

RESUMEN

Uno de los mayores desafíos en el mundo es lograr la minimización de la contaminación ambiental por medio de las aguas residuales, por ello, la aplicación de distintos métodos biológicos para tratar aguas residuales va a ser de gran necesidad en un futuro. El presente estudio tuvo como objetivo dar a conocer los distintos métodos biológicos para tratar aguas residuales, además de demostrar la eficiencia que puede lograr obtenerse mediante la aplicación de estos métodos. La metodología que se utilizó para la obtención de información se realizó mediante la aplicación de la revisión sistemática de la literatura (RSL) y la evaluación de la calidad de la información (AMSTAR II), con el fin de obtener información válida y actualizada sobre los métodos de tratamientos biológicos para aguas residuales. Se efectuó un análisis sobre los distintos porcentajes obtenidos en los tratamientos biológicos mostrados, así mismo, se presentó en breve las limitaciones de la investigación. Por último, se pudo concluir que los tratamientos biológicos de aguas residuales muestran altos índices de eliminación y degradación de los componentes existentes en los efluentes aplicados.

Palabras clave: tratamientos de aguas residuales, métodos biológicos para tratar aguas residuales, efluentes.

ABSTRACT

One of the biggest challenges in the world is to minimize environmental contamination through wastewater. Therefore, the application of different biological methods to treat wastewater will be of great need in the future. The objective of this study was to publicize the different biological methods to treat wastewater, also demonstrate the efficiency that can be obtained by applying these methods. The methodology used to obtain information was carried out through the application of the systematic review of the literature (RSL) and the evaluation of the quality of the information (AMSTAR II), in order to obtain valid and updated information on the biological treatment methods for wastewater. An analysis was carried out on the different percentages obtained in the biological treatments shown, likewise, the limitations of the investigation were briefly presented. Finally, it was possible to conclude that biological wastewater treatments show high rates of elimination and degradation of the existing components in the applied effluents.

Key words: wastewater treatment, biological methods to treat wastewater, effluents.

Alternativas Nacionales e Internacionales Propuestas para el Tratamiento de Aguas Residuales por el Método Biológico. Una Revisión de la Literatura

National and International Alternatives Proposed for Wastewater Treatment by the Biological Method. A Review of the Literature

Víctor Manuel Matias-Pillasagua¹
Universidad Estatal Península de Santa Elena - Ecuador
vmatias@upse.edu.ec

Juan Carlos Muyulema-Allaica²
Universidad Estatal Península de Santa Elena - Ecuador
Centro de Investigación e Innovación de Ingeniería Industrial
jmuyulema@upse.edu.ec

Ariel Bernardo González-Bazán³
Universidad Estatal Península de Santa Elena - Ecuador
ariel.gonzalezbazan@upse.edu.ec

Paola Martina Pucha-Medina⁴
Universidad del Pacífico - Ecuador
paola.pucha@upacifico.edu.ec

doi.org/10.33386/593dp.2023.5.2065

V8-N5 (sep-oct) 2023, pp. 874-885 | Recibido: 31 de julio de 2023 - Aceptado: 30 de agosto de 2023 (2 ronda rev.)

¹ Ingeniero Industrial titulado en la Universidad de Guayaquil. Magister en Gerencia Educativa y Diploma superior en gestión y planificación educativa. Docente Universitario con 23 años de experiencia. Interesado en líneas de investigación en el ámbito de la educación universitaria, matemática financiera, estadística y sostenibilidad ambiental. Autor y coautor de diversos artículos científicos indexados a nivel regional y global. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9877-5984>

² Profesor investigador de la Facultad Ciencias de la Ingeniería de la Universidad Estatal Península de Santa Elena; Profesor a nivel de Posgrado en la PUCESM, UPSE, UCE y UISEK; Investigador Acreditado por Senescyt (REG-INV-19-03841); Gerente de Ingeniería y Proyectos Empresariales del Grupo CAAPTES-Ecuador. Doctor en Ingeniería Industrial: Tecnologías de Diseño y Producción Industrial, Magister en Ingeniería Industrial, mención Planeación y Control de la Producción y los Servicios, Magister en Gestión Empresarial Basado en Métodos Cuantitativos, Ingeniero Industrial Ingeniero Comercial. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9663-8935>

³ Industrial Engineer graduated from the School of Engineering Sciences of the State University Santa Elena Peninsula. Comprometido a nivel personal y profesional con la excelencia académica en pro del avance investigativo y tecnológico a nivel provincial y nacional. Interesado en investigaciones relacionadas a la sostenibilidad industrial que, priorice distintas y eficaces formas de trabajar en base al tratamiento de aguas residuales con un criterio ingenieril, renovable e innovador. ORCID: <https://orcid.org/0009-0004-6742-9650>

⁴ Actualmente Profesora investigadora de la Facultad de Negocios y Economía de la Universidad del Pacífico. Gerente de Gestión Financiera del Grupo Consultor Empresarial CAAPTES-Ecuador; Investigadora Acreditado por Senescyt (REG-INV-20-04346). Doctora en Ciencias Jurídicas y Empresariales, Magister en Gestión Empresarial. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4712-7661>

Introducción

El tratamiento de las aguas residuales es uno de los desafíos más cruciales que se pueden generar al momento de topár los temas de cuidado y protección del medio ambiente (Chen et al., 2022). En la actualidad, existe una gran preocupación sobre la contaminación excesiva del agua (González Fragozo et al., 2020), surgiendo como necesidad la implementación de diferentes soluciones sostenibles para el tratamiento de este recurso (Ramos & Navarro, 2020). Bajo este contexto, uno de los métodos más convenientes y efectivos para depurar aguas residuales es mediante los tratamientos biológicos, los cuales ofrecen mejores beneficios y mayores porcentajes de eficiencia al tratar las aguas residuales a un menor costo que otros métodos estudiados (Tang et al., 2022).

Los métodos biológicos para el tratamiento de aguas residuales se basan en la utilización de microorganismos y procesos bioquímicos con el fin de degradar la materia orgánica que existe dentro del efluente que se va a tratar (Muloiwa et al., 2022), logrando reducir la carga de contaminantes mediante la biodegradación y así poder mejorar la calidad del agua tratada (Hang Pham et al., 2021).

Los tratamientos biológicos pueden estar compuestos por varias etapas, entre ellas un pretratamiento que ayuda a eliminar la mayor cantidad de materiales flotantes que viajan a través del agua residual (Cai et al., 2021). Seguido de un tratamiento primario el cual puede ser mediante floculación, coagulación o flotación (Raj et al., 2023). Posteriormente, un tratamiento secundario o tratamiento biológico en donde se puede utilizar bacterias de tipo aeróbicas o anaeróbicas para la degradación biológica de la materia orgánica que se encuentra en el efluente (Alviano & Andriyono, 2020). Por último, un tratamiento terciario en donde se elimina materia orgánica que aún se encuentra en el efluente, mediante métodos físicos como el de absorción, biológicos como el de membranas o químicos por medio de intercambio iónico inversa (Sgroi et al., 2020).

El objetivo de este artículo es realizar una revisión sistemática de la literatura (RSL) sobre el tratamiento de aguas residuales por los distintos métodos biológicos existentes, con un enfoque en las alternativas nacionales (Ecuador) e internacionales propuestas en las bases de información científica. En donde se busca evaluar los porcentajes de eficiencias de los resultados obtenidos de las alternativas encontradas.

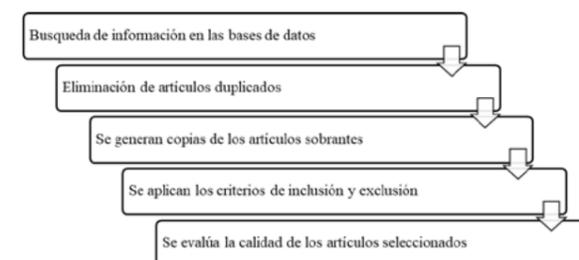
La estructura del artículo se divide en varias secciones. Como primera fase, se presenta la metodología utilizada para la obtención de la información pertinente para la investigación, destacando la utilización de la RSL y los criterios empleados para la selección de la información. Seguido de la presentación de la información relevante encontrada, descripción, discusión y análisis de estos resultados. Continuando con la discusión de los resultados obtenidos y finalizando con la conclusión de la investigación.

Método

El método abarcó dos procesos para la obtención de la información pertinente a la investigación, la primera se basó en la aplicación de la RSL para la obtención de datos, mediante la selección de los artículos relacionados con la temática de investigación. La segunda parte se destacó en la evaluación de la calidad de la información obtenida por medio de la herramienta AMSTAR II.

La revisión sistemática de la literatura consta de un estudio riguroso para la obtención de información pertinente a un tema de investigación, siendo seleccionados mediante varios criterios que son mencionados por el mismo autor (Carrizo & Moller, 2018) La selección de información sigue un proceso en el cual, de acuerdo con Pizarro et al., (2020) intervienen las siguientes etapas:

Figura 1
Etapas de selección y evaluación de información.



Las etapas presentadas en la Ilustración 1 son la guía para la aplicación de la RSL y la evaluación mediante la herramienta AMSTAR II. La herramienta de medición para evaluar las revisiones sistemáticas “AMSTAR” (*A Measurement Tool to Assess Systematic Reviews*) por sus siglas en inglés, tiene como objetivo evaluar la calidad de las revisiones sistemáticas mediante un conjunto de criterios (11 ítems) que ayudan a determinar la validez y confiabilidad de dichas investigaciones (Shea et al., 2017). De acuerdo con Pizarro et al., (2020) la herramienta tiene su origen en una universidad de Canadá en el 2007 siendo utilizada en el ámbito de la salud, en la actualidad ha sido modificada en AMSTAR II y puede ser utilizada en otros campos. Este instrumento consta de un total de 16 ítems, de las cuales 7 de ellas son de valor crítico y el restante son no críticos, siendo explicadas a continuación en base al autor Ciapponi (2018):

- Dominios críticos
- Protocolo planificado antes de la revisión (ítem 2).
- Búsqueda adecuada de la literatura (ítem 4).
- Justificación de los artículos excluidos (ítem 7).
- Evaluación de sesgo de los artículos incluidos (ítem 9).
- Metaanálisis aplicado para aplicación estadística (ítem 11).
- Evaluación de sesgo de los resultados de la revisión (ítem 13).

Evaluación de sesgo e impacto de la publicación o que lo presentado es indiferente a lo que se publica (ítem 15).

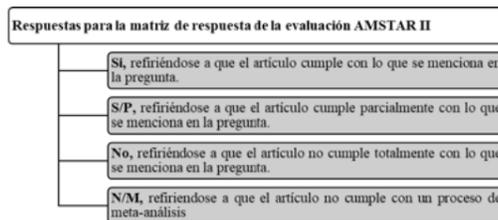
- Dominios no críticos
- Presencia de criterios de inclusión (ítem 1).
- Justificación de los artículos incluidos (ítem 3).
- Presencia de selección sobre los artículos duplicados (ítem 5).
- Presencia de extracción de datos por duplicados (ítem 6).
- Descripción de los estudios obtenidos con suficientes detalles (ítem 8).
- Los estudios incluidos daban a conocer o no sobre sus fuentes de financiación (ítem 10).
- Aplicación de un metaanálisis por parte del autor (ítem 12).
- Discusión sobre los resultados obtenidos (ítem 14).
- Información sobre las fuentes de financiamiento para llevar a cabo la revisión (ítem 16).
- La calificación de la evaluación de la calidad de los artículos va a depender de las ponderaciones establecidas y de sus criterios, de acuerdo con Ciapponi (2018) el nivel de confianza de esta herramienta se da a conocer mediante la siguiente Tabla 1.

Tabla 1
Niveles de confianza de la calidad de la herramienta AMSTAR II y los parámetros a cumplir

Confianza	Parámetros
Alta	Debilidad crítica: 0, Debilidad no crítica: 1
Moderada	Debilidad crítica: 0, Debilidad no crítica: >1
Baja	Debilidad crítica: 1, Debilidad no crítica: 1 o >1
Muy baja	Debilidad crítica: >1, Debilidad no crítica: 1 o >1

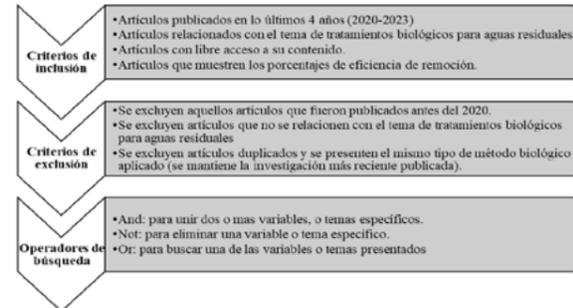
La Tabla 1 da a conocer los parámetros que deben cumplir cada uno de los artículos estudiados para poder obtener cierto grado de confianza o validez. La debilidad crítica o no crítica mencionada hace referencia a la negatividad (No, N/M) de las respuestas de la matriz de evaluación de la calidad del AMSTAR II, las cuales se dan a conocer en la Figura 2.

Figura 2
Respuestas aceptadas en la matriz de respuesta de la evaluación de la calidad de AMSTAR II



Las bases de datos de búsqueda utilizadas en la RSL fueron: Google Academic, ScienceDirect, Scopus y Dimensions, en donde se aplicaron los siguientes criterios de inclusión y exclusión (Figura 3).

Figura 3
Criterios de inclusión y exclusión a considerarse para la RSL, además de los operadores de búsqueda.

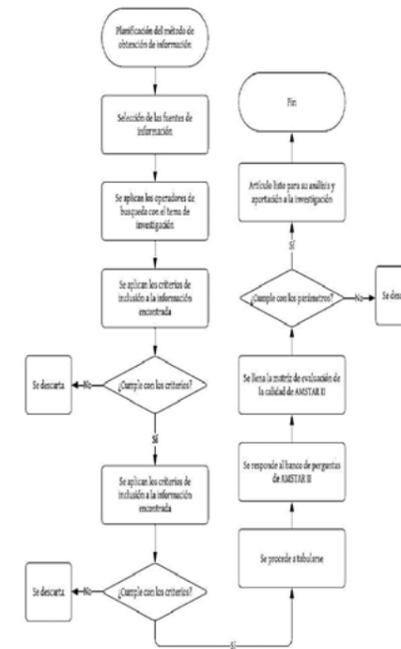


Los operadores de búsqueda nos ayudan a relacionar o eliminar temas que no se desean visualizar en la información obtenida, los cuales se complementan con los criterios presentados en la Figura 3, Después de la aplicación de los criterios de inclusión y exclusión, los artículos obtenidos procedieron a evaluación de la calidad mediante la herramienta AMSTAR II.

Resultados

El procedimiento realizado para la obtención de la RSL se da a conocer en el diagrama de flujo presentado en la Figura 4, el cual parte desde la planificación del método de obtención de información hasta la tabulación de los artículos obtenidos para la investigación.

Figura 4
Proceso de obtención de la información pertinente para la investigación mediante la RSL y AMSTAR II



La información obtenida mediante las bases de datos de los artículos se presenta en la siguiente tabla 2:

Tabla 2
Número de resultados obtenidos en cada una de las bases de datos.

Base de información	Resultado (2020-2023)
Scopus	658
ScienceDirect	569
Dimensions	586
Google Academic	233
Scielo	15
Total	1961

Los resultados obtenidos de la revisión sistemática de la literatura se presentan en la Tabla 2 fueron de 1961 artículos, los cuales mediante la exclusión de duplicados se lograron eliminar 608 documentos. Por último,

mediante los criterios de inclusión y exclusión se logró obtener 10 artículos pertinentes para la investigación, los cuales se presentan en la Tabla 3, dando a conocer: el número de artículo, localización, la cita del autor (es), el tipo de tratamiento biológico aplicado y los porcentajes de tratamientos obtenidos.

Tabla 3
Artículos obtenidos de la RSL

Nº	Localización	Cita del autor	Método biológico utilizado	% de remoción
1	Internacional	(Ye et al., 2023)	Bacterias inmovilizadas	98%
2		(Chen et al., 2023)	Reactor biológico aeróbico	98%
3		(Hamatani et al., 2023)	Reactor anaeróbico	95%
4		(Del Angel et al., 2022)	Carbón activado preparado a base de bagazo de caña de azúcar	94%
5	Internacional	(Pérez et al., 2022)	Humedales artificiales	96%
6		(Waqas et al., 2022)	Filtración por membranas	87%
7		(Roque et al., 2021)	Lagunas de estabilización con Cianobacterias tipo algas	+78%
8	Nacional	(Alviano & Andriyono, 2020).	Bacterias Aeróbicas	98%
9		(Cabrera et al., 2022)	Biofiltro	89%
10		Iturralde & Hernández (Iturralde 2022)	Carbón activado a base de cascarilla de arroz	95%

Los artículos obtenidos fueron evaluados mediante la herramienta AMSTAR II, mediante

la cual se obtuvieron los siguientes resultados mostrados en la Tabla 4, donde se puede observar el número de artículo correspondiente (Art), la respuesta (Si, S/P, No, N/M) obtenida para cada uno de los 16 ítems de la evaluación de la calidad y la calificación de obtenida para cada uno de los artículos (CA). Los artículos presentan una calificación moderada de calidad (M), debido a que, en cada uno de ellos no se da a conocer la utilización del proceso de metaanálisis el cual es requerido por esta herramienta.

Tabla 4
Evaluación de calidad de los artículos por medio de AMSTAR II

Art	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	CA
1	Si	S/P	Si	S/P	Si	Si	Si	S/P	S/P	Si	N/M	N/M	Si	Si	N/M	No	M
2	Si	S/P	Si	S/P	Si	Si	Si	Si	S/P	Si	N/M	N/M	Si	Si	N/M	No	M
3	Si	S/P	Si	S/P	Si	Si	Si	Si	S/P	Si	N/M	N/M	Si	Si	N/M	No	M
4	Si	S/P	Si	S/P	Si	Si	Si	S/P	S/P	Si	N/M	N/M	Si	Si	N/M	No	M
5	Si	S/P	Si	S/P	Si	Si	Si	Si	S/P	Si	N/M	N/M	Si	Si	N/M	No	M
6	Si	S/P	Si	S/P	Si	Si	Si	Si	S/P	Si	N/M	N/M	Si	Si	N/M	No	M
7	Si	S/P	Si	S/P	Si	Si	Si	Si	S/P	Si	N/M	N/M	Si	Si	N/M	No	M
8	Si	S/P	Si	S/P	Si	Si	Si	Si	S/P	Si	N/M	N/M	Si	Si	N/M	No	M
9	Si	S/P	Si	S/P	Si	Si	Si	Si	S/P	Si	N/M	N/M	Si	Si	N/M	No	M
10	Si	S/P	Si	S/P	Si	Si	Si	Si	S/P	Si	N/M	N/M	Si	Si	N/M	No	M

Los parámetros de la herramienta AMSTAR II

relacionados con el proceso de obtención de datos que se llevó a cabo en la investigación se basan en: utilización de criterios de inclusión y exclusión por parte del autor, planificación de un protocolo para la aplicación de la revisión de la literatura, sobre el tipo de busque realizada, sobre la eliminación de duplicados, sobre la descripción detallada de los estudios seleccionados, sobre si el artículo seleccionado presentaba la utilización de un meta-análisis, y sobre la discusión de los resultados obtenidos.

Los resultados obtenidos mediante la RSL y la herramienta AMSTAR II fueron clasificados respectivamente a nivel internacional y nacional. En la Figura 5 se resumen de las alternativas internacionales propuestas para tratar aguas residuales. Por otro lado, en la Figura 6, expone las alternativas nacionales encontradas en los últimos 4 años, específicamente en el tratamiento biológico de aguas residuales. Además, se adjunta la Figura 7 sobre la comparación de los

porcentajes de remoción obtenidos en cada uno de los artículos seleccionados y la descripción de cada una de las alternativas obtenidas.

Figura 5
Resumen de las alternativas internacionales propuestas para tratar aguas



Figura 6
Alternativas nacionales encontradas en los últimos 4 años, específicamente en el tratamiento biológico de aguas residuales.

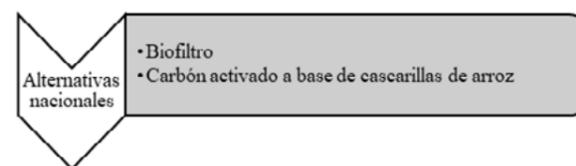
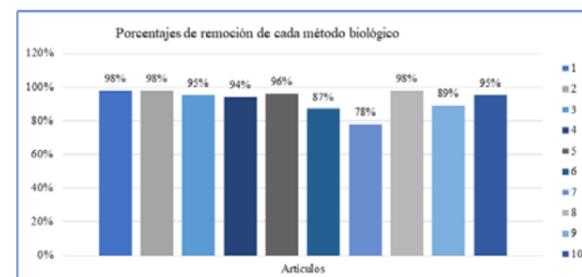


Figura 7
Gráfico de barras de los porcentajes de remoción de los métodos obtenidos.



Dentro de las alternativas propuestas internacionalmente se obtuvo las siguientes: el autor Ye et al., (2023) mencionó en su

investigación que la utilización de bacterias inmovilizadas a base de aero-gel logran eliminar hasta el 98% del nitrógeno amoniacal que se encuentra en las aguas residuales, siendo este su propósito de investigación. Por otro lado, Chen et al., (2023) demostró que la implementación de un reactor biológico de zeolita puede eliminar el 98% de nitrito, siendo así el objetivo de su investigación.

En otro contexto, Hamatani et al., (2023) presentó la utilización de un reactor anaeróbico con el objetivo de eliminar la mayor cantidad de materia orgánica (95%), y hasta el 80% de los gases generados por este tipo de sistema utilizado. Así mismo, Del Angel et al., (2022) dio a conocer que los sistemas de tratamientos de aguas residuales pueden complementarse mediante la utilización de carbón activado, el cual fue fabricado mediante el bagazo de caña de azúcar, obteniendo un total de 94% de remoción a diferencia del carbón activado comercial que llega a remover el 96% de la materia orgánica del efluente.

Por otro lado, Pérez et al., (2022) destacó que la construcción de humedales artificiales son otra de las maneras eficientes de tratar aguas residuales, logrando remover hasta un 96% de la materia orgánica. Al igual, Waqas et al., (2022) que presentó una metodología de tratamiento de aguas residuales por medio de un proceso de filtración de membranas, logrando obtener un 87% de la DQO y hasta un 98% del amoniacal existente en el efluente, siendo estos uno de sus objetivos principales.

El autor Roque et al., (2021), mencionó que la utilización de las cianobacterias en forma de algas en lagunas de estabilización logra remover más del 78% de materia orgánica. Así mismo, Alviano & Andriyono (2020) presentaron en su investigación que la utilización de bacterias aeróbicas puede ayudar a remover hasta un 98% de materia orgánica.

Entre las alternativas a nivel nacional (Ecuador), se destacaron las siguientes: el autor Cabrera et al., (2022) presenta la utilización de un filtro biológico a base de lombrices que

pueden remover hasta un aproximado del 89% de la materia orgánica disuelta en el efluente. Del mismo modo, Iturralde & Hernández (2022) presentó la utilización de carbón activado mediante la cascarilla de arroz, el cual pudo eliminar el 99% del color y hasta un 95,3% de la turbidez del agua. Hay una escasez de información sobre el tratamiento de aguas residuales a nivel nacional, puesto que no cumplen los criterios de inclusión y exclusión que se presentaron en la metodología de la investigación, además de que su método biológico aplicado ya ha sido presentado en estudios recientes. Sin embargo, se realizó una pequeña comparación sobre porcentajes de remoción de contaminantes por medio de métodos físicos y químicos para tratar aguas residuales, los cuales se muestran en la Tabla 5.

Tabla 5
Porcentajes de remoción de los procesos físicos y químicos.

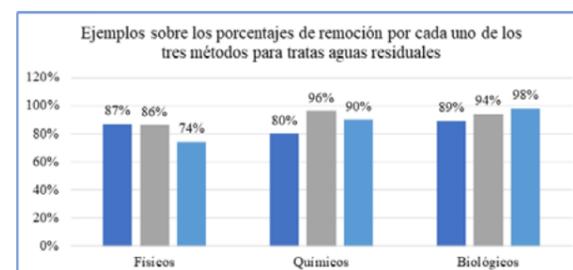
Autor	Método	Porcentajes de remoción
(Shabanizadeh & Taghavijeloudar, 2023)	Físico (Coagulación y floculación)	87%
(Y. Zhang et al., 2023)	Físico (Coagulación y floculación)	86% DQO, 80.3% NH ₃
(Shende & Chidambaram, 2023)	Físico (Floculación)	74%
(Xie et al., 2023)	Químico (Hidrólisis)	80%
(C. Zhang et al., 2023)	Químico (Micro-emulsión iónica)	96%
(Dong et al., 2022)	Químico (UV/O ₃ /PS)	90%

Discusión

Los resultados del estudio demostraron que los sistemas de tratamientos que utilicen un tratamiento secundario biológico son altamente eficaces para la eliminación de los contaminantes por los que fueron implementados, en la mayoría de casos el tratamiento biológico fue utilizado para remover el nitrógeno amoniacal o los porcentajes de nitritos, en vista a que estos componentes disminuyen la rapidez de eliminación de materia orgánica de los demás procesos del tratamiento general (Ye et al., 2023), siendo esto gracias a la utilización de bacterias.

Se observa que la mayoría de los porcentajes de remoción (ya sea de DQO, SST, NH₃, etc.) son superiores al 90%, lo que afirma y da a conocer que los sistemas de tratamientos biológicos son los más eficientes en la capacidad de eliminar o degradar los componentes existentes en las aguas residuales que se están estudiando (Figura 8). Así mismo, se puede deducir que estos tratamientos biológicos trabajan al mínimo costo posible, utilizando recursos que se encuentran fácilmente en la naturaleza como las plantas o algas para los humedales (Pérez et al., 2022), o reutilizando componentes para la fabricación de carbón activado que se utiliza más en las etapas de desinfección del agua residual (Del Angel et al., 2022).

Figura 8
Ejemplos de los porcentajes de remoción de contaminantes de cada uno de los tres métodos para tratar aguas residuales (estudios recientes)



En síntesis, con la información presentada en la Tabla 5 y la Figura 8 sobre estudios actuales del tratamiento de aguas residuales, se puede argumentar que el método biológico se puede lograr más altos índices de remoción de contaminantes que se encuentran en los efluentes. Siendo así que, los métodos físicos se concentran más en la eliminación de sólidos flotantes y los químicos se enfocan en la eliminación de metales, estos pueden complementarse con algún tipo de tratamiento biológico para poder lograr una mejor eficiencia en la remoción de los contaminantes totales.

Es importante tener en cuenta algunas limitaciones del estudio realizado, como primer punto: la investigación se centró en un tamaño limitado de muestras observadas y en específico en los tratamientos biológicos, sin tomar en cuenta a los de tipo físicos y químicos. Además, la selección de la información es destinada solo para los artículos publicados en los últimos cuatro años y descartando documentos similares.

Conclusiones

Se ha explorado las diferentes alternativas que pueden utilizarse para tratar las aguas residuales por medio de un tratamiento biológico, siendo esto posible mediante la aplicación de una revisión sistemática de la literatura y de una herramienta de evaluación de la calidad de las revisiones sistemáticas, permitiéndonos obtener diferentes procesos como: reactores aeróbicos o anaeróbicos, bacterias inmovilizadas, humedales artificiales, biofiltros, etc., siendo susceptibles

por las industrias que deseen encaminarse al tratamiento biológico con estas soluciones innovadoras que logran contribuir a la gestión sostenible de los recursos hídricos y del medio ambiente.

Los resultados obtenidos respaldan la eficacia de los sistemas de tratamientos biológicos y su remoción de contaminantes para los que están destinados, además, se presentó correctamente las diferentes alternativas a nivel nacional e internacional sobre el tema abordado. Estos tipos de tratamientos han demostrado que sus resultados pueden ser prometedores, sin embargo, a veces dependen de diversos factores y desafíos que deben cumplir para tener un alto grado de eficiencia.

El presente estudio sirve como apoyo a futuras investigaciones que deseen vincularse con el tratamiento biológico de aguas residuales y delimitarse a un método específico de tratamiento, presentados en el desarrollo de la investigación, sin despreciar la idea de complementar los tres tipos de tratamientos de aguas residuales y poder alcanzar un mejor porcentaje de remoción de contaminantes que se encuentran en los efluentes, gestionando adecuadamente la evacuación de las aguas residuales, además de prepararlas para una posible reutilización en diferentes campos o actividades posteriormente.

Referencias Bibliográficas

Alviano, A. R., & Andriyono, S. (2020). Wastewater Treatment on Shrimp Processing Industry. *Journal of Marine and Coastal Science*, 9(3), 139. <https://doi.org/10.20473/jmcs.v9i3.22296>

Cabrera, M., Montenegro, L., & Jiménez, A. (2022). Análisis de un Sistema de Tratamiento de Aguas Residuales de una Industria de Embutidos. *Revista Politécnica*, 49(2), 47–54. <https://doi.org/10.33333/rp.vol49n2.05>

Cai, Y.-H., Galili, N., Gelman, Y., Herzberg, M., & Gilron, J. (2021). Evaluating the impact of pretreatment processes on fouling of reverse osmosis membrane by secondary wastewater. *Journal of*

Membrane Science, 623, 119054. <https://doi.org/10.1016/j.memsci.2021.119054>

Carrizo, D., & Moller, C. (2018). Estructuras metodológicas de revisiones sistemáticas de literatura en Ingeniería de Software: un estudio de mapeo sistemático. *Ingeniare. Revista Chilena de Ingeniería*, 26, 45–54. <https://doi.org/10.4067/S0718-33052018000500045>

Chen, H., Chen, Z., Zhou, S., Chen, Y., & Wang, X. (2023). Efficient partial nitrification performance of real printed circuit board tail wastewater by a zeolite biological fixed bed reactor. *Journal of Water Process Engineering*, 53, 103607. <https://doi.org/10.1016/j.jwpe.2023.103607>

Chen, Y., Lin, M., & Zhuang, D. (2022). Wastewater treatment and emerging contaminants: Bibliometric analysis. *Chemosphere*, 297, 133932. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2022.133932>

Ciapponi, A. (2018). AMSTAR-2: herramienta de evaluación crítica de revisiones sistemáticas de estudios de intervenciones de salud. *Evidencia, Actualización En La Práctica Ambulatoria*, 21(1). <https://doi.org/https://doi.org/10.51987/evidencia.v21i1.6834>

del Angel, E., Pantoja, M. A., López, R., & Cruz, A. E. (2022). Treatment of domestic wastewater using activated carbon prepared from sugarcane bagasse. *Tecnología y Ciencias Del Agua*, 13(1), 144–183. <https://doi.org/10.24850/j-tyca-2022-01-04>

Dong, G., Chen, B., Liu, B., Cao, Y., de Jourdan, B., Stoyanov, S. R., Ling, J., Ye, X., Lee, K., & Zhang, B. (2022). Comparison of O₃, UV/O₃, and UV/O₃/PS processes for marine oily wastewater treatment: Degradation performance, toxicity evaluation, and flocs analysis. *Water Research*, 226, 119234. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2022.119234>

González Fragozo, H. E., Zabaleta Solano, C., Devia González, J., Moya Salinas, Y.,

- & Afanador Rico, O. (2020). Efecto del riego con agua residual tratada sobre la calidad microbiológica del suelo y pasto King Grass. *Revista U.D.C.A Actualidad & Divulgación Científica*, 23(2). <https://doi.org/10.31910/rudca.v23.n2.2020.1513>
- Hamatani, Y., Watari, T., Hatamoto, M., Yamaguchi, T., Setiadi, T., & Konda, T. (2023). Greenhouse gas reduction of co-benefit-type wastewater treatment system for fish-processing industry: A real-scale case study in Indonesia. *Water Science and Engineering*. <https://doi.org/10.1016/j.wse.2023.03.001>
- Hang Pham, T. T., Cochevelou, V., Khoa Dinh, H. D., Breider, F., & Rossi, P. (2021). Implementation of a constructed wetland for the sustainable treatment of inland shrimp farming water. *Journal of Environmental Management*, 279, 111782. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2020.111782>
- Iturralde Jácome, X. A., & Hernández Escobar, A. A. (2022). Biofiltración de aguas residuales de industrias arroceras de San Jacinto de Yaguachi, Ecuador mediante cascarilla de arroz. *Revista Iberoamericana Ambiente & Sustentabilidad*, 5, e271. <https://doi.org/10.46380/rias.vol5.e271>
- Muloiwa, M., Dinka, M., & Nyende-Byakika, S. (2022). Modelling the biological treatment process aeration efficiency: application of the artificial neural network algorithm. *Water Science and Technology*, 86(11), 2912–2927. <https://doi.org/10.2166/wst.2022.388>
- Pérez, Y. A., García Cortés, D. A., & Jauregui Haza, U. J. (2022). Humedales construidos como alternativa de tratamiento de aguas residuales en zonas urbanas: una revisión. *Ecosistemas*, 31(1), 2279. <https://doi.org/10.7818/ECOS.2279>
- Pizarro, A. B., Carvajal, S., & Buitrago-López, A. (2020a). Assessing the methodological quality of systematic reviews using the AMSTAR tool. *Colombian Journal of Anesthesiology*. <https://doi.org/10.5554/22562087.e913>
- Pizarro, A. B., Carvajal, S., & Buitrago-López, A. (2020b). Assessing the methodological quality of systematic reviews using the AMSTAR tool. *Colombian Journal of Anesthesiology*. <https://doi.org/10.5554/22562087.e913>
- Raj, S., Singh, H., & Bhattacharya, J. (2023). Treatment of textile industry wastewater based on coagulation-flocculation aided sedimentation followed by adsorption: Process studies in an industrial ecology concept. *Science of The Total Environment*, 857, 159464. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.159464>
- Ramos, R., & Navarro, A. (2020). Tratamiento de efluentes del cultivo de *Seriola lalandi* por sedimentación, filtración y absorción en diferentes tiempos de retención hidráulica. *Revista de Biología Marina y Oceanografía*, 54(3), 297–307. <https://doi.org/10.22370/rbmo.2019.54.3.2020>
- Roque, F., Delgado, D., Chirinos, B., Huanca, R., Alvarez, E., & Medina, R. (2021). Diseño Sostenible De Un Módulo Innovador De Tratamiento Biológico De Aguas Residuales En Comunidades Rurales Andinas Vulnerables Utilizando *Nostoc Commune* Caso: Coporaque-Caylloma (Perú). *Proceedings of the 19th LACCEI International Multi-Conference for Engineering, Education, and Technology: "Prospective and Trends in Technology and Skills for Sustainable Social Development" "Leveraging Emerging Technologies to Construct the Future."* <https://doi.org/10.18687/LACCEI2021.1.1.582>
- Sgroi, M., Gagliano, E., Vagliasindi, F. G. A., & Roccaro, P. (2020). Absorbance and EEM fluorescence of wastewater: Effects of filters, storage conditions, and chlorination. *Chemosphere*, 243, 125292. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2019.125292>
- Shabanizadeh, H., & Taghavijelouidar, M. (2023). A sustainable approach for industrial wastewater treatment using pomegranate seeds in flocculation-coagulation process: Optimization of COD and turbidity removal by response surface methodology (RSM). *Journal of Water Process Engineering*, 53, 103651. <https://doi.org/10.1016/j.jwpe.2023.103651>
- Shea, B. J., Reeves, B. C., Wells, G., Thuku, M., Hamel, C., Moran, J., Moher, D., Tugwell, P., Welch, V., Kristjansson, E., & Henry, D. A. (2017). AMSTAR 2: a critical appraisal tool for systematic reviews that include randomised or non-randomised studies of healthcare interventions, or both. *BMJ*, j4008. <https://doi.org/10.1136/bmj.j4008>
- Shende, A. P., & Chidambaram, R. (2023). Cocoyam powder extracted from *Colocasia antiquorum* as a novel plant-based bioflocculant for industrial wastewater treatment: Flocculation performance and mechanism. *Heliyon*, 9(4), e15228. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e15228>
- Tang, X., Fan, C., Zeng, G., Zhong, L., Li, C., Ren, X., Song, B., & Liu, X. (2022). Phage-host interactions: The neglected part of biological wastewater treatment. *Water Research*, 226, 119183. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2022.119183>
- Waqas, S., Harun, N. Y., Bilad, M. R., Samsuri, T., Nordin, N. A. H. M., Shamsuddin, N., Nandiyanto, A. B. D., Huda, N., & Roslan, J. (2022). Response Surface Methodology for Optimization of Rotating Biological Contactor Combined with External Membrane Filtration for Wastewater Treatment. *Membranes*, 12(3), 271. <https://doi.org/10.3390/membranes12030271>
- Xie, J., Zou, X., Chang, Y., Xie, J., Liu, H., Cui, M., Zhang, T. C., & Chen, C. (2023). The microbial synergy and response mechanisms of hydrolysis-acidification combined microbial electrolysis cell system with stainless-steel cathode for textile-dyeing wastewater treatment. *Science of The Total Environment*, 855, 158912. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.158912>
- Ye, T., Li, M., Lin, Y., & Su, Z. (2023). An effective biological treatment method for marine aquaculture wastewater: Combined treatment of immobilized degradation bacteria modified by chitosan-based aerogel and macroalgae (*Caulerpa lentillifera*). *Aquaculture*, 570, 739392. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2023.739392>
- Zhang, C., Yang, X., Dai, J., Liu, W., Yang, H., & Bai, Z. (2023). Efficient extraction of phenol from wastewater by ionic micro-emulsion method: Anionic and cationic. *Chinese Journal of Chemical Engineering*, 58, 137–145. <https://doi.org/10.1016/j.cjche.2022.11.003>
- Zhang, Y., Li, M., Zhang, G., Liu, W., Xu, J., Tian, Y., Wang, Y., Xie, X., Peng, Z., Li, A., Zhang, R., Wu, D., & Xie, X. (2023). Efficient treatment of the starch wastewater by enhanced flocculation-coagulation of environmentally benign materials. *Separation and Purification Technology*, 307, 122788. <https://doi.org/10.1016/j.seppur.2022.122788>