

Universidad de Lima  
Facultad de Ingeniería  
Carrera de Ingeniería Industrial



# **INDUSTRIAL WASTEWATER TREATMENT IN LATIN AMERICA AND EUROPE: METHODS AND APPLICATIONS. A SYSTEMATIC REVIEW OF THE LITERATURE**

Tesis para optar el Título Profesional de Ingeniero Industrial

**Gianfranco Julinho Hidalgo Salhuana**

**Código 20162124**

**Valeria Paola Hip Salazar**

**Código 20162128**

**Asesor**

**Luis Jesús Córdova Aguirre**

Lima – Perú

Marzo de 2024



<b>Propuesta</b> <b>Carrera Ingeniería Industrial</b>
<b>Título</b> Industrial Wastewater Treatment in Latin America and Europe: Methods and Applications. A Systematic Review of the Literature
<b>Autor(es)</b> 20162124@aloe.ulima.edu.pe 20162128@aloe.ulima.edu.pe Universidad de Lima
<p><b>Resumen:</b> Esta investigación busca difundir los diferentes métodos de tratamiento de aguas residuales en distintas industrias de América Latina y Europa, así como los más utilizados. De acuerdo con la literatura revisada, un gran porcentaje de las aguas residuales industriales no son tratadas, especialmente en América Latina, causando un impacto negativo en el ecosistema. Existen diferentes métodos para el tratamiento de aguas residuales industriales; sin embargo, la mayoría de las investigaciones sobre tratamiento de aguas residuales industriales se centran en el estudio de un único método de tratamiento. La metodología utilizada fue la revisión sistemática de la literatura, se formaron 5 categorías y 10 subcategorías de estudio para analizar 30 artículos publicados entre 2015 y 2020. Como principal resultado, se obtuvo que las tecnologías verdes, como el método de humedales y el uso de microalgas, fueron las más estudiadas en los últimos cinco años. La principal limitación de este estudio fue la falta de información respecto a sectores industriales diferentes al textil y alimenticio, por lo que se sugiere realizar futuras investigaciones enfocadas en sectores aún no estudiados, como el automotriz, metalmeccánico, agroindustrial, entre otros.</p> <p><b>Palabras Clave:</b> Aguas residuales, métodos, sector industrial, tratamiento y Revisión Sistemática de la Literatura.</p> <p><b>Abstract</b> This research seeks to disseminate the different methods for wastewater treatment in different industries in Latin America and Europe, as well as the most used ones. According to the literature reviewed, a large percentage of industrial wastewater is not treated, especially in Latin America, causing a negative impact on the ecosystem. There are different methods for the treatment of industrial wastewater; however, most of the research on industrial wastewater treatment focuses on the study of a single treatment method. The methodology used was the systematic literature review, 5 categories and 10 subcategories of study were formed to analyze 30 articles published between 2015 and 2020. As the main result, it was obtained that green technologies, such as the wetlands method and use of microalgae, were the most studied in the last five years. The main limitation of this study was the lack of information regarding industrial sectors other than textile and food, so it is suggested to do future research focusing on sectors not yet studied, such as automotive, metalworking, agro-industrial, among others.</p> <p><b>Keywords:</b> Wastewater, methods, industrial sector, treatment and Systematic Literature Review.</p>
<b>Línea de investigación IDIC – ULIMA</b>
<p><b>Área y Sub-áreas de Investigación:</b></p> <p><b>Area:</b> 4. Facilities Engineering and Energy Management</p> <p><b>Sub-areas:</b> 4.6 Plant and Facilities Engineering 4.6.8 Sanitation systems</p>
<p><b>Objetivo (s) de Desarrollo Sostenible (ODS)</b> relacionado (s) al tema de investigación. Objetivo 6: Garantizar la disponibilidad de agua y su gestión sostenible y el saneamiento para todos.</p>

## **PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

Actualmente, las fuentes de agua dulce reciben desde grandes cantidades de basura hasta sustancias químicas invisibles, que pueden ser perjudiciales para la salud humana y fauna (National Geographic, 2023).

Asimismo, más del 70% de las aguas residuales no son tratadas, causando dificultad para completar el ciclo del agua y aunque esta problemática afecta en mayor grado a países de América Latina, debido a que no cuentan con la provisión suficiente de agua potable (Larios - Meoño et al., 2015, pp. 09–25), esta no es ajena a la realidad de países europeos, como es el caso de España, el cual es la nación europea con mayor déficit hídrico (Rodríguez Fernández Alba et al., s.f, p. 6). La falta de controles dificulta saber si las empresas realizan efectivamente el tratamiento de sus residuos o simplemente los vierten al agua sin formalización o una autorización de vertimiento (Zela Esteban y Olivas Aranda., 2022, p.132). De igual manera, se estima que la industria abarca el 20% del consumo mundial de agua y su mala gestión es su principal problema, ya que en su mayoría el agua que se utiliza es contaminada sin depurarse o potabilizarse de nuevo (Nuevas Normas ISO, 2019).En consecuencia, de acuerdo con la problemática descrita, en el presente trabajo se plantea la siguiente pregunta de investigación: ¿Qué investigaciones acerca del tratamiento de las aguas residuales industriales se han realizado en América Latina y Europa, entre los años 2015 y 2020?

## **OBJETIVOS**

El objetivo de esta investigación es dar a conocer los diferentes métodos de tratamiento de aguas residuales, así como los más utilizados, eficientes y sostenibles en el sector industrial de América Latina y Europa. De esta forma, se aportarán conocimientos para que el sector industrial pueda aplicarlos en sus procesos, contribuyendo a la reducción de la contaminación del agua y a la mejora continua de este sector.

## JUSTIFICACIÓN

Las aguas residuales son aguas contaminadas por desechos líquidos y sólidos procedentes de los hogares, las instituciones y los sectores industrial y comercial, que pueden estar mezcladas con aguas pluviales (Vázquez Rossainz, 2003, p. 10). Estos son producidos por las actividades cotidianas del hombre y son recolectados por redes de tuberías subterráneas que transportan el agua, ya sea por redes unitarias que forman un solo conducto para recolectar las aguas residuales domésticas, industriales y pluviales, o por redes separadas que se componen de dos tuberías independientes tanto para las aguas residuales como para las pluviales (Sistema de recolección de aguas residuales, 2021, párr. 3). Cabe destacar que la composición de las aguas residuales tiene una composición y concentración química muy variable debido a los diferentes factores que la afectan (Rojas, 2002, p. 6). Este tipo de agua está compuesta por aproximadamente 99,9% de agua y 0,1% de materiales sólidos, ya sea disueltos o en suspensión (pueden ser sedimentables o coloidales) (Composición de las Aguas Residuales, 2000, párr. 1).

También es importante mencionar que los principales contaminantes contenidos en las aguas residuales se pueden agrupar en: materia orgánica biodegradable, compuestos de fósforo y nitrógeno, microorganismos compuestos por organismos saprofitos y patógenos como virus, bacterias, entre otros; los cuales le confieren al agua propiedades pestilentes, tóxicas, infecciosas y estéticas (Rojas, 2002, p. 6).

Cabe señalar que la mayoría de los artículos revisados se centran en el estudio de un solo método para el tratamiento de aguas residuales, tal es el caso de Sandoval et al. (2020) quienes propusieron el uso de microalgas para la remoción de contaminantes emergentes en aguas residuales. En este estudio, se concluyó que el tratamiento propuesto es fácil de instalar en sistemas abiertos y de bajo costo en comparación con las tecnologías convencionales; además, se reveló que es necesario seguir investigando sobre los factores a controlar para mejorar el proceso de remoción de mezclas de contaminantes presentes en las aguas residuales (pp. 127-137).

Asimismo, Jaimes Urbina y Vera Solano (2020) proponen un tratamiento mediante ozonización para eliminar los contaminantes emergentes de las aguas residuales de la industria farmacéutica (pp. 249-262). Al final del estudio, los resultados mostraron que la ozonización puede proporcionar ventajas ambientales, sanitarias y económicas para la eliminación de la contaminación en el medio acuático. Además, se determinó que con el uso de tratamientos terciarios avanzados es posible extraer compuestos emergentes, especialmente sustancias farmacológicas que hoy en día tienen un riesgo viable de amenazar la calidad del agua potable (Jaimes Urbina & Vera Solano, 2020, pp. 249-262).

Por otro lado, Alfonso Moreno et al. (2015), aplican un sistema de tratamiento de aguas residuales en una industria textil ubicada en Bogotá - Colombia. Dando a conocer el proceso O<sub>3</sub>/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>/UV como el óptimo para el tratamiento de colorantes sintéticos complejos utilizados en la industria textil estudiada, con resultados de alta efectividad en la degradación de colorantes y eficiencia del 99 % (pp. 54-62).

Por su parte, Cisterna (2017), estudia el funcionamiento de un sistema de tratamiento biológico mediante lodos activados alimentados por un afluente con aceite de girasol y sacarosa, en el cual se estima el material biodegradado a través de un balance de masa y parámetros operacionales y de diseño, obteniendo que dicho proceso es más eficiente cuando se aplica una alta concentración inicial de biomasa (7500 mg/L) (p. 69).

Desde el punto de vista ambiental, esta investigación tiene como objetivo presentar diferentes metodologías que adoptan tecnologías y procedimientos sostenibles para la reutilización de aguas residuales industriales, así como sus respectivas aplicaciones, contribuyendo al cuidado de los recursos hídricos. Desde una perspectiva económica, el artículo analizará qué métodos son más eficientes para la reutilización de aguas residuales en el sector industrial en América Latina y Europa, de tal forma que representen un ahorro económico para las empresas que los utilizan. Desde una perspectiva práctica, esta investigación será de gran utilidad para el sector industrial y cualquier persona interesada en implantar o desarrollar sistemas de reutilización de aguas residuales, basándose en los diferentes métodos y aplicaciones que se pueden llevar a cabo para este fin, así como su impacto ambiental. Por último, desde una perspectiva práctica, esta investigación será de gran utilidad para el sector industrial y para cualquier persona interesada en implantar o desarrollar sistemas de reutilización de aguas residuales, basándose en

los diferentes métodos y aplicaciones que se pueden llevar a cabo para este fin, así como en su impacto medioambiental



## **DISEÑO METODOLÓGICO**

La investigación realizada en este estudio es de tipo básica, también llamada teórica o conceptual. Esta se caracteriza porque se mantiene dentro del marco teórico en el que se originó y tiene como objetivo buscar y obtener más conocimiento de la comunidad científica, pero sin contrastarlo con el entorno práctico (Muntané Relat, 2010, pp. 221- 227). Además, la presente investigación tendrá un enfoque cualitativo, el cual reconoce que se deben considerar los significados subjetivos y la comprensión del contexto donde ocurre el fenómeno, además de las variables sociales (Vega-Malagón et al., 2014, pp. 523-528). Asimismo, el método de revisión sistemática es de gran utilidad para el desarrollo del estudio, ya que es una forma de investigación que recopila información resumida sobre un tema específico a partir de la pregunta de investigación planteada (Aguilera Eguía, 2014, pp. 359-360).

Por otro lado, para el desarrollo de este estudio se determinó como variable dependiente la eficiencia de los métodos utilizados para el tratamiento de aguas residuales industriales y como variable independiente las tecnologías y procesos aplicados para el tratamiento de aguas residuales industriales. A partir de esto, se definieron algunas de las dimensiones, tales como la eficiencia de remoción de DQO (Demanda Química de Oxígeno) y parámetros de color verdadero, eficiencia de remoción de metales, entre otros. Además, se definieron los respectivos indicadores, como el porcentaje de remoción de SST (Sólidos Suspendidos Totales), DBO (Demanda Biológica de Oxígeno), DQO (Demanda Química de Oxígeno), TP (Concentración Total de Fósforo), DBO5 (Demanda Biológica de Oxígeno) y TS (Sólidos Totales), porcentaje de remoción de metales, remoción de turbidez, entre otros.

En una primera exploración, se analizaron los métodos y aplicaciones para el tratamiento de aguas residuales industriales mediante la revisión de artículos publicados en América Latina y Europa durante los años 2015 y 2020. Las preguntas que guiaron la presente investigación se plantean de la siguiente manera: ¿qué métodos se utilizaron en el sector industrial en América Latina y Europa para el tratamiento de aguas residuales entre los años 2015 y 2020, cuáles son las aplicaciones dadas a las aguas residuales tratadas en el sector industrial, en América Latina y Europa entre los años 2015 y 2020, cuáles son las aplicaciones de las aguas residuales tratadas en el sector industrial, en América Latina y Europa entre los años 2015 y 2020? Cuántas revisiones bibliográficas se han realizado sobre la reutilización de aguas residuales industriales en América Latina y Europa entre los años 2015 y 2020, cuáles son las industrias que generan mayor contaminación en el agua que utilizan para el desarrollo de sus operaciones entre los años 2015 y 2020, y cuáles son las industrias que generan mayor contaminación en el agua que utilizan para el desarrollo de sus operaciones entre los años 2015 y 2020.

Para la selección de los artículos se consideraron los siguientes criterios de inclusión: publicaciones entre 2015 y 2020 difundidas en América Latina y Europa, escritos en inglés, español o portugués, artículos de revistas indexadas pertenecientes al cuartil 1 y 2, finalmente se incluyó el criterio de artículos académicos. Por otro lado, se consideraron los siguientes criterios de exclusión: publicaciones anteriores a 2015, artículos que no hayan sido publicados en América Latina y Europa, escritos en idiomas diferentes al inglés, español o portugués, y artículos de revistas indexadas que no pertenezcan al cuartil 1 y 2.

Las búsquedas de información se realizaron en bases de datos bibliográficas como Scopus, Scielo, Proquest, entre otras; motores de búsqueda como Google Scholar, utilizando las siguientes palabras clave: aguas residuales, sector industrial, tratamiento, métodos; cabe señalar que también se realizaron búsquedas en la Red de Revistas Científicas de Europa y América Latina. Del mismo modo, el espacio temporal se concentró abarcando los años 2015 y 2020. Asimismo, se delimitó el espacio geográfico, el cual contenía publicaciones de América Latina y del continente europeo.

A partir de lo anterior, se obtuvo una primera lista de 261 documentos. Tras aplicar los criterios de inclusión, se descartaron aquellos artículos que no cumplieran estos requisitos. Así, se seleccionaron 30 artículos.

Para el análisis de estos artículos se hizo uso de una matriz apoyada en tablas dinámicas en MS Excel, lo que permitió una mejor organización de la información obtenida. Esto se hizo de acuerdo a las categorías y subcategorías diseñadas, las cuales se muestran en la siguiente tabla.

## NOTAS (AGRADECIMIENTOS)

En primer lugar, agradecemos a Dios, a nuestros padres y hermanos por el apoyo incondicional durante todo este proceso y por guiarnos a cumplir nuestros objetivos tanto personales, académicos y profesionales. En segundo lugar, nuestro más grande agradecimiento al Doctor Luis Córdova Aguirre por asesorarnos, por su dedicación, tiempo y comprensión durante el camino hacia nuestra titulación. Asimismo, dar gracias a todos nuestros docentes que han sido parte de nuestra formación universitaria, por sus conocimientos y consejos. Finalmente, agradecer a nuestra alma máter, la Universidad de Lima, por su experiencia, exigencia y por brindarnos todas las herramientas para convertirnos en los profesionales que hoy en día somos.

## REFERENCIAS

- Aguilera Eguía, R. ¿Revisión sistemática, revisión narrativa o metaanálisis? *Revista de la Sociedad Española del Dolor*, 21(6), pp 359-360, 2014.
- Alfonso Moreno, F. L., Choachí, M. Z., Mendoza Urrea, S., & Pulido Talero, W. E. Propuesta de diseño de un sistema de tratamiento y reutilización de efluentes textiles combinando tecnologías convencionales con el proceso de oxidación avanzada (O<sub>3</sub>/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>/UV). *INVENTUM*, 10(18), pp 54-62, 2015.
- Cartagena David, M. I. *Biorremediación en aguas residuales contaminadas con cianuro y mercurio generadas en el proceso de minería de oro en Colombia, a partir de una revisión bibliográfica entre los años 2008 -2018*. Biblioteca digital Universidad de Antioquia, pp. 32-41, 2019.
- Cisterna, P. Biological Treatment by Active Sludge with High Biomass Concentration at Laboratory Scale for Mixed Inflow of Sunflower Oil and Saccharose. *Environments*, 4(4), p. 69, 2017.
- Jaimes Urbina, J. A., & Vera Solano, J. A. Contaminantes emergentes en aguas residuales de la industria farmacéutica y su tratamiento por ozonización. *Informador Técnico*, 84(2), pp. 249-262, 2020.
- Larios - Meoño, J. F., González Taranco, C., & Morales Olivares, Y. Las aguas residuales y sus consecuencias en el Perú. *Saber y Hacer*, 2(2), pp 09-25, 2015.
- Instituto Multidisciplinar de Edición Digital (s. f.). *Water*. MDPI, Disponible: <https://www.mdpi.com/journal/water/about>, Recuperado el 28 de septiembre de 2021.
- Muntané Relat, J. INTRODUCCIÓN A LA INVESTIGACIÓN BÁSICA. *RAPD ONLINE*, 3(3), pp. 221-227, 2010.
- National Geographic, Disponible: <https://www.nationalgeographic.es/medio-ambiente/contaminacion-del-agua>, Consultado el 28 de julio de 2023.
- Nuevas Normas ISO, Disponible: <https://www.nueva-iso-14001.com/2019/05/gestion-del-agua-en-la-industria/>, Consultado el 28 de julio de 2023.
- Rodríguez Fernández-Alba, A., Letón García, P., Villar Fernández, S., Sanz García, J. M., Rosal García, R., & Dorado Valiño, M. (sf). *Tratamiento avanzado de aguas residuales industriales*. Madrimasd.
- Rojas, R., GETIÓN INTEGRAL DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES, *Sistemas de Tratamiento de Aguas Residuales*, 2022, Disponible: [https://d1wqtxts1xzle7.cloudfront.net/57123734/GESTION\\_INTEGRAL\\_DEL\\_TRATAMIENTO\\_AR-libre.pdf?1533264908=&response-content-disposition=inline%3B+filename%3DCurso\\_Internacional\\_GETION\\_INTEGRAL\\_DE\\_T.pdf&Expires=1688071293&Signature=QdrHJBnFi65uV6kkRIvQdwVAVrUkIS9oATIkVeBxqdb0i~0Pl4R2PQH-vujWY~9I9YrbN5vKkHJ9YFsovErsMUxfwoPndtFst1QHWnIqP93SgDZs5cDwCeHxuY2iJfprYU2e7QWiMQTrkFGsA9MG4ubqe-hOMsamKoCe6WxpMbp8rZrG~wMiJ7CunfXI09zLVYRdmuKqahjeJPtStpqkSGK4Nbwi85rLbe3WVHoVI9fjvSgKq0SamyYzNYh3dfU88bgYfS7zJ4I2EbBIDRJ3DsuKyNFv6CpKN1iJh1zCXkOSv2eXQ-y948lhCHhPogktF1U19sdph7m19bTz8bQ\\_&Key-Pair-Id=&Llavero-Id=APKAJLOHF5GGSLRBV4ZA](https://d1wqtxts1xzle7.cloudfront.net/57123734/GESTION_INTEGRAL_DEL_TRATAMIENTO_AR-libre.pdf?1533264908=&response-content-disposition=inline%3B+filename%3DCurso_Internacional_GETION_INTEGRAL_DE_T.pdf&Expires=1688071293&Signature=QdrHJBnFi65uV6kkRIvQdwVAVrUkIS9oATIkVeBxqdb0i~0Pl4R2PQH-vujWY~9I9YrbN5vKkHJ9YFsovErsMUxfwoPndtFst1QHWnIqP93SgDZs5cDwCeHxuY2iJfprYU2e7QWiMQTrkFGsA9MG4ubqe-hOMsamKoCe6WxpMbp8rZrG~wMiJ7CunfXI09zLVYRdmuKqahjeJPtStpqkSGK4Nbwi85rLbe3WVHoVI9fjvSgKq0SamyYzNYh3dfU88bgYfS7zJ4I2EbBIDRJ3DsuKyNFv6CpKN1iJh1zCXkOSv2eXQ-y948lhCHhPogktF1U19sdph7m19bTz8bQ_&Key-Pair-Id=&Llavero-Id=APKAJLOHF5GGSLRBV4ZA)
- Sandoval, J. A., Morales Granados, M. A., & Rubio, D. Breve revisión del uso de microalgas para la eliminación de contaminantes emergentes en aguas residuales. *Gestión y Medio Ambiente*, 23(1), pp 127-137, 2020.
- Vázquez Rossainz, D. Estudio de Viabilidad para la Construcción de una Planta de Tratamiento de Aguas Residuales en UDLA-P. Catarina UDLAP, 16 de mayo de 2003.
- Vega-Malagón, G., Ávila-Morales, J., Vega-Malagón, A. J., Camacho-Calderón, N., Becerril-Santos, A., & E. Leo-Amador, G. PARADIGMAS EN LA INVESTIGACIÓN. ENFOQUE CUANTITATIVO Y CUALITATIVO. *Revista científica europea*, 10(15), pp. 523-528, 2014.
- Sistema de recogida de aguas residuales*. Air Liquide España, 27 de abril de 2021, Disponible:



<https://industrial.airliquide.es/sistema-recoleccion-las-aguas-residuales>

*Composición de las aguas residuales.* Estructplan, 1 de enero de 2000, Disponible: <https://estructplan.com.ar/composicion-de-las-aguas-residuales/>.

Zela Esteban, J., & Olivas Aranda, G., Diagnóstico de las Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR) en el Ámbito de las Empresas Prestadoras 2022, Disponible: [https://www.sunass.gob.pe/wp-content/uploads/2022/06/Informe-de-diagnostico-de-las-Plantas-de-Tratamiento-de-Aguas-Residuales-PTAR\\_VdigitalConcomentario.pdf](https://www.sunass.gob.pe/wp-content/uploads/2022/06/Informe-de-diagnostico-de-las-Plantas-de-Tratamiento-de-Aguas-Residuales-PTAR_VdigitalConcomentario.pdf), Junio 2022

## ANEXOS.

### Datos del artículo publicado

- **Nombre del artículo:** Industrial Wastewater Treatment in Latin America and Europe: Methods and Applications. A Systematic Review of the Literature
- **Autores:** Valeria Paola Hip Salazar, Gianfranco Julinho Hidalgo Salhuana
- **Co autor(es):** Luis Jesús Córdova Aguirre

### Publicación en Congreso

- **Nombre del congreso:** 4th Asia Pacific International Conference on Industrial Engineering and Operations Management
- **Organizador:** IEOM Society International
- **Sede:** Ho Chi Minh City, Vietnam
- **Año:** 2023
- **Pp:** <https://index.ieomsociety.org/index.cfm/article/view/ID/13532>
- **Enlace web donde se encuentra publicado el artículo (identificador DOI, ISBN, ISSN o equivalentes): DOI -** <https://doi.org/10.46254/AP04.20230061>

## ARTÍCULO HIDALGO-HIP

### INFORME DE ORIGINALIDAD

<b>10%</b>	<b>8%</b>	<b>6%</b>	<b>6%</b>
INDICE DE SIMILITUD	FUENTES DE INTERNET	PUBLICACIONES	TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

### FUENTES PRIMARIAS

<b>1</b>	<b>Submitted to De La Salle University</b> Trabajo del estudiante	<b>5%</b>
<b>2</b>	<b>Submitted to Institución Universitaria Digital de Antioquia</b> Trabajo del estudiante	<b>1%</b>
<b>3</b>	<b>Submitted to Global Banking Training</b> Trabajo del estudiante	<b>1%</b>
<b>4</b>	<b>uilis.unsyiah.ac.id</b> Fuente de Internet	<b>1%</b>
<b>5</b>	<b>Emilio Klein, Victor E. Tokman. "Part 1. A Comparative View of Regulations and Informality", Walter de Gruyter GmbH, 1995</b> Publicación	<b>&lt;1%</b>
<b>6</b>	<b>Jonathan Vincent Baena, Lilia Angelica Hurtado Ayala, Idanya Rubi Serafin. "chapter 5 Microbiological Water Quality", IGI Global, 2022</b> Publicación	<b>&lt;1%</b>
<b>7</b>	<b>revistas.unal.edu.co</b> Fuente de Internet	<b>&lt;1%</b>