

**MICROORGANISMOS DE MONTAÑA COMO BIOTECNOLOGÍA PARA LA
REMOCIÓN DE CARGAS CONTAMINANTES EN AGUAS RESIDUALES
DOMÉSTICAS E INDUSTRIALES**



**ADRIAN DAVID DIAZ BAUTISTA
MIGUEL ARTURO ORDOÑEZ POTOSÍ**

**CORPORACIÓN UNIVERSITARIA AUTÓNOMA DEL CAUCA
FACULTAD DE CIENCIAS AMBIENTALES Y DESARROLLO SOSTENIBLE
PROGRAMA DE INGENIERÍA AMBIENTAL Y SANITARIA
POPAYÁN, CAUCA
2023**

**MICROORGANISMOS DE MONTAÑA COMO BIOTECNOLOGÍA PARA LA
REMOCIÓN DE CARGAS CONTAMINANTES EN AGUAS RESIDUALES
DOMÉSTICAS E INDUSTRIALES**



**ADRIAN DAVID DIAZ BAUTISTA
MIGUEL ARTURO ORDOÑEZ POTOSÍ**

Trabajo de investigación para optar al título de Ingeniero Ambiental y Sanitario

Director
ESP. ARNOL ARIAS

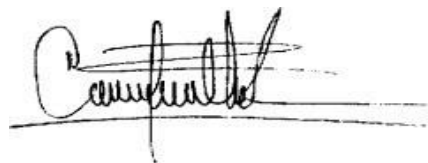
**CORPORACIÓN UNIVERSITARIA AUTÓNOMA DEL CAUCA
FACULTAD DE CIENCIAS AMBIENTALES Y DESARROLLO SOSTENIBLE
PROGRAMA DE INGENIERÍA AMBIENTAL Y SANITARIA
POPAYÁN, CAUCA
2023**

Nota de aceptación

El director y los jurados del trabajo de grado, modalidad Monografía: **MICROORGANISMOS DE MONTAÑA COMO BIOTECNOLOGÍA PARA LA REMOCIÓN DE CARGAS CONTAMINANTES EN AGUAS RESIDUALES DOMÉSTICAS E INDUSTRIALES**", realizado por: **ADRIAN DAVID DIAZ BAUTISTA** y **MIGUEL ARTURO ORDOÑEZ POTOSÍ**, una vez revisado el informe final y aprobado la sustentación, autorizan para que se realicen los trámites concernientes para optar el título profesional de **Ingeniera Ambiental y Sanitaria**.



Director: Esp. Arnol Arias Hoyos



Jurado: Esp. Carlos Felipe Uribe



Jurado: Ing. Edwin Sierra Gaviria

Popayán, 29 marzo de 2023

Dedicatoria.

A mis padres Hermes Diaz y Nora Bautista por su paciencia, amor, comprensión y esfuerzo para llegar a esta instancia de culminar y obtener el título de Ingeniero Ambiental y Sanitario.

Adrian David Diaz Bautista

A mis padres Olegario Ordoñez y Gilma Potosi, su amor y constante esfuerzo ha sido fundamental para culminar tan anhelada etapa academica en mi vida. Mis hermanos Yohan Ordoñez y Leimer Ordoñez por su apoyo incondicional y motivación para obtener el título como Ingeniero Ambiental y Sanitario.

Miguel Arturo Ordoñez Potosi.

Agradecimientos

A Dios por darme la vida y poder haber estudiado esta bonita carrera para que en un futuro Dios mediante pueda ejercerla muy pronto y seguir aprendiendo cada día cosas nuevas y alcanzar nuevas metas.

A mis padres por haber dado su esfuerzo y motivación para llegar a esta nueva etapa de mi vida de ser un profesional inculcando el valor de la responsabilidad y de ser cada día una mejor persona.

A nuestro director de grupo Esp. Arnol Arias por brindarnos de su tiempo para poder culminar nuestro trabajo de Monografía con sus indicaciones y correcciones acertadas al igual que sus clases que fueron excelentes y que con ello pude aprender algo nuevo para el desarrollo de mi carrera.

Adrian David Diaz Bautista

A Jesucristo mi Dios, por regalarme el maravilloso don de la vida, por la salud y capacidad intelectual y perseverancia para culminar con éxito este importante logro.

A mis padres quienes me inculcaron el valor de la responsabilidad y apoyo para formarme académicamente, mis hermanos que han sido personas fundamentales en este proceso y gracias a su apoyo hoy puedo culminar este proceso exitosamente.

A nuestro director Esp. Arnol Arias Hoyos, por brindarnos su apoyo, su amabilidad, por sus acertadas indicaciones y correcciones al igual que su valiosa orientación en cada una de las etapas de este trabajo de investigación.

A la Corporación Universitaria Autónoma del Cauca y docentes que estuvieron en cada etapa de mi formación como profesional, compartiendo sus conocimientos.

Miguel Arturo Ordoñez Potosi

Tabla de contenido

	Pág.
INTRODUCCIÓN	10
CAPITULO 1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	11
1.1. Descripción del problema	11
1.2. Formulación del problema	11
1.3. Objetivos.....	12
1.3.1. Objetivo general.....	12
1.3.2. Objetivos específicos	12
1.4. Justificación	13
CAPITULO 2. BASES TEORICAS	14
2.1. Antecedentes.....	14
2.2. Marco conceptual	16
2.3. Marco legal	17
CAPITULO 3. METODOLOGÍA.....	18
3.1. Enfoque, alcance y método de la investigación	18
3.2. Fases de la investigación.....	19
3.2.1. Fase 1. Caracterización de los impactos ambientales de las aguas residuales domésticas e industriales.....	19
3.2.2. Fase 2. Microorganismos de montaña para la remoción de cargas contaminantes de aguas residuales domésticas e industriales.....	21
3.2.3. Fase 3. Identificación de condiciones óptimas ambientales para el uso de microorganismos de montaña para el tratamiento de aguas residuales. ..	24
CAPITULO 4. RESULTADOS	25
4.1 Caracterización de los impactos ambientales de las aguas residuales domésticas e industriales.....	25
4.1.1 Impactos ambientales de aguas residuales domésticas e industriales .	25
4.1.2. Indicadores de cargas contaminantes.....	30
4.1.3. Afectaciones de las cargas contaminantes en el agua y biodiversidad.	34
4.2. Efectividad de los microorganismos de montaña en remoción de cargas contaminantes de aguas residuales domésticas e industriales	35
4.2.1. Estudios sobre uso de microorganismos de montaña para remover contaminantes de aguas residuales domésticas e industriales.....	36
4.2.2. Efectividad de remoción de cargas contaminantes de los microorganismos de montaña en aguas residuales.....	40
4.3. Condiciones óptimas ambientales para uso de microorganismos de montaña en tratamiento de aguas residuales	43
4.3.1. Estudios sobre condiciones ambientales para experimentos con microorganismos de montaña para la remoción de cargas contaminantes. ..	43
4.3.2. Análisis de condiciones para experimentos de microorganismos de montaña.	44
CONCLUSIONES.....	46
RECOMENDACIONES	48
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	49

Lista de tablas

	Pág.
Tabla 1. Normatividad ambiental relacionada con aguas residuales.....	17
Tabla 2. Impactos ambientales de aguas residuales domésticas e industriales....	19
Tabla 3. Preguntas para mapeo sistemático de impactos ambientales.....	20
Tabla 4. Criterios de inclusión y exclusión de publicaciones sobre impactos de las aguas residuales domésticas e industriales	20
Tabla 5. Palabras clave para definir candidatura a relevancia de los estudios.	21
Tabla 6. Microorganismos de montaña para la remoción de cargas contaminantes de aguas residuales domésticas e industriales.	21
Tabla 7. Preguntas para mapeo sistemático biorremediación de ARD y ARI con microorganismos de montaña	22
Tabla 8. Criterios de inclusión y exclusión de publicaciones sobre impactos de las aguas residuales domésticas e industriales	23
Tabla 9. Palabras clave para definir candidatura a relevancia de los estudios	23
Tabla 10. Condiciones óptimas ambientales para el uso de microorganismos de montaña en el tratamiento de aguas residuales domésticas e industriales.....	24
Tabla 11. Hallazgos sobre impactos ambientales	29
Tabla 12. Indicadores de DBO ₅ y DQO según tipo de agua residual	32
Tabla 13. Indicadores de metales pesados según tipo de agua residual	33
Tabla 14. Indicadores de sólidos suspendidos según tipo de agua residual.....	33
Tabla 15. Efectividad de los microorganismos de montaña en remoción de cargas contaminantes	37
Tabla 16. Efectividad de consorcios de bacterias en ARD	40
Tabla 17. Efectividad de consorcios de bacterias en ARI	40
Tabla 18. Efectividad de consorcios de hongos en ARD.....	41
Tabla 19. Efectividad de consorcios de hongos en ARI	41
Tabla 20. Condiciones ambientales para experimentos con bacterias en ARD	43
Tabla 21. Condiciones ambientales para experimentos con bacterias en ARI.....	43
Tabla 22. Condiciones ambientales para experimentos con hongos en ARD.....	44
Tabla 23. Condiciones ambientales para experimentos con hongos en ARI	44

Lista de figuras

	Pág.
Figura 1. Distribución de artículos sobre impactos ambientales de las aguas residuales domésticas e industriales.....	25
Figura 2. Distribución de artículos de impactos ambientales por base de datos ...	26
Figura 3. Distribución de los artículos relevantes según bases de datos	26
Figura 4. Distribución de los artículos relevantes según año de publicación	27
Figura 5. Distribución de los artículos según país de origen	27
Figura 6. Publicaciones según tipo impacto ambiental en aguas residuales domésticas	28
Figura 7. Publicaciones según tipo impacto ambiental en aguas residuales industriales	28
Figura 8. Distribución de las publicaciones según indicador de contaminación	31
Figura 9. Artículos de remoción de contaminantes con microorganismos de montaña	35
Figura 10. Número anual de artículos sobre remoción de cargas contaminantes con microorganismos de montaña	35
Figura 11. Países de origen de publicación de artículos sobre remoción de cargas contaminantes con microorganismos de montaña	36

Resumen

Este documento describe los resultados de una investigación cuyo objetivo fue determinar el estado actual del uso de microorganismos de montaña como alternativa biotecnológica para la remoción de cargas contaminantes en aguas residuales domésticas e industriales. Es un trabajo en donde predomina la metodología cuantitativa apoyado en el método de mapeo sistemático de estudios a nivel nacional e internacional sobre el uso de microorganismos de montaña en el tratamiento de aguas residuales. Los resultados permiten señalar en primer lugar que los tipos de agua residuales mencionados modifican las propiedades físico-químicas de ríos y lagos receptores, afectando la biota acuática y la salud de las comunidades humanas. Además, con base en el mapeo sistemático, se encontró que existen alternativas biológicas como algunas bacterias y hongos de montaña que presentan una alta capacidad para remover DBO₅, DQO, SST y metales pesados, siendo los más eficientes *Pseudomonas sp*, *Bacillus sp* y *Stroptomyces*, *Aspergillus sp*, *Penicillium sp* y *Pleorotus ostreatus*. Finalmente, en razón a la búsqueda de alternativas de biorremediación de tales aguas residuales, el mapeo de datos permite señalar la viabilidad de incorporar este tipo de microorganismos debido a que las condiciones ambientales en las que se realizaron los experimentos se adaptan a los contextos de Cauca y Popayán.

Palabras clave: aguas residuales domésticas, aguas residuales industriales, tratamiento de aguas residuales, microorganismos de montaña, biorremediación.

Abstract

This document describes the results of an investigation whose objective was to determine the current state of the use of mountain microorganisms as a biotechnological alternative for the removal of polluting loads in domestic and industrial wastewater. It is a work where the quantitative methodology predominates, supported by the method of systematic mapping of studies at the national and international level on the use of mountain microorganisms in the treatment of wastewater. The results allow us to point out in the first place that the types of wastewater mentioned modify the physical-chemical properties of rivers and receiving lakes, affecting the aquatic biota and the health of human communities. In addition, based on systematic mapping, it was found that there are biological alternatives such as some mountain bacteria and fungi that have a high capacity to remove BOD₅, COD, TSS and heavy metals, the most efficient being *Pseudomonas sp*, *Bacillus sp* and *Stroptomyces*, *Aspergillus sp*, *Penicillium sp* and *Pleorotus ostreatus*. Finally, due to the search for bioremediation alternatives for such wastewater, data mapping allows us to point out the feasibility of incorporating this type of microorganisms because the environmental conditions in which the experiments were carried out are adapted to the contexts of Cauca. and Popayán.

Keywords: domestic wastewater, industrial wastewater, wastewater treatment, mountain microorganisms, bioremediation.

INTRODUCCIÓN

Las aguas residuales domésticas (ARD) y las industriales (ARI) son producto de las actividades humanas que desde los hogares y las factorías hacen uso del recurso hídrico y que terminan modificando las propiedades físico-químicas de su estado natural, generando una problemática ambiental cuya gravedad depende de las cargas contaminantes [1].

Sin embargo, entre las diferentes formas de gestión de este tipo de aguas para tratarlas y devolverlas al medio ambiente en condiciones iniciales o mejoradas, se vienen implementando alternativas como las biotecnológicas, tales como bacterias y hongos que remueven las cargas contaminantes gracias a sus propiedades metabólicas o la acción degradante, las cuales han arrojado resultados favorables para la remediación [2].

Con base en lo anterior, este documento describe los resultados de una investigación cuyo objetivo fue determinar el estado actual del uso de microorganismos de montaña como alternativa biotecnológica para la remoción de cargas contaminantes en aguas residuales domésticas e industriales.

Para ello, se agotaron tres fases, siendo la primera la caracterización de impactos ambientales que generan este tipo de aguas, la segunda que consistió en un análisis de resultados de investigaciones sobre la eficiencia de microorganismos de montaña en la remoción de cargas contaminantes y la tercera, la identificación de condiciones ambientales para la implementación de experimentos con tales alternativas biológicas. La búsqueda de estudios se realizó mediante el método de mapeo sistemático en bases de datos como Dialnet, Redalyc, Scielo, ScienceDirect, Scopus e IEEE, además de algunos repositorios digitales de trabajos de grado.

Los resultados evidencian impactos de las ARD y ARI sobre los cuerpos de agua en tanto modifican las propiedades físico-químicas, generan toxicidad, alteran los ecosistemas acuáticos y terrestres de las zonas aledañas a ríos y lagos, así como problemas en la salud de la fauna y las comunidades humanas, entre otros [3] [4].

En cuanto a los estudios sobre biorremediación con microorganismos de montaña, se identificaron bacterias y hongos disponibles en suelos, tales como *Pseudomonas sp*, *Bacillus sp*, *Sterptomyces* y otras, así como hongos de las especies *Aspergillus sp*, *Penicillium sp* y *Pleorotus ostreatus*, entre otros que por sus capacidades de metabolismo y enzimas remueven las cargas contaminantes.

Así mismo, se encontró que son microorganismos adaptables a las condiciones ambientales del Cauca y Popayán, pues de acuerdo con los estudios descritos, los experimentos se realizaron en condiciones climáticas, de temperatura y condiciones de las aguas residuales similares a las de la región y la ciudad. El estudio concluye que los microorganismos de montaña representan una alternativa de remediación de aguas residuales cuya eficiencia las hace viables para contribuir al saneamiento ambiental.

CAPITULO 1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1. Descripción del problema

El agua constituye el 70% de la superficie terrestre y es uno de los recursos más esenciales para la vida y para el aprovechamiento en la industria, la agricultura y las mismas necesidades domésticas, todas responsables de descargas de materiales contaminantes [1]. Estos materiales son compuestos orgánicos como residuos de alimentos, grasas y otros, así como inorgánicos tales como los fosfatos, compuestos de cloro, metales pesados, nutrientes y polutantes prioritarios [5] [6] a los que suman microorganismos como hongos y bacterias (coliformes fecales) que afectan la biodiversidad y deterioran la salud pública [7] [8].

Se trata de un problema grave, máxime cuando en 2022 a nivel mundial el 80% de las aguas residuales vertidas no tenían tratamiento adecuado [9], mientras que en Colombia, de 1.72 billones de m³ que se generan al año cerca del 92% presenta la misma condición [10], y si se revisan algunos datos para Popayán, prácticamente todos los 102 mil m³ diarios desemboca en el río Cauca sin tratarse [11].

Sin embargo, para enfrentar este problema, además de los métodos físico-químicos, se han explorado alternativas biológicas mediante el uso de microorganismos de montaña (MM) como opción para la remoción de cargas contaminantes ya que desarrollan coometabolismos [12] y capacidades para neutralizar sustancias tóxicas [13] [14] a través de la quelación y producción de enzimas como lignina peroxidasa [15], lo que los convierte en biotecnologías viables de usarse debido al bajo costo que representan, pues se encuentran bajo la rizosfera de bosques primarios o de poca interacción [16] [17], siendo los más representativos *Rhodopseudomonas spp*, *Lactobacillus spp*, *Sacharomyces spp*, actinomicetos y hongos fermentadores, que se relacionan de forma simbiótica [18] [19] [20]. Ante ello, se plantea como pregunta de investigación la siguiente.

1.2. Formulación del problema

¿Cuál es el estado actual del uso de microorganismos de montaña como alternativa biotecnológica para la remoción de cargas contaminantes en aguas residuales domésticas e industriales?

1.3. Objetivos

1.3.1. Objetivo general

Determinar el estado actual del uso de microorganismos de montaña como alternativa biotecnológica para la remoción de cargas contaminantes en aguas residuales domésticas e industriales

1.3.2. Objetivos específicos

- Caracterizar los impactos ambientales de las cargas contaminantes a raíz de los vertimientos de aguas residuales domésticas e industriales en los contextos nacional e internacional.
- Analizar los principales resultados de investigaciones internacionales y nacionales sobre la eficiencia del uso de microorganismos de montaña como alternativa biotecnológica para la remoción de cargas contaminantes de aguas residuales domésticas e industriales.
- Identificar las condiciones óptimas ambientales para el uso de microorganismos de montaña como alternativa biotecnológica en el tratamiento de aguas residuales domésticas e industriales.

1.4. Justificación

Al hacerse referencia a los microorganismos de montaña como una alternativa biotecnológica para la remoción de cargas contaminantes en aguas residuales domésticas industriales, esta monografía se justifica desde cuatro puntos de vista fundamentales.

En lo social, puesto que difunde hallazgos de procesos de implementación de alternativas de tratamientos de aguas residuales que pueden aportar a mejorar la calidad de vida de las comunidades, sobre todo aquellas que dependen de los cuerpos de agua que han sido objeto de contaminación. Al respecto, Romero y Vargas [19], plantean que esta biotecnología es una alternativa de remediación de AR que puede vincular a la misma población mediante el cultivo, conservación y obtención de microorganismos que redundarán en mecanismos de intervención efectivos para el mejoramiento del saneamiento básico.

Frente a lo económico, pues es un estudio que ofrece información descriptiva que demuestra la efectividad de una tecnología que puede considerarse bajo costo susceptible de implementarse, sobre todo en las industrias para efectos de realizar vertimientos con bajos niveles de cargas contaminantes a los diferentes cuerpos de agua [21].

También en lo ambiental, ya que presente información sobre una biotecnología que puede implementarse para procesos de remediación de aguas residuales, los cuales pueden desarrollarse a partir de un mayor grado de compatibilidad con el medio ambiente. En ese sentido, los microorganismos de montaña ofrecen la posibilidad de convertirse en una alternativa de uso que podría generar conciencia sobre el cuidado de los bosques primarios que son los ecosistemas en donde se desarrollan [22].

Y finalmente, es pertinente desde lo académico, porque a través de este estudio se aportan elementos descriptivos con los cuales se darán a conocer la efectividad de los microorganismos de montaña para la remoción de cargas contaminantes, siendo un trabajo que puede retomarse en futuras investigaciones para casos aplicados.

CAPITULO 2. BASES TEORICAS

Las aguas residuales, tanto domésticas como industriales son el resultado de actividades antrópicas que impactan negativamente el medio ambiente, las cuales al tratarse de manera adecuada pueden verse con mínimas cargas contaminantes y en algunos casos con las condiciones naturales iniciales [9]. Sin embargo, cuando no se implementan las acciones necesarias, los efectos nocivos pueden resultar demasiado agresivos sobre los cuerpos de agua, la flora y fauna y la salud de las personas, para lo cual se debe intervenir con tecnologías para la remediación ambiental, entre las que pueden ser una alternativa los microorganismos de montaña [23]. En ese sentido, inicialmente se describen algunos antecedentes aplicados en los contextos internacional y nacional que evidencian la efectividad de esta biotecnología, luego se definen las aguas residuales y la opción biológica para remediación de AR y finalmente se presentan algunos aspectos de tipo legal vigentes en Colombia.

2.1. Antecedentes

A nivel internacional puede destacarse el trabajo de investigación de Salgado [20] denominado “Bacterias rizosféricas con potencialidades fisiológicas para eliminar materia orgánica de aguas residuales”, cuyo objetivo fue analizar las capacidades de estas bacterias para degradar materiales orgánicos suspendidos en AR para implementar mecanismos de remoción de materia orgánica. El estudio consistió en aislar 58 cepas de bacterias rizosféricas obtenidas de plantas hidrófitas de *Typha dominguensis*; luego se analizó la capacidad de asimilación de materia orgánica y se evaluó la capacidad proteolítica, básicamente la producción de caseína y gelatina. Los resultados dan cuenta de 21 cepas (36 % de las cepas aisladas) que mostraron resultados favorables en la asimilación de diferentes fuentes de carbono e hidrolizar proteínas y lípidos. Así mismo, 13 aislados seleccionados mostraron niveles de demanda química de oxígeno –DQO- por encima de 50% en un tiempo de 72 horas, resultado que se comportó de manera semejante al emplear mezclas de estas cepas. La principal conclusión es que las bacterias presentan una gran versatilidad al interactuar con los materiales orgánicos como carbohidratos, proteínas y lípidos suspendidos en las AR, de las cuales 13 cepas pueden ser empleadas de manera independiente o en consorcios bacterianos para la disminución de DQO de ARD.

Otro antecedente relevante es el estudio de Romero y Vargas [19] titulado “Uso de microorganismos eficientes para tratar aguas contaminadas”, el cual buscó determinar la eficacia de MM como alternativa para mejorar la calidad de las aguas. Para ello, se identificaron nueve puntos en los cuales el agua de un río cambia sus características como producto de la retención en canales donde sufre cargas contaminantes. Se tomaron muestras previas; luego se hizo la aplicación de la solución en cada punto de retención y 48 horas después se tomaron muestras que evidencian que los coliformes fecales, después de incorporado el producto, disminuyeron en nueve de los 10 puntos de muestreo (con excepción del 9 por haber sido aplicado 2 km antes del punto de monitoreo), desde 1×10^6 NMP/100 mL hasta 2 NMP/100 mL.

En cuanto a los puntos de muestreo 4, 5 y 8 se obtuvieron concentraciones de OD inferiores a 2 mg/L, valores considerados bajos; la DBO₅ como la DQO mostraron valores que indican, hasta cierto punto, la dependencia que existe entre el OD y la degradación de la materia orgánica presente en el agua. En el punto 2 no se presenció aumento del OD, alcanzando en todos los muestreos concentraciones de 1 mg/L, cabe destacar que, según el estudio, en ese punto el río recibe un mayor vertimiento de líquidos debido a la alta densidad de población que hace que la demanda de oxígeno del componente orgánico presentara valores hasta de 63 mg/L en términos de DQO. A manera de conclusión, el estudio permite inferir que el uso de MM es una alternativa eficiente en la remoción de los distintos parámetros estudiados, pues a las 24 horas de aplicado el compuesto, disminuyó la presencia de contaminantes.

2.2. Marco conceptual

Las aguas residuales (AR), a las que pertenecen las domésticas (ARD) e industriales (ARI), son aquellas que han sufrido alteraciones en sus características físicas, químicas y biológicas a causa de las actividades antrópicas [24]. En el caso de las primeras, son las que vierten los hogares después de preparar alimentos, la realización de aseo de las viviendas y las necesidades fisiológicas, las cuales llevan consigo cargas orgánicas como vegetales, residuos de jabones, heces, orina y otras que afectan las condiciones normales de este recurso [25] [26]. En cuanto a las industriales, se caracterizan por los altos contenidos de proteínas como las albúminas, globulinas y enzimas utilizadas en la transformación de materias primas, así como carbohidratos, sacarosa, celulosa, almidones y metales pesados que representan formas de contaminación más grave [27] [28]. Además, ambos tipos de aguas contienen altas concentraciones de microorganismos siendo los más peligrosos para la salud humana y para la biodiversidad los patógenos, tales como las bacterias, virus y hongos [29].

Por su parte, los microorganismos de montaña, son cultivos de bacterias, hongos y levaduras que son empleados como inoculantes microbianos, que al interactuar presentan sinergias de coometabolismo [12] útiles en procesos de biorremediación por fermentación de materia orgánica, además de contar con la capacidad para neutralizar sustancias tóxicas y que expelen malos olores [13] [30] [31]. Este tipo de organismos, presentan propiedades desionizantes para disminuir la toxicidad de sustancias peligrosas, realizan quelación de metales pesados y producen algunas enzimas como lignina peroxidasa que cataliza la oxidación de materia orgánica [15] [32]. Son microorganismos que se encuentran bajo la rizosfera de bosques primarios o de poca interacción, susceptibles de aprovechamiento como insumo microbiano para tratar aguas residuales [16] [33] [34], entre los cuales están *Rhodopseudomonas spp*, *Lactobacillus spp*, *Sacharomyces spp*, actinomicetos y hongos fermentadores, que se relacionan de forma simbiótica [18].

Para efectos de dar cuenta de los microorganismos y de la eficiencia en la remoción de cargas contaminantes, se implementa el método de mapeo sistemático, consistente en la búsqueda de estudios acerca de la implementación de bacterias y hongos de montaña, siendo una perspectiva que permite generar una aproximación al estado del arte sobre estas alternativas de biorremediación de ARD y ARI, las cuales pueden juzgarse para efectos de su implementación en el contexto caucano y de Popayán.

2.3. Marco legal

Las aguas residuales como resultado de las actividades antrópicas que afectan el medio ambiente hacen parte de la normatividad nacional representada en leyes, decretos y resoluciones como se señalan en la tabla 1.

Tabla 1. Normatividad ambiental relacionada con aguas residuales

Norma	Detalle
Constitución Política de Colombia [35]	<ul style="list-style-type: none"> • Artículo 79, sobre el derecho que tienen todas las personas a disfrutar de un ambiente sano, por lo que el mandato constitucional está en que las autoridades nacionales deben garantizar la participación de la comunidad en las decisiones que puedan afectarlo. • Artículo 80, que obliga al Estado como responsable de la planificación tendiente al manejo y aprovechamiento y las acciones para garantizar el desarrollo sostenible, restauración o sustitución.
Ley 99 de 1993 [36]	<ul style="list-style-type: none"> • Sobre la regulación de las condiciones generales en cuanto al saneamiento del ambiente, así como aquellas que permiten el uso, manejo, aprovechamiento, conservación, restauración y recuperación de los recursos naturales en condiciones favorables que procuren el desarrollo sostenible. • Establece los mecanismos normativos para el reordenamiento del Sistema Nacional Ambiental (SINA) y ubica al Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible (MADS) como la máxima autoridad nacional formuladora de la política ambiental en el país, y las Corporaciones Autónomas Regionales a nivel regional [37]
Decreto 1640 de 2012 [23]	<ul style="list-style-type: none"> • Establece los lineamientos para el diseño e implementación de los planes de ordenamiento y manejo de cuencas hidrográficas (POMCA). • A partir de este también se derivan los planes de ordenamiento del recurso hídrico (PORH), el plan de ordenamiento forestal (POF), además de planes de manejo (PM) de manglares, páramos, humedales y otros ecosistemas importantes en el territorio. • Lineamientos para los planes de ordenamiento territorial (POT) y planes de saneamiento y manejo de vertimientos (PSMV) [37] [38].
Decreto 3930 de 2010 de la Gobernación del Cauca	<ul style="list-style-type: none"> • Buenas prácticas ambientales en los servicios de aseo, acueducto y alcantarillado; ejecución de proyectos relacionados con el Plan Departamental de Aguas (PDA) y lo establecido en resoluciones que reglamentan los procedimientos para los vertimientos de acuerdo con el PORH [39] [40].
Resolución 631 de 2015 [41]	<ul style="list-style-type: none"> • Establece los parámetros relacionados con los vertimientos en cuerpos superficiales de agua, además de los aspectos que tienen relación con los sistemas de alcantarillado público.

Fuente: elaboración propia

CAPITULO 3. METODOLOGÍA

3.1. Enfoque, alcance y método de la investigación

Los impactos de las aguas residuales domésticas (ARD) e industriales (ARI) y la efectividad de los microorganismos de montaña como alternativa de biorremediación pueden comprenderse a partir de indicadores numéricos, los cuales corresponden con el enfoque cuantitativo, caracterizado por el uso de información que permite describir un fenómeno o realidad conforme a la objetividad que implican los procesos experimentales que los generan [42].

Además, se trata de un estudio apoyado en la revisión de publicaciones, de modo que su alcance es descriptivo sobre los impactos ambientales de las aguas residuales (AR) y de la efectividad de los microorganismos de montaña en la remoción de carga contaminante. Esto significa que no se implementan actividades tendientes a modificar el problema o fenómeno observado [43] de los impactos ambientales negativos de las AR, sino a describir los hallazgos a partir de la realización de un mapeo sistemático, tanto de impactos como de efectividad de la alternativa biotecnológica mencionada.

En cuanto a la implementación del método de mapeo sistemático, se sigue la propuesta de Petersen [44], consistente en:

1. Formulación de preguntas de investigación: es decir, los interrogantes que permiten delimitar el tipo de artículos y el tema sobre el que tratan, así como la frecuencia de publicación y el origen de los trabajos.
2. Planteamiento de los objetivos que se persiguen: que son los propósitos que persiguen las preguntas orientadoras para la búsqueda de trabajos.
3. Definición de criterios de inclusión y exclusión: son los parámetros que permiten delimitar la búsqueda de las publicaciones, sea en cuanto a tiempo, tipo de artículos, año de publicación, temáticas o variables sobre los que se enfoca, el idioma, entre otros.
4. Búsqueda de estudios o publicaciones: es el proceso de implementación de los criterios de inclusión y exclusión en los motores de búsqueda de bases de datos para identificar los artículos.
5. Revisión de los estudios encontrados: es una primera aproximación de trabajos que cumplen con los criterios de búsqueda, los cuales se seleccionan a partir de las palabras clave.
6. Determinación de la relevancia de las publicaciones: se refiere al filtro de los trabajos según los criterios de inclusión y exclusión y que cumplan en este caso con indicadores de impactos para el primer objetivo específico de la investigación y de eficiencia de remoción de cargas contaminantes para el segundo.
7. Extracción de información de publicaciones relevantes: síntesis de datos para dar respuesta a las preguntas orientadoras.
8. Análisis de la información: es la discusión de los datos sintetizados.

De acuerdo con estos lineamientos, las fases de la investigación y las actividades son las que se describen a continuación:

3.2. Fases de la investigación

3.2.1. Fase 1. Caracterización de los impactos ambientales de las aguas residuales domésticas e industriales.

Como se indica en la tabla 2, las actividades de esta fase están orientadas a la búsqueda de antecedentes internacionales y nacionales cuya orientación permite describir los impactos ambientales generados por las aguas residuales domésticas e industriales sobre los cuerpos de agua receptores.

De acuerdo con cada actividad, se describen los indicadores con los cuales se logra comprender las formas en que este tipo de aguas impactan en el recurso hídrico. Se implementó un mapeo sistemático utilizando palabras clave como aguas residuales, aguas residuales domésticas e industriales, impactos ambientales de aguas residuales y cargas contaminantes, DBO₅, DQO, SST y metales pesados.

Tabla 2. Impactos ambientales de aguas residuales domésticas e industriales.

Actividad	Indicadores
Búsqueda de referencias bibliográficas sobre problemas ambientales de las ARD y ARI.	<ul style="list-style-type: none"> • Artículos internacionales y nacionales sobre impactos de ARD. • Artículos internacionales y nacionales sobre impactos de ARI.
Síntesis de indicadores sobre cargas contaminantes de las ARD y ARI	<ul style="list-style-type: none"> • Indicadores de demanda bioquímica de oxígeno (DBO₅). • Indicadores de demanda química de oxígeno (DQO). • Indicadores de otros parámetros de contaminación de agua (metales pesados). • Indicadores de afectaciones de las cargas contaminantes sobre el agua y biodiversidad acuática.
Análisis comparativo de los impactos ambientales según tipo de carga contaminante.	<ul style="list-style-type: none"> • Análisis de indicadores de demanda bioquímica de oxígeno (DBO₅) y de demanda química de oxígeno (DQO). • Análisis de indicadores de otros parámetros de contaminación de agua (metales pesados). • Análisis de indicadores de afectaciones de las cargas contaminantes sobre el agua y biodiversidad acuática.

Fuente: elaboración propia

Para dar cuenta de los indicadores de las actividades de la tabla 2, se implementa el método de mapeo sistemático, que conforme a la propuesta de Petersen [44], se basa en preguntas orientadoras con las cuales es posible hacer una primera delimitación de la búsqueda de estudios que describan los impactos. Estas preguntas son las que se muestran en la tabla 3.

Tabla 3. Preguntas para mapeo sistemático de impactos ambientales

Preguntas	Objetivos
1. ¿Qué estudios existen acerca de los impactos ambientales generados por las aguas residuales domésticas e industriales?	Identificar estudios publicados sobre impactos ambientales generados por las aguas residuales domésticas e industriales.
2. ¿Cuál es la periodicidad de publicación de estos estudios durante el periodo 2010 - 2022?	Determinar la periodicidad de estudios publicados sobre impactos ambientales generados por las aguas residuales domésticas e industriales.
3. ¿En qué países se han realizado los estudios relacionados con impactos ambientales de las aguas residuales domésticas e industriales?	Identificar el origen según país de los estudios publicados sobre impactos ambientales generados por las aguas residuales domésticas e industriales.
4. ¿Qué impactos ambientales describen los estudios relevantes sobre impactos ambientales de las aguas residuales domésticas e industriales?	Describir los tipos de cargas contaminantes de los estudios publicados sobre impactos ambientales generados por las aguas residuales domésticas e industriales.
5. ¿Qué indicadores de contaminación presentan los estudios relevantes sobre impactos ambientales de las aguas residuales domésticas e industriales?	Describir indicadores de cargas contaminantes de los estudios publicados sobre impactos ambientales de las aguas residuales domésticas e industriales.

Fuente: elaboración propia

Definidas las preguntas anteriores, la búsqueda se ciñe a criterios de inclusión y exclusión con los que se delimita de una mejor manera, sea en cuanto a idiomas, año de publicación, tipo de estudios, entre otros aspectos, como se señalan en la tabla 4.

Tabla 4. Criterios de inclusión y exclusión de publicaciones sobre impactos de las aguas residuales domésticas e industriales

Inclusión	Exclusión
Artículos en español e inglés de los impactos ambientales generados de las aguas residuales domésticas e industriales.	artículos sobre impactos ambientales de las aguas residuales domésticas e industriales en otros idiomas.
Artículos publicaciones durante el periodo 2010 - 2022.	Publicaciones anteriores a 2010
Artículos de resultados de investigaciones aplicadas que describen los impactos ambientales generados por las aguas residuales domésticas e industriales.	Artículos de revisión u otros que no sean de resultados de investigaciones aplicadas.
Artículos con disponibilidad de resumen y/o abstract.	Estudios sin resumen y/o abstract o sin acceso a estos.
Estudios con indicadores de cargas contaminantes de las aguas residuales domésticas e industriales.	Estudios sin indicadores de cargas contaminantes de las aguas residuales domésticas e industriales..

Fuente: elaboración propia

Luego, para efectos de una identificación más específica de los estudios, se tienen en cuenta las palabras clave que se presentan en la tabla 5.

Tabla 5. Palabras clave para definir candidatura a relevancia de los estudios.

Palabras clave	Keywords
Aguas residuales domésticas	Domestic sewage
Aguas residuales industriales	Industrial wastewater
Impactos ambientales	Environmental impacts
DBO ₅ ; DQO	BOD ₅ ;OD
Sólidos suspendidos	Suspended solids
Metales pesados	Heavy metals

Fuente: elaboración propia

3.2.2. Fase 2. Microorganismos de montaña para la remoción de cargas contaminantes de aguas residuales domésticas e industriales.

Para el desarrollo de esta fase se realizaron tras actividades, consistentes en la búsqueda de antecedentes investigativos internacionales, nacionales y regionales sobre microorganismos de montaña para la remoción de cargas contaminantes en ARD y ARI. Posteriormente se sintetizaron los hallazgos relacionados con la eficiencia de tales alternativas y finalmente el análisis comparativo de los mismos.

Para ello, se realizó una búsqueda de información acerca de la efectividad de los MM en la remoción de cargas contaminantes, tales como de DBO₅, DQO, sólidos suspendidos y metales pesados que están presentes en los dos tipos de aguas residuales mencionadas. Las fases con sus respectivas actividades son las que se describen en la tabla 6.

Tabla 6. Microorganismos de montaña para la remoción de cargas contaminantes de aguas residuales domésticas e industriales.

Actividad	Indicadores
Búsqueda de antecedentes investigativos internacionales, nacionales y regionales sobre microorganismos de montaña para la remoción de cargas contaminantes en ARD y ARI	<ul style="list-style-type: none"> • Artículos de investigación internacionales sobre diferentes tipos de microorganismos de montaña para la remoción de cargas contaminantes. • Artículos de investigación nacionales sobre diferentes tipos de microorganismos de montaña para la remoción de cargas contaminantes
Síntesis de principales resultados sobre efectividad de diferentes tipos de microorganismos de montaña para la remoción de cargas contaminantes en ARD y ARI.	<ul style="list-style-type: none"> • Indicadores descriptivos de niveles de efectividad de remoción de cargas contaminantes de los microorganismos de montaña en ARD (reducción de DBO₅ y DQO, SST y metales pesados,) • Indicadores descriptivos de niveles de efectividad de remoción de cargas contaminantes de los microorganismos de montaña en ARI (reducción de DBO₅ y DQO, metales pesados, materia orgánica, otros).
Análisis comparativo de los resultados de la efectividad de los diferentes tipos de microorganismos	<ul style="list-style-type: none"> • Datos comparativos de efectividad de los diferentes microorganismos de montaña para reducir la DBO₅ en ARD y ARI.

de montaña para la remoción de cargas contaminantes	<ul style="list-style-type: none"> • Datos comparativos de efectividad de los diferentes microorganismos de montaña para reducir la DQO en ARD y ARI. • Datos comparativos de efectividad de los diferentes microorganismos de montaña para reducir carga de metales pesados en ARD y ARI. • Datos comparativos de efectividad de los diferentes microorganismos de montaña para reducir materia orgánica y suspensiones en ARD y ARI.
---	---

Fuente: elaboración propia

Al igual que en la primera fase, el desarrollo de las actividades de la segunda se basa en los planteamientos de Petersen [44] para un mapeo sistemático sobre estudios en materia de remoción de cargas contaminantes a partir del uso de MM. Para ello, en la tabla 7 se describen las preguntas orientadoras.

Tabla 7. Preguntas para mapeo sistemático biorremediación de ARD y ARI con microorganismos de montaña

Preguntas	Objetivos
1. ¿Qué estudios existen acerca de biorremediación de aguas residuales domésticas e industriales mediante el uso de microorganismos de montaña?	Identificar estudios publicados sobre biorremediación de aguas residuales domésticas e industriales mediante el uso de microorganismos de montaña.
2. ¿Cuál es la frecuencia de publicación de estos estudios durante el periodo 2010 - 2022?	Determinar la frecuencia de estudios publicados sobre biorremediación de aguas residuales domésticas e industriales mediante el uso de microorganismos de montaña.
3. ¿En qué países se han realizado los estudios relacionados con biorremediación de aguas residuales domésticas e industriales mediante el uso de microorganismos de montaña?	Identificar el origen según país de los estudios publicados sobre biorremediación de aguas residuales domésticas e industriales mediante el uso de microorganismos de montaña.
4. ¿Qué especies de microorganismos de montaña se han utilizado para la biorremediación de aguas residuales domésticas e industriales?	Describir especies de microorganismos de montaña se han utilizado para la biorremediación de aguas residuales domésticas e industriales.
5. ¿Cuál es la eficiencia de los microorganismos de montaña en la remoción de cargas contaminantes de las aguas residuales domésticas e industriales?	Describir la eficiencia de los microorganismos de montaña en la remoción de cargas contaminantes de aguas residuales domésticas e industriales.

Fuente: elaboración propia

En cuanto a los criterios de inclusión y exclusión, la búsqueda se basó en los que se presentan en la tabla 8.

Tabla 8. Criterios de inclusión y exclusión de publicaciones sobre impactos de las aguas residuales domésticas e industriales

Inclusión	Exclusión
Artículos en español e inglés sobre biorremediación de aguas residuales domésticas e industriales mediante el uso de microorganismos de montaña.	Artículos que no incluyan biorremediación de aguas residuales domésticas e industriales mediante microorganismos de montaña.
Artículos publicados entre 2010 - 2022.	Publicaciones anteriores a 2010
Artículos de resultados de investigaciones aplicadas sobre aguas residuales domésticas e industriales.	Artículos de revisión u otros que no sean de resultados de investigaciones aplicadas
Artículos con resumen y/o abstract.	Estudios sin resumen y/o abstract
Estudios con indicadores de remoción de cargas contaminantes a raíz del uso de microorganismos de montaña.	Estudios sin indicadores de remoción de cargas contaminantes a raíz del uso de microorganismos de montaña.

Fuente: elaboración propia

Además, en las bases de datos se digitaron palabras clave como las de la tabla 9 para una mayor precisión de la búsqueda de artículos relevantes. Para ello fue necesario definir qué son los MM y según Castro [45], son bacterias, hongos, micorrizas, levaduras y otros que se desarrollan en la rizosfera de los suelos de bosques, matorrales y lugares con abundante carga de materia orgánica (hojas, madera, raíces, frutos) que se descompone por la acción de tales organismos.

Tabla 9. Palabras clave para definir candidatura a relevancia de los estudios

Palabras clave	Keywords
Biorremediación	Bioremediation
Microorganismos de montaña	Mountain microorganisms
Aguas residuales domésticas	Domestic sewage
Aguas residuales industriales	Industrial wastewater
Micorrizas	Mycorrhizae
Hongos de montaña	Mountain mushrooms
Bacterias de montaña	Mountain bacteria

Fuente: elaboración propia

3.2.3. Fase 3. Identificación de condiciones óptimas ambientales para el uso de microorganismos de montaña para el tratamiento de aguas residuales.

A partir de los estudios aplicados sobre uso de microorganismos de montaña se analizan las condiciones en las que su efectividad para la remoción de cargas contaminantes de las AR, de tal manera que se ofrece información para proyectos de biorremediación futuros, especialmente para el contexto de Popayán. Conforme a esto, las actividades y resultados de esta fase son los que se resumen en la tabla 10.

Tabla 10. Condiciones óptimas ambientales para el uso de microorganismos de montaña en el tratamiento de aguas residuales domésticas e industriales.

Actividad	Indicadores
Revisión de las investigaciones internacionales y nacionales previas para identificar las condiciones ambientales requeridas para la realización de los experimentos con los tipos de microorganismos de montaña más eficientes	<ul style="list-style-type: none"> • Artículos de investigación internacionales que describan condiciones ambientales para experimentos con microorganismos de montaña para la remoción de cargas contaminantes. • Artículos de investigación nacionales que describan condiciones ambientales para experimentos con microorganismos de montaña para la remoción de cargas contaminantes.
Descripción de las condiciones ambientales óptimas para la realización de los experimentos que muestren mayores niveles de eficiencia en la remoción de cargas contaminantes	<ul style="list-style-type: none"> • Listado descriptivo de condiciones ambientales óptimas según cada tipo de microorganismo de montaña.
Análisis de las condiciones óptimas para la realización de los experimentos con microorganismos de montaña más eficientes en remoción de cargas contaminantes	<ul style="list-style-type: none"> • Datos descriptivos que permitan conocer las condiciones óptimas para experimentos con microorganismos de montaña.

Fuente: elaboración propia

A partir de la implementación de las anteriores fases, los resultados de la investigación son los que se describen en los siguientes apartados.

CAPITULO 4. RESULTADOS

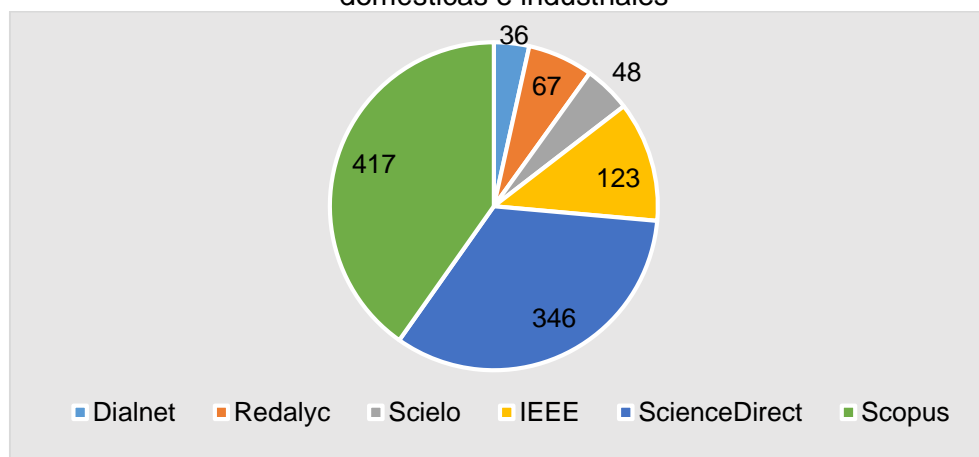
4.1 Caracterización de los impactos ambientales de las aguas residuales domésticas e industriales

Las aguas residuales, tanto domésticas como industriales generan múltiples impactos negativos sobre el medio ambiente, siendo los de la industria los más graves, sobre todo porque los niveles de cargas contaminantes son más elevados [4]. Sin embargo, debido al gran número de hogares, las de origen doméstico también alteran las condiciones ambientales, básicamente por el uso de productos para el aseo y residuos de alimentos que constituyen una alta carga de materia orgánica y sólidos suspendidos. En tal sentido, a continuación se presentan los resultados de un mapeo sistemático que sigue los lineamientos de Petersen [44] para caracterizar los impactos ambientales de las ARD y ARD a nivel internacional y nacional.

4.1.1 Impactos ambientales de las aguas residuales domésticas e industriales

De manera general pueden señalarse como impactos ambientales de las ARD y ARI, los malos olores, la acción tóxica, la potencialidad infectiva, la modificación de las propiedades físico-químicas del agua y el suelo, además de la polución térmica generada por residuos líquidos industriales que poseen altas temperaturas [46]. Siguiendo las preguntas orientadoras y los criterios de inclusión y exclusión de las tablas 3 y 4 respectivamente, la búsqueda realizada en seis bases de datos permitió la identificación de 1037 artículos, de los cuales la mayoría se han publicado en las bases de datos que no son de acceso abierto, pues en estas se concentran el 85,4% y de este porcentaje, 40,2% corresponde a Scopus, tal como se describe en la figura 1.

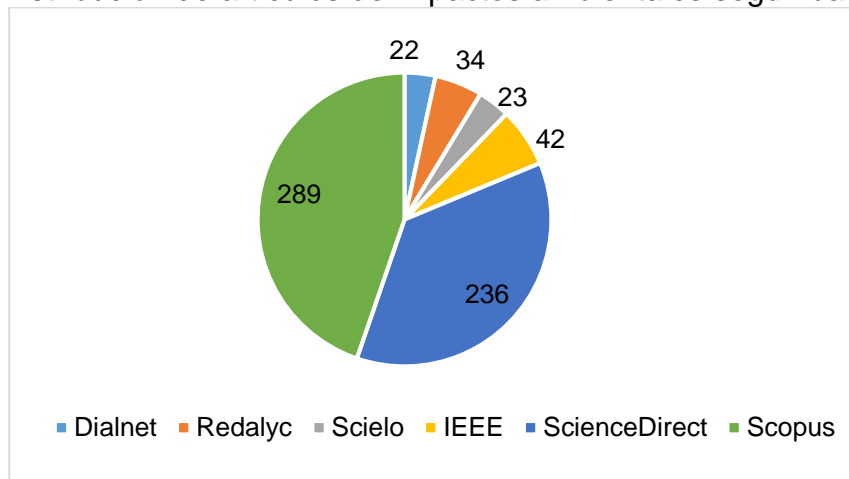
Figura 1. Distribución de artículos sobre impactos ambientales de las aguas residuales domésticas e industriales



Fuente: elaboración propia

Luego, al implementarse un filtro siguiendo las palabras clave en español e inglés de la tabla 5 se logró identificar un total de 646 artículos, de los cuales Scopus y ScienceDirect concentran la mayoría, con 289 y 236 respectivamente, seguidas de IEEE con 42 (ver figura 2). Como producto de este filtro, del total de 1073 artículos, se han descartado un total de 391 que representan el 37,7%, de manera que se cuenta con un 62,3% para continuar la búsqueda de información.

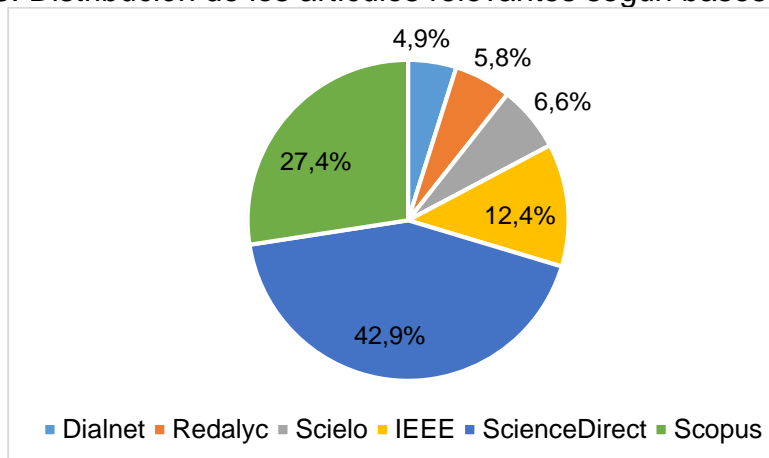
Figura 2. Distribución de artículos de impactos ambientales según base de datos



Fuente: elaboración propia

Posteriormente, se procedió a descartar aquellos estudios que no evidencien indicadores, de DBO₅, DQO, sólidos suspendidos y metales pesados, lo que derivó en 228 artículos relevantes y como indica la figura 3, Scopus contiene el 42,9% de los artículos, es decir, 97 publicaciones; luego ScienceDirect con el 27,4% que corresponde a 62 estudios; IEEE con el 12,4% representado en 28 trabajos, como se indica en la figura 3.

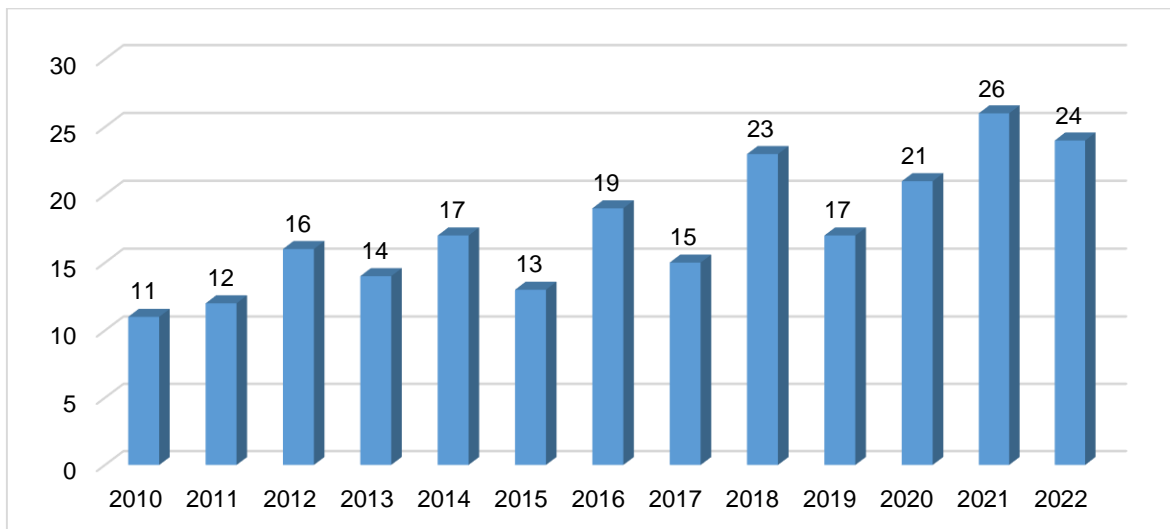
Figura 3. Distribución de los artículos relevantes según bases de datos



Fuente: elaboración propia

Con estos datos obtenidos del mapeo se ha respondido a la primera pregunta. Ahora, en cuanto a la segunda, al revisarse los artículos relevantes, puede afirmarse que la frecuencia anual promedio de las publicaciones relevantes es de 17. Además, es destacable que en los últimos cinco años se han publicado el 48,6% de los trabajos encontrados en las seis bases de datos consultadas, como se indica en la figura 4.

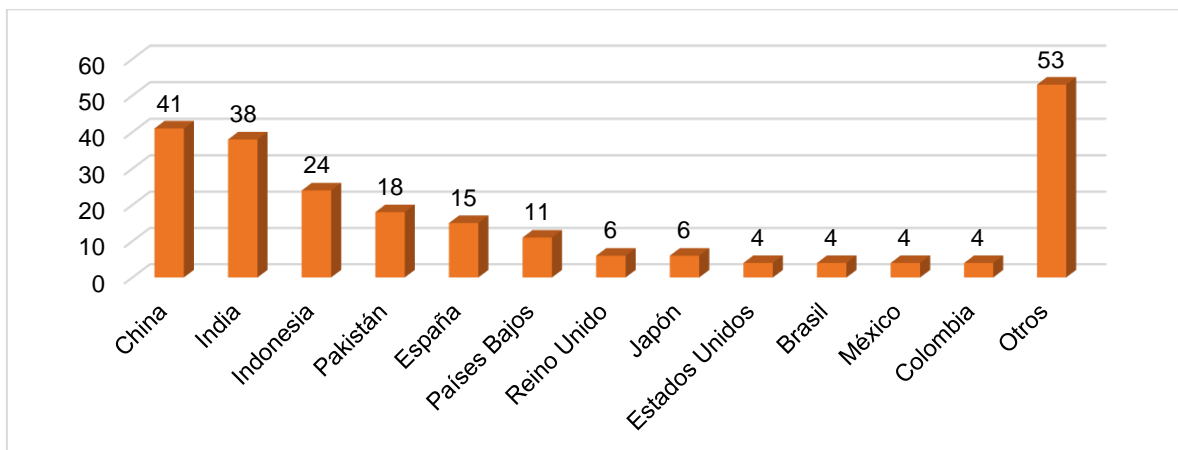
Figura 4. Distribución de los artículos relevantes según año de publicación



Fuente: elaboración propia

Por otra parte, al indagarse sobre el país de origen de las publicaciones, puede inferirse que China e India son los que concentran en mayor parte los trabajos, que durante el periodo 2010 – 2022, son los que mayor número presentan, datos que pueden verificarse en la figura 5. La razón del predominio chino e indio en este tipo de estudios obedece al crecimiento de la industria, la cual es responsable de contaminación por ARI, además de las ARD debido al tamaño de sus poblaciones que realizan alta demanda de agua para el consumo, a lo que se suma la condición de ser países con una cultura ambiental en proceso de consolidación [47] [48].

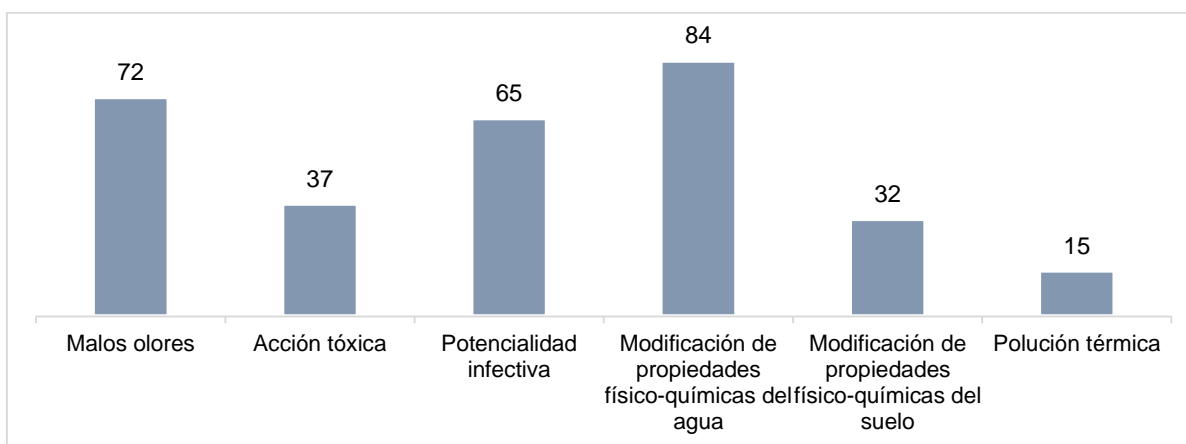
Figura 5. Distribución de los artículos según país de origen



Fuente: elaboración propia

Como respuesta a la cuarta pregunta, relacionada con los tipos de impactos ambientales generados, tanto por las ARD como las ARI, los 228 estudios relevantes se distribuyen como se indica en las figuras 6 y 7. Cabe aclararse que los artículos no describen exclusivamente un solo impacto, de manera que es posible hayan sido objeto de estudio por varios estudios a la vez. En el caso de los impactos que generan las ARD, puede observarse que la mayoría de los trabajos evidencian alteraciones en las propiedades físico-químicas del agua, luego los malos olores problemas de infecciones.

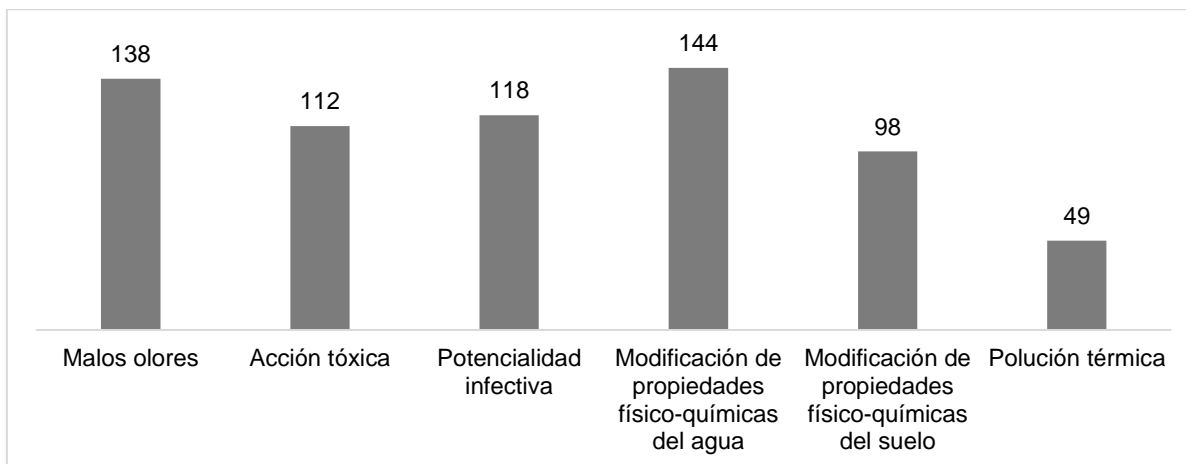
Figura 6. Publicaciones según tipo impacto ambiental en aguas residuales domésticas



Fuente: elaboración propia

La misma tendencia se observa en los impactos que generan las ARI. Sin embargo, debido a que generalmente presentan mayores cargas contaminantes que las ARD, la polución térmica es más frecuente, principalmente por los fosfatos y metales pesados [49] [50].

Figura 7. Publicaciones según tipo impacto ambiental en aguas residuales industriales



Fuente: elaboración propia

Frente a los impactos que describen los diferentes artículos encontrados, pueden señalarse alteraciones físico-químicas del agua, presencia de metales pesados, altos niveles de DBO₅ y DQO, así como la presencia de alta carga de sólidos suspendidos, entre otros que afectan la calidad del recurso hídrico y que repercute sobre la salud de las comunidades humanas y de fauna, como lo indica la tabla 11.

Tabla 11. Hallazgos sobre impactos ambientales

Referencia	Impacto	Consecuencias
[51] [52] [53] [54] [55] [56] [57] [58] [59] [60] [61] [62] [63] [64] [65] [66] [67] [68] [69] [70]	Alteraciones físicas y biológicas del agua.	<ul style="list-style-type: none"> • Problemas en salud de aproximadamente 100 millones de personas. • Afectaciones en cerca del 20% de la biodiversidad. • Eutrofización por disposición de residuos orgánicos en cerca del 90% de los ríos y lagos del planeta.
[71] [72] [73] [74] [75] [76] [77] [78] [79] [80] [81] [82] [83] [84] [85] [86] [87] [88] [89] [90] [91] [92] [93] [94] [95]	Acción tóxica sobre el agua	<ul style="list-style-type: none"> • Problemas respiratorios, diarreas, gastroenteritis y otras asociadas a aguas contaminadas en comunidades. • Proliferación de vectores infecciosos, tales como insectos y roedores.
[96] [97] [98] [99] [100] [101] [102] [103] [104] [105] [106] [107] [108] [109] [110] [111] [112]	Malos olores	<ul style="list-style-type: none"> • Dificultades respiratorias en las personas. • Desplazamiento de población a causa de la contaminación. • Reducción de la calidad del aire.
[113] [114] [115] [116] [117] [118] [119] [120] [121] [122] [123] [124] [125] [126] [127] [128] [3] [129] [130] [131] [132]	Infección de comunidades humanas y animales.	<ul style="list-style-type: none"> • Infecciones en la piel de personas que frecuentan ríos y lagos. • Mutaciones en algunas especies acuáticas, principalmente peces, reptiles y anfibios.
[133] [134] [135] [136] [137] [138] [139] [140] [141]	Pérdida de biodiversidad	<ul style="list-style-type: none"> • Desaparición de algunas especies de peces y flora endémicas de ríos y lagos. • Altos niveles de eutrofización que reducen la cantidad de oxígeno. • Crecimiento de bacterias tóxicas responsables de infecciones en fauna acuática y terrestre de zonas aledañas.
[53] [142] [143] [144] [145] [146]	Materia orgánica en el agua	<ul style="list-style-type: none"> • Altas concentraciones de materia orgánica debido a vertimientos de frigoríficos. • Asfixia en aves por causa de sólidos orgánicos suspendidos. • Proliferación de roedores.
[147] [148] [149] [150] [151] [152] [153] [154] [155] [156]	Polución térmica	<ul style="list-style-type: none"> • Calentamiento de aguas de ríos y lagos aledaños a factorías y conjuntos residenciales. • Afectaciones en la flora y fauna debido al calentamiento de aguas. • Muerte de especies acuáticas a causa de cambio de temperatura del agua.
[157] [158] [159] [160] [161] [162] [163] [164] [165] [166]	Alteraciones del agua a causa de detergentes y disolventes	<ul style="list-style-type: none"> • Altas concentraciones de fosfatos y clorados que superan mínimos tolerables. • Afecciones en los órganos de la fauna. • Obstrucciones del esófago y muerte de aves, reptiles y anfibios. • Muerte de micro fauna y micro flora de los suelos y cuerpos de agua.

[167] [168] [169] [170] [171] [172] [173] [174] [175] [176] [177] [178] [179] [180] [181]	Alteración de propiedades físico-químicas del suelo	<ul style="list-style-type: none"> •Cambios en las propiedades edafológicas. •Toxicidad de los suelos. •Dificultades en el crecimiento de plantas. •Muerte de bacterias nitrificantes y descomponedoras de materia orgánica. •Pérdida de fertilidad de los suelos. •Afectaciones a los cultivos. •Reducción de áreas cultivables.
[182] [183] [184] [185] [186] [187] [188] [189] [190] [2] [191] [192] [193] [194] [195] [196] [197] [198] [199] [200] [201] [202] [203] [204] [205] [206] [207] [208] [209] [210] [211] [212] [213] [214] [215] [216] [217] [218] [219] [220] [221]	Alteraciones de propiedades físico-químicas del agua.	<ul style="list-style-type: none"> •Niveles de DBO5 > 20 mg/L (muy contaminada) •DQO > 10 mg/L (muy contaminada). •Altos niveles de eutrofización acuíferos. •Muerte de especies de fauna acuáticas y terrestres de zonas de cursos de agua. •Aumento de costos para incorporar tecnologías para la potabilización del agua. •Problemas de hipoxia y anoxia
[222] [223] [224] [225] [45] [226] [227] [228] [2] [196] [229] [49] [50] [230] [231] [232] [233] [234] [235] [236] [237] [238] [239] [240] [241] [242]		<ul style="list-style-type: none"> •Sólidos suspendidos totales > 300 mg/L (calidad de agua inaceptable)
[243] [244] [245] [246] [247] [248] [249] [250] [251] [252] [253] [254] [255] [256] [257] [258] [259] [260] [261] [262] [263] [264] [265] [266] [4] [267] [268] [269]	Toxicidad por metales pesados. Acumulación en cadena alimenticia.	<ul style="list-style-type: none"> •Concentración de mercurio > 0.002 mg/L. •Concentración de cadmio > 0,005mg/L •Concentraciones de plomo > 0.015 mg/L •Concentración de cromo > 0,05 mg/L •Concentración de Zinc > 5 mg/L •Concentración de cobre > 1.3 mg/L •Bioacumulación de metales pesados en la cadena alimenticia. •Afectaciones en la visión, sistema nervioso y demás sentidos de animales y personas.

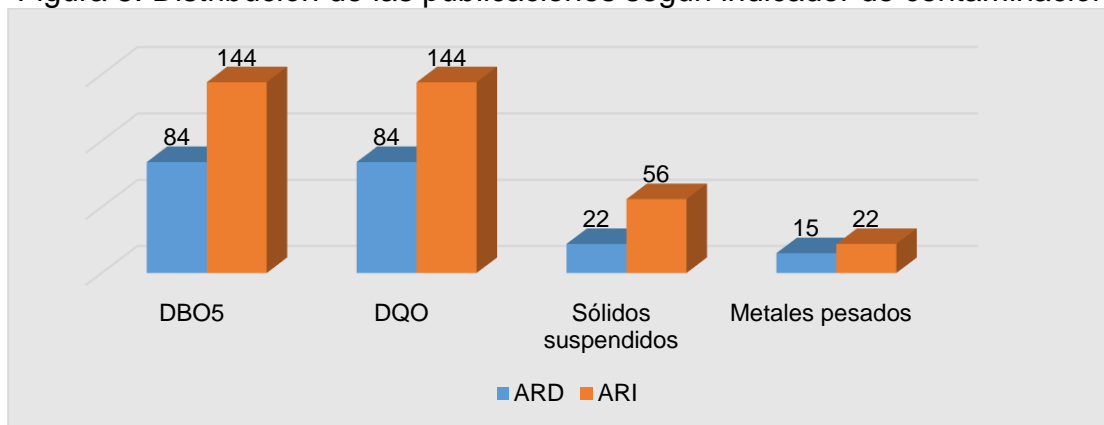
Fuente: elaboración propia

Los resultados permiten señalar que las ARD y ARI representan un alto riesgo para el ambiente, especialmente para los cuerpos de agua y por ende la salud de las especies de flora y fauna que de estos se benefician en sus áreas de influencia y en caso de no tratarse con la suficiencia técnica pueden representar amenazas para el bienestar de las comunidades humanas que hacen uso del agua y de los recursos naturales que dependen de aquellos ríos y lagos que son objeto de contaminación.

4.1.2. Indicadores de cargas contaminantes

En cuanto a indicadores de cargas contaminantes, la búsqueda de publicaciones que arrojó 228 relevantes, permitió identificar 84 sobre ARD que representan el 36.4%, mientras que el 63.6% a ARI, es decir, un total de 144 estudios. Según esta división y conforme a los indicadores de DBO₅, DQO, Sólidos suspendidos y metales pesados, la distribución es la que se describe en la figura 8.

Figura 5. Distribución de las publicaciones según indicador de contaminación



Fuente: elaboración propia

Es pertinente señalar que, a excepción de algunos metales pesados y los sólidos suspendidos, el resto de los indicadores de contaminación descritos son tratados en todas las publicaciones relevantes según cada tipo de agua residual. A partir de esto, es posible describir los hallazgos sobre niveles de DBO₅, DQO, sólidos suspendidos y metales pesados que presentan los estudios, para lo cual se han dividido por tipo de agua residual y luego por cada indicador de contaminación. Cabe destacar que, para efectos de simplificar la descripción de la información, existen estudios que ofrecen datos similares a otros, por lo que se han referenciado en la misma fila que corresponde a un indicador en específico. La tabla 10 muestra los hallazgos respectivos a partir del proceso de búsqueda de estudios.

Demanda bioquímica y química de oxígeno (DBO₅ y DQO)

La DBO₅ representa la cantidad de oxígeno disponible consumida por los microorganismos para degradar en condiciones aeróbicas la materia orgánica que está presente en el agua, lo que significa que entre más alto sea este indicador, mayor nivel de contaminación existe [224] [266]. Por su parte, la DQO es la cantidad de oxígeno necesaria para la oxidación de la materia orgánica y facilita la medición de residuos industriales [26], lo cual no es posible mediante la DBO₅ [225] ya que son aguas con altos niveles de contaminación que han provocado anoxia y solo algunas bacterias anaerobias sobreviven en ambientes modificados a raíz de la presencia de fosfatos, compuestos clorados y demás que cambian drásticamente las condiciones del pH del agua y aumentan la toxicidad. En la tabla 12 se sintetizan los hallazgos.

Tabla 12. Indicadores de DBO₅ y QO según tipo de agua residual

ARD			ARI		
Referencia	Rangos		Referencia	Rangos	
	DBO ₅	DQO		DBO ₅	DQO
[51] [52] [60] [61] [62] [63] [71] [72] [73] [74] [75] [76] [85] [86] [87] [88] [89] [92] [104] [105] [106] [107] [113]	20-50 mg/L	10-20 mg/L	[53] [54] [55] [56] [57] [58] [59] [64] [65] [66] [67] [68] [69] [70] [77] [78] [79] [80]	50-100 mg/L	10-100 mg/L
[114] [115] [116] [117] [118] [119] [120] [122] [124] [129] [133] [134] [135] [141]	50-100 mg/L	20-50 mg/L	[81] [82] [83] [84] [90] [91] [93] [94] [95] [96] [97] [98] [99] [100] [101] [102] [103] [108] [109] [110] [111] [112] [121] [123] [125] [126] [127] [128] [3] [130] [131] [132] [136] [137] [138] [139] [140] [142]	100-200 mg/L	100-200 mg/L
[146] [152] [154] [157] [158] [159] [171] [172] [173] [174] [175] [182] [183] [184]	100-200 mg/L	50-100 mg/L	[143] [144] [145] [147] [148] [149] [150] [151] [153] [155] [156] [160] [161] [162] [163] [164] [165] [166] [167] [168] [169] [170] [176] [177] [178] [179] [180] [181] [190] [2]	200-1000 mg/L	200-500 mg/L
[185] [186] [187] [188] [189] [197] [199] [200] [201] [202] [203]	200-350 mg/L	100 -200 mg/L	[191] [192] [193] [194] [195] [196] [209] [211] [212] [213] [214] [215] [216] [217] [220] [221] [222] [229] [49] [50] [230] [231] [232] [233] [234] [235] [236] [237] [238]	1000-5000 mg/L	500 -1000 mg/L
[204] [205] [206] [207] [208] [210] [218] [219] [223]	350-1000 mg/L	200 – 500 mg/L	[239] [240] [241] [242] [243] [244] [249] [250] [251] [252] [254] [255] [256] [257] [258] [260] [261] [262] [263] [264] [265] [266] [4] [268] [269]	5000-10000 mg/L	1000 – 5000 mg/L
[224] [225] [45] [226] [227] [228] [245] [246] [247] [248] [253] [256] [267]	Más de 1000 mg/L	Más de 500 mg/L	[239] [240] [241] [242] [243] [244] [249] [250] [251] [252] [254] [255] [256] [257] [258] [259] [260] [261] [262] [263] [264] [265] [266] [4] [268]	Más de 10000 mg/L	Más de 5000 mg/L

Fuente: elaboración propia

Los resultados anteriores permiten señalar que tanto las ARD como las ARI generan altas cargas contaminantes que hacen que la DBO₅ y DQO sean elevadas, principalmente en las industriales que superan ampliamente los niveles mínimos tolerables de 20 mg/L y 10 mg/L respectivamente según se derivan de recomendaciones de la *Environmental Protection Agency* (EPA) [270].

Carga de metales pesados.

Los metales pesados representan un peligro al estar presentes en las ARD y ARI sin tratar, pues su alto contenido de toxicidad implica que la cadena alimenticia sea objeto de bioacumulación y masificación al pasar de un organismo a otro. En ese sentido, los hallazgos muestran algunos estudios que describen niveles superiores a los tolerables (ver tabla 13), que según la EPA [270] las cantidades en miligramos para el mercurio debe ser ≤ 0.002 ; para el cadmio $\leq 0,005$; plomo ≤ 0.015 ; cromo $\leq 0,05$; zinc ≤ 5 y cobre ≤ 1.3 .

Tabla 13. Indicadores de metales pesados según tipo de agua residual

ARD		ARI	
Referencia	Nivel de concentración	Referencia	Nivel de concentración
[113] [172] [173]	> 0,03 mg/L de Hg	[139] [182] [184] [187]	> 2 mg/L de Hg
[174] [175]	> 0,02 mg/L de Cd	[190] [192] [203] [218]	> 1 mg/L Cd
[247] [248] [249]	> 0,1 mg/L de Hg	[243] [244]	> 3 mg/L de Pb
[250] [251]	> 0,15 mg/L de Pb	[252] [253]	> 1 mg/L de Cr
[258] [259] [260] [261] [262]	> 5 mg/L de Zinc	[254] [255] [256] [257] [265]	> 2 mg/L de Hg
		[211] [212] [213] [267] [268] [269]	> de 3 mg/L Hg

Fuente: elaboración propia

Los anteriores resultados demuestran que las ARD y ARI representan un riesgo para la salud humana y para las especies de flora y fauna, ya que al verter cantidades que superan los mínimos tolerables, tanto desde los hogares como de las industrias se genera contaminación que puede afectar la cadena alimenticia. Sin embargo, los vertimientos se presentan con mayor frecuencia en países que no cuentan con una institucionalidad sólida para la protección del ambiente, lo que hace que los ríos, lagos y suelos sean objeto de vertimientos que alteran las propiedades físico-químicas del agua [9].

Carga de sólidos suspendidos

Otro de los indicadores de los impactos de las ARD y ARI son los sólidos suspendidos, que de acuerdo con la Organización Mundial de la Salud (OMS) no debe superar los 300 mg/L para que la calidad del agua sea excelente, aunque es posible que aun con niveles de 900 puede considerársele aceptable [271]. Sin embargo, de acuerdo con la tipología de AR que se han analizado en los estudios relevantes, este límite se ha superado ampliamente como lo indica la tabla 14.

Tabla 14. Indicadores de sólidos suspendidos según tipo de agua residual

ARD		ARI	
Referencia	Rangos	Referencia	Rangos
[71] [72] [73] [74] [75] [76] [79]	Entre 500 y 900 mg/L	[84] [85] [86] [87] [88] [89] [90] [91] [92] [93] [94] [95]	Entre 1000 y 2500 mg/L
[114] [115] [116] [117] [227]	Entre 900 y 1500 mg/L	[122] [123] [124] [125] [126] [3] [129] [131]	Entre 2500 y 5000 mg/L
[182] [184] [185] [186]	Entre 1500 y 3000 mg/L	[204] [205] [208] [210] [213] [215] [216] [217] [218] [219] [220] [221]	Entre 5000 y 10000 mg/L
[222] [223] [224] [225] [226] [183]	Entre 3000 y 5000 mg/L	[230] [232] [233] [234] [237] [238] [241] [242]	Entre 10000 y 15000 mg/L
		[81] [82] [83] [235] [196] [2] [191] [192] [193] [197] [198] [201]	Más de 15000 mg/L

Fuente: elaboración propia

Los rangos de niveles de sólidos suspendidos que describen los artículos consultados demuestran que las ARD y ARI llevan consigo altas cantidades, lo que merma la calidad del agua y por ende afectaciones sobre el consumo por parte de las comunidades humanas que pueden utilizar el recurso hídrico para las diferentes actividades, así como en las especies animales.

4.1.3. Afectaciones de las cargas contaminantes sobre el agua y biodiversidad acuática.

A partir de los 228 estudios relevantes que arrojó la búsqueda, puede señalarse que los impactos de las aguas residuales domésticas e industriales son múltiples y las consecuencias están representadas en afectaciones a la salud de especies animales y de comunidades humanas que habitan zonas aledañas a los cuerpos de agua. Entre las afecciones más representativas están las enfermedades cutáneas, gástricas y demás producto del contacto y consumo de ARD y ARI. A esto se suman los impactos relacionados con alteraciones físicas y biológicas de los ecosistemas acuáticos y terrestres ubicados en las zonas aledañas a ríos y lagos, principalmente por la acción tóxica ante la presencia de sustancias con alta carga de fosfato, cloro y otros compuestos que provienen de las actividades de aseo, limpieza y desinfección de los hogares y plantas industriales que alteran las propiedades del recurso hídrico y en otros casos los suelos en donde se vierten.

Por otra parte, se observa que los principales indicadores de impactos negativos de las ARD y ARI, son los altos niveles de DBO_5 , DQO, sólidos suspendidos y metales pesados. En el caso de los tres primeros, la consecuencia es la eutrofización de ríos y lagos, especialmente en zonas donde el agua presenta problemas de circulación, con lo cual, la muerte de especies de fauna y la saturación de buchones de agua y algas que reducir el crecimiento de otras plantas.

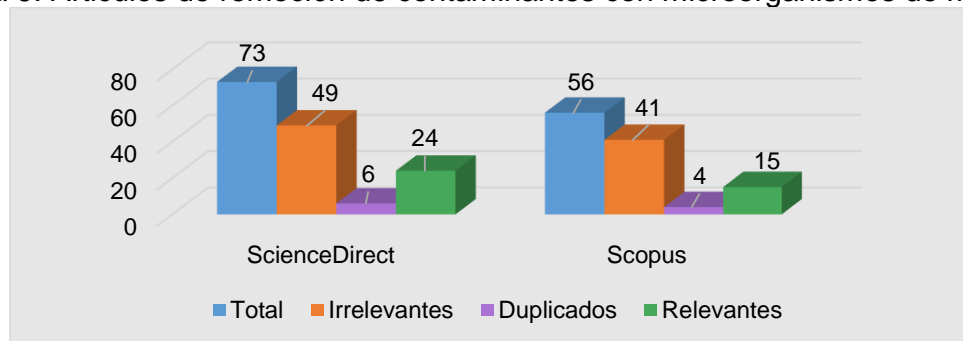
En cuanto a los metales pesados, el principal problema está en que al ser consumidos por los peces, anfibios y reptiles que son parte de la base de la cadena alimenticia, pasan a otros animales como las aves, roedores, felinos y las mismas personas, se genera una bioacumulación, lo cual representa un problema ambiental muy grave, puesto que elementos como el mercurio, el cadmio, plomo, cromo, y otros en cantidades que superan los estándares tolerables afectan los órganos de los animales que al final pueden ocasionar muerte masiva y permanencia de tales elementos tóxicos. Por otra parte, se presentan problemas asociados a la biomagnificación, consistente en la concentración de los metales pesados en los tejidos de los organismos con componen la red trófica, es decir, la propagación sucesiva de un ser vivo a otro en la medida que el siguiente depreda al anterior [272]. Al pasar estos metales de un organismo a otro, sufre transformaciones, puesto que en cada eslabón de la cadena trófica se combinan con moléculas inorgánicas presentes en los órganos, además de microorganismos capaces de interactuar, cambiando su biodisponibilidad en el medio [273].

Como puede comprenderse, los impactos de las ARD y ARI son múltiples y van más allá de aquellos que están a la vista y los sentidos de las personas, pues repercuten directa e indirectamente sobre la sostenibilidad de la diversidad, poniendo en riesgo la funcionalidad normal de las cadenas alimenticias a lo largo de las áreas de influencia de los diferentes acuíferos que son objeto de cargas contaminantes.

4.2. Efectividad de los microorganismos de montaña en remoción de cargas contaminantes de aguas residuales domésticas e industriales

Como producto de la implementación de los lineamientos para un mapeo sistemático con base en la propuesta de Petersen [44], se realizó una búsqueda de artículos científicos sobre experimentos con microorganismos de montaña en las bases de datos Scopus y ScienceDirect, lo que permitió identificar 129 artículos, de los cuales 39 fueron relevantes, distribuidos en 24 en el motor de ScienceDirect y 15 en el de Scopus, tal como se muestra en la figura 5.

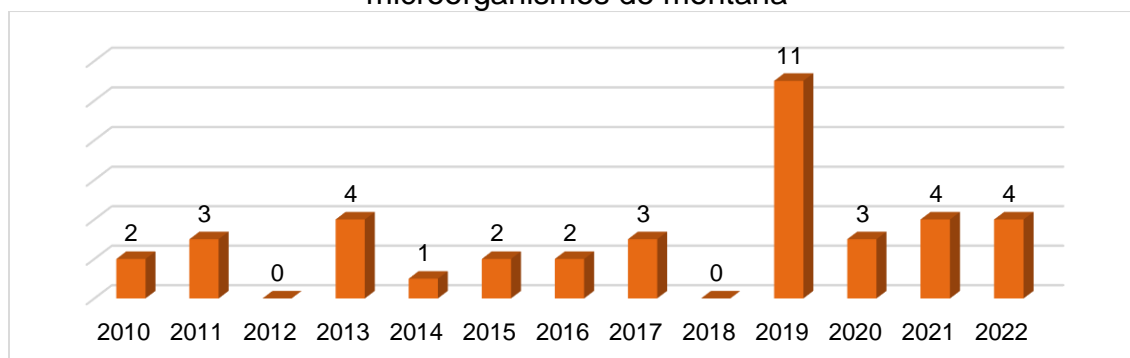
Figura 9. Artículos de remoción de contaminantes con microorganismos de montaña



Fuente: elaboración propia

En cuanto al número de publicaciones por cada año en el periodo entre 2010-2022, puede destacarse que el año 2019 es el mayor número presenta con 11 trabajos publicados, mientras que el promedio anual para el periodo es 3.5 publicaciones, como se indica en la figura 10.

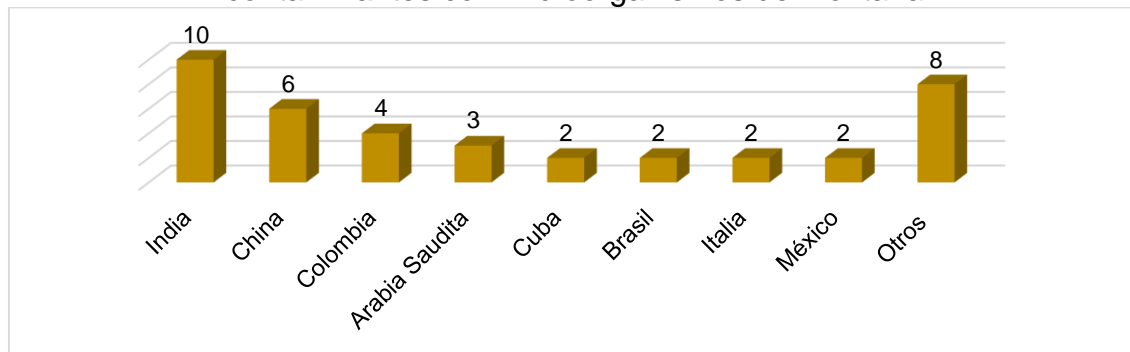
Figura 6. Número anual de artículos sobre remoción de cargas contaminantes con microorganismos de montaña



Fuente: elaboración propia

Sobre el país de origen de las publicaciones, en la figura 11 se indica que India y China lideran la prolificidad, pues de las 39 relevantes el primero cuenta con 10, el segundo con 6 y en menor cantidad otros países, entre ellos Colombia con 4, mientras que otros son es la sumatoria de Polonia, España, Pakistán, Etiopía, Francia, Portugal, Costa Rica y Perú con una investigación para cada país.

Figura 7. Países de origen de publicación de artículos sobre remoción de cargas contaminantes con microorganismos de montaña



Fuente: elaboración propia

En el caso de los MM los resultados muestran que la mayoría de las investigaciones encontradas utilizaron *Bacillus, sp*, *Pseudomonas sp*, *Streptomyces sp* y otras en el caso de las bacterias, mientras que en los hongos son *Aspergillus sp*, *Aspergillus niger*, *Penicillium sp*, *Pleorotus ostreatus* son los más comunes.

4.2.1. Estudios sobre uso de microorganismos de montaña para remover contaminantes de aguas residuales domésticas e industriales.

Finalmente, tras el proceso de búsqueda se procedió a identificar la eficiencia de los microorganismos en la remoción de cargas contaminantes, por lo que la tabla 15 permite comprender la existencia de una biotecnología que inclusive en el contexto colombiano presenta resultados favorables en la remediación de ARD y ARI al eliminar DBO₅, DQO, SST y metales pesados.

Tabla 15. Efectividad de los microorganismos de montaña en remoción de cargas contaminantes

No.	Referencia	Microorganismo	Tipo de agua	Carga contaminante	Condiciones ambientales	Tiempo de tratamiento	Reducción de carga contaminante (%)
1	[14]	Consortio de <i>Pseudomonas sp</i> , <i>Bacillus sp</i>	ARD	Cadmio Cromo Hg		60 días	12,5 9,4 7,5
2	[19]	Consortio <i>Aspergillus sp</i> , <i>Penicillium sp</i> , <i>Streptomyces sp</i> , <i>Pseudomonas sp</i> .	ARD	DBO5 DQO SST	T°= 28C°2		26,6 22,7 19,2
3	[22]	Consortio de bacterias y hongos	ARI	DBO5 DQO SST	T°= 30C°2	45 días	15,5 18 19
4	[30]	Cucumis sativus (planta)	ARD	Zinc Boro		150 días	45 34,5
5	[31]	Consortio de <i>Streptomyces sp</i> , <i>Bacillus sp</i>	ARI	SST DBO5 DQO		20 días 45 días 45 días	20 32 27,5
6	[70]	Consortio bacteriano <i>Pseudomonas sp</i> <i>Pseudomonas fluorescens</i>	ARI	DQO	T°= 27C°	10 días	61 88 con UV
7	[106]	Consortio <i>Aspergillus niger</i> , <i>Pleurotus</i> <i>ostreatus</i> , <i>Rhizopus arrhizus</i>	ARI	Zinc Cromo		15 días	23,5 13,4
8	[123]	Consortio de hongos <i>Aspergillus niger</i> <i>Rhizopus arrhizus</i>	ARI	Cromo Cobre Niquel Plomo Cadmio	T°= 28C°2		12,2 10,3 9,8 7,1 8,4
9	[134]	Consortio <i>Penicillium chrysogenum</i> . <i>Aspergillus sp</i>	ARD	DBO5 DQO		10 días	23,5 24,6
10	[136]	<i>Pseudomonas sp</i>	ARD	DQO		45 días	38,9 ± 1,1
11	[138]	Consortio <i>Pseudomonas</i> , <i>Bacillus</i> , <i>Arthrobacter</i> , <i>Aspergillus niger</i>	ARD	STS SDT DBO DQO	T°= 28C°	87 días	17 13 14 75 - 85
12	[165]	Consortio hongos <i>Aspergillus niger</i> , <i>Aspergillus. flavus</i> , <i>Aspergillus fumigatus</i>	ARI	DQO DBO ₅		30 días	23,3 18,5
13	[176]	Consortio de <i>Streptomyces sp</i> , <i>Bacillus sp</i>	ARI	DBO5 DQO SST	T°= 36.5C°	110 días	42,4 47,5 36,7
14	[45]	Reactor de bacterias <i>Pseudomonas sp</i>	ARI	DQO SST	T°= 10-19C°	14 horas	24,66 26,28

15	[250]	<i>Bacillus subtilis</i> y <i>Pseudomonas fluorescens</i>	ARD	SDT DBO5 DQO		45 días	18,14 23,22 14,58
16	[255]	<i>Aspergillus sp.</i> , <i>Aspergillus fumigatus</i>	ARI	Plomo		30 días	12,5
17	[23]	<i>Glomus sp.</i> , <i>Rhizophagus sp.</i> y <i>Acaulospora sp.</i>	ARD	SST	T°= 22C°	45 días	32,5
18	[274]	<i>Phragmites australis</i>	ARI	Nitratos	T°= 24C°	30 días	2,5
19	[275]	<i>Rizobacterias</i> <i>Rizohongos</i>	ARI	Celulosa, lignina	T°= 33C°	22 días	12,1 en lignina. 9,3 en celulosa
20	[276]	<i>Phragmites australis</i>	ARD	SST	T°= 25C°	50 días	8,1
21	[277]	<i>Flavobacterium</i> , <i>Pseudomonas</i> , <i>Bacillus</i> , <i>Arthrobacter</i> , <i>Corynebacterium</i> , <i>Methosinus</i> , <i>Rhodococcus</i> , <i>Mycobacterium</i> , <i>Stereum hirsutum</i> , <i>Nocardia</i> , <i>Methanogens</i> , <i>Aspergillus niger</i> , <i>Pleurotus</i> <i>ostreatus</i> , <i>Rhizopus arrhizus</i> , <i>Azotobacter</i> , <i>Alcaligenes</i> , <i>Phormidium valderium</i> , <i>Ganoderma applanatum</i>	ARI	Metales pesados		120 días	45,3
22	[278]	<i>Penicillium chrysogenum</i> . <i>Aspergillus</i> <i>ustus</i>	ARI	Metales pesados	T°= 34C°	87 días	10,15
23	[279]	<i>Aspergillus sp</i>	ARI	Metales pesados	T°= 35C°	60 días	13,6
24	[280]	<i>Bacillus sp</i> <i>Aspergillus sp</i>	ARI	DBO5 DQO 25SST	T°= 33C°	45 días	23,5 32,4 45,4
25	[281]	Consorcio de <i>Streptomyces sp.</i> , <i>Bacillus sp</i> y <i>Pseudomonas sp</i>	ARI	SDT STS STS DQO DO	T°= 27.5C°	150 días	22,07 26,48 22,42 11,62 25,81
26	[282]	<i>Bacillus subtilis</i> y <i>Pseudomonas</i> <i>fluorescens</i>	ARI	SST SDT DBO5 DQO Cloruro Potasio		65 días	13,19 20,38 12,41 8,85 7,93 8,40
27	[283]	<i>Pleurotus ostreatus</i>	ARI	DQO DBO5 SST SDT	T°= 22C°	90 días	87 92 83 72

28	[284]	Aspergillus fungus Aspergillus niger, Aspergillus. flavus, Aspergillus fumigatus	ARD	DBO5 DQO SDT		150 días	50,6 44,08 9,16
29	[285]	Aspergillus niger, Aspergillus. flavus	ARI	DBO5 DQO SDT		95 días	75,3 72,0 73,5
30	[286]	Aspergillus niger, Aspergillus. flavus Aspergillus alliaceous	ARD	DBO5 DQO SDT	T°= 30C°	90 días	68,3 72,0 63,5
31	[287]	Aspergillus niger,	ARI	DBO5 DQO SDT		105 días	69,3 71,0 66,7
32	[288]	Bacilo sutiles Serratia marcescens Enterobacter asburiae	ARI	SST SDT DBO5 DQO Potasio Plomo		120 días	31,3 68,3 70,0 88,0 18,4 63,5
33	[289]	Aspergillus niger, Penicillium sp y Fusarium sp	ARD	SDT DBO5 DQO		65 días	18,74 47,62 44,68
34	[290]	Candida tropicalis	ARD	DQO fosfatos		150 días	90 82
35	[291]	Calocybe indica	ARI	SDT DBO5 DQO	T°= 32.5C°	60 días	13,14 13,22 11,58
36	[292]	<i>Bacillus subtilis</i>	ARD	DBO5 DQO SST	T°= 34.5C°	120 días	32,3 36,4 26,5
37	[293]	Streptococcaceae , Veillonellaceae	ARI	SDT DBO5 DQO	T°= 27C°	45 días	12,6 12,1 15,5
38	[294]	Consorcio Aspergillus niger, Penicillium sp Serratia, Bacillus y PseudomonAS	ARD	DBO5 DQO Potasio Fósforo	T°= 32C°	75 días	17,0 15,9 13,5 2,3
39	[295]	Bacilo sutiles Serratia marcescens		SDT DBO5 DQO	T°= 4-32C°		23,4 22,0 19,2

Fuente: elaboración propia

Los anteriores resultados demuestran que tanto las bacterias como los hongos de montaña ofrecen una alta eficiencia en la remoción de cargas contaminantes, con lo cual es posible llevar a cabo procesos de remediación de aguas residuales para retornarlas al medio ambiente para su aprovechamiento.

4.2.2. Efectividad de remoción de cargas contaminantes de los microorganismos de montaña en aguas residuales.

De acuerdo con los estudios descritos en la tabla 15, la efectividad de las bacterias y hongos puede variar por diferentes factores, tales como el tipo de agua residual, el tiempo de sometimiento de las ARD y ARI a la acción de los microorganismos, la especie de estos y la carga contaminante. En tal sentido, en las tablas 16 y 17 se destacan aquellas bacterias que presentan mayores porcentajes de reducción de las cargas contaminantes.

Tabla 16. Efectividad de consorcios de bacterias en ARD

Carga contaminante	Bacterias	Tiempo promedio	Efectividad en remoción (%)
DBO ₅	<i>Bacilo sutiles</i> <i>Serratia marcescens</i> <i>Enterobacter asburiae</i>	120 días	70,0
DQO			88,0
SDT			68,3
Plomo			63,5
Mercurio	<i>Flavobacterium</i> , <i>Pseudomonas</i> , <i>Bacillus</i> , <i>Arthrobacter</i> , <i>Corynebacterium</i> , <i>Methosinus</i> , <i>Rhodococcus</i> , <i>Mycobacterium</i> ,	120 días	35,3
Cadmio			26,4

Fuente: elaboración propia

Tabla 17. Efectividad de consorcios de bacterias en ARI

Carga contaminante	Bacterias	Tiempo promedio (días)	Efectividad en remoción (%)
DBO ₅	<i>Bacilo sutiles</i> <i>Serratia marcescens</i> <i>Enterobacter asburiae</i>	120	70,0
DQO			88,0
SDT			68,3
Plomo			63,5
DBO ₅	Calocybe indica	60	13,14
DQO			13,22
SDT			11,58
Mercurio	<i>Flavobacterium</i> , <i>Pseudomonas</i> , <i>Bacillus</i> , <i>Arthrobacter</i> , <i>Corynebacterium</i> , <i>Methosinus</i> , <i>Rhodococcus</i> , <i>Mycobacterium</i> ,	120	35,3
Cadmio			26,4
Mercurio	Calocybe indica	60	18,32
DQO	Reactor de bacterias <i>Pseudomonas sp</i>	14 horas	24,66
SDT			26,28

Fuente: elaboración propia

Las bacterias que mayor efectividad presentaron en los estudios descritos son las *Pseudomonas sp* y *Bacillus sp*, pero al elaborarse consorcio con otras incrementan el nivel remoción de las diferentes cargas contaminantes y es destacable en el caso de las industriales la efectividad de *Calocybe indica* para remover metales pesados. Asimismo, puede destacarse la alta efectividad de *Pseudomonas sp* en reactor que en pocas horas muestran una efectividad promedio del 25% en la remoción de DQO y SST.

En cuanto a la eficiencia de los hongos, los resultados de la eficiencia son ligeramente menores, en parte porque las ARI presentan mayores cargas contaminantes y dependiendo del contexto, presentan niveles superiores de DBO₅, DQO, SST y metales pesados que otros, especialmente en los países en donde la institucionalidad ambiental no se ha consolidado y por lo tanto la rigurosidad en la vigilancia y sanciones de los vertimientos es débil [6].

Tabla 18. Efectividad de consorcios de hongos en ARD

Carga contaminante	Hongos	Tiempo promedio	Efectividad en remoción (%)
DBO ₅	Aspergillus fungus Aspergillus niger, Aspergillus. flavus, Aspergillus fumigatus	150 días	50,6
DQO			44,08
SST			9,16
DBO ₅	Pleurotus ostreatus	90 días	92
DQO			87
SST			83
SDT			72
Mercurio	Stereum hirsutum, Nocardia, Methanogens, Aspergillus niger, Pleurotus ostreatus, Rhizopus arrhizus, Azotobacter, Alcaligenes, Phormidium valderium, Ganoderma applantus	120 días	48,5
Cadmio			36,4
Plomo			21,1

Fuente: elaboración propia

Tabla 19. Efectividad de consorcios de hongos en ARI

Carga contaminante	Hongos	Tiempo promedio (días)	Efectividad en remoción (%)
DBO ₅	Aspergillus fungus Aspergillus niger, Aspergillus. flavus, Aspergillus fumigatus	150 días	50,6
DQO			44,08
SST			9,16
DBO ₅	Pleurotus ostreatus	90 días	82,3
DQO			78,4
SST			83
SDT			72
Mercurio	Stereum hirsutum, Nocardia, Methanogens, Aspergillus niger, Pleurotus ostreatus, Rhizopus arrhizus, Azotobacter, Alcaligenes, Phormidium valderium, Ganoderma applantus	120 días	32,2
Mercurio			43,2
Cadmio			28,6
Plomo	Aspergillus niger, Aspergillus. flavus	95	14,1
DQO			73,7
DBO ₅			75,3
SST			72,0
SDT			73,5
Plomo	Aspergillus sp, Aspergillus fumagatus	30	12,5

Fuente: elaboración propia

Al igual que las bacterias, los mejores resultados en la remoción de cargas contaminantes utilizando hongos es mediante los consorcios, aunque *Pleorotus* *Ostreatus* por sí solo presenta eficiencias de remoción altas.

4.3. Condiciones óptimas ambientales para uso de microorganismos de montaña en tratamiento de aguas residuales

A partir de los estudios realizados para la remoción de cargas contaminantes al utilizarse bacterias y hongos, se describen las condiciones ambientales que podrían ofrecer una alternativa para su implementación en Popayán, tanto sobre ARD como en ARI mediante bacterias y hongos.

4.3.1. Estudios sobre condiciones ambientales para experimentos con microorganismos de montaña para la remoción de cargas contaminantes.

En la tabla 15 del apartado 4.2 se presentó una serie de estudios que muestran la capacidad de las bacterias para la biorremediación de aguas residuales y a partir de tales resultados, a continuación se describen aquellos que por las condiciones ambientales en las que se implementaron, pueden constituirse en una opción para aplicarlos al contexto de Popayán, ya que cuenta con niveles de temperatura, humedad y clima similares a los que presentaron alta efectividad, tal como se describe en las tablas 20 para bacterias y 21 para hongos.

Tabla 20. Condiciones ambientales para experimentos con bacterias en ARD

Ref.	Bacterias	Carga contaminante	Eficiencia %	Condiciones ambientales
[288]	<i>Bacilo sutiles</i> <i>Serratia marcescens</i> <i>Enterobacter asburiae</i>	DBO ₅	70,0	T° = 22-25C°. Humedad 53.5% Clima =semi-húmedo Zona = Tropical
		DQO	88,0	
		SDT	68,3	
		Plomo	63,5	
[277]	<i>Flavobacterium, Pseudomonas, Bacillus, Arthrobacter, Corynebacterium, Methosinus, Rhodococcus, Mycobacterium</i>	Mercurio	35,3	T° = 21-35C°. Humedad 60.5% Clima =semi-húmedo Zona = Tropical
		Cadmio	26,4	

Fuente: elaboración propia

Tabla 21. Condiciones ambientales para experimentos con bacterias en ARI

Ref.	Bacterias	Carga contaminante	Eficiencia %	Condiciones ambientales
[70]	Consortio bacteriano <i>Pseudomonas sp</i> <i>Pseudomonas fluorescens</i>	DBO ₅	61	T° = 27C°. Humedad 54,5% Clima =semi-húmedo Zona = Tropical
		DQO	88,0 con UV	
		SDT	56,2	
		Plomo	17,5	
[277]	Consortio de <i>Pseudomonas sp,</i> <i>Bacillus sp</i>	Cadmio	12,5	T° = 19 -36 C°. Humedad promedio 64.4% Clima =semi-húmedo Zona = Tropical
		Cromo	9,4	
		Mercurio	7,5	

Fuente: elaboración propia

Así mismo, en las tablas 22 y 23 se presentan las condiciones ambientales de algunos hongos que han demostrado una alta eficiencia en la remoción de cargas contaminantes, sea para las ARD como en las ARI.

Tabla 22. Condiciones ambientales para experimentos con hongos en ARD

Ref.	Hongos	Carga contaminante	Eficiencia %	Condiciones ambientales
[284]	Aspergillus fungus Aspergillus niger, Aspergillus. flavus, Aspergillus fumigatus	DBO ₅	50,6	T° = 21-35C°. Humedad 67.5% Clima =semi-húmedo Zona = Tropical
		DQO	87	
		SST	83	
		SDT	72	
[277]	<i>Stereum hirsutum</i> , <i>Nocardia</i> , <i>Methanogens</i> , <i>Aspergillus niger</i> , <i>Pleurotus ostreatus</i> , <i>Rhizopus arrhizus</i> , <i>Azotobacter</i> , <i>Alcaligenes</i> , <i>Phormidium valderium</i> , <i>Ganoderma applantus</i>	Mercurio	48.5	T° = 25-30C°. Humedad promedio 65.5% Clima =semi-seco Zona = Tropical
		Cadmio	36.4	
		Plomo	21.1	

Fuente: elaboración propia

Tabla 23. Condiciones ambientales para experimentos con hongos en ARI

Ref.	Hongos	Carga contaminante	Eficiencia %	Condiciones ambientales
[123]	Consortio de hongos <i>Aspergillus niger</i> <i>Rhizopus arrhizus</i>	Cromo	12,2	T° = 28C°. Humedad promedio 65,5% Clima =semi-humedo Zona = Tropical
		Cobre	10,3	
		Níquel	9,8	
		Plomo	7,1	
		Cadmio	8,4	
[283]	<i>Pleurotus ostreatus</i>	DBO ₅	92	T° = 21-35C°. Humedad 64.5% Clima =semi-seco Zona = Tropical
		DQO	87	
		SST	83	
		SDT	72	

Fuente: elaboración propia

De acuerdo con las condiciones ambientales que describen las investigaciones, son bacterias y hongos susceptibles de implementarse en el contexto de Popayán y el Cauca.

4.3.2. Análisis de condiciones óptimas para experimentos con microorganismos de montaña.

En primer lugar, puede afirmarse que las bacterias y hongos que presentan una alta eficiencia en la remoción de cargas contaminantes son viables de obtenerse en el contexto caucano, pues los suelos de montaña de la región contienen este tipo de microorganismos, como se señala en el estudio de Méndez y Orejuela [296], de tal manera que como primer insumo los experimentos a escala laboratorio son factibles. Por otra parte, en este mismo estudio reseñado se identifican algunos microorganismos, entre los que están las bacterias como *streptomyces sp.*

Los estudios sobre hongos, principalmente los que utilizan el género *Aspergillus sp.*, también representan una alternativa viable en el ámbito local y regional, pero puede considerarse como una alternativa significativa *Pleurotus ostreatus*, no solo porque evidencia una alta eficiencia en la remoción de cargas contaminantes, sino porque ya ha sido implementado en el contexto nacional, específicamente en Palmira, Valle del Cauca [283], siendo una biotecnología que contribuye a la remediación de ARI.

En el contexto caucano, las temperaturas oscilan entre los 20 y 30C°, porcentajes de humedad entre el 50 y 75%, siendo las zonas más húmedas las de la costa Pacífica y Piamonte, mientras que los valles interandinos como Patía el clima es cálido seco y en la zona céntrica del departamento predomina el clima templado cuyas temperaturas promedio son entre 18 y 25C° [297], de tal manera que al revisarse las condiciones ambientales que describen los estudios ofrecen viabilidad de implementarse.

CONCLUSIONES

Las actividades antrópicas, tanto de los hogares como de las industrias generan aguas residuales que impactan negativamente sobre el agua y en el medio ambiente en general, principalmente sobre las especies de flora y fauna, además de las comunidades humanas que viven y se benefician del recurso hídrico en las zonas de influencia de los ríos y lagos.

Las ARD y ARI generan impactos negativos por contaminación, sobre todo porque los efluentes que no son tratados adecuadamente se caracterizan por altos niveles de DBO₅, DQO, SST, SDT y metales tóxicos, los cuales al ser vertidos modifican las condiciones físico-químicas de los cuerpos de agua y los suelos a su paso, cuyos efectos son la eutrofización cuando se trata de contenidos elevados de nutrientes, especialmente fósforo y potasio; así como muerte de especies acuáticas como los peces y aquellos microorganismos que son fundamentales para la función biológica del recurso hídrico.

Las consecuencias de tales cargas contaminantes que llevan consigo las ARD Y ARI, además de las modificaciones en las propiedades físico-químicas del agua están representadas en altos niveles de toxicidad, sobre todo en las industriales, las cuales afectan los órganos de los diferentes animales, especialmente peces, anfibios y reptiles que consumen el agua. Luego, están aquellas afectaciones sobre la salud de las personas ante el uso de aguas sin tratar.

En vista que son aguas con altos niveles de materia orgánica y fosfatos, en algunos casos han desaparecido cuerpos de agua, puesto que la vegetación como buchones y algas terminan por acrecentar la sedimentación y con ello el secamiento o reducción de las áreas de lagos.

A los anterior se suma el problema de la presencia de metales pesados como el mercurio, cadmio, plomo, cromo y otros que al quedar disponibles en el agua, aquellos animales que constituyen la base de la cadena alimenticia los consumen y ascienden a los eslabones superiores en razón a que las aves, roedores y otros animales los consumen, dando como resultado una bioacumulación que puede generar masificación de estos, responsables de problemas en la salud de la fauna y de las personas.

Sin embargo, aunque es una problemática generalizada, en la actualidad se han desarrollado investigaciones que demuestran una alta eficiencia de los microorganismos de montaña para la biorremediación de este tipo de aguas. Se trata de bacterias y hongos que por sus capacidades metabólicas y enzimáticas contribuyen a biodegradar los sólidos SST, SDT, los metales pesados y reducen la DBO₅ y DQO, entre otras cargas contaminantes.

Sobre estas alternativas, puede destacarse que en países como China e India, se han obtenido resultados que permiten afirmar una alta efectividad para la remoción de cargas contaminantes, tanto en ARD como en ARI, siendo bacterias como las *Pseudomonas, sp*, *Bacillus sp* y *Streptomyces sp* las más utilizadas, así como *Aspergillus sp* y *Penicillium sp*, en el caso de los hongos. Mientras que en el caso nacional, se observan estudios que además de los anteriores destacan los resultados de *Pleorotus ostreatus* [283].

Estos microorganismos, dependiendo de las condiciones ambientales y los aditivos utilizados, ofrecen niveles de remoción que superan el 20% en prácticamente todas las cargas contaminantes durante tiempos promedio de 100 días, lo que significa que ofrecen una viabilidad para la biorremediación de ARD y ARI.

Cabe destacarse que, la mayor efectividad está en los consorcios de bacterias y hongos, siendo biotecnologías susceptibles de utilizarse en el contexto de Popayán y el Cauca, pues son microorganismos que están disponibles en los suelos de las montañas de la región resultantes de la abundante materia prima que caracteriza a los bosques tropicales.

Por otra parte, son microorganismos que se adecúan a las condiciones ambientales del Cauca y Popayán, pues de acuerdo con los estudios descritos se pueden implementar en zonas cuyas temperaturas oscilan entre los 20 y 35C°, porcentajes de humedad con promedio de 60%, climas entre semi-seco y cálido semi-humedo, las cuales están presentes en el territorio mencionado que cuenta con varios pisos térmicos.

Puede afirmarse que la gestión de las ARD y ARI cuenta con alternativas biológicas para la remediación. Esto significa que, es factible la implementación de microorganismos de montaña, los cuales ofrecen no solo una alta eficiencia, sino que son biotecnologías compatibles con el medio ambiente.

Finalmente, se identifican como biotecnologías que no son de desconocimiento en Colombia, pues existen algunos ejercicios a escala laboratorio que evidencian la posibilidad de aprovechamiento de estos microorganismos para aportar a la gestión de los vertimientos de ARD y ARI.

RECOMENDACIONES

Dada la eficiencia que describen los estudios encontrados en las diferentes bases de datos, se sugiere impulsar desde los programas de Ingeniería Ambiental de las Universidades del país y la región, ejercicios de investigación aplicada para efectos de un aprovechamiento de los microorganismos de montaña en aras de la biorremediación de ARD y ARI.

Diseñar una política de biorremediación de ARD y ARI a partir del trabajo cooperativo entre la academia, las empresas industriales de la región y las instituciones encargadas de la gestión de vertimientos para que los programas de saneamiento ambiental sean más efectivos y compatibles con el entorno.

Difundir aquellos estudios de revisión sobre las tecnologías para la remoción de cargas contaminantes, no solo las que involucran microorganismos, sino también aquellos que se apoyan en agentes biológicos como plantas, algas, hifas, larvas y otras alternativas. Con estos es posible contribuir a identificar estados del arte que pueden ser el insumo para investigaciones aplicadas en los contextos regional y local.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] J. Villena, «Calidad del agua y desarrollo sostenible,» *Revista Peruana de Medicina Experimental y Salud Pública*, vol. 35, nº 2, pp. 304-308, 2018.
- [2] A. Abood, J. Bao y Z. Abudi, «Biological nutrient removal by internal circulation upflow sludge blanket reactor after landfill leachate pretreatment,» *Journal of Environmental Sciences*, vol. 25, nº 10, pp. 2130-2137, 2013.
- [3] L. Bai, C. Wang y Y. Pei, «Nitrogen and phosphorus removal from secondary effluent using drinking water treatment residuals fixed-bed column with intermittent operation,» *Water Science and Technology: Water Supply*, vol. 14, nº 5, pp. 812-819, 2014.
- [4] W. Alves y M. Soares, «Impactos Ambientais na Bacia do Rio Guavinipã no Norte de Minas Gerais,» *Cerrados*, vol. 19, nº 2, pp. 280-302, 2021.
- [5] M. Elordi, J. Colman y A. Porta, «Evaluación del impacto antrópico sobre la calidad del agua del arroyo Las Piedras, Quilmes, Buenos Aires, Argentina,» *Acta Bioquímica Clínica Latinoamericana*, vol. 50, nº 4, pp. 669-667, 2016.
- [6] M. Osorio, W. Carrillo, X. Loor, J. Negrete y E. Riera, «La calidad de las aguas residuales domésticas,» *Polo del Conocimiento*, vol. 6, nº 3, pp. 228-245, 2021.
- [7] B. y. Ñ. M. Alarcón, «Índice de calidad de agua según NSF del humedal laguna 'Los Milagros' (Tingo María-Perú).,» *Revista Indes*, vol. 2, nº 2, pp. 98-107, 2016.
- [8] C. Jiménez, J. Durán y M. C., «Calidad,» de *El Agua en México: cauces y encauces*, México D.F., AMC - Conagua, 2010, pp. 56-73.
- [9] Banco Mundial, *El agua residual puede generar beneficios para la gente, el medioambiente y las economías, según el Banco Mundial*, Washington: Banco Mundial, 2020.
- [10] ONU, *Progreso en el tratamiento de aguas residuales. Estado mundial y necesidades de aceleración del indicador 6.3.1. de los ODS*, Ginebra: Programa de las Naciones Unidas para los Asentamientos Humanos (ONU-Hábitat) y Organización Mundial de la Salud (OMS), 2021.
- [11] APPSA, *Manual para la construcción de redes de acueducto y alcantarillado en el Municipio de Popayán*, Popayán, Colombia: Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Popayán S.A., 2013.

- [12] T. Higa y J. Parr, *Beneficial y Effective Microorganisms for a Sustainable Agriculture and Environment*, Atamai, Japan: International Nature Farming Venter, 2004.
- [13] J. García, «Comparación de la fertilización orgánica y convencional a partir del uso de microorganismos eficaces y químicos tradicionales sobre la producción de biomasa durante un ciclo de cosecha en el cultivo de rábano gordo (*Raphanus sativus* L.),» *Revista Latinoamericana de Microbiología*, nº 42, pp. 73-82, 2011.
- [14] M. Carballo, A. Piñón, A. Martínez, J. Martínez, C. Díaz y R. Jiménez, «Tamizaje de cepas bacterianas para la remoción de metales pesados (cobre y cadmio),» *Revista Contribución a la educación y la protección ambiental*, vol. 4, 2013.
- [15] T. Higa y G. Wididana, «Model of integrated Farming System with Effective Microorganisms (EM) Technology in Bali Isly,» de *5th International Kyusei Nature Farming Conference*, Bangkok, Thailly, 2007.
- [16] A. Alcázar y J. Acosta, *Cartilla Teórico-ilustrativa Las maravillas de los microorganismos de montaña,*, Turrialba, Costa Rica: Fundación ETIKA VERDE, 2010.
- [17] A. Chaurasia, B. Meena y A. Tripathi, «Actinomycetes: an unexplored microorganism for plant growth promotion and biocontrol in vegetable crops.,» *World Journal of Microbiology and Biotechnology*, vol. 34, nº 9, pp. 132-146, 2018.
- [18] J. Suchini, *Innovaciones agroecológicas para una producción agropecuaria sostenible en la región del Trifinio*, San José de Costa Rica: Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE), 2012.
- [19] T. Romero y D. Vargas, «Uso de microorganismos eficientes para tratar aguas,» *Ingeniería Hidráulica y Ambiental*, vol. 38, nº 3, pp. 88-100, 2017.
- [20] I. Salgado, c. Durán, M. Cruz, M. Carballo y A. Martínez, «Bacterias rizosféricas con potencialidades fisiológicas para eliminar materia orgánica de aguas residuales,» *Revista Internacional de Contaminación y Ambiente*, vol. 28, nº 1, pp. 17-26, 2016.
- [21] E. Faife, D. Roget, C. Fandiño, I. Pérez, Y. de la Hoz, K. Tortoló y G. Michelena, «Empleo de microorganismos eficientes como alternativa para el tratamiento de residuales. Revisión bibliográfica,» *ICIDCA: sobre los derivados de la caña de azúcar*, vol. 52, nº 3, 2018.
- [22] A. Arias, «Microorganismos eficientes y su beneficio para la agricultura y el medio ambiente.,» *Journal de Ciencia e Ingeniería*, vol. 2, nº 2, pp. 42-45, 2010.

- [23] C. Calheiros, S. Pereira, A. Franco y P. Castro, «Diverse arbuscular mycorrhizal fungi (AMF) communities colonize plants inhabiting a constructed wetland for wastewater treatment,» *Water (Switzerland)*, vol. 11, nº 8, pp. 1-21, 2019.
- [24] V. Novotny, *Water quality: Diffuse pollution and Watershed management*, Boston, USA: John Wiley and Sons, 2003.
- [25] D. Mara y S. Cairncross, *Directrices para el uso sin riesgos de aguas residuales en la agricultura y la acuicultura: medidas de protección de la salud pública*, Ginebra: Organización Mundial de la Salud, 2011.
- [26] Y. De la Hoz, Y. Izquierdo y O. López, «Caracterización y tratamiento de aguas residuales del central azucarero "Manuel Fajardo", para disminuir la contaminación en la fabricación de azúcar,» *ICIDCA. Sobre los Derivados de la Caña de Azúcar*, vol. 51, nº 3, pp. 72-74, 2017.
- [27] C. Blundi, *Aplicação de métodos alternativos para a determinação de materia orgánica em águas residuárias. Tesis para Doutorado em Hidráulica e Saneamento.*, Sao Carlos. Brasil: Universidad de Sao Carlos, 2008 .
- [28] J. Silva, ., P. Torres y C. Madera, «Reutilización de aguas residuales tratadas en la agricultura: una oportunidad para el sector cañero,» *III+3 Investigación, Innovación e Ingeniería*, nº 2, pp. 10-25, 2014.
- [29] P. Leyva, *El medio ambiente en Colombia*, Bogotá: IDEAM, 2008.
- [30] F. Camacho, L. Uribe y Q. Newcomer, «Fitotoxicidad de compost producido con cultivos de microorganismos de montaña y lodos de biodigestor,» *Cuadernos de Investigación UNED*, vol. 11, nº 2, pp. 75-84, 2019.
- [31] J. Torres, C. Aguilar, H. Vásquez, M. Solís, E. Gómez y J. Aguilar, «Evaluación del uso de microorganismos de montaña activados en el cultivo de rosas, Zinacantán, Chiapas, México,» *Siembra*, vol. 9, nº 1, pp. 1-23, 2022.
- [32] P. Méndez, *Evaluación de Microorganismos de Montaña MM como aceleradores de compostaje para la producción de cultivos aromáticos*, Bogotá: Universidad de La Salle, 2019.
- [33] M. Morocho y M. Leiva, «Microorganismos eficientes, propiedades funcionales y aplicaciones agrícolas,» *Centro Agrícola*, vol. 46, nº 2, pp. 93-103, 2019.
- [34] O. Olanrewaju, B. Glick y O. Babalola, «Mechanisms of action of plant growth promoting bacteria,» *World Journal of Microbiology and Biotechnology*, vol. 33, nº 11, p. 197, 2017.

- [35] Asamblea Nacional Constituyente, Constitución Política de Colombia. Artículos 7, 79 y 80, Bogotá: LEGIS, 1991.
- [36] Colombia, Ley 99 de 1993. Por la cual se crea el MADS, se reordena el Sector Público encargado de la gestión y conservación del medio ambiente y los recursos naturales renovables, se organiza el Sistema Nacional Ambiental, SINA, y se dictan otras disposiciones, Bogotá: Departamento Administrativo de la Función Pública, 1993.
- [37] MADS, Guía metodológica de trámites para el control de los vertimientos en los cuerpos de agua superficiales, al suelo asociado a un acuífero y al medio marino, en función de los trámites y procedimientos requeridos para la obtención de permisos de vertimientos, Bogotá: Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible - Dirección de Gestión Integral del Recurso Hídrico, 2011.
- [38] T. Morales, M. Flórez y J. Céspedes, «Propuesta para optimizar la evaluación, seguimiento y control a los actos administrativos, en el uso y aprovechamiento de recursos naturales,» *Scientia Et Technica*, vol. 17, nº 47, pp. 49-54, 2011.
- [39] CRC, Plan de Gestión Ambiental Regional del Cauca 2013 - 2023, Popayán, Colombia: Corporación Autónoma Regional del Cauca, 2013.
- [40] Presidencia de la República, Decreto 3930 de 2010. Por el cual se reglamenta parcialmente el Título I de la Ley 9ª de 1979, así como el Capítulo II del Título VI -Parte III- Libro II del Decreto-ley 2811 de 1974 en cuanto a usos del agua y residuos líquidos y otras disposiciones, Bogotá: Presidencia de la República de Colombia, 2010.
- [41] MADS, Resolución 0631 de 2015. Por la cual se establecen los parámetros y los valores límites máximos permisibles en los vertimientos puntuales a cuerpos de aguas superficiales y a los sistemas de alcantarillado público y se dictan otras disposiciones, Bogotá: Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2015.
- [42] R. Hernández, C. Fernández y P. Baptista, Metodología de la investigación, 5ta edición ed., México: McGraw-Hill / Interamericana Editores, S.A., 2014.
- [43] G. Guevara, A. Verdesoto y N. Castro, «Metodologías de investigación educativa (descriptivas, experimentales, participativas, y de investigación-acción),» *Recimundo*, vol. 4, nº 3, pp. 163-173, 2020.
- [44] K. Petersen, R. Feldt, S. Mujtaba y M. Mattsson, «Systematic Mapping Studies in Software Engineering,» de *12th International Conference on Evaluation and Assessment in Software Engineering (EASE)*., Karlskrona, Sweden, 2008.

- [45] J. Castro, Y. Cabrera, T. Gonzales y L. Sumarriva, «Remoción de materia orgánica en reactor anaerobio de manto de lodos de flujo ascendente en el tratamiento de aguas residuales del camal de Huancavelica,» *Revista de la Sociedad Química del Perú*, vol. 85, nº 3, pp. 362-375, 2019.
- [46] A. Moyano, F. Cuadros, A. Pabón y J. Trujillo, «Impacto ambiental del vertimiento de aguas servidas en aglomerados urbanos ilegales del municipio de Villavicencio, Colombia,» *Tecnura*, vol. 28, nº 68, pp. 43-62, 2021.
- [47] Biblioteca del Congreso de Chile, «Los problemas que debe enfrentar China por sus altos niveles de polución post pandemia,» Biblioteca del Congreso de Chile, Santiago de Chile, 2020.
- [48] A. Salvá, «La contaminación está matando (literalmente) a los indios,» *Diario El País de España*, Madrid, España, 2021.
- [49] S. Bolívar, D. Castaño y O. Gutiérrez, «Modelo Correlacional de Sólidos Suspendidos Totales Presentes en Aguas Residuales Domésticas Mediante Análisis de Turbiedad,» *Revista Producción + Limpia*, vol. 16, nº 1, pp. 186-197, 2021.
- [50] S. Crombet, N. Pérez, A. Ábalos y S. Rodríguez, «Caracterización de las aguas residuales de la comunidad "Antonio Maceo" de la Universidad de Oriente,» *Revista Cubana de Química*, vol. 25, nº 2, pp. 134-142, 2013.
- [51] M. Bote, «Studies on electrode combination for COD removal from domestic wastewater using electrocoagulation,» *Heliyon*, vol. 7, nº 12, pp. 1-6, 2021.
- [52] S. Estévez, G. Feijoo y M. Moreira, «Environmental synergies in decentralized wastewater treatment at a hotel resort,» *Journal of Environmental Management*, vol. 317, pp. 1-12, 2022.
- [53] B. Romero, «Impactos ambientales significativos generados por las acequias Cois, Pulen y Yortuque de la ciudad de Chiclayo, Perú. Propuesta de un plan de mitigación,» *The Biologist*, vol. 8, nº 2, pp. 150-163, 2010.
- [54] H. Gu, Y. Yang, T. Guo, Y. Gao y N. Wang, «Review on treatment and utilization of barium slag in China,» *Journal of Environmental Management*, vol. 325, pp. 1-21, 2023.
- [55] V. Le, Q. Tran, S. Ko, H. Kim y C. Ahn, «How do freshwater microalgae and cyanobacteria respond to antibiotics?,» *Critical Reviews in Biotechnology*, vol. 75, nº 12, pp. 1-18, 2022.
- [56] M. SouDakouré, A. Mermoud, H. Yacouba y P. Boivin, «Impacts of irrigation with industrial treated wastewater on soil properties,» *Geoderma*, vol. 200, nº 201, pp. 31-39, 2013.

- [57] W. Li, «Occurrence, sources, and fate of pharmaceuticals in aquatic environment and soil,» *Environmental Pollution*, vol. 187, pp. 193-201, 2014.
- [58] L. Tahrani, I. Mehri, T. Reynolds, H. Abdenaceur y H. Mansour, «UPLC-MS/MS analysis of antibiotics in pharmaceutical effluent in Tunisia: ecotoxicological impact and multi-resistant bacteria dissemination,» *Archives of Microbiology*, vol. 200, n° 4, pp. 553-565, 2018.
- [59] G. Mancini, A. Luciano, D. Bolzonella, P. Viotti y D. Fino, «A water-waste-energy nexus approach to bridge the sustainability gap in landfill-based waste management regions,» *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 137, pp. 1-24, 2021.
- [60] H. Zeng, T. Qiao, L. Zhai, J. Zhang y D. Li, «Fe₃O₄@C particles synthesized with iron-containing water treatment residuals and its potential for methylene blue removal,» *Journal of Chemical Technology and Biotechnology*, vol. 94, n° 12, pp. 3970-3980, 2019.
- [61] E. Lichtfouse, N. Morin-Crini, M. Fourmentin, L. Wilson y G. Crini, «Chitosan for direct bioflocculation of wastewater,» *Environmental Chemistry Letters*, vol. 17, n° 4, pp. 1603-1621, 2019.
- [62] A. Gizzatov, A. Mashat, D. Kosynkin, S. Eichmann y A. Abdel-Fattah, «Nanofluid of Petroleum Sulfonate Nanocapsules for Enhanced Oil Recovery in High-Temperature and High-Salinity Reservoirs,» *Energy and Fuels*, vol. 33, n° 11, pp. 11567-11573, 2019.
- [63] S. Anand, R. Aggarwal, D. Saini, N. Chauhan y S. Sonkar, «Removal of toxic chromium (VI) from the wastewater under the sunlight-illumination by functionalized carbon nano-rods,» *Solar Energy*, vol. 193, pp. 774-781, 2019.
- [64] Z. Jiang, Y. Ye, X. Zhang y B. Pan, «Validation of a combined Fe(III)/UV/NaOH process for efficient removal of carboxyl complexed Ni from synthetic and authentic effluents,» *Chemosphere*, vol. 234, pp. 917-924, 2019.
- [65] A. Haghollahi, M. Fazaelipour y M. Schaffie, «The effect of soil type on the bioremediation of petroleum contaminated soils,» *Journal of Environmental Management*, vol. 180, pp. 197-201, 2016.
- [66] J. Harkness, B. Sulkin y A. Vengosh, «Evidence for Coal Ash Ponds Leaking in the Southeastern United States,» *Environmental Science and Technology*, vol. 50, n° 12, p. 2016, 6583-6592.
- [67] Y. Barbot, H. Al-Ghaili y R. Benz, «A review on the valorization of macroalgal wastes for biomethane production,» *Marine Drugs*, vol. 14, n° 6, pp. 120-134, 2016.

- [68] G. Basílico, L. de Cabo, A. Magdaleno y A. Faggi, «Poultry Effluent Bio-treatment with *Spirodela intermedia* and Periphyton in Mesocosms with Water Recirculation,» *Water, Air, and Soil Pollution*, vol. 227, nº 6, pp. 190-210, 2016.
- [69] X. Wang, «Review of characterization methods for water-soluble polymers used in oil sand and heavy oil industrial applications,» *Environmental Reviews*, vol. 24, nº 4, pp. 460-470, 2016.
- [70] A. Nogueira, J. Bassin, A. Cerqueira y M. Dezotti, «Integration of biofiltration and advanced oxidation processes for tertiary treatment of an oil refinery wastewater aiming at water reuse,» *Environmental Science and Pollution Research*, vol. 23, nº 10, pp. 9730-9741, 2016.
- [71] N. Zainol, K. Samad, C. Che y N. Razahazizi, «Optimization of COD, nitrate-N and phosphorus removal from hatchery wastewater with acclimatized mixed culture,» *Heliyon*, vol. 8, nº 4, pp. 1-7, 2022.
- [72] X. Jin, Y. Liu, X. Qiao, X. Wang y X. Zhao, «Risk assessment of organochlorine pesticides in drinking water source of the Yangtze River,» *Ecotoxicology and Environmental Safety*, vol. 182, pp. 367-390, 2019.
- [73] R. Brennan, J. Murnane, A. Sharpley, K. Brye y T. Simmons, «Soil phosphorus dynamics following land application of unsaturated and partially saturated red mud and water treatment residuals,» *Journal of Environmental Management*, vol. 248, pp. 109-296, 2019.
- [74] A. Howells, S. Lewis, D. Beard y I. Oliver, «Water treatment residuals as soil amendments: Examining element extractability, soil porewater concentrations and effects on earthworm behaviour and survival,» *Ecotoxicology and Environmental Safety*, vol. 162, pp. 334-340, 2018.
- [75] C. Cao, Q. Zhang, Z. Ma, H. Chen y J. Wang, «Fractionation and mobility risks of heavy metals and metalloids in wastewater-irrigated agricultural soils from greenhouses and fields in Gansu, China,» *Geoderma*, vol. 328, pp. 1-9, 2018.
- [76] B. González, J. Alonso, L. Rodríguez, M. Corvinos y C. Muro, «Effect heating dwell time has on the retention of heavy metals in the structure of lightweight aggregates manufactured from wastes,» *Environmental Technology (United Kingdom)*, vol. 39, nº 19, pp. 2511-2523, 2018.
- [77] M. Aleem, C. Shun, C. Li, W. Ahmed y N. Buttar, «Evaluation of groundwater quality in the vicinity of Khurrianwala industrial zone, Pakistan,» *Water (Switzerland)*, vol. 10, nº 10, p. 13 21, 2018.
- [78] V. Leifeld, T. dos Santos, D. Zelinski y L. Igarashi-Mafra, «Ferrous ions reused as catalysts in Fenton-like reactions for remediation of agro-food industrial

- wastewater,» *Journal of Environmental Management*, vol. 222, pp. 284-292, 2018.
- [79] A. Ishak, F. Hamid, S. Mohamad y K. Tay, «Stabilized landfill leachate treatment by coagulation-flocculation coupled with UV-based sulfate radical oxidation process,» *Waste Management*, vol. 76, pp. 575-581, 2018.
- [80] S. Gharib-Bibalan, «High Value-added Products Recovery from Sugar Processing By-products and Residuals by Green Technologies: Opportunities, Challenges, and Prospects,» *Food Engineering Reviews*, vol. 10, nº 2, pp. 95-111, 2018.
- [81] Q. Qin, Z. Jiang y Y. Xu, «Thermal modification of aluminum drinking water treatment residuals for removal of Congo red from water,» *Desalination and Water Treatment*, vol. 68, pp. 293-300, 2017.
- [82] R. RamyaPriya y L. Elango, «Evaluation of geogenic and anthropogenic impacts on spatio-temporal variation in quality of surface water and groundwater along Cauvery River, India,» *Environmental Earth Sciences*, vol. 77, nº 1, pp. 1-16, 2018.
- [83] M. Wu, X. Yang, G. Xu, S. Ma y L. Tang, «Semivolatile organic compounds in surface microlayer and subsurface water of Dianshan Lake, Shanghai, China: implications for accumulation and interrelationship,» *Environmental Science and Pollution Research*, vol. 24, nº 7, pp. 6572-6580, 2017.
- [84] M. Ribeiro, M. Starling, M. Leão y C. de Amorim, «Textile wastewater reuse after additional treatment by Fenton's reagent,» *Environmental Science and Pollution Research*, vol. 24, nº 7, pp. 6165-6175, 2017.
- [85] L. Kang, Q. He, W. He, X. Lan y F. Xu, «Current status and historical variations of DDT-related contaminants in the sediments of Lake Chaohu in China and their influencing factors,» *Environmental Pollution*, vol. 219, pp. 883-896, 2016.
- [86] Y. Wang, Y. Yu, H. Li y C. Shen, «Comparison study of phosphorus adsorption on different waste solids: Fly ash, red mud and ferric-alum water treatment residues,» *Journal of Environmental Sciences (China)*, vol. 50, pp. 79-86, 2016.
- [87] A. López, H. Ortega, C. Ramírez, D. Gómez y R. Vázquez, «Physico-chemical characterization of urban and industrial wastewater and its importance in agriculture,» *Tecnología y Ciencias del Agua*, vol. 7, nº 6, pp. 139-157, 2016.
- [88] W. Da Silva, M. Lansarin, J. Dos Santos y F. Silveira, «Photocatalytic degradation of rhodamine B, paracetamol and diclofenac sodium by supported titania-based catalysts from petrochemical residue: Effect of doping

- with magnesium,» *Water Science and Technology*, vol. 74, n° 10, pp. 2370-2383, 2016.
- [89] P. Nautiyal, K. Subramanian y M. Dastidar, «Adsorptive removal of dye using biochar derived from residual algae after in-situ transesterification: Alternate use of waste of biodiesel industry,» *Journal of Environmental Management*, vol. 182, pp. 187-197, 2016.
- [90] A. Vollmannova, M. Kujovsky, R. Stanovic, J. Arvay y L. Harangozo, «Contamination of the Alluvium of the Nitra River in Slovakia by Cadmium, Mercury and Lead as a Result of Previous Intense Industrial Activity,» *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*, vol. 97, n° 4, pp. 561-568, 2016.
- [91] J. Wu y Z. Sun, «Evaluation of Shallow Groundwater Contamination and Associated Human Health Risk in an Alluvial Plain Impacted by Agricultural and Industrial Activities, Mid-west China,» *Exposure and Health*, vol. 8, n° 3, pp. 311-329, 2016.
- [92] P. Li, X. Li, X. Meng, M. Li y Y. Zhang, «Appraising Groundwater Quality and Health Risks from Contamination in a Semiarid Region of Northwest China,» *Exposure and Health*, vol. 8, n° 3, pp. 361-379, 2016.
- [93] E. Nasim, T. Clay, K. Herron, P. Adam y C. Kenneth, «Recycling fracturing flowback water for use in hydraulic fracturing: Influence of organic matter on stability of carboxyl-methyl-cellulose-based fracturing fluids,» *SPE Journal*, vol. 21, n° 4, pp. 1358-1369, 2016.
- [94] J. Mayers, A. Ekman, E. Svensson y E. Albers, «Integrating Microalgal Production with Industrial Outputs - Reducing Process Inputs and Quantifying the Benefits,» *Industrial Biotechnology*, vol. 12, n° 4, pp. 219-234, 2016.
- [95] T. Turner, T. Krabbenhoft, M. Collyer, M. Edwards y Z. Sharp, «Retrospective stable isotope analysis reveals ecosystem responses to river regulation over the last century,» *Ecology*, vol. 96, n° 12, pp. 3213-3226, 2015.
- [96] L. Liu, J. Cao, M. Ali, J. Zhang y Z. Wang, «Impact of green roof plant species on domestic wastewater treatment,» *Environmental Advances*, vol. 4, pp. 1-10, 2021.
- [97] D. Zhang, H. Zhao, W. Gao, Y. Sheng y H. Cao, «The significance of resource recycling for coking wastewater treatment: Based on environmental and economic life cycle assessment,» *Green Chemical Engineering*, vol. 4, pp. 1-35, 2022.
- [98] I. Zohar, J. Ippolito, M. Massey y I. Litaor, «Innovative approach for recycling phosphorous from agro-wastewaters using water treatment residuals (WTR),» *Chemosphere*, vol. 168, pp. 234-243, 2017.

- [99] G. Ambrosova, E. Matyushenko y N. Sineeva, «Places of dephosphorization of urban wastewater and effect of removing phosphorus by reagents,» *Water and Ecology*, vol. 2017, nº 4, p. 1325, 2017.
- [100] J. Jia, L. Hu, J. Zheng, X. Zhai y D. Zhang, «Environmental toxicity analysis and reduction of ceramsite synthesis from industrial coal gasification coarse cinder waste,» *Polish Journal of Environmental Studies*, vol. 26, nº 1, pp. 147-153, 2017.
- [101] T. Phokane y K. Gupta, «Sustainable manufacturing of precision miniature gears by abrasive water jet machining-an experimental study,» *Advances in Transdisciplinary Engineering*, vol. 6, pp. 401-406, 2017.
- [102] J. Lins, L. Dos Santos, V. Dos Santos y L. Sarubbo, «Industrial reuse of water from chemical washing of residual frying oil,» *Chemical Engineering Transactions*, vol. 57, pp. 523-528, 2017.
- [103] N. Mohamed, «Land degradation in the Nile Delta,» *Handbook of Environmental Chemistry*, vol. 55, pp. 235-264, 2017.
- [104] M. Hernández, M. Ojeda y M. Domínguez, «Biosurfactants in the oil industry, forestry and environmental pollution,» *Biosurfactants: Occurrences, Applications and Research*, pp. 17-54, 2017.
- [105] L. Jiang, Z. Tang, K. Park-Lee, D. Hess y V. Breedveld, «Fabrication of non-fluorinated hydrophilic-oleophobic stainless steel mesh for oil-water separation,» *Separation and Purification Technology*, vol. 184, pp. 394-403, 2017.
- [106] V. Innocenzi, F. Tortora, M. Prisciandaro, G. Di Celso y F. Vegliò, «Zinc and chromium removal from liquid wastes by using micellar enhanced ultra filtration,» *Desalination and Water Treatment*, vol. 61, pp. 250-256, 2017.
- [107] S. Hussain, M. Naeem y M. Chaudhry, «Estimation of residual antibiotics in soil and underground water of areas affected by pharmaceutical wastewater in Lahore,» *Journal of Water Chemistry and Technology*, vol. 39, nº 1, pp. 56-60, 2017.
- [108] F. Silva, P. Scalize, K. Cruvinel y A. A. , «Characterization of residual soils for infiltration of reclaimed water,» *Engenharia Sanitaria e Ambiental*, vol. 22, nº 1, pp. 95-102, Engenharia Sanitaria e Ambiental.
- [109] C. Zaharia, «Decentralized wastewater treatment systems: Efficiency and its estimated impact against onsite natural water pollution status. A Romanian case study,» *Process Safety and Environmental Protection*, vol. 108, pp. 74-88, 2017.

- [110] X. Zhang, J. Fu y Y. Liu, «Resourceful treatment of seawater desalination or high concentrated sewage by renewable energy,» *Lecture Notes in Energy*, vol. 33, pp. 307-327, 2017.
- [111] F. Rossi, E. Olguín, L. Diels y R. De Philippis, «Microbial fixation of CO₂ in water bodies and in drylands to combat climate change, soil loss and desertification,» *New Biotechnology*, vol. 32, n^o 1, pp. 109-120, 2015.
- [112] Z. Sadecka, E. Płuciennik, S. Myszograj, M. Suchowska y A. Jakubaszek, «The impact of the sewer system rinsing on the wastewater composition,» *Environment Protection Engineering*, vol. 39, n^o 2, pp. 5-13, 2013.
- [113] H. Ung, B. Leu, H. Hien y L. Nguyen, «Combining flowform cascade with constructed wetland to enhance domestic wastewater treatment,» *Environmental Technology & Innovation*, vol. 27, pp. 1-10, 2022.
- [114] P. Chan, R. Alves, H. lu y H. Shim, «Co-digestion of food waste and domestic wastewater – effect of copper supplementation on biogas production,» *Energy Procedia*, vol. 153, pp. 237-241, 2018.
- [115] S. Gitipour, E. Farvash, N. Keramati, P. Yaghoobzadeh y M. Rezaee, «Remediation of petroleum contaminated soils in urban areas using thermal desorption,» *Journal of Environmental Studies*, vol. 41, n^o 3, pp. 643-652, 2015.
- [116] S. Cheng, Y. Lee, C. Kuo y T. Wu, «A case study of antibiotic wastewater treatment by using a membrane biological reactor system,» *International Biodeterioration and Biodegradation*, vol. 102, pp. 398-401, 2015.
- [117] I. Jacukowicz, D. Ociński y E. Kociołek, «Iron and aluminium oxides containing industrial wastes as adsorbents of heavy metals: Application possibilities and limitations,» *Waste Management and Research*, vol. 33, n^o 7, pp. 612-629, 2015.
- [118] K. Binnemans, P. Jones, B. Blanpain, T. Van Gerven y Y. Pontikes, «Towards zero-waste valorisation of rare-earth-containing industrial process residues: A critical review,» *Journal of Cleaner Production*, vol. 99, p. 2015, 17-38.
- [119] M. Al-Hwaiti, H. Brumsack y B. Schnetger, «Fraction distribution and risk assessment of heavy metals in waste clay sediment discharged through the phosphate beneficiation process in Jordan,» *Environmental Monitoring and Assessment*, vol. 187, n^o 7, pp. 401-420, 2015.
- [120] L. Guo, Y. Du, Q. Yi, L. Cao y D. Du, «Efficient removal of arsenic from "dirty acid" wastewater by using a novel immersed multi-start distributor for sulphide feeding,» *Separation and Purification Technology*, vol. 142, pp. 209-214, 2015.

- [121] R. Zhu, C. Yang, M. Zhou y J. Wang, «Industrial park wastewater deeply treated and reused by a novel electrochemical oxidation reactor,» *Chemical Engineering Journal*, vol. 260, pp. 427-433, 2015.
- [122] E. Abou Taleb, A. El-Aziz, M. Gawad, A. Aziz y M. EL-Tawabty, «Innovative method to improve the efficiency of combined wastewater treatment plant,» *International Journal of ChemTech Research*, vol. 8, nº 11, pp. 26-35, 2015.
- [123] L. Cao, J. Yang, P. Wang, M. Zou y J. Xie, «Potentially toxic metal and metalloid fractionation contamination in sediments of Daya Bay, South China Sea,» *Kemija u industriji/Journal of Chemists and Chemical Engineers*, vol. 64, nº 5-6, pp. 255-262, 2015.
- [124] A. Efligenir, S. Déon, P. Fievet, N. Morin-Crini y G. Crini, «Decontamination of polluted discharge waters from surface treatment industries by pressure-driven membranes: Removal performances and environmental impact,» *Chemical Engineering Journal*, vol. 258, pp. 309-319, 2014.
- [125] S. Hughes, J. López, M. Jones, A. Darzins y L. Brunner, «Sustainable conversion of coffee and other crop wastes to biofuels and bioproducts using coupled biochemical and thermochemical processes in a multi-stage biorefinery concept,» *Applied Microbiology and Biotechnology*, vol. 98, nº 20, pp. 8413-8431, 2014.
- [126] W. Li, «Occurrence, sources, and fate of pharmaceuticals in aquatic environment and soil,» *Environmental Pollution*, vol. 187, pp. 193-201, 2014.
- [127] J. Gan, C. Ke, J. Chen, Z. Wang y X. Jia, «Content of chlordane in oysters (*Crassostrea rivularis*) in coastal waters of south China and its spatio-temporal distribution,» *Journal of Ecology and Rural Environment*, vol. 30, nº 1, pp. 124-128, 2014.
- [128] H. Soni, J. Parmar, S. Bhokarkar, B. Kamath y P. Sudhakar, «Water quality assessment of groundwater in area along Nandesari effluent channel, India,» *Desalination and Water Treatment*, vol. 52, nº 40-42, pp. 7552-7564, 2014.
- [129] M. Kashem, S. Kawai y B. Singh, «Application of Iherzolite on the plant growth and on chemical fractionation of lead in metal contaminated soil,» *Research Journal of Pharmaceutical, Biological and Chemical Sciences*, vol. 5, nº 6, pp. 64-71, 2014.
- [130] S. Jilani y M. Khan, «Treatment of toxic organics in industrial wastewater using activated sludge process,» *International Journal of Environmental Research*, vol. 8, nº 3, pp. 719-726, 2014.
- [131] D. Belhaj, S. Ghrab, M. Medhioub y M. Kallel, «Performance evaluation of an industrial wastewater treatment plant in South-Eastern Tunisia,» *Desalination and Water Treatment*, vol. 52, nº 10-12, pp. 2174-2179, 2014.

- [132] N. Hartley, D. Tsang, W. Olds y P. Weber, «Soil Washing Enhanced by Humic Substances and Biodegradable Chelating Agents,» *Soil and Sediment Contamination*, vol. 23, nº 6, pp. 599-613, 2014.
- [133] S. Lohani, S. Wang, W. Bergland, S. Khanal y R. Bakke, «Modeling temperature effects in anaerobic digestion of domestic wastewater,» *Water-Energy Nexus*, vol. 1, nº 1, pp. 56-60, 2018.
- [134] Y. Bo y W. Wen, «Treatment and technology of domestic sewage for improvement of rural environment in China,» *Journal of King Saud University - Science*, vol. 34, nº 7, pp. 1-10, 2022.
- [135] K. Pooja, V. Priyanka, B. Sekhar y V. Raghavender, «Cost-effective treatment of sewage wastewater using microalgae *Chlorella vulgaris* and its application as bio-fertilizer,» *Energy Nexus*, vol. 7, pp. 100-122, 2022.
- [136] J. You, J. Greenman y I. Leropoulos, «Microbial fuel cells in the house: A study on real household wastewater samples for treatment and power,» *Sustainable Energy Technologies and Assessments*, vol. 48, pp. 1-7, 2021.
- [137] D. Stalter, A. Magdeburg, K. Quednow, A. Botzat y J. Oehlmann, «Do Contaminants Originating from State-of-the-Art Treated Wastewater Impact the Ecological Quality of Surface Waters?,» *PLoS ONE*, vol. 8, nº 4, pp. 606-616, 2013.
- [138] R. Singh, S. Gahlot y A. Singh, «Ecohydrological perspectives of declining water sources and quality in traditional water bodies of Delhi,» *IAHS-AISH Proceedings and Reports*, vol. 361, pp. 361-368, 2013.
- [139] D. Baker, R. Rodríguez y M. Fogel, «Tourism's nitrogen footprint on a Mesoamerican coral reef,» *Coral Reefs*, vol. 32, nº 3, pp. 691-699, 2013.
- [140] S. Namaalwa, A. Van dam, A. Funk, G. Ajie y R. Kaggwa, «A characterization of the drivers, pressures, ecosystem functions and services of Namatala wetland, Uganda,» *Environmental Science and Policy*, vol. 34, pp. 44-57, 2013.
- [141] W. Steele y S. Harrow, «Overview of adaptive management for multiple biodiversity values at the western treatment plant, werribee, leading to a pilot nutrient addition study,» *Victorian Naturalist*, vol. 131, nº 4, pp. 128-146, 2014.
- [142] L. Caicedo, L. Valverde y L. Lima, «Evaluación de impactos ambientales por acción antrópica en la Cuenca del Río Súa,» *Dominio de las Ciencias*, vol. 3, nº 2, pp. 84-99, 2017.
- [143] B. Barbosa, J. Costa, A. Fernando y P. E. , «Wastewater reuse for fiber crops cultivation as a strategy to mitigate desertification,» *Industrial Crops and Products*, vol. 68, pp. 17-23, 2015.

- [144] M. Vu, L. Nguyen, I. Ibrahim, X. Zhang y L. Nghiem, «Nutrient recovery from digested sludge centrate using alkali metals from steel-making slag,» *Chemical Engineering Journal*, vol. 450, pp. 158-186, 2022.
- [145] J. Kim, M. Kim, M. Kim y J. Jang, «Treatment of phosphorus and suspended solid in reject water of sewage using an integrated slow mixing/sedimentation and net fit fiber filtration system,» *Korean Chemical Engineering Research*, vol. 55, nº 6, pp. 816-821, 2017.
- [146] B. Du, A. Price, W. Scott, J. Yelderman y B. Brooks, «Comparison of contaminants of emerging concern removal, discharge, and water quality hazards among centralized and on-site wastewater treatment system effluents receiving common wastewater influent,» *Science of the Total Environment*, vol. 466, nº 467, pp. 976-984, 2014.
- [147] X. Cheng, C. Wei, X. Ke, J. Pan, G. Wei, Y. Chen, C. Wei, F. Li y S. Preis, «Nationwide review of heavy metals in municipal sludge wastewater treatment plants in China: Sources, composition, accumulation and risk assessment,» *Journal of Hazardous Materials*, vol. 437, pp. 1-16, 2022.
- [148] L. Xing, A. Li, J. Sun, F. Kong, M. Kong, J. Li y R. Zhang, «Insights into the occurrence, elimination efficiency and ecological risk of antibiotics in rural domestic wastewater treatment facilities along the Yangtze River Basin, China,» *Science of the Total Environment*, vol. 837, pp. 1-18, 2022.
- [149] E. Cookson y R. Detwiler, «Global patterns and temporal trends of perfluoroalkyl substances in municipal wastewater: A meta-analysis,» *Water Research*, vol. 221, pp. 1-14, 2022.
- [150] H. Zhou, L. Wei, D. Wang y W. Zhang, «Environmental impacts and optimizing strategies of municipal sludge treatment and disposal routes in China based on life cycle analysis,» *Environment International*, vol. 166, pp. 1-15, 2022.
- [151] H. Lu y Y. Chen, «Reclaimed water reuse system on water quality, growth of irrigated crops, and impact of ecology: case study in Taiwan,» *Environmental Science and Pollution Research*, vol. 29, nº 39, pp. 59676 - 59689, 2022.
- [152] A. Kabbour, L. Mouhir, L. Benrahmane, A. Bendaoud, M. Laaouan y M. El Hafidi, «Domestic wastewater treatment using tidal flow constructed wetlan,» *Desalination and Water Treatment*, vol. 257, pp. 91-95, 2022.
- [153] C. Jesudhas, S. Chidambaram, R. Jeyakumar y E. Rene, «Development and application of a contaminant transport model for groundwater remediation and reservoir protection: a case study from India,» *Environmental Monitoring and Assessment*, vol. 194, nº 4, pp. 1-15, 2022.

- [154] B. Rathi, P. Kumar y D. Vo, «Critical review on hazardous pollutants in water environment: Occurrence, monitoring, fate, removal technologies and risk assessment,» *Science of the Total Environment*, vol. 797, pp. 1-13, 2021.
- [155] C. Akarsu, H. Kumbur y A. Kideys, «Removal of microplastics from wastewater through electrocoagulation-electroflotation and membrane filtration processes,» *Water Science and Technology*, vol. 84, nº 7, pp. 1648-1662, 2021.
- [156] M. Secondes, V. Naddeo, F. Ballesteros y V. Belgiorno, «Adsorption of emerging contaminants enhanced by ultrasound irradiation,» *Sustainable Environment Research*, vol. 24, nº 5, pp. 349-355, 2014.
- [157] I. Firmansyah, G. Carsjens, F. de Ruijter, G. Zeeman y M. Spiller, «An integrated assessment of environmental, economic, social and technological parameters of source separated and conventional sanitation concepts: A contribution to sustainability analysis,» *Journal of Environmental Management*, vol. 295, pp. 113-131, 2021.
- [158] G. Alatrasta, R. Lu y A. Hanandeh, «Comparative life cycle assessment of aerobic treatment units and constructed wetlands as onsite wastewater treatment systems in Australia,» *Water Science and Technology*, vol. 84, nº 6, pp. 1527-1540, 2021.
- [159] J. Sérodes, S. Behmel, S. Simard, O. Laflamme, A. Grondin, C. Beaulieu, F. Proulx y M. Rodriguez, «Tracking domestic wastewater and road de-icing salt in a municipal drinking water reservoir: Acesulfame and chloride as co-tracers,» *Water Research*, vol. 203, pp. 1-11, 2021.
- [160] H. Abdalla, Z. Rahmat-Ullah, M. Abdallah, S. Alsmadi y N. Elashwah, «Eco-efficiency analysis of integrated grey and black water management systems,» *Resources, Conservation and Recycling*, vol. 172, pp. 1-15, 2021.
- [161] O. Garcés, L. Espinosa, M. Costa, L. Salles y R. Meigikos, «Abundance, distribution, and characteristics of microplastics in coastal surface waters of the Colombian Caribbean and Pacific,» *Environmental Science and Pollution Research*, vol. 28, nº 32, pp. 43431-43442, 2021.
- [162] A. Fischer, L. Kerr, T. Sultana y C. Metcalfe, «Effects of opioids on reproduction in Japanese medaka, *Oryzias latipes*,» *Aquatic Toxicology*, vol. 236, pp. 1-16, 2021.
- [163] E. Johannessen, A. Eikum y T. Krogstad, «Evaluation of sampling methods for monitoring effluent phosphorus for on-site wastewater treatment systems,» *Water Science and Technology*, vol. 65, nº 11, pp. 2049-2054, 2012.
- [164] Y. Salama, M. Chennaoui, M. Mountadar, M. Rihani y O. Assobhei, «The physicochemical and bacteriological quality and environmental risks of raw

sewage rejected in the coast of the city of el jadida (morocco),» *Carpathian Journal of Earth and Environmental Sciences*, vol. 8, n° 2, pp. 39-48, 2013.

- [165] K. Ignatowicz y M. Puchlik, «Rotary biological contactor as alternative for small amount of wastewater treatment,» *Rocznik Ochrona Srodowiska*, vol. 13, n° 1, pp. 1385-1404, 2011.
- [166] A. Valipour, V. Raman y P. Motallebi, «Application of shallow pond system using water hyacinth for domestic wastewater treatment in the presence of high total dissolved solids (TDS) and heavy metal salts,» *Environmental Engineering and Management Journal*, vol. 9, n° 6, pp. 853-860, 2010.
- [167] B. Roman y R. Brennan, «Coupling ecological wastewater treatment with the production of livestock feed and irrigation water provides net benefits to human health and the environment: A life cycle assessment,» *Journal of Environmental Management*, vol. 288, pp. 1-12, 2021.
- [168] H. Nagpal, J. Spriet, M. Murali y A. McNabola, «Heat recovery from wastewater—a review of available resource,» *Water (Switzerland)*, vol. 13, n° 9, pp. 1-26, 2021.
- [169] R. Manasfi, M. Brienza, N. Ait-Mouheb, N. Montemurro, S. Perez y S. Chiron, «Impact of long-term irrigation with municipal reclaimed wastewater on the uptake and degradation of organic contaminants in lettuce and leek,» *Science of the Total Environment*, vol. 765, pp. 1-23, 2021.
- [170] N. Alawadhi y G. Hayder, «Effectiveness of phytoremediation treatment of pre-treated domestic wastewater,» *Ecological Engineering and Environmental Technology*, vol. 22, n° 1, pp. 124-134, 2021.
- [171] K. Delhiraja y L. Philip, «Characterization of segregated greywater from Indian households—part B: emerging contaminants,» *Environmental Monitoring and Assessment*, vol. 192, n° 7, pp. 1-21, 2020.
- [172] L. Putnam, J. White, R. Gambrell y K. Rusch, «Treatment of wastewater ammonium under varying salinity conditions within the marshland upwelling system,» *Environmental Technology (United Kingdom)*, vol. 41, n° 12, pp. 1504-1513, 2020.
- [173] H. Hanif, A. Waseem, S. Kali, N. Qureshi, M. Majid, M. Iqbal, T. Ur-Rehman, M. Tahir, S. Yousaf, M. Iqbal, I. Khan y M. Zafar, «Environmental risk assessment of diclofenac residues in surface waters and wastewater: a hidden global threat to aquatic ecosystem,» *Environmental Monitoring and Assessment*, vol. 192, n° 4, pp. 1-23, 2020.
- [174] X. Li, E. Liu, E. Zhang, Q. Lin, Z. Yu, B. Nath, H. Yuan y J. Shen, «Spatio-temporal variations of sedimentary metals in a large suburban lake in

southwest China and the implications for anthropogenic processes,» *Science of the Total Environment*, vol. 707, pp. 1-17.

- [175] X. Luo, Y. Li, Q. Wu, Z. Wei, Q. Li, L. Wei y Y. W. R. Shen, «Characteristics of internal ammonium loading from long-term polluted sediments by rural domestic wastewater,» *International Journal of Environmental Research and Public Health*, vol. 16, n° 23, pp. 1-20, 2019.
- [176] H. Lin, Y. Wang, L. van Lierop, C. Zamalloa, C. Furlong, M. Keleman y B. Hu, «Study of food waste degradation in a simulated septic tank,» *Waste Management and Research*, vol. 37, n° 12, pp. 1199 - 1206, 2019.
- [177] C. Li, X. Gao, Y. Liu y Y. Wang, «Impact of anthropogenic activities on the enrichment of fluoride and salinity in groundwater in the Yuncheng Basin constrained by Cl/Br ratio, $\delta^{18}\text{O}$, $\delta^2\text{H}$, $\delta^{13}\text{C}$ and $\delta^7\text{Li}$ isotopes,» *Journal of Hydrology*, vol. 579, pp. 1-24, 2019.
- [178] Q. Yu, J. Geng y H. Ren, «Occurrence and fate of androgens in municipal wastewater treatment plants in China,» *Chemosphere*, vol. 237, pp. 1-18, 2019.
- [179] G. Moussavi, F. Kazembeigi y M. Farzadkia, «Performance of a pilot scale up-flow septic tank for on-site decentralized treatment of residential wastewater,» *Process Safety and Environmental Protection*, vol. 88, n° 1, pp. 47-52, 2010.
- [180] A. Valipour, V. Raman y P. Motallebi, «Application of shallow pond system using water hyacinth for domestic wastewater treatment in the presence of high total dissolved solids (TDS) and heavy metal salts,» *Environmental Engineering and Management Journal*, vol. 9, n° 6, pp. 853-860, 2010.
- [181] J. Gasperi, M. Gromaire, M. Kafi, R. Moilleron y G. Chebbo, «Contributions of wastewater, runoff and sewer deposit erosion to wet weather pollutant loads in combined sewer systems,» *Water Research*, vol. 44, n° 20, pp. 5875-5886, 2010.
- [182] T. Opher, E. Friedler y A. Shapira, «Comparative life cycle sustainability assessment of urban water reuse at various centralization scales,» *International Journal of Life Cycle Assessment*, vol. 24, n° 7, pp. 1319-1332, 2019.
- [183] Y. Dong, S. Safferman y A. Pouyan Nejadhashemi, «Computational modeling of wastewater land application treatment systems to determine strategies to improve carbon and nitrogen removal,» *Journal of Environmental Science and Health*, vol. 54, n° 7, pp. 657-667, 2019.
- [184] N. Libardi, C. Soccol, J. de Carvalho y L. de Souza Vandenberghe, «Simultaneous cellulase production using domestic wastewater and

- bioprocess effluent treatment – A biorefinery approach,» *Bioresource Technology*, vol. 276, pp. 42-50, 2019.
- [185] Y. Zheng y Z. Yang, «Environmental flows management strategies based on the spatial distribution of water quality, a case study of Baiyangdian Lake, a shallow freshwater lake in China,» *Procedia Environmental Sciences*, vol. 2, pp. 896-905, 2010.
- [186] f. Bouhezila, M. Hariti, H. Lounici y N. Mameri, «Treatment of the OUED SMAR town landfill leachate by an electrochemical reactor,» *Desalination*, vol. 280, pp. 347-353, 2011.
- [187] S. Puig, M. van Loosdrecht, A. Flameling, J. Colprim y S. Meijer, «The effect of primary sedimentation on full-scale WWTP nutrient removal performance,» *Water Research*, vol. 44, nº 11, pp. 3375-3384, 2011.
- [188] K. Rajkumar, M. Muthukumar y R. Sivakumar, «Novel approach for the treatment and recycle of wastewater from soya edible oil refinery industry— An economic perspective,» *Resources, Conservation and Recycling*, vol. 54, nº 10, pp. 752-758, 2010.
- [189] A. Viana, R. Bettencourt y F. Camões, «Optimization of the determination of chemical oxygen demand in wastewaters,» *Analytica Chimica Acta*, vol. 699, nº 2, pp. 161-169, 2011.
- [190] R. Zerdazi, M. Boutraa, A. Melizi, M. Bencheikh y A. Meniai, «Application of Respirometry in the Assessment of Chromium Contaminated Waste Waters Treatment,» *Energy Procedia*, vol. 18, pp. 438-448, 2012.
- [191] V. Iacob, «The Wastewater – A Problem of Integrated Urban Water Management,» *Procedia Economics and Finance*, vol. 6, pp. 436-443, 2013.
- [192] N. Dinh a, T. Nguyen, A. Mungray, L. Duong, N. Phuong, D. Nguyen, J. Chung, S. Chang y P. Tuan, «Biological treatment of saline domestic wastewater by using a down-flow hanging sponge reactor,» *Chemosphere*, vol. 283, pp. 1-7, 2021.
- [193] S. Farajzadehha, S. Mirbagheri, S. Farajzadehha y J. Shayegan, «Lab Scale Study of HRT and OLR Optimization in UASB Reactor for Pretreating Fortified Wastewater in Various Operational Temperatures,» *APCBEE Procedia*, vol. 1, pp. 90-95, 2012.
- [194] A. Nath, S. Chakraborty y C. Bhattacharjee, «20 - Bioreactor and Enzymatic Reactions in Bioremediation,» *Microbial Biodegradation and Bioremediation*, vol. 4, pp. 455-495, 2014.
- [195] Y. Touil, Y. Gherairi, R. Issaadi y A. Amrane, «Biological Filtration on Sand of Dunes – Filters Fouling,» *Energy Procedia*, vol. 50, pp. 471-478, 2014.

- [196] N. Shamabadi, H. Bakhtiari, N. Kochakian y M. Farahani, «The Investigation and Designing of an Onsite Grey Water Treatment Systems at Hazrat-e-Masoumeh University, Qom, IRAN,» *Energy Procedia*, vol. 74, pp. 1337-1346, 2015.
- [197] H. Effendi, Y. Romanto y Y. Wardiatno, «Water Quality Status of Ciambulawung River, Banten Province, Based on Pollution Index and NSF-WQI,» *Procedia Environmental Sciences*, vol. 24, p. 228 – 237, 2015.
- [198] L. Latrach, N. Ouazzani, T. Masunaga, A. Hejjaj, K. Bouhoum, M. Mahi y L. Mandi, «Domestic wastewater disinfection by combined treatment using multi-soil-layering system and sand filters (MSL–SF): A laboratory pilot study,» *Ecological Engineering*, vol. 91, pp. 294-301, 2016.
- [199] N. Sharma y L. Philip, «Combined biological and photocatalytic treatment of real coke oven wastewater,» *Chemical Engineering Journal*, vol. 295, pp. 20-28, 2016.
- [200] K. Balkhair y M. Ashraf, «Field accumulation risks of heavy metals in soil and vegetable crop irrigated with sewage water in western region of Saudi Arabia,» *Saudi Journal of Biological Sciences*, vol. 23, n° 1, pp. S32-S44, 2016.
- [201] E. Carraro, S. Bonetta, C. L. E. Bertino, S. Bonetta y G. Gilli, «Hospital effluents management: Chemical, physical, microbiological risks and legislation in different countries,» *Journal of Environmental Management*, vol. 168, pp. 185-199, 2016.
- [202] S. Maiti, S. De, T. Hazra, A. Debsarkar y A. Dutta, «Characterization of Leachate and Its Impact on Surface and Groundwater Quality of a Closed Dumpsite – A Case Study at Dhapa, Kolkata, India,» *Procedia Environmental Sciences*, vol. 35, pp. 391-399, 2016.
- [203] D. Ramos, «Medición en línea de la DQO mediante correlación del coeficiente de absorción espectral de luz uv,» *Revista Producción + Limpia*, vol. 13, n° 2, pp. 67-76, 2019.
- [204] Y. Caparrós, B. González y D. Godínez, «Evaluación de efluentes en cinco fuentes contaminantes de la bahía de Nuevitas,» *Revista Cubana de Química*, vol. 33, n° 3, pp. 326-344, 2021.
- [205] F. Rosales y R. Campos, «Gestión de las aguas residuales en la ciudad La Libertad, El Salvador,» *TM*, vol. 32, n° 2, pp. 43-53, 2019.
- [206] T. Nguyen, K. Kuroda y K. Otsuka, «Inclusive impact assessment for the sustainability of vegetable oil-based biodiesel – Part I: Linkage between inclusive impact index and life cycle sustainability assessment,» *Journal of Cleaner Production*, vol. 166, pp. 1415-1427, 2017.

- [207] M. Moharram, H. Abdelhalim y E. Rozaik, «Performance appraisal of the A2/O process in domestic wastewater treatment replacing the anaerobic unit with UASB,» *HBRC Journal*, vol. 13, nº 1, pp. 98-105, 2017.
- [208] D. Ramírez, E. Castillo, R. Méndez, M. Barceló y J. Marrufo, «Determination of organic compounds in landfill leachates treated by Fenton-Adsorption,» *Waste Management*, vol. 30, nº 2, pp. 390-395, 2013.
- [209] M. Gratziou y M. Chalatsi, «Use of waste stabilization ponds' systems in Mediterranean Europe,» *Desalination and Water Treatment*, vol. 51, nº 13-15, pp. 3018-3025, 2013.
- [210] R. Martins, F. Pinto, S. Castro y R. Quinta, «Flocculation, ozonation, and Fenton's process in the treatment of distillery effluents,» *Journal of Environmental Engineering (United States)*, vol. 139, nº 1, pp. 110-116, 2013.
- [211] K. Kelvin y M. Tole, «The efficacy of a tropical constructed wetland for treating wastewater during the dry season: The Kenyan experience,» *Water, Air, and Soil Pollution*, vol. 215, nº 1-4, pp. 137-143, 2011.
- [212] S. Bakopoulou, C. Emmanouil y A. Kungolos, «Assessment of wastewater effluent quality in Thessaly region, Greece, for determining its irrigation reuse potential,» *Ecotoxicology and Environmental Safety*, vol. 74, nº 2, pp. 188-194, 2011.
- [213] T. Jamil, M. Ghaly, I. El-Seesy, E. Souaya y R. Nasr, «A comparative study among different photochemical oxidation processes to enhance the biodegradability of paper mill wastewater,» *Journal of Hazardous Materials*, vol. 185, nº 1, pp. 353-358, 2011.
- [214] A. Valipour, V. Raman y V. Ghole, «Phytoremediation of domestic wastewater using *Eichhornia crassipes.*,» *Journal of environmental science & engineering*, vol. 53, nº 2, pp. 183-190, 2011.
- [215] K. Ignatowicz y M. Puchlik, «Rotary biological contactor as alternative for small amount of wastewater treatment,» *Rocznik Ochrona Srodowiska*, vol. 13, nº 1, pp. 385-404, 2011.
- [216] N. Sarria, J. Victoria, P. Lozada y C. Parra, «Performance of a contact stabilization process for domestic wastewater treatment of Cali, Colombia,» *DYNA (Colombia)*, vol. 78, nº 168, pp. 98-107, 2011.
- [217] C. Keffala, K. Effebi, A. Ghrabi, H. Juspin y J. Vassel, «Sediment accumulation and evaluation of sludge production in wastewater stabilization ponds under a mediterranean climate: Case study of Tunisia,» *Revue des Sciences de l'Eau*, vol. 24, nº 1, pp. 63-76, 2011.

- [218] Y. Nergis, M. Sharif, M. Farooq y A. Mahmood, «Chemical oxygen demand (COD) fractions characterization of Karachi metropolitan wastewater,» *Journal of the Chemical Society of Pakistan*, vol. 32, nº 6, pp. 711-716, 2010.
- [219] A. Pirra, F. Bianchi-de-Aguiar, L. Arroja y I. Capela, «The influence of port wine in winery effluent production,» *Fresenius Environmental Bulletin*, vol. 19, nº 12B, pp. 3177-3184, 2010.
- [220] H. El-Kamah, A. Tawfik, M. Mahmoud y H. Abdel-Halim, «Treatment of high strength wastewater from fruit juice industry using integrated anaerobic/aerobic system,» *Desalination*, vol. 253, nº 1-3, pp. 158-163, 2010.
- [221] B. Merzouk, K. Madani y A. Sekki, «Using electrocoagulation-electroflotation technology to treat synthetic solution and textile wastewater, two case studies,» *Desalination*, vol. 250, nº 2, pp. 573-577, 2010.
- [222] A. Vargas, J. Calderón, D. Velásquez, M. Castro y D. Núñez, «Análisis de los principales sistemas biológicos de tratamiento de aguas residuales domésticas en Colombia,» *Ingeniare*, vol. 28, nº 2, pp. 315-322, 2020.
- [223] G. Manninaa, M. Capodicia, A. Cosenzaa, D. Trapania y M. Loosdrechta, «Nitrous oxide emission in a University of Cape Town membrane bioreactor: The effect of carbon to nitrogen ratio,» *Journal of Cleaner Production*, vol. 17, nº 4, pp. 180-190, 2017.
- [224] Y. Caldera, E. Gutiérrez, M. Luengo, J. Chávez y L. Ruesga, «Evaluación del sistema de tratamiento de aguas residuales de industria avícola,» *Revista Científica*, vol. 20, nº 4, pp. 409-416, 2010.
- [225] E. Díaz, A. Alavarado y K. Camacho, «El tratamiento de agua residual doméstica para el desarrollo local sostenible: el caso de la técnica del sistema unitario de tratamiento de aguas, nutrientes y energía (SUTRANE) en San Miguel Almaya, México,» *Quivera*, vol. 14, nº 1, pp. 78-97, 2012.
- [226] C. Chibinda, M. Arada y N. Pérez, «Caracterización por métodos físico-químicos y evaluación del impacto cuantitativo de las aguas del Pozo la Calera,» *Revista Cubana de Química*, vol. 29, nº 2, pp. 303-321, 2017.
- [227] A. Cuéllar y J. Lezama, «Análisis de calidad de agua del río Chipalo por el vertimiento Santa Ana 1 y 2 utilizando el modelo Qual2k,» *ITECKNE: Innovación e Investigación en Ingeniería*, vol. 19, nº 1, pp. 60-80, 2022.
- [228] C. Benjumea, A. Suárez y S. Villabona, «Variación espacial y temporal de nutrientes y total de sólidos en suspensión en la cuenca de un río de alta montaña tropical,» *Revista de la Academia Colombiana de ciencias exactas, físicas y naturales*, vol. 42, nº 165, pp. 353-363, 2018.
- [229] A. Jucherski, A. Walczowski, P. Bugajski y K. Józwiakowski, «Technological reliability of domestic wastewater purification in a small Sequencing Batch

- Biofilm Reactor (SBBR),» *Separation and Purification Technology*, vol. 224, pp. 340-347, 2019.
- [230] A. Castañeda y H. Flores, «Tratamiento de aguas residuales domésticas mediante plantas macrófitas típicas en Los Altos de Jalisco, México,» *Paakat: Revista de Tecnología y Sociedad*, vol. 3, nº 5, pp. 1-14, 2013.
- [231] Y. Sun, Y. Liu, B. Xu, H. Ma y H. Wang, «Application of combined granular media with opposite wettability for demulsification of oily wastewater by microchannel filter,» *Chemosphere*, vol. 311, pp. 136-152, 2023.
- [232] S. Kosar, O. Isik, B. Cicekalan, M. van Loosdrecht y M. Ersahin, «Coupling high-rate activated sludge process with aerobic granular sludge process for sustainable municipal wastewater treatment,» *Journal of Environmental Management*, vol. 325, pp. 162-186, 2023.
- [233] P. Kumar, G. Singhal y V. Bhardwaj, «Evaluation of pollutants of textile mills effluents in NCR-Delhi,» *Pollution Research*, vol. 32, nº 4, pp. 889-892, 2013.
- [234] R. Almada, G. Sant'Anna, M. Dezotti, G. Fontoura y D. Bila, «Treatment of wastewater from a carbon monoxide production unit aimed at water reuse,» *Journal of Water Reuse and Desalination*, vol. 3, nº 2, pp. 111-118, 2013.
- [235] G. Austin, «Multifunctional wastewater treatment landscapes,» *Landscape Journal*, vol. 32, nº 2, pp. 199-214, 2013.
- [236] H. Mkadem, A. Kaanane, A. Sadek, A. Crolla y C. Kinsley, «Treatment of olive mill wastewater from traditional presses (Maâsra) using filtration and adsorption processes,» *Applied Engineering in Agriculture*, vol. 29, nº 6, pp. 935-941, 2013.
- [237] C. Jiang, L. Li, Q. Wei, L. Song y Z. Peng, «Coagulation-supporting effect and mechanism of Fe₃O₄ magnetic nanoparticles,» *Acta Petrolei Sinica (Petroleum Processing Section)*, vol. 29, nº 6, pp. 1047-1053, 2013.
- [238] J. Kraemer, A. Menniti, Z. Erdal, G. Daigger y G. Crawford, «A practitioner's perspective on the application and research needs of membrane bioreactors for municipal wastewater treatment,» *Bioresource Technology*, vol. 122, pp. 2-10, 2012.
- [239] S. Panjaitan y B. Sitorus, «Formal design and analysis of a wastewater treatment control system based on Petri Net,» *ITB Journal of Engineering Science*, vol. 44B, nº 1, pp. 1-20, 2012.
- [240] G. Cornelius, R. Kawlewski, T. Maurice y G. Augustine, «Clarification of high strength wastewater using dissolved air flotation technology,» *International Sugar Journal*, vol. 114, nº 1365, pp. 625-636, 2012.

- [241] K. Gunes, B. Tuncsiper, S. Ayaz y A. Drizo, «The ability of free water surface constructed wetland system to treat high strength domestic wastewater: A case study for the Mediterranean,» *Ecological Engineering*, vol. 44, pp. 278-284, 2012.
- [242] E. Smith y K. Bani-Melhem, «Grey water characterization and treatment for reuse in an arid environment,» *Water Science and Technology*, vol. 66, nº 1, pp. 72-78, 2012.
- [243] R. Mayta y J. Mayta, «Remoción de cromo y demanda química de oxígeno de aguas residuales de curtiembre por electrocoagulación,» *Revista de la Sociedad Química del Perú*, vol. 83, nº 3, pp. 331-340, 2017.
- [244] M. Rosmawanie, R. Mohamed, A. Al-Gheethi, F. Pahazri, M. Amir-Hashim y M. Nur-Shaylinda, «Sequestering of pollutants from public market wastewater using *Moringa oleifera* and *Cicer arietinum* flocculants,» *Journal of Environmental Chemical Engineering*, vol. 6, nº 2, pp. 2417-2428, 2018.
- [245] I. Bisschops, H. Kjerstadius, B. Meulman y M. van Eekert, «Integrated nutrient recovery from source-separated domestic wastewaters for application as fertilisers,» *Current Opinion in Environmental Sustainability*, vol. 40, pp. 7-13, 2019.
- [246] C. Bhattacharjee, S. Dutta y V. Saxena, «A review on biosorptive removal of dyes and heavy metals from wastewater using watermelon rind as biosorbent,» *Environmental Advances*, vol. 2, pp. 1-13, 2020.
- [247] B. Li, H. Huang, Z. Sun, N. Zhao, T. Munir, W. Yu y B. Young, «Minimizing heavy metals in recovered struvite from swine wastewater after anaerobic biochemical treatment: Reaction mechanisms and pilot test,» *Journal of Cleaner Production*, vol. 272, pp. 1-13, 2020.
- [248] K. Mogolodi, C. Ngila y N. Nomngongo, «Preparation and application of a tyre-based activated carbon solid phase extraction of heavy metals in wastewater samples,» *Physics and Chemistry of the Earth*, vol. 105, pp. 161-169, 2018.
- [249] W. Yang, S. Song, J. Li y X. Zhang, «Bioleaching of heavy metals from wastewater sludge with the aim of land application,» *Chemosphere*, vol. 249, pp. 1-7, 2020.
- [250] M. Kumar, A. Gogoi y S. Mukherjee, «Metal removal, partitioning and phase distributions in the wastewater and sludge: Performance evaluation of conventional, upflow anaerobic sludge blanket and downflow hanging sponge treatment systems,» *Journal of Cleaner Production*, vol. 249, pp. 1-13, 2020.
- [251] M. Russel, Q. Meixue, A. Alam, L. Lifen, M. Daroch, C. Blaszcak-Boxe y G. Kumar, «Investigating the potentiality of *Scenedesmus obliquus* and *Acinetobacter pittii* partnership system and their effects on nutrients removal

from synthetic domestic wastewater,» *Bioresource Technology*, vol. 299, pp. 1-10, 2020.

- [252] H. Isawi, «Using Zeolite/Polyvinyl alcohol/sodium alginate nanocomposite beads for removal of some heavy metals from wastewater,» *Arabian Journal of Chemistry*, vol. 13, nº 6, pp. 5691-5716, 2020.
- [253] M. Torres, D. López y R. Windevoxhel, «Evaluación de los procedimientos de remoción de metales pesados en los residuos de la DQO,» *Revista INGENIERÍA UC*, vol. 25, nº 1, pp. 1-23, 2018.
- [254] H. Cruz, M. Javier, L. Dulce, M. Gil y Y. Gochi-Ponce, «Remoción de plomo en agua a partir de material nanoestructurado, nanotubos de carbono soportados en zeolita natural,» *Avances en Ciencias e Ingeniería*, vol. 8, nº 2, pp. 21-27, 2017.
- [255] D. Gómez, J. Esteban y D. Baracaldo, «Tecnologías no convencionales para la remoción de plomo presente en aguas residuales una revisión bibliográfica 2010-2019,» *Tecnura*, vol. 24, nº 64, pp. 97-116, 2020.
- [256] J. Grillo, A. Montaña, C. González y G. Barón, «Removal of cadmium in wastewater through geopolymeric materials based on pumice.,» *Journal of Physics: Conference Series*, vol. 1386, nº 1, pp. 12-39, 2019.
- [257] L. Gao, Z. Wang, S. Li y J. Chen, «Bioavailability and toxicity of trace metals (Cd, Cr, Cu, Ni, and Zn) in sediment cores from the Shima River, South China,» *Chemosphere*, vol. 192, pp. 31-42, 2018.
- [258] S. Moersidik, R. Nugroho, M. Handayani, K. Kamilawati y M. Pratama, «Optimization and reaction kinetics on the removal of Nickel and COD from wastewater from electroplating industry using Electrocoagulation and Advanced Oxidation Processes,» *Heliyon*, vol. 6, pp. 1-9, 2020.
- [259] T. Wang, J. Pan y X. Liu, «Characterization of heavy metal contamination in the soil and sediment of the Three Gorges Reservoir, China,» *Journal of Environmental Science and Health - Part A Toxic/Hazardous Substances and Environmental Engineering*, vol. 53, nº 2, pp. 201-209, 2017.
- [260] G. Khamidullina, «Role of phosphogypsum and NPK amendments on the retention or leaching of metals in different soils,» *Journal of Environmental Management*, vol. 134, nº 1, pp. 12-16, 2016.
- [261] M. Taghipour y M. Jalali, «Influence of organic acids on kinetic release of chromium in soil contaminated with leather factory waste in the presence of some adsorbents,» *Chemosphere*, vol. 155, pp. 395-404, 2016.

- [262] J. Liu, J. Wang, Y. Chen, H. Lippold y C. Wang, «Thallium dispersal and contamination in surface sediments from South China and its source identification,» *Environmental Pollution*, vol. 213, pp. 878-887, 2016.
- [263] M. Islam, M. Ahmed, M. Raknuzzaman, M. Habibullah-Al-Mamun y S. Masunaga, «Metal Speciation in Sediment and Their Bioaccumulation in Fish Species of Three Urban Rivers in Bangladesh,» *Archives of Environmental Contamination and Toxicology*, vol. 68, nº 1, pp. 92-106, 2015.
- [264] J. Niedźwiecka y K. Finneran, «Combined biological and abiotic reactions with iron and Fe(III)-reducing microorganisms for remediation of explosives and insensitive munitions (IM),» *Environmental Science: Water Research and Technology*, vol. 1, nº 1, pp. 34-39, 2015.
- [265] X. Zhang, «Sustainable Energy Technologies and Assessments,» *IERI Procedia*, vol. 9, pp. 2-7, 2014.
- [266] V. Abello, E. Muñoz, S. Lira y E. Garrido, «Evaluación de eco-eficiencia de tecnologías de tratamiento de aguas residuales domésticas en Chile,» *Tecnología y Ciencias del Agua*, vol. 11, nº 2, pp. 190-228, 2020.
- [267] A. Hernández, M. Gutiérrez y J. Pastor, «Benefits of the use of sewage sludge over EDTA to remediate soils polluted with heavy metals,» *Journal of Environmental Quality*, vol. 44, nº 5, pp. 1579-1588, 2015.
- [268] C. Chen, X. Zhou, A. Wang, N. Ren y D. Lee, «Elementary sulfur in effluent from denitrifying sulfide removal process as adsorbent for zinc(II),» *Bioresource Technology*, vol. 121, pp. 441-444, 2012.
- [269] J. Ochando, S. Rodriguez, G. Hodaifa y A. Martinez, «Impacts of operating conditions on reverse osmosis performance of pretreated olive mill wastewater,» *Water Research*, vol. 46, nº 15, pp. 4621-4632, 2012.
- [270] EPA, «Safewater,» United States Environmental Protection Agency, 2015. [En línea]. Available: <http://www.epa.gov/safewater/agua/estandares.html>.
- [271] OMS, Guías para la calidad del agua de consumo humano, Ginebra: Organización Mundial de la Salud, 2018.
- [272] C. Molina, C. Ibañez y F. Gibon, «Proceso de biomagnificación de metales pesados en un lago hiperhalino (Poopó, Oruro, Bolivia): Posible riesgo en la salud de consumidores,» *Ecología en Bolivia*, vol. 47, nº 2, pp. 99-118, 2012.
- [273] C. Soto, S. Gutiérrez, A. Rey y E. González, «Biotransformación de metales pesados presentes en lodos ribereños de los ríos Bogotá y Tunjuelo,» *NOVA*, vol. 8, nº 14, pp. 121 - 240, 2010.
- [274] G. Lingua, A. Copetta, D. Musso, S. Aimo, A. Ranzenigo, A. Buico, V. Gianotti, D. Osella y G. Berta, «Effect of arbuscular mycorrhizal and bacterial inocula

- on nitrate concentration in mesocosms simulating a wastewater treatment system relying on phytodepuration,» *Environmental Science and Pollution Research*, vol. 22, nº 23, pp. 18616 - 18625, 2015.
- [275] F. Ameen, K. Alsamhary, J. Alabdullatif y S. ALNadhari, «A review on metal-based nanoparticles and their toxicity to beneficial soil bacteria and fungi,» *Ecotoxicology and Environmental Safety*, vol. 213, pp. 1-23, 2021.
- [276] K. Tondera, F. Chazarenc, P. Chagnon y J. Brisson, «Bioaugmentation of treatment wetlands – A review,» *Science of the Total Environment*, vol. 775, pp. 1-17, 2021.
- [277] S. Verma y A. Kuila, «Bioremediation of heavy metals by microbial process,» *Environmental Technology and Innovation*, vol. 14, pp. 1-17, 2019.
- [278] Z. Alothman, A. Bahkali, M. Khiyami, S. Alfadul, S. Wabaidur, M. Alam y B. Alfarhan, «Low cost biosorbents from fungi for heavy metals removal from wastewater,» *Separation Science and Technology (Philadelphia)*, vol. 55, nº 10, pp. 1766 - 1775, 2019.
- [279] M. Barakat, «New trends in removing heavy metals from industrial wastewater,» *Arabian Journal of Chemistry*, vol. 4, nº 4, pp. 361 - 377, 2011.
- [280] A. Singh, S. Chaudhary, S. Kumar, A. Singh y A. Yadav, «Microbial degradation of dye-containing wastewater,» *Development in Wastewater Treatment Research and Processes: Microbial Degradation of Xenobiotics through Bacterial and Fungal Approach*, vol. 1, pp. 159 - 175, 2022.
- [281] L. Badillo, Construcción y operación de reactor sbr a escala para tratamiento de vinaza proveniente de un ingenio azucarero (Valle del Cauca), Bogotá: Universidad El Bosque, 2019.
- [282] R. Jagannathan, K. Venkatraman y R. Vasuki, «Bioremediation of sugar mill effluent by immobilized bacterial consortium,» *International Journal Of Pharmacy & Technology*, vol. 6, nº 3, pp. 7107-7114, 2014.
- [283] W. Tapie, D. Prato y H. Sánchez, «Biodegradación de vinazas de caña de azúcar mediante el hongo de pudrición blanca *Pleurotus ostreatus* en un reactor de lecho empacado,» *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, vol. 19, nº 2, pp. 145-150, 2016.
- [284] S. Sarwar, «Biodegradation Capability of Native Fungi Present in the Effluent of a Local Pharmaceutical Industry near Lahore, Pakistan,» *Journal of Mycology & Mycological Sciences*, vol. 2, nº 1, pp. 1-7, 2019.
- [285] N. Vishnoi y S. Dixit, «Bioremediation: New Prospects for Environmental Cleaning by Fungal Enzymes,» *Recent Advancement in White Biotechnology Through Fungi*, pp. 17-52, 2019.

- [286] M. Mathur y P. Gehlot, «Mechanistic evaluation of bioremediation properties of fungi,» *New and Future Developments in Microbial Biotechnology and Bioengineering*, pp. 267-286, 2021.
- [287] G. Mathur, A. Mathur y R. Prasad, «Colonization and Degradation of Thermally Oxidized High-Density Polyethylene by *Aspergillus niger* (ITCC No. 6052) Isolated from Plastic Waste Dumpsite,» *Bioremediation Journal*, vol. 15, nº 2, pp. 69-76, 2011.
- [288] P. Saranraj y D. Stella, «Bioremediation of sugar mill effluent by immobilized bacterial consortium,» *International Journal of Research in Pure and Applied Microbiology*, vol. 2, nº 4, pp. 43-48, 2013.
- [289] S. Buvanewari, S. Damodarkumar y S. Murugesan, «Bioremediation studies on sugar-mill effluent by selected fungal species,» *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences*, vol. 2, nº 1, pp. 50-58, 2013.
- [290] Y. He, Y. Zhang, T. Li, X. Peng y X. Jia, «High-concentration COD wastewater treatment with simultaneous removal of nitrogen and phosphorus by a novel *Candida tropicalis* strain: Removal capability and mechanism,» *Environmental Research*, vol. 212, pp. 1-10, 2022.
- [291] V. Kumar, R. Valadez, P. Kumar, J. Singh y P. Kumar, «Effects of treated sugar mill effluent and rice straw on substrate properties under milky mushroom (*Calocybe indica* P&C) production: Nutrient utilization and growth kinetics studies,» *Environmental Technology & Innovation*, vol. 19, pp. 1-11, 2020.
- [292] O. Sahu, «Sustainable and clean treatment of industrial wastewater with microbial fuel cell,» *Results in Engineering*, vol. 4, pp. 1-7, 2019.
- [293] R. Pachiega, M. Franco, C. Varella, I. Kimiko, M. Varesche, J. De Oliveira y S. Maintinguer, «Hydrogen bioproduction with anaerobic bacteria consortium from brewery wastewater,» *International Journal of Hydrogen Energy*, vol. 44, pp. 155-163, 2019.
- [294] G. Hernández, N. Álvarez y L. Ríos, «Biorremediación de organofosforados por hongos y bacterias en suelos agrícolas: revisión sistemática,» *Corpoica Ciencia y Tecnología Agropecuaria*, vol. 18, nº 1, pp. 139-159, 2017.
- [295] M. Molina, J. Poyatos, B. Rodelas, E. Hontoria y J. Gonzalez, «Microbial enzymatic activities in a pilot-scale MBR experimental plant under different working conditions,» *Bioresource Technology*, vol. 101, nº 2, pp. 696-704, 2010.
- [296] J. Méndez y D. Orejuela, Evaluación de microorganismos eficientes mediante un filtro anaerobio de flujo ascendente en agua residual sintéticadeterminado

por la eficiencia de remoción de DQO y SST, Popayán: Corporación Universitaria Autónoma del Cauca, 2021.

- [297] Gobernación del Cauca, Perfil del Departamento del Cauca, Popayán: Gobernación del Cauca - Oficina Asesora de Planeación, 2020.
- [298] Presidencia de la República, Decreto 1640 de 2012. Por medio del cual se reglamentan los instrumentos para la planificación, ordenación y manejo de las cuencas hidrográficas y acuíferos, y se dictan otras disposiciones, Bogotá: Departamento Administrativo de la Función Pública, 2012.
- [299] N. Ossana, B. Eissaa, F. Baudou, P. Castañé, S. Soloneski y I. Ferrari, «Multibiomarker response in ten spotted live-bearer fish *Cnesterodon decemmaculatus* (Jenyns, 1842) exposed to Reconquista river water,» *Ecotoxicology and Environmental Safety*, vol. 133, pp. 73-81, 2016.
- [300] X. Ma y C. Z. B. W. (. Z. X. H. Z.-H. , «Ca(ClO)₂ pretreatment enhancing suspended solids removal through flocculation from digested dairy wastewater and its mechanisms».
- [301] W. Sun, J. Tian, L. Chen, S. He y J. Wang, «Improvement of biodegradability of PVA-containing wastewater by ionizing radiation pretreatment,» *Environmental Science and Pollution Research*, vol. 19, n° 8, pp. 3178-3184, 2012.
- [302] A. Mesdaghinia, A. Mahvi, R. Saeedi y H. Pishrafti, «Upflow sludge blanket filtration (USBF): An innovative technology in activated sludge process,» *Iranian Journal of Public Health*, vol. 39, n° 2, pp. 7-12, 2010.
- [303] X. Ren, H. Shon, N. Jang, K. Cho y I. Kim, «Novel membrane bioreactor (MBR) coupled with a nonwoven fabric filter for household wastewater treatment,» *Water Research*, vol. 44, n° 3, pp. 751-760, 2010.
- [304] P. Saranraj, «Impact of Sugar Mill Effluent to Environment and Bioremediation: A Review,» *World Applied Sciences Journal*, vol. 30, n° 3, pp. 299-316, 2014.
- [305] P. Kumar, V. Kumar, J. Singh y P. Kumar, «Electrokinetic assisted anaerobic digestion of spent mushroom substrate supplemented with sugar mill wastewater for enhanced biogas production,» *Renewable Energy*, vol. 179, pp. 418-426, 2021.
- [306] P. Lin y Trzcinski, «A review of modified and hybrid anaerobic baffled reactors for industrial wastewater treatment,» *Water Science and Engineering*, vol. 15, n° 3, pp. 247-256, 2022.
- [307] C. Castiblanco, «La economía ecológica: Una disciplina en busca de un autor,» *Investigación*, vol. 10, n° 3, pp. 7-22, 2007.

- [308] M. Ortega y M. Rivera, «Indicadores internacionales de Soberanía Alimentaria. Nuevas herramientas para una nueva agricultura,» *Revista Iberoamericana de Economía Ecológica*, vol. 14, pp. 53-77, 2010.