figura 2. Valores medianos (Q_1, Q_3) para pH (a) (UpH) y Temperatura (b) (°C) (N=15). Letras diferentes indican diferencias estadísticamente significativas entre tratamiento ($p<0.05$), al 95 % nivel de confianza

SDT y CE

La prueba de Kruskal-Wallis para SDT indica que el valor más bajo se encontró en el tratamiento HAFSS-T con $287.0 \pm (254.85, 300.82)$ mg/L seguido del HAFL-SL con $316.0 \pm (292.71, 376.77)$ mg/L y finalmente el valor más alto es el

tratamiento HAFSS-SL con $452.0 \pm (439.35, 460.82)$ mg/L. Los SDT son el material soluble constituido por materia inorgánica y orgánica, las concentraciones de sólidos disueltos totales en los tratamientos son óptimos en comparación con el rango de referencia (500 mg/L) establecido por los Criterios Ecológicos de Calidad del Agua 1989 para cuerpos receptores. En cuanto a la conductividad eléctrica, permite determinar el contenido de sales disueltas, es proporcional a la concentración de cationes y aniones del medio y esta aumenta con la temperatura (Ituri *et al.*, 2022). El valor más bajo se encontró en el tratamiento HAFSS-T con $574.0 \pm (510.88, 602.287)$ $\mu\text{S}/\text{cm}$ seguido del HAFL-SL con $632.0 \pm (589.53, 753.55)$ $\mu\text{S}/\text{cm}$ y finalmente el valor más alto es el tratamiento HAFSS-SL con $899.0 \pm (877.71, 934.15)$ $\mu\text{S}/\text{cm}$, se alcanzan concentraciones optimas ($>800 \mu\text{S}/\text{cm}$) que indica que no hay un efecto fitotóxico para las especies (Muñante *et al.*, 2022).

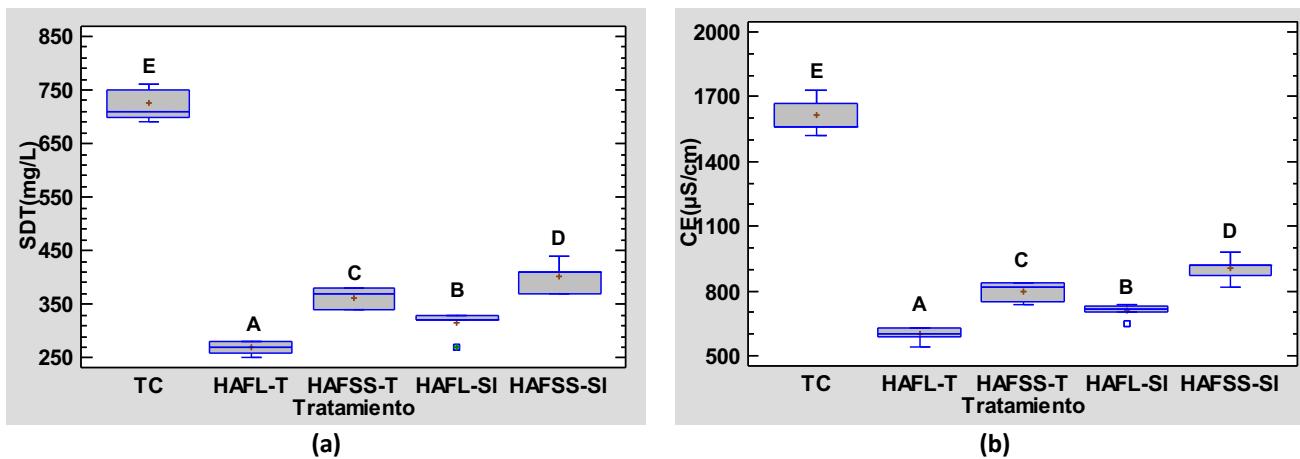


Figura 3. Valores medianos (Q_1, Q_3) para SDT (a) (mg/L) y CE (b) ($\mu\text{S}/\text{cm}$) ($N=15$). Letras diferentes indican diferencias estadísticamente significativas entre tratamiento ($p<0.05$), al 95 % nivel de confianza

Turbiedad y color

Para la turbiedad la prueba de Kruskal-Wallis reportó que el valor-P es menor que 0.05, existe una diferencia estadísticamente significativa entre las medianas con un nivel del 95% de confianza. El valor mediano más bajo se encontró en el tratamiento HASS-T con $4.2 \pm (2.52, 10.26)$ UNT, lo cual refleja la capacidad del medio de soporte para filtrar sólidos suspendidos y formar biopelícula (Ernestina, 2024), seguido del HAFL-T con un valor de $4.2 \pm (3.06, 6.01)$ UNT. En contraste, el valor mediano más alto se obtuvo en el HAFSS-SL con $9.3 \pm (4.34, 12.04)$ UNT en donde se observó un aumento debido al crecimiento de algas. La turbiedad es la materia en suspensión y coloidal, finamente dividida, plancton y otros organismos microscópicos; son cofactores de incremento de este parámetro fisicoquímico que se asocia con una menor eliminación de patógenos (Rivera *et al.*, 2021). Las macrófitas no solo mejoran la filtración y el crecimiento microbiano, sino que también facilitan la transferencia de oxígeno a la rizosfera, contribuyendo al ciclo de

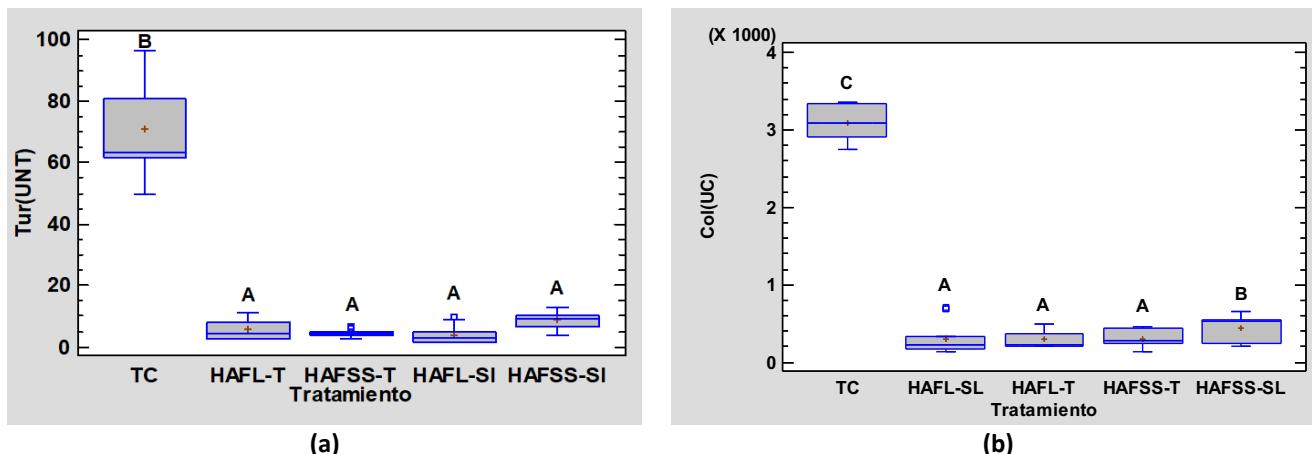


Figura 4. Valores medianos (Q_1, Q_3) para Turbiedad (a) (UNT) y Color (b) (UC) ($N=15$). Letras diferentes indican diferencias estadísticamente significativas entre tratamiento ($p<0.05$), al 95 % nivel de confianza

nutrientes, la producción de gases y el control de enfermedades (Thomaz, 2021). Los tratamientos se encuentran dentro del rango establecido por Ley Federal de Derechos en Materia de Aguas Nacionales (CONAGUA, 2024), el cual es de 10 UNT. En cuanto al color, la prueba de Kruskal-Wallis indica que el valor más bajo se encuentra en el tratamiento HAFL-T con $220.0 \pm (207.07, 381.61)$ UC seguido del HAFL-SL con $231.0 \pm (150.88, 635.04)$ UC y finalmente el valor mediano más alto está en el tratamiento HAFSS-SL $531.0 \pm (222.88, 627.54)$ UC con eficiencias del 92% con respecto al agua inicial.

OD y DQO

Para la variable OD el análisis de varianza (ANOVA) indica que no existen diferencias estadísticamente significativas entre los tratamientos. El tratamiento con el valor más bajo fue el HAFSS-SL con $2.9 \pm (2.8, 11.83)$ mg/L, seguido del HAFL-SL con $3.4 \pm (2.09, 9.93)$ mg/L y el valor más alto se obtuvo en el HAFL-T con $7.2 \pm (2.12, 7.58)$ mg/L. Finalmente, para la DQO. El valor más bajo fue en el tratamiento HAFL-T con $179 \pm (139.60, 200.75)$ mg/L y el valor más alto se obtuvo en el HAFSS-T con $201.0 \pm (157.81, 256.95)$ mg/L. La DQO es importante para oxidar químicamente los materiales orgánicos e inorgánicos en el agua produciendo la degradación de estos compuestos (Crespo *et al.*, 2024), en este caso se obtuvo una disminución de 172.2 mg/L, es decir se removió el 90% con respecto al agua inicial. En otra investigación realizada por Donoso *et al.* (2024) evaluaron los humedales artificiales de flujo subsuperficial horizontal con *Schoenoplectus*, el tratamiento de aguas residuales de la industria láctea, logrando eficiencias de remoción de DQO de 51.06% con medición a los 15 días.

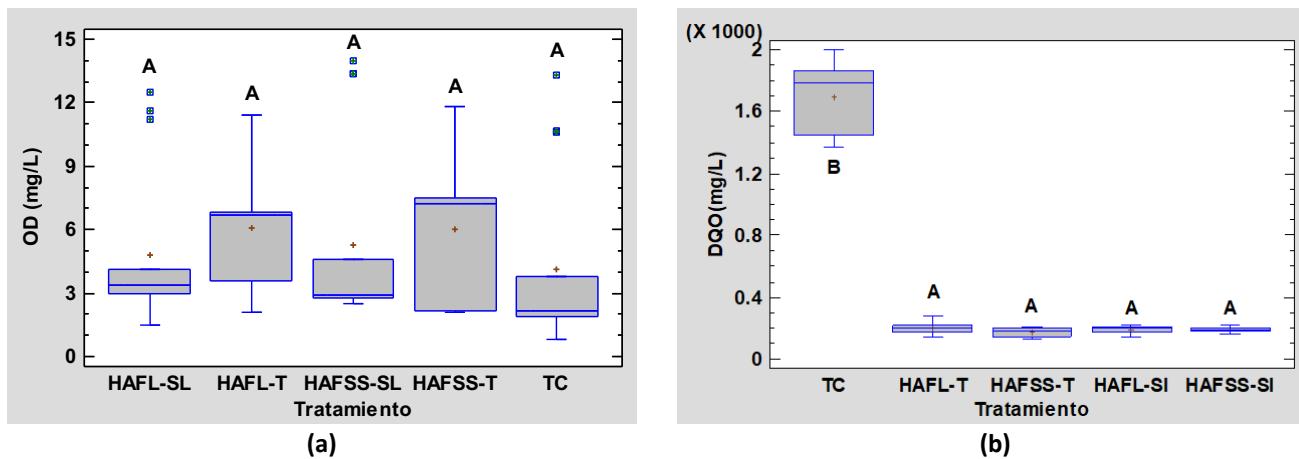


Figura 5. Valores medianos (Q_1, Q_3) para OD (a) y DQO (b) (mg/L) ($N=15$). Letras diferentes indican diferencias estadísticamente significativas entre tratamiento ($p<0.05$), al 95 % nivel de confianza

Conclusión

El presente estudio concluye que la especie *Sagittaria latifolia* es factible de implementar y adaptar en la tecnología de humedales artificiales de flujo libre y subsuperficial para el tratamiento de aguas residuales de servicios cosméticos. El uso de una especie nativa y de alta abundancia permite disminuir costos por su disponibilidad y fácil transportación. La comparación de los resultados finales con las características del agua residual cruda evidencia disminuciones considerables de los tratamientos en los parámetros de calidad del agua. El mejor rendimiento fue en el HAFL-SI, con remociones de turbiedad, color y DQO de 94.4%, 92.6% y 88.8% respectivamente. Será importante continuar evaluando el comportamiento del humedal y la especie para verificar si las variaciones de carga, gasto y temperatura ejercen un efecto negativo con este tipo de aguas sobre la especie.

Bibliografía

- Benny, C., & Chakraborty, S. (2020). Continuous removals of phenol, organics, thiocyanate and nitrogen in horizontal subsurface flow constructed wetland. *Journal of Water Process Engineering*, 33, 1–7. <https://doi.org/10.1016/j.jwpe.2019.101099>
- Castro-Silva, A., & Ramirez-Garcia, M. A. (2020). Análisis de la internacionalización del subsector de los cosméticos a partir de la dinámica comercial en Colombia y el caso de éxito de la empresa Belcorp. <https://repositorio.uniagustiniana.edu.co/items/1266d980-0bf2-45e6-b6c8-b9590605efa8>

- CONAGUA. (2024). Ley Federal de Derechos 2024. <https://www.gob.mx/conagua/documentos/ley-federal-de-derechos-2024>
- Crespo, D. M. G., Escobar, L. M. L., & Iñiguez, D. L. R. (2024). Medición de la DQO como parámetro eficaz en el control ambiental en descargas de áreas urbanas. *Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinaria*, 8(4), 9399–9417. <https://www.ciencialatina.org/index.php/cienciala/article/view/13083>
- Donoso, L. J. G., León, C. E. D., Lazo, J. A. I., & Guamán, E. G. P. (2024). Depuración de aguas residuales de una industria láctea por medio de humedales artificiales de totora. *Polo del Conocimiento*, 9(5), 1005–1019. <https://polodelconocimiento.com/ojs/index.php/es/article/view/7178>
- Ernestina, C. H. G. (2024, 21 noviembre). Condiciones de operación de un reactor de biopelícula de lecho móvil para mejorar la calidad del agua residual de Celendín – 2023. <https://repositorio.unc.edu.pe/handle/20.500.14074/7482>
- Giaveno, A., & Gatti, M. (2022, 1 noviembre). Evaluación de la eficiencia de desnitrificación de un sistema de discos biológicos rotativos (biodiscos) en el tratamiento de efluentes urbanos. <https://rdi.uncoma.edu.ar/handle/uncoma/aid/16907>
- Ituri, A., Zubillaga, M. S., Gutiérrez Boem, F. H., & Álvarez, C. R. (2022). ¿Qué medimos cuando analizamos la conductividad eléctrica de aguas y suelos? *Notas Agrícolas Pampeanas*, 6, 17–22. https://www.agro.unlpam.edu.ar/images/NAP_6%20Septiembre%202022.pdf
- Javier, A. G. F., Lilián, G. B. A., & Samanta, R. G. M. (2024, 1 noviembre). Caracterización de una zona contaminada con arsénico (As) y metales, y aislamiento de hongos con uso potencial en la biorremediación. <http://bdigital.dgse.uaa.mx:8080/xmlui/handle/11317/3079>
- López-Ocaña, G., Torres-Balcázar, C. A., Bautista-Margulis, R. G., Hernández-Barajas, J. R., Gutiérrez Vidal, J. J., De la Cruz-Luna, E., & Ferrer-Sánchez, M. I. (2014). Diseño de sistemas experimentales de humedales artificiales de flujo libre y subsuperficial. En W. M. Contreras Sánchez, R. Angulo Pineda & F. Morales Hoil (Eds.), *Perspectiva Científica desde la UJAT* (pp. 133–145). Universidad Juárez Autónoma de Tabasco. <http://www.archivos.ujat.mx/2014/divulgacion%20cientifica/SDDC2013final.pdf>
- Martínez, J. M. A., & Meraz, E. D. A. (2023). Estimación de gases de efecto invernadero generados por el tratamiento y descarga de aguas residuales domésticas: Caso de estudio Tabasco. *Journal of Energy, Engineering Optimization and Sustainability*, 7(1), 19–28. <https://revistas.ujat.mx/index.php/JEEOS/article/view/5478>
- Mora, O. C. D. L., Saucedo, T. R. A., González, A. I. J., Gómez, R. S., & Flores, L. H. E. (2020). Efecto de la temperatura del agua sobre la constante de velocidad de reacción de los contaminantes en un humedal construido para el tratamiento de aguas residuales porcícolas. *Revista Mexicana de Ciencias Pecuarias*, 11(Supl. 2), 1–17. <https://doi.org/10.22319/rmcp.v11s2.468>
- Mulford, L. J. C. (2023). Revisión de métodos para el tratamiento de aguas residuales de la industria cosmética (Trabajo de grado, Fundación Universidad de América). *Repositorio Institucional Lumieres*. <https://hdl.handle.net/20.500.11839/9323>
- Muñante Carrillo, K. A., Perca Machaca, D. del R., Nina, R. J., Quispe Sucasaca, J. C., Alarcón Maquera, G. E., & Tirado Rebaza, L. U. M. (2022). Aprovechamiento de estiércol vacuno y pasto seco en la vermiestabilización de lodos residuales de la PTAR Magollo. *Revista de Ciencia, Tecnología e Innovación*, 20(26), 163–178. <https://doi.org/10.56469/rcti.v20i26.712>
- Najul, M. V., Blanco, H., Mata, A., Alberdi, R., Arcaya, J., Rivero, R., ... & Sucic, G. (2020). Tratabilidad de efluentes líquidos de industrias de cosméticos. *Encuentro Académico Industrial – Jornadas de Investigación*. <https://www.ing.ucv.ve/jifi2018/documentos/ambiente/AIS065.pdf>
- Nava-Rojas, J., Lango-Reynoso, F., Castañeda-Chávez, M. del R., & Reyes-Velázquez, C. (2023). Remoción de contaminantes en los humedales artificiales de flujo subsuperficial: Una revisión. <https://www.redalyc.org/journal/573/57375131046/html/>
- PCC Group. (2025). *Ingredientes cosméticos*. PCC Group Product Portal. <https://www.products.pcc.eu/es/blog/ingredientes-cosmeticos>
- Rincón, A. (2023). *Diseño de humedales construidos para tratamiento de aguas residuales domésticas y aguas ricas en metales*. Universidad Católica de Manizales. <https://repositorio.ucm.edu.co/entities/publication/16e726c4-6a29-463b-803a-7ea4d076fa07>
- Rivera, M. A. O., Barahona, W. E. C., Costales, J. H. N., Lalvay, X. A. L., & Guachichulca, E. J. R. (2021). La calidad de las aguas residuales domésticas. *Polo del Conocimiento*, 6(3), 228–245. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=7926905>
- Rosas, J., Iannacone, J., Rosas, J., & Iannacone, J. (2020). Bioacumulación de elementos potencialmente tóxicos por *Sarcocornia neei* en un humedal costero del Perú. https://www.scielo.org.ar/scielo.php?pid=S1850-20672020000200343&script=sci_arttext&tlang=en
- Sánchez Esteban, S. (2023). Análisis de mercado del sector de cosméticos en México. <https://uvadoc.uva.es/handle/10324/63809>
- Sánchez, V. G., Palomino Pastrana, P. A., & Malpartida Yapias, R. J. (2021). Eficiencia de humedales artificiales de totora y berros sobre efluentes de granja porcícola, Perú. *Alfa Revista de Investigación en Ciencias Agronómicas y Veterinaria*, 5(14), 192–203. <https://doi.org/10.33996/revistaalfa.v5i14.110>
- Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. (2022). *NOM-001-SEMARNAT-2021: Límites máximos permisibles de contaminantes en descargas de aguas residuales*. https://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5645374
- Valero, J. A. G., Martínez, S. M., Terrero, M. A., Cano, Á. F., Díaz, M. M., Garrido, M. G., & Avilés, J. A. A. (2020). Fitorremediación de aguas residuales industriales mediante humedales artificiales para uso agrícola. *Dialnet*. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=8145329>
- Witthayaphirom, C., Chiemchaisri, C., Chiemchaisri, W., Ogata, Y., Ebie, Y., & Ishigaki, T. (2020). Organic micro-pollutant removals from landfill leachate in horizontal subsurface flow constructed wetland operated in the tropical climate. *Journal of Water Process Engineering*, 38, 101581. <https://doi.org/10.1016/j.jwpe.2020.101581>
- Zamora-Castro, S. A., Marín-Muñiz, J. L., Sandoval, L., Vidal-Álvarez, M., & Carrión-Delgado, J. M. (2019). Effect of ornamental plants, seasonality, and filter media material in fill-and-drain constructed wetlands treating rural community wastewater. *Sustainability (Switzerland)*, 11(8), 1–14. <https://doi.org/10.3390/su11082350>