



Depuración de aguas residuales de una industria láctea por medio de humedales artificiales de totora

Purification of wastewater from a dairy industry through artificial reed wetlands

Purificação de águas residuais de uma indústria de laticínios por meio de pântanos artificiais de junco

Lidia Jhoanna Gallardo-Donoso ^I

jogali_90@hotmail.com

<https://orcid.org/0009-0008-7126-7665>

Carmen Edith Donoso-León ^{II}

edonos@unach.edu.ec

<https://orcid.org/0000-0003-2493-0686>

Jhoel Alexander Inca-Lazo ^{III}

jhoelinca29@hotmail.com

<https://orcid.org/0009-0005-6002-5538>

Erick Gabriel Pilco-Guamán ^{IV}

epilcoguaman@yahoo.com

<https://orcid.org/0009-0001-6215-6540>

Correspondencia: jogali_90@hotmail.com

Ciencias Técnicas y Aplicadas

Artículo de Investigación

* **Recibido:** 12 de marzo de 2024 * **Aceptado:** 27 de abril de 2024 * **Publicado:** 13 de mayo de 2024

- I. Máster en Prevención y Riesgos laborales, Máster en Hidrología y Gestión de Recursos Hídricos, Ingeniera Civil, Docente en Universidad Nacional de Chimborazo, Riobamba, Ecuador.
- II. Doctora en Física, Magíster en Gestión Académica Universitaria, Magíster en Ciencias de la Educación y Aprendizaje de la Física, Universidad Nacional de Chimborazo, Riobamba, Ecuador.
- III. Estudiante de Ingeniería Civil en Universidad Nacional de Chimborazo, Riobamba, Ecuador.
- IV. Estudiante de Ingeniería Civil en Universidad Nacional de Chimborazo, Riobamba, Ecuador.

Resumen

El agua es un recurso esencial para la vida en la Tierra, siendo vital para la salud humana, la agricultura, la industria y la preservación de los ecosistemas. Su gestión sostenible es crucial para garantizar la seguridad alimentaria y el bienestar humano en todo el mundo. Ante la creciente preocupación ambiental en la sociedad, es esencial que la agroindustria adopte una postura consciente hacia los temas ambientales y promueva prácticas de producción sostenible para evitar daños al planeta. Las aguas residuales de la industria láctea, similares a las de otras agroindustrias, se caracterizan por una alta concentración de residuos biológicos, lo que representan un desafío en el tratamiento del agua. Este estudio tiene como objetivo determinar si el uso de humedales artificiales, especialmente utilizando la planta *Schoenoplectus* conocida como totora, contribuye a reducir los contaminantes de las aguas residuales en la Industria láctea. Se analizan las aguas residuales de la industria láctea "El Batán" ubicado en la provincia de Chimborazo, Ecuador, realizando ensayos de laboratorio durante un período de 60 días, con mediciones a los 15, 30, 45 y 60 días. Posteriormente, se llevan a cabo determinaciones analíticas en el laboratorio para verificar cómo disminuyen los contaminantes. Los resultados demuestran que la totora (*Schoenoplectus*) logra eliminar una cantidad significativa de contaminantes, ofreciendo una opción para la depuración de aguas residuales que reduce los gastos de operación y mantenimiento, al tiempo que es respetuosa con el medio ambiente.

Palabras clave: Agroindustria; *Schoenoplectus*; Tratamiento del agua; análisis químico medio ambiente.

Abstract

Water is an essential resource for life on Earth, being vital for human health, agriculture, industry and the preservation of ecosystems. Its sustainable management is crucial to guarantee food security and human well-being around the world. Given the growing environmental concern in society, it is essential that agribusiness adopts a conscious stance towards environmental issues and promotes sustainable production practices to avoid damage to the planet. Wastewater from the dairy industry, similar to that from other agroindustries, is characterized by a high concentration of biological waste, which represents a challenge in water treatment. This study aims to determine if the use of artificial wetlands, especially using the *Schoenoplectus* plant known as cattails,

contributes to reducing wastewater contaminants in the dairy industry. The wastewater from the "El Batán" dairy industry located in the province of Chimborazo, Ecuador, is analyzed, carrying out laboratory tests over a period of 60 days, with measurements at 15, 30, 45 and 60 days. Subsequently, analytical determinations are carried out in the laboratory to verify how the contaminants decrease. The results demonstrate that cattail (*Schoenoplectus*) manages to eliminate a significant amount of contaminants, offering an option for wastewater purification that reduces operation and maintenance expenses, while being environmentally friendly.

Keywords: Agroindustry; *Schoenoplectus*; Water treatment; chemical analysis environment.

Resumo

A água é um recurso essencial à vida na Terra, sendo vital para a saúde humana, a agricultura, a indústria e a preservação dos ecossistemas. A sua gestão sustentável é crucial para garantir a segurança alimentar e o bem-estar humano em todo o mundo. Dada a crescente preocupação ambiental da sociedade, é fundamental que o agronegócio adote uma postura consciente em relação às questões ambientais e promova práticas de produção sustentáveis para evitar danos ao planeta. As águas residuais da indústria de laticínios, assim como as de outras agroindústrias, são caracterizadas por uma alta concentração de resíduos biológicos, o que representa um desafio no tratamento da água. Este estudo tem como objetivo determinar se o uso de áreas úmidas artificiais, especialmente utilizando a planta *Schoenoplectus* conhecida como taboa, contribui para a redução de contaminantes de águas residuais na indústria de laticínios. São analisadas as águas residuais da indústria de laticínios "El Batán", localizada na província de Chimborazo, Equador, realizando testes laboratoriais durante um período de 60 dias, com medições aos 15, 30, 45 e 60 dias. Posteriormente, são realizadas determinações analíticas em laboratório para verificar como os contaminantes diminuem. Os resultados demonstram que a taboa (*Schoenoplectus*) consegue eliminar uma quantidade significativa de contaminantes, oferecendo uma opção de purificação de águas residuais que reduz despesas de operação e manutenção, ao mesmo tempo em que é ecologicamente correta.

Palavras-chave: Agroindústria; *Schoenoplectus*; Tratamento de água; ambiente de análise química.

Introducción

El agua, representa un elemento esencial para la supervivencia y el desarrollo humano y social (Méndez, 2023). Sin embargo, actualmente se enfrenta a diversas limitaciones provocadas por una serie de circunstancias. Estas incluyen el aumento del consumo debido al crecimiento poblacional, la reducción de las precipitaciones y su irregularidad como consecuencia del cambio climático, la sobreexplotación de las reservas de agua dulce del planeta y la contaminación de algunos cuerpos de agua a causa del sector industrial, la ganadería, el consumo doméstico, entre otros (Morales, 2011).

La generación de aguas residuales es un factor predominante en diversas actividades, impactando directamente al medio ambiente debido a la cantidad significativa de contaminantes que contiene (Hernández-Salazar et al., 2018). La actividad industrial es una gran consumidora de agua y una generadora significativa de aguas residuales, cuyas características varían según el sector. Aunque en países desarrollados se trata y reutiliza ampliamente, en naciones en desarrollo el tratamiento es deficiente, especialmente para las PYMES debido a limitaciones económicas (Carrera & Suárez-Ojeda, 2019).

Dada la creciente preocupación ambiental en la sociedad, es imperativo que la agroindustria sea consciente de los asuntos ambientales y fomente el desarrollo de una conciencia social que promueva prácticas de producción sostenible, evitando daños al planeta. Se reconoce que los subproductos agroindustriales, tanto los generados en las etapas de siembra como los derivados de su manejo y comercialización, representan un grave problema de residuos en muchas partes del mundo (Cury et al., 2017).

Es así que la contaminación del agua, especialmente en procesos industriales, plantea un desafío significativo para el medio ambiente (Guanquizza et al., 2019). Las industrias lácteas, en particular, generan una carga ambiental considerable en aire, suelo y agua, siendo esta última la más afectada por la descarga de residuos derivados de la producción de lácteos y el uso de productos de limpieza (Gamarra, 2018).

Las aguas residuales de la industria láctea, que comparten similitudes con las aguas residuales de otras agroindustrias, siendo caracterizadas por una alta demanda biológica (Armesto et al., 2016). Esto abarca actividades como la limpieza de equipos, el proceso de fabricación de lácteos, el mantenimiento de maquinaria y la higiene de instalaciones y vehículos de transporte de materia prima. La concentración de contaminantes puede variar según los diversos procedimientos

empleados en la producción, limpieza y tecnologías utilizadas, lo que resulta en una diversidad de actividades y procesos que generan diferentes niveles de contaminación. Es crucial señalar que la leche, como materia prima fundamental en esta industria, contiene niveles significativos de nitrógeno, grasas y fósforo, lo que contribuye a un alto contenido de DQO y DBO5 en las aguas residuales (Parra, 2015).

Aunque existen métodos para depurar estas aguas y cumplir con los límites establecidos por la normativa, muchos de estos implican el uso de componentes químicos, lo que plantea la necesidad de explorar alternativas que minimicen el impacto ambiental (Del Valle, 2017). En este sentido, diversa literatura científica, plantea la aplicación de humedales artificiales como una solución que reduce significativamente la contaminación ambiental, aprovechando la capacidad de este sistema para eliminar contaminantes de manera natural (Mena, 2022).

Los humedales artificiales permiten la fitodepuración de aguas residuales mediante la siembra de macrofitas sobre un lecho filtrante, lo que facilita procesos físicos, químicos y biológicos para purificar el agua de manera efectiva (Fuente, 2018). Estos sistemas son capaces de eliminar sólidos suspendidos, nitrógeno total, DQO, DBO5, aceites y grasas, sólidos totales y fosfatos presentes en las aguas residuales, lo que los convierte en una alternativa natural y sostenible para reemplazar tratamientos convencionales que requieren productos químicos (Orozco & Castañeda, 2022).

La totora (*Schoenoplectus californicus*) es una planta acuática de ciclo anual perteneciente a la familia Cyperaceae, que ha sido empleada por las comunidades indígenas de América durante más de cinco siglos para confeccionar una amplia variedad de productos, que van desde artesanías hasta embarcaciones y viviendas (Aza-Medina et al., 2023). Los humedales artificiales sembrados con especies de macrófitos han demostrado ofrecer numerosos beneficios adicionales más allá de mejorar la calidad del agua, como costos operativos reducidos, ser una fuente de bioenergía y capturar CO₂. Además, las regulaciones más estrictas en relación con la calidad de las aguas residuales y la gestión del agua han estimulado la investigación dirigida a mejorar la eficiencia de las plantas de tratamiento existentes mediante la integración de sistemas alternativos (Hýsková et al., 2020).

A pesar de que existen diversos estudios científicos sobre el tratamiento de aguas residuales de industrias lácteas, la mayoría se centra en métodos biológicos y químicos, con el uso de sustancias y compuestos costosos. Por lo que es importante explorar alternativas de bajo costo que ofrezcan resultados efectivos y cumplan con los estándares de eliminación de materia orgánica. En este

contexto, el objetivo de esta investigación es plantear el empleo de Humedales Artificiales con vegetación autóctona, como la totora (*Schoenoplectus*), como una solución económica y respetuosa con el medio ambiente.

Para poner a prueba esta alternativa, se llevó a cabo un análisis inicial de los contaminantes y su concentración en la industria láctea "El Batán", ubicada en la provincia de Chimborazo, cantón Chambo. En esta planta industrial el agua se vierte directamente al alcantarillado público sin tratamiento previo, por lo que es crucial llevar a cabo un análisis químico de los parámetros para determinar si cumple con los límites establecidos por la legislación vigente antes de su descarga. Por consiguiente, se propone la implementación de un sistema experimental basado en humedales artificiales con totora (*Schoenoplectus*) para la purificación de aguas residuales, como una solución sostenible y eficaz ante este desafío ambiental. Se recopilaron datos sobre la eliminación de sólidos suspendidos, nitrógeno, DQO, DBO5, aceites, sólidos y fosfatos durante varios días, y se llevará a cabo una comparación entre los valores obtenidos del análisis y los valores límite recomendados por la normativa del país.

Metodología

La metodología empleada en esta investigación fue de carácter descriptivo, investigativo y cualitativo. La metodología fue descriptiva para comprender y caracterizar el proceso de depuración de aguas residuales de la industria láctea mediante humedales artificiales de totora (*Schoenoplectus*), investigativa para recolectar y analizar información relevante sobre el tema, y cualitativa para obtener una comprensión profunda de los aspectos cualitativos y subjetivos relacionados con el proceso de depuración y sus impactos. Este enfoque permitió una exploración detallada de la problemática y una comprensión holística de los factores involucrados en el tratamiento de aguas residuales en el contexto específico de la industria láctea.

Se inició con la recopilación, análisis y estudio de información bibliográfica relacionada con la depuración de aguas residuales de la industria láctea y el uso de humedales artificiales. Esto permitió reconocer la importancia de realizar un tratamiento previo al agua utilizada para diversos fines domésticos, industriales y agrícolas, asegurando el cumplimiento de los parámetros establecidos por la normativa vigente antes de su vertido en las redes de alcantarillado.

Posteriormente, se identificaron las condiciones iniciales de la calidad del agua residual en la industria bajo estudio, y se procedió a implementar el uso de humedales con el fin de mejorar su

calidad. Las muestras fueron transportadas al tanque de almacenamiento y se tomaron datos en intervalos de 15, 30, 45 y 60 días, respectivamente. Finalmente, se llevó a cabo una comparación entre los valores iniciales y los valores obtenidos después de la implementación de los humedales artificiales con totora.

En el contexto específico de este estudio, se busca identificar las repercusiones ocasionadas por la industria láctea "El Batán". La planta industrial de lácteos "El Batán", esta se ubica en la provincia de Chimborazo, en el cantón Chambo, y fue establecida en 1990. La planta se dedica al procesamiento de quesos, yogur, leche entera, entre otros productos lácteos, lo que implica un alto consumo de agua tanto en los procesos de producción como en la limpieza de equipos, generando así una considerable cantidad de aguas residuales.

Funcionamiento del sistema de humedales artificiales para tratamiento de aguas residuales con totora (schoenoplectus)

a) Estructura

En este caso, se implementó un humedal de flujo subsuperficial horizontal, donde el agua circula a través del medio granular y las raíces de la planta (González & Deas, 2011). Este humedal está compuesto principalmente por un tanque de almacenamiento, válvulas de control, tuberías de distribución de PVC de ½", gavetas plásticas para evitar la filtración y tuberías en el interior de las gavetas para permitir el flujo del agua. Los humedales de flujo subsuperficial horizontal, utilizados para la purificación de aguas, requieren un tratamiento primario que incluye un tanque séptico o tanque Imhoff, ya que es un proceso de filtración que retiene sólidos en suspensión.

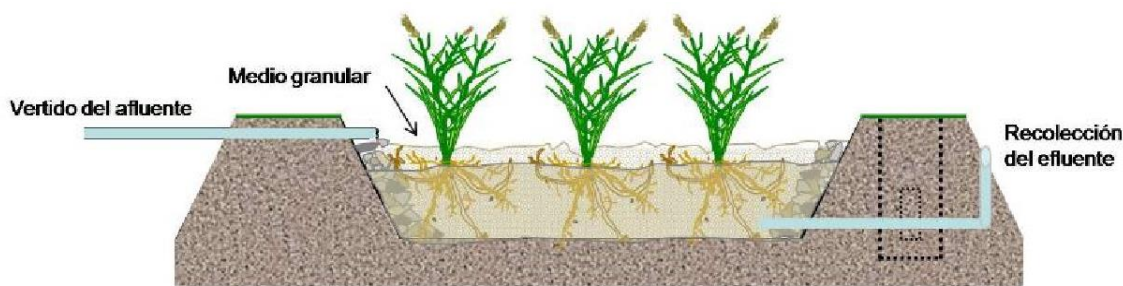


Figura 1. Humedal artificial de flujo subsuperficial.

La estructura del humedal consiste en una excavación de terreno impermeabilizada, rellena de grava en el fondo, donde se colocan plantas acuáticas; el fondo tiene una pendiente del 1% para

permitir el flujo del agua. Durante el proceso, el agua atraviesa las raíces, la grava y la biomasa adherida en forma de biopelícula, mientras las plantas proporcionan oxígeno para la depuración aerobia de las zonas cercanas a las raíces. La entrada del humedal incluye el tanque de almacenamiento con válvulas que regulan la circulación del agua mediante tuberías de distribución, llenado manualmente. El medio granular, compuesto por grava de diámetros de ¼”, ½” y 1”, permite que las macrofitas se enraícen y actúen como filtro, reteniendo y sedimentando material en suspensión, así como degradando la materia orgánica. Es fundamental mantener este medio limpio y homogéneo para garantizar su eficacia en el proceso de depuración.



Figura 2. Vista en planta del sistema de humedales artificiales.

b) Vegetación empleada

Se utilizó la planta conocida como totora (*Schoenoplectus*), esta planta debido a sus características puede prosperar en condiciones de humedad y saturación, lo que significa que puede sobrevivir en suelos con niveles bajos de oxígeno. Los efectos de esta vegetación en el funcionamiento de los humedales incluyen la creación de un ecosistema microbiano por las raíces, lo que permite la degradación aeróbica de la materia orgánica y la nitrificación. El papel de las macrofitas en los humedales artificiales incluye servir como filtro para retener sólidos suspendidos, asimilar nutrientes como el nitrógeno y el fósforo, y transportar grandes cantidades de oxígeno desde los tallos hasta las raíces. (Rodríguez, 2017) Además del suministro de oxígeno en la zona radicular, las bacterias también se benefician de los exudados de las plantas en la misma área.

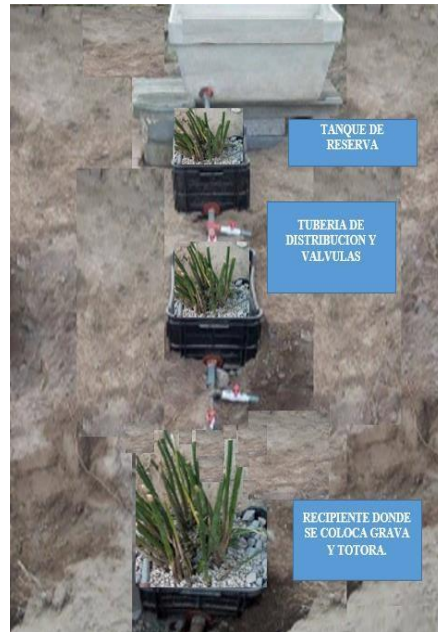


Figura 3. Vista en planta del sistema de humedales artificiales incluido grava y totora.

c) **Parámetros a analizar**

Los parámetros a analizar incluyen sólidos suspendidos, que son partículas orgánicas e inorgánicas suspendidas en el agua y se determinan por filtración; nitrógeno total, cuya eliminación a nitratos se debe a procesos de descomposición y mineralización generados por microorganismos, principalmente dependiente de la disponibilidad de oxígeno (Herrera & Corpas, 2013); demanda química de oxígeno (DQO), que indica la cantidad de oxígeno necesaria para oxidar la materia orgánica utilizando permanganato potásico o dicromato potásico; demanda bioquímica de oxígeno (DBO5), que mide el oxígeno consumido por microorganismos en la oxidación bioquímica de la materia orgánica (Bedoya et al., 2014) durante 5 días, crucial para el diseño de aguas residuales y verificar el cumplimiento normativo; sólidos totales, que abarcan material en suspensión, flotante o sedimentado, fundamental para el diseño de estaciones depuradoras de aguas residuales (EDAR) y la determinación de procesos de eliminación; y fosfatos, importantes para el crecimiento de microorganismos y como nutrientes para plantas.

Resultados

De la primera toma de muestra recolectada (T0) de la industria láctea “El Batán” se obtiene los resultados que aparecen en la Tabla 1, donde se aprecia una concentración elevada de DQO y

DBO5; lo que indica que las agua residuales de la industria láctea contiene un alto contenido de materia orgánica; al igual que el resto de los parámetros medidos se encuentran fuera de los límites establecidos para descargas al sistema de alcantarillado publico estipulados para la República del Ecuador según lo indica el Texto Unificado de Legislación Secundaria de Medio Ambiente (TULSMA, 2017).

Como se indicó anteriormente para dar seguimiento de como el funcionamiento de los humedales artificiales favorece a la eliminación de ciertos parámetros se realiza también la toma de muestras a los 15 (T15), 30 (T30), 45 (T45) y 60 (T60) días respectivamente obteniendo los resultados que aparecen en la Tabla 1, después de haber realizado determinaciones analíticas en el laboratorio.

Tabla 1. Resultados del Análisis Químico del agua residual de la Industria láctea “El Batán”.

Parámetros Analizados	Unidades	Limites*	Resultados (Días)				
			T0	T15	T30	T45	T60
Sólidos Suspendidos	mg/l	220	5420	580	342	65	18
Nitrógeno Total	mg/l	40	157	136	35	33.8	8.9
DQO	mg/l de O2	500	14000	685	4865	450	225
DBO5	mg/l de O2	250	11150	500	3657	232	190
Aceites y Grasas	mg/l	100	1900	555	200	10	2
Sólidos Totales	mg/l	1600	7136	635	4022	985	786
Fosfatos	mg/l	15	102,56	60	25	13	8

Se puede observar que en la muestra T0 los resultados son elevados en comparación con T60 existiendo una diferencia de hasta el 99% de eliminación de los contaminantes presentes; esto debido a que los humedales artificiales con totora (Schoenoplectus) permite la filtración y la adsorción de los constituyentes de las aguas residuales provenientes del tanque de almacenamiento y depurando dichas aguas.

Los porcentajes de remoción de contaminantes en función del tiempo al haber empleado el sistema de humedales artificiales con totora (*Schoenoplectus*), indica que la mayor reducción se registra en el día 60 donde la especie vegetal ya paso a su etapa de maduración por lo cual el proceso de depuración es más eficiente; en la tabla 2 aparecen los porcentajes de eliminación de contaminantes en función del tiempo.

Tabla 2. Porcentaje de eliminación en función del tiempo.

Tiempo	Sólidos Suspendidos	Nitrógeno Total	Demanda Química Oxígeno (DQO)	Demanda de Bioquímica Oxígeno (DBO5)	Aceites y Grasas	Sólidos Totales	Fosfatos
15 días	89,30	13,38	51,06	55,16	70,79	10,90	41,50
30 días	93,69	77,71	65,25	67,20	89,47	43,64	75,62
45 días	98,80	78,47	96,79	97,92	99,47	86,20	87,32
60 días	99,67	94,33	98,39	98,30	99,89	88,99	92,20

La comparación de resultados entre los valores iniciales tomados con los valores después de aplicar el sistema de humedales artificiales con totora (*Schoenoplectus*), presentan diferencias significativas. Es así que, en la Tabla 3 se puede observar cómo los porcentajes de remoción para cada uno de los parámetros van aumentando y pasan a encontrarse dentro de los límites estipulados en la normativa vigente del país TULSMA, en el transcurso del tiempo.

Tabla 3. Comparación de resultados, primera muestra vs 60 días.

Parámetros Analizados	Resultado T0 Días	Resultado T 60 Días	% Remoción	Tulsma
Sólidos Suspendidos	5420	18	99,66	Cumple
Nitrógeno Total	157	8,9	94,33	Cumple
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	14000	225	98,39	Cumple
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO5)	11150	190	98,3	Cumple
Aceites y Grasas	1900	2	99,89	Cumple

Sólidos Totales	7136	786	88,99	Cumple
Fosfatos	102,56	8	92,2	Cumple

A partir de los resultados obtenidos se evidenció que la depuración de aguas residuales en una industria láctea por medio de humedales artificiales empleando la especie vegetal *Schoenoplectus californicus* conocida como totora, logra eliminar una gran cantidad de contaminantes. obteniéndose porcentajes de remoción superiores, que llegan al 98,30% para la DBO5 y al 98,39% para la DQO. Pese a que el grado de contaminación en la industria láctea es mayor en cuanto a materia orgánica en comparación con otras industrias se obtuvieron resultados superiores de remoción de la carga orgánica debido a que la especie vegetal totora (*Schoenoplectus*) al ser una planta autóctona de la zona se adapta bien a los cambios de temperatura, realiza un buen proceso de fitorremediación y al ser correctamente combinadas con los lechos filtrantes ayudó a la remoción casi del 100% de sólidos suspendidos, grasas y aceites.

Conclusiones

La industria láctea "El Batán" descarga sus aguas residuales directamente en las redes de alcantarillado público de la ciudad, sin previo tratamiento, lo cual viola la legislación establecida por el TULSMA. La implementación de un sistema de tratamiento de depuración de agua mediante humedales artificiales con totora (*Schoenoplectus*) podría reducir la cantidad de contaminantes presentes en estas aguas residuales, cumpliendo así con las regulaciones del país. Los sistemas naturales de depuración de aguas residuales no requieren energía externa ni aditivos químicos, lo que los hace económicamente viables y aplicables en diversos entornos.

Después de caracterizar las aguas residuales iniciales, se encontraron valores elevados de sólidos suspendidos, nitrógeno total, DBO, DBO5, aceites y grasas, sólidos totales y fosfato, que exceden los límites establecidos por el TULSMA. Sin embargo, tras aplicar el sistema experimental de humedales artificiales con totora (*Schoenoplectus*) durante 60 días, se observaron resultados dentro de los límites legales. Esta metodología permitió eliminar hasta un 98% de contaminantes, lo que facilita el vertido de aguas residuales tratadas en las redes de alcantarillado. Además, la implementación de humedales artificiales naturales podría reducir los costos operativos y de mantenimiento, convirtiéndolos en una opción atractiva para el tratamiento de aguas residuales industriales. Los resultados del experimento mostraron altos porcentajes de remoción para diversos

contaminantes, lo que confirma la eficacia de este sistema como una alternativa viable para la depuración de aguas residuales industriales.

Referencias

1. Armesto, D. F. T., García, L. A. G., Correa, D. A., & Bello, J. A. M. (2016). Biotratamientos de aguas residuales en la industria láctea. *Producción + Limpia*, 11(1). <http://revistas.unilasallista.edu.co/index.php/pl/article/view/1125>
2. Aza-Medina, L. C., Palumbo, M., Lacasta, A. M., & González-Lezcano, R. A. (2023). Characterization of the thermal behavior, mechanical resistance, and reaction to fire of totora (*Schoenoplectus californicus* (C.A. Mey.) Sojak) panels and their potential use as a sustainable construction material. *Journal of Building Engineering*, 69, 105984. <https://doi.org/10.1016/j.jobe.2023.105984>
3. Bedoya, J. C., Ardila, A. N., & Reyes, J. (2014). Evaluación de un humedal artificial de flujo subsuperficial en el tratamiento de las aguas residuales generadas en la Institución Universitaria Colegio Mayor de Antioquia, Colombia. *Revista internacional de contaminación ambiental*, 30(3), 275-283.
4. Carrera, J., & Suárez-Ojeda, M. E. (2019). Aguas residuales industriales en Iberoamérica. Programa Iberoamericano de Ciencia y Tecnología para el Desarrollo (CYTED). <https://bibliotecadigital.ciren.cl/handle/20.500.13082/33288>
5. Cury, K., M, Y., Martínez, A., Olivero, R., & Chams, L. (2017). Residuos agroindustriales su impacto, manejo y aprovechamiento. *Revista Colombiana de Ciencia Animal - RECIA*, 9(S1), Article S1. <https://doi.org/10.24188/recia.v9.nS.2017.530>
6. Del Valle, J. (2017). El agua, un recurso cada vez más estratégico. *Cuadernos de estrategia*, 186, 71-118.
7. Fuente, R. de la. (2018). Depuración de las aguas residuales urbanas con filtro de macrofitas en flotación [Tesis de Maestría, Universidad de Valladolid]. <https://uvadoc.uva.es/handle/10324/31211>
8. Gamarra, J. B. (2018). Evaluación del impacto ambiental del lactosuero generado en la línea de producción de quesos de la planta de lácteos Huacariz alternativas de mitigación Cajamarca—Perú—2016 [Tesis Doctoral, Universidad Nacional de Cajamarca]. <https://renati.sunedu.gob.pe/handle/sunedu/3230488>

9. González, O., & Deas, G. (2011). Metodología para el diseño de humedales con flujo subsuperficial horizontal. *Ingeniería hidráulica y Ambiental*, 32(1), 61-70.
10. Guanoquiza, L. G., Antúnez, A., & Zúniga-González, E. A. P. P. D. C. A. (2019). La contaminación ambiental en los acuíferos de Ecuador. Necesidad de su reversión desde las políticas públicas con enfoque bioético. *Revista Iberoamericana de Bioeconomía y Cambio Climático*, 5(9), 1053-1102.
11. Hernández-Salazar, A. B., Moreno-Seceña, J. C., & Sandoval-Herazo, L. C. (2018). Tratamiento de aguas residuales industriales en México: Una aproximación a su situación actual y retos por atender. *RINDERESU*, 2(1-2), Article 1-2.
12. Herrera, O. F., & Corpas, E. J. (2013). Reducción de la contaminación en agua residual industrial láctea utilizando microorganismos benéficos. *Biotecnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial*, 11(1), 57-67.
13. Hýsková, P., Gaff, M., Fernando Hidalgo-Cordero, J., & Hýsek, Š. (2020). Materiales compuestos de totora (*Schoenoplectus californicus* . CA Mey, Sojak): ¿Vale la pena? *Composite Structures*, 232, 111572. <https://doi.org/10.1016/j.compstruct.2019.111572>
14. Mena, A. (2022). Eficiencia del sistema de humedales artificiales, en el tratamiento de aguas residuales domésticas [Tesis Doctoral, Universidad Nacional Mayor de San Marcos]. <https://cybertesis.unmsm.edu.pe/handle/20.500.12672/18006>
15. Méndez, M. (2023). El Agua Dulce, un recurso geoestratégico visto desde la perspectiva de la hidropolítica. *Multiverso journal*, 3(4), Article 4. <https://doi.org/10.46502/issn.2792-3681/2023.4.2>
16. Morales, G. J. (2011). Los recursos hídricos y su planificación. *Gestión de la Calidad del Agua*, 61.
17. Orozco, B. M., & Castañeda, W. E. (2022). Propuesta de un sistema de tratamiento de aguas residuales mediante filtros verdes para una industria quesera [Tesis de Pregrado, Universidad Nacional de Chimborazo]. <http://dspace.unach.edu.ec/handle/51000/9675>
18. Parra, R. A. (2015). Digestión anaeróbica: Mecanismos biotecnológicos en el tratamiento de aguas residuales y su aplicación en la industria alimentaria. *Producción + Limpia*, 10(2), 142-159.

19. Rodríguez, A. (2017). Diseño de un humedal artificial para el municipio de Arcos de las Salinas (Teruel) [Tesis de Maestría, Universitat Politècnica de València]. <https://riunet.upv.es/handle/10251/89917>
20. Texto Unificado de Legislación Secundaria de Medio Ambiente, Decreto Ejecutivo 3516 (2017). <https://www.ambiente.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2018/05/TULSMA.pdf>

© 2024 por los autores. Este artículo es de acceso abierto y distribuido según los términos y condiciones de la licencia Creative Commons Atribución-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional (CC BY-NC-SA 4.0) (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>).