

**Uso de materiales alternativos a las resinas adsorbentes hidrofílicas  
comerciales, para la eliminación de pesticidas orgánicos en aguas residuales  
de riego.**

**Proyecto de trabajo de grado modalidad monografía para optar al título de  
Ingeniera Ambiental**

**Juliana Marcela Reyes Mina**

**Código 363220128**

**Asesor**

**Nelson Lombana Sánchez**

**Químico farmacéutico, U.Nacional: M.Sc. U Javeriana.**

**Cand Ph.D Química Bioorgánica, Universidad Bayreuth-Alemania**

**Universidad de Cundinamarca**

**Seccional Girardot**

**Facultad de Ciencias Agropecuarias**

**Ingeniería Ambiental**

**2024**

## **Dedicatoria**

**A ti, mamita linda. Fuiste y eres luz en el camino de este proceso y siempre.**

A ti abue Leonor, por siempre darme tu bendición antes de irme para la U, por desvelarte conmigo cuando era necesario, por el eterno amor y comprensión. A mi padre y hermanos (Diego y Choco) por el apoyo incondicional en todo, Sofi y Sarita ustedes son mi mayor motivación. A mi cuñada, por estar presente.

Y al amor de mi vida, Santi, a ti, siempre gracias.

### **Agradecimientos**

A mis docentes, el profe Lombana y la profe Sonia, por el apoyo desde el inicio de la elaboración de este trabajo de grado, a todos los docentes que hicieron parte de este arduo proceso de formación. Y nuevamente a mi familia (mamita, abue, papá, hermanos y novio).

## RESUMEN

Gran parte de la problemática que se presenta en diferentes lugares a nivel mundial en el recurso hídrico se debe al elevado porcentaje de la contaminación debido a la intensa actividad del sector agrícola. Ya que en algunos casos las cantidades de sustancias como los pesticidas, metales pesados, y detergentes van directamente a los ríos y suelos, por lo que no todos los productores cuentan con recursos para realizarle un tratamiento adecuado a las aguas residuales.

Esta monografía se basa en una recopilación exhaustiva de información en diferentes fuentes bibliográficas halladas en bases de datos de universidades y Google académico, sobre materiales alternativos de bajo costo y de buena eficiencia, que puedan reemplazar las resinas adsorbentes hidrofílicas comerciales, puesto que su implementación en el proceso de la eliminación de pesticidas en el agua es eficaz, pero un poco desfavorable en los aspectos económico y de disponibilidad.

Se evalúa a partir de la revisión bibliográfica, la eficiencia de diferentes materiales como son los biopolímeros, la arcilla, el biocarbon, bagazo de caña, entre otros. Algunos de estos materiales deben ser sometidos a modificaciones para poder utilizarlos como buenos adsorbentes.

Es de gran importancia realizar trabajos experimentales de investigación, en los cuales se desarrolle una caracterización rigurosa fisicoquímica, para comprobar su capacidad de absorción y así contribuir con prácticas más sostenibles no solamente para la agricultura.

## Tabla de Contenido

Introducción .....	9
Descripción del Problema .....	11
Justificación.....	13
Objetivos .....	14
Objetivo General .....	14
Objetivos Específicos .....	14
Estado del Arte.....	15
Marco Legal .....	23
Resolución 631 de 2015 .....	23
Decreto 1843 de 1991 .....	23
Ley 9 de 1979.....	23
Decisión Andina 804 de 2015 .....	23
Código Internacional de Conducta para la Gestión de Plaguicidas de 2015.....	23
Resolución 1256 de 2021 .....	23
Resolución 1580 de 2022 .....	23
Resolución n° 2075 -2019.....	24
Decreto 3930 de 2010 .....	24
Marco Conceptual .....	25
Plaguicidas .....	25

Uso y Manejo de Plaguicidas .....	25
Toxicidad.....	25
Aguas Residuales .....	25
Resinas Adsorbentes .....	26
Hidrofílica .....	26
Agricultura .....	26
Absorción .....	26
Adsorción .....	26
FTIR .....	27
SEM.....	27
XRD .....	27
Metodología .....	28
Diagrama .....	29
Análisis y discusión de la información recopilada.....	30
conclusiones... ..	34
Referencias .....	366

**Lista de tablas**

<b>Tabla 1</b> <i>Análisis y discusión de la información recopilada</i> .....	30
<b>Tabla 2</b> <i>Cuadro comparativo</i> .....	32

**Lista de Figuras**

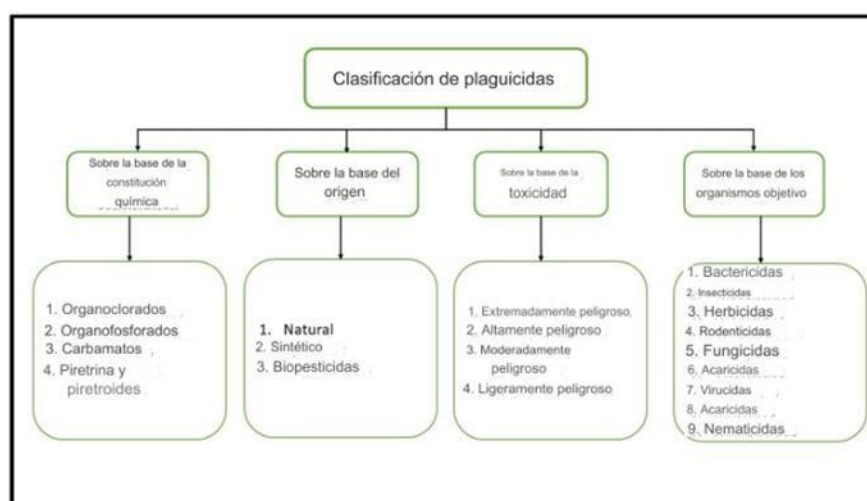
<b>Figura 1</b> <i>Clasificación de plaguicidas</i> .....	9
<b>Figura 2</b> <i>Diagrama Metodología</i> .....	29

## Introducción

Los pesticidas (plaguicidas) son sustancias complejas de origen químico, muy necesarias en la solución de los problemas que presentan comúnmente los cultivos agrícolas, que sin embargo, pueden ocasionar un conjunto de riesgos mayores a sus beneficios (Ramírez-Campos, 2018).

### Figura 1

#### *Clasificación de plaguicidas*



*Nota.* Adaptado de “Eliminación de pesticidas del agua mediante el uso de adsorbentes sostenibles: una revisión” (p.183), por S Kotlana y S Singh, 2024. *ResearchGate*

Esta revisión bibliográfica se centra en evaluar materiales alternativos a las resinas comerciales capaces de retener materia orgánica (pesticidas) por medio de fenómenos de adsorción, con el objetivo de implementar soluciones más sostenibles y económicas que puedan eliminar efectivamente la presencia de pesticidas en aguas residuales de riego.

A nivel nacional, regional y mundial, la gestión adecuada de los recursos hídricos contaminados con residuos de plaguicidas es fundamental para la salud de los ecosistemas y las comunidades que dependen de estas aguas para la agricultura y el consumo diario (Ahmad et al.,

2010; Bolognesi, 2003), por lo que es importante apoyar políticas que promueven prácticas de agricultura y gestión de agua más limpias y seguras.

Este proyecto busca ofrecer aportes significativos al campo de la gestión sostenible del agua, mediante revisión de bibliografía, para evaluar la efectividad de tratamiento de agua con el uso de diferentes materiales alternativos en la eliminación de pesticidas. El enfoque permite entender mejor qué tan bien funciona cada material.

Al desarrollar, caracterizar y aplicar materiales alternativos, no solo se avanza en el ámbito científico y tecnológico, sino que también se ofrecen soluciones prácticas que pueden ser implementadas tanto a nivel local como global, contribuyendo a la conservación de recursos y protección del medio ambiente, así como ayudando a mejorar la seguridad alimentaria y la inocuidad de los alimentos de acuerdo a lo indicado en las investigaciones de Carvalho (2006) y de Jáuregui Haza, et al. (2018).

## Descripción del Problema

Los pesticidas son de gran eficiencia en la agricultura, ya que estos protegen los cultivos de insectos, hongos, malezas y otras plagas, y aumentan el rendimiento de los cultivos (Cortés-Murcia, 2012).

El destino y la transformación de los plaguicidas en el medio ambiente están determinados por las condiciones ambientales y ocurre mediante técnicas físicas, biológicas, microbiológicas y químicas (Aldas-Vargas et al., 2022).

Sin embargo, la eliminación de contaminantes del agua, incluidos los pesticidas, mediante su sorción en materiales biodegradables eficaces ha ganado una amplia atención debido a su simplicidad y viabilidad. Un adsorbente prometedor debe tener una alta capacidad de sorción, alta eficiencia, facilidad de separación de la solución acuosa, un precio razonable y ser reutilizable (Shaheen et al., 2013).

Con el tiempo se ha ido evidenciado la carga excesiva de pesticidas. Estos tienen diversos factores como: tipos, nivel de toxicidad y persistencia, que hacen que se penetren al organismo utilizando distintas vías. Las principales fuentes de exposición en la población son los alimentos de origen vegetal (frutas, verduras, cereales, leguminosas) o animal (carne bovina, porcina y sus derivados, pescado, productos lácteos, huevo, etc.) (López, 1993). Los pesticidas son productos que interfieren con el funcionamiento de los procesos biológicos esenciales para la vida. También en los sistemas reproductivo y nervioso del ser humano. Los casos en el país por intoxicaciones es mayor por vía oral (Ministerio de Salud de Colombia, 2013).

La descontaminación del agua es un desafío global para la seguridad hídrica (Abellán, 2019). Las aguas superficiales en las regiones de agricultura intensiva son expuestas a los pesticidas, lo que supone un grave problema no solo para el consumo humano de agua, sino que

también representa una amenaza para los ecosistemas acuáticos y por lo tanto para las cadenas alimenticias (Zheng et al., 2015).

El presente trabajo ubica algunos de los principales materiales absorbentes que pueden potencialmente ser utilizados para la remoción de pesticidas-materia orgánica en aguas de riego. Al utilizar estas alternativas se quiere una alta eficiencia para eliminar contaminantes, alta abundancia y participación en la minimización de residuos, ayudando a aliviar problemas ecológicos y ambientales (Abdel-Maksoud et al. 2020), además, este método tiene la ventaja de desarrollarse con bajos costos, poca infraestructura, y tecnología (Mohamed et al., 2022).

## Justificación

El uso de plaguicidas en la agricultura es una práctica común para mejorar la producción de cultivos y controlar plagas, pero cuando estas sustancias no se manejan o eliminan de manera adecuada, pueden contaminar las aguas utilizadas para riego, generando problemas significativos tanto para el medio ambiente como para la salud pública (Dong et al., 2024).

Es pertinente para entidades gubernamentales y organizaciones agrícolas buscar métodos de descontaminación que sean tanto efectivos como accesibles. Teniendo en cuenta que el presente proyecto se relaciona directamente con el Objetivo de Desarrollo Sostenible número 6, que promueve la disponibilidad y gestión sostenible del agua (Brookes & Cayelan, 2015), partiendo de la premisa que el trabajo de investigación se enfoca en mejorar la calidad del agua al reducir la contaminación y minimizar la emisión de productos químicos peligrosos.

Este proyecto también explora nuevas maneras de eliminar pesticidas de las aguas utilizadas en riego, pilar importante para la gestión sostenible del agua. Investigaciones recientes, como las de Andrunik y Bajda (2021), indican que materiales como las zeolitas sintéticas y los de sílice son más económicos y efectivos que las resinas habituales, lo cual captura el interés de entidades como el Ministerio de Ambiente, la ANLA y el IDEAM que buscan métodos accesibles y eficientes para limpiar el agua (IDEAM, 2024). La adsorción es un método que ha demostrado ser prometedor para la eliminación de contaminantes en medios acuosos (Valladares-Cisneros et al. 2016). Investigaciones como las realizadas por Crini (2005) y Caviedes-Rubio y Espinosa-Pastrana (2020), sugieren el uso de materiales hechos de polisacáridos para eliminar contaminantes y ofrecen una base científica que apoya la exploración de alternativas más sostenibles y eficientes desde una perspectiva ambiental, social y económica.

## Objetivos

### Objetivo General

Analizar los estudios bibliográficos sobre la efectividad de materiales alternativos a las resinas adsorbentes hidrofílicas comerciales para la eliminación de pesticidas orgánicos en aguas residuales de riego, enfocándose en su capacidad y viabilidad ambiental.

### Objetivos Específicos

- Examinar la información de materiales alternativos viables a las resinas adsorbentes hidrofílicas comerciales, que se utilizan para la eliminación de plaguicidas en aguas residuales.
- Priorizar por medio de las propiedades físico-químicas la información de los materiales alternativos seleccionados, organizándose por su capacidad de adsorción y eficacia en la eliminación de diferentes tipos de plaguicidas.
- Destacar los efectos ambientales de cada material alternativo investigado, centrándose en su potencial de reciclaje y reutilización.

## Estado del Arte

El estudio realizado por Aktar et al. (2009) aborda el uso de pesticidas en la agricultura y la necesidad de encontrar un equilibrio entre beneficios y riesgos. Esto subraya la importancia de desarrollar alternativas más sostenibles porque depender de pesticidas químicos representa un riesgo grande para la salud humana y el medio ambiente. Además, es urgente innovar en el tratamiento de aguas residuales para reducir estos riesgos.

Valladares-Cisneros et al. (2016) exploran adsorbentes no convencionales, destacando la necesidad de diseñar procesos más sostenibles para la eliminación de contaminantes en fuentes hídricas. Este enfoque resulta clave ya que demuestra que hay alternativas más amigables con el ambiente, las cuales podrían reducir la carga química en los ecosistemas acuáticos, algo que debería implementarse de manera más amplia y rápida.

Aranda-Figueroa et al. (2019) también estudian adsorbentes no convencionales, mostrando su potencial en la gestión de aguas residuales. Este estudio refuerza la idea de que existen muchas oportunidades no aprovechadas en el uso de materiales innovadores para mejorar la sostenibilidad ambiental. Es importante destinar más recursos para explorar y aplicar estas tecnologías que podrían transformar la manera en que tratamos el agua contaminada.

Gil et al. (2012) discute que los contaminantes emergentes en el agua, destacando que los métodos tradicionales de tratamiento no son suficientes. Es importante innovar en tecnologías que puedan aplicarse de forma efectiva a nivel local porque la falta de métodos eficaces para eliminar estos contaminantes podría agravar los problemas de salud pública y ambientales, sugiriendo que la industria del tratamiento de aguas necesita cambios urgentes.

Sánchez et al. (2020) evalúan biopolímeros como el quitosano para remover pesticidas de cuerpos de agua. Este estudio resulta prometedor ya que los biopolímeros ofrecen una alternativa

más segura y sostenible en comparación con los métodos convencionales. Sin embargo, la necesidad de más estudios a gran escala resalta que aún hay desafíos por superar antes de que estas soluciones puedan implementarse de manera efectiva.

Ramírez-Campos (2018) analiza los efectos negativos de los pesticidas en los ecosistemas y la salud humana. Este estudio preocupa porque evidencia los riesgos a los que nos enfrentamos si no cambiamos las prácticas actuales en la agricultura. Es esencial promover prácticas más seguras y sostenibles que reduzcan el uso de pesticidas, protegiendo tanto a los trabajadores agrícolas como a los consumidores.

Bosé et al. (2023) investigan la efectividad de materiales como las zeolitas sintéticas y los compuestos de sílice en la eliminación de pesticidas. Es alentador que estos materiales puedan ofrecer una alternativa económica y efectiva a las resinas comerciales. Este estudio demuestra que es posible encontrar soluciones más accesibles sin comprometer la eficiencia en el tratamiento de aguas contaminadas.

Crini (2005) se enfoca en los polisacáridos modificados como absorbentes en el tratamiento de aguas residuales. La sostenibilidad de estos biopolímeros es valiosa porque ofrecen una opción ecológica y económica para la eliminación de contaminantes. Este estudio refuerza la importancia de explorar materiales naturales modificados como soluciones prácticas y sostenibles en la purificación del agua.

Carneiro et al. (2015) investigan la eliminación del herbicida glifosato mediante membranas de biopolímero. Este enfoque demuestra que es posible utilizar soluciones basadas en la naturaleza para abordar problemas ambientales causados por el hombre. Este tipo de tecnología debería ser prioritaria en la investigación y desarrollo de nuevas estrategias de purificación del agua, dado su potencial para ofrecer soluciones efectivas y sostenibles.

Liang et al. (2021) estudian el uso de aerogeles combinados con estructuras organometálicas para la eliminación de pesticidas. Es interesante cómo la combinación de diferentes materiales puede aumentar de manera significativa la capacidad de adsorción y permitir la reutilización del material. Esto no solo mejora la eficiencia, sino que también minimiza el impacto ambiental de estos procesos.

Rahman (2024) analiza la efectividad de nanocompuestos de arcilla natural modificada con quitosano en la eliminación de sustancias tóxicas de aguas residuales. La sofisticación de la metodología utilizada en este estudio es impresionante porque combina técnicas avanzadas para crear y probar estos nanocompuestos. Este enfoque tiene el potencial de revolucionar la purificación del agua, especialmente en contextos industriales.

Karas et al. (2023) evalúan la bioaumentación en biocamas para mejorar la eliminación de pesticidas en aguas residuales. Este estudio es prometedor ya que muestra cómo las soluciones biológicas pueden integrarse en el tratamiento de aguas residuales, ofreciendo alternativas sostenibles y menos dependientes de productos químicos. Esto destaca la importancia de aprovechar los procesos biológicos para la descontaminación del agua.

Peregrino-Sánchez (2023) analiza el uso de carbón activado de semillas de pino para purificar el agua. Este estudio es un ejemplo claro de cómo se pueden desarrollar alternativas sostenibles utilizando recursos naturales, algo particularmente valioso en contextos donde los recursos son limitados. Este enfoque práctico ofrece una solución accesible y eficaz para mejorar la calidad del agua.

Jáuregui Haza et al. (2018) estudian la efectividad de biopolímeros en la eliminación de pesticidas, enfatizando cómo estos materiales pueden integrarse en procesos de tratamiento más sostenibles. Considero fundamental continuar explorando la integración de estos biopolímeros en

sistemas de tratamiento de aguas porque representan una opción viable y ecológica frente a los métodos convencionales.

Andrunik y Bajda (2021) presentan un estudio sobre el uso de zeolitas sintéticas y sílice para la eliminación de pesticidas, subrayando su potencial económico y efectivo. Este estudio demuestra cómo es posible utilizar materiales innovadores para mejorar la eficiencia en el tratamiento de aguas contaminadas, lo cual es especialmente relevante en contextos donde los recursos financieros son limitados y se necesita una solución efectiva y económica.

El artículo de Potharaju y Aruna (2024), tiene como objetivo analizar los impactos de los pesticidas en los ecosistemas acuáticos y proponer soluciones para mitigar su contaminación, utilizando una metodología de revisión bibliográfica. Los resultados muestran que los pesticidas reducen la calidad del agua y afectan gravemente la biodiversidad acuática, y como conclusión, se sugiere el uso de técnicas como bioaumentación y desnitrificación para eliminar pesticidas; el presente trabajo es relevante al estudiar materiales alternativos para la adsorción de pesticidas, debido a su enfoque en técnicas de remediación.

El trabajo de Colasurdo (2020) tiene como objetivo evaluar el proceso de adsorción utilizando dos carbones activados comerciales (CAT-Ox 4 mm pellet y CARBOPAL MB 4s) para la remediación de aguas contaminadas con pesticidas, así como comparar estos materiales con sílice funcionalizada como adsorbentes alternativos. La metodología incluyó la caracterización textural de los carbones mediante isotermas de adsorción-desorción de nitrógeno y espectroscopía infrarroja (FT-IR), junto con el estudio de la adsorción de pesticidas como Metolaclor y Pendimetalina bajo diferentes condiciones de pH y temperatura.

Los resultados mostraron que ambos carbones demostraron una alta capacidad de adsorción, con el CARBOPAL destacándose por su mayor superficie específica y eficiencia. Las

partículas de sílice funcionalizadas mejoraron la capacidad de adsorción en un 25% en comparación con la sílice desnuda, por lo que se concluyó estos materiales son efectivos para eliminar pesticidas en aguas residuales; este trabajo se para el tema, ya que proporciona alternativas eficaces a las resinas hidrofílicas comerciales en la remediación de aguas contaminadas, apoyando el uso de materiales alternativos en la eliminación de contaminantes orgánicos en aguas de riego.

Siguiendo con lo anterior, se presenta el documento de MinSalud (2020) tiene como objetivo proporcionar información clara y accesible a la población general sobre cómo mitigar, prevenir y controlar los riesgos para la salud y el ambiente relacionados con el uso de plaguicidas y desinfectantes. El documento busca concienciar sobre el uso racional de estos productos en las actividades cotidianas, especialmente durante el aumento de la limpieza en tiempos de aislamiento, cuya metodología utilizada se basa en la divulgación de normativas, definiciones y medidas preventivas para un manejo seguro de los productos.

Los resultados esperados incluyen una mejor comprensión por parte de la comunidad sobre los riesgos asociados a plaguicidas y desinfectantes, y cómo su correcta aplicación puede mejorar la salud pública y reducir el impacto ambiental, concluyendo que documento es una herramienta clave para promover prácticas más seguras y responsables. Este material es relevante para el trabajo sobre materiales alternativos en la adsorción de pesticidas, ya que aporta información crucial sobre la gestión de riesgos y el uso seguro de productos químicos en el entorno cotidiano.

El estudio de Eissa et al. (2023), sobre el impacto de la competencia y el tipo de materia prima en la eliminación de tres tipos de biocarbones derivados de residuos biológicos (cáscara de arroz, hueso de dátil y bagazo de caña de azúcar) en un sistema de adsorción competitivo para la

eliminación de diez pesticidas. La metodología incluyó la caracterización estructural de los biocarbones mediante XRD, espectroscopia FTIR y análisis SEM, además de la evaluación de los mecanismos de adsorción usando modelos isotérmicos y cinéticos.

Los resultados muestran que el biocarbón derivado de la cáscara de arroz (RHB) tuvo la mayor capacidad de adsorción, seguido del hueso de dátil (DPB) y el bagazo de caña de azúcar (SBB), el análisis destacó que la estructura porosa y el tamaño de los poros de los biocarbones contribuyeron significativamente a su capacidad de adsorción; por lo anterior, los biocarbones derivados de residuos biológicos representan una alternativa eficiente y de bajo costo para la remediación de aguas contaminadas con pesticidas. Este trabajo es relevante para el uso de materiales alternativos, ya que demuestra la viabilidad de utilizar residuos orgánicos como adsorbentes en sistemas acuosos.

El artículo de Kotnala y Vir-Singh (2024) tiene como objetivo revisar y evaluar diferentes métodos para la remediación de estos contaminantes orgánicos en el ecosistema, con énfasis en la técnica de adsorción. Aunque no se menciona un autor específico, la metodología de la revisión se centra en comparar métodos tradicionales y recientes, como la biorremediación, el uso de materiales adsorbentes sostenibles (arcilla, carbón activado, materiales poliméricos) y procesos de oxidación química.

Los resultados destacan la eficacia de la adsorción por su bajo costo, simplicidad y universalidad, además de mostrar que los materiales alternativos son viables para eliminar pesticidas, concluyendo que el estudio refuerza la importancia de utilizar tecnologías ecológicas para la remediación de plaguicidas. Este artículo es relevante para el tema del uso de materiales alternativos a las resinas hidrofílicas comerciales, ya que proporciona un marco de comparación

sobre la eficacia de distintos materiales adsorbentes en la eliminación de pesticidas orgánicos en aguas de riego.

La investigación de Pacheco-Serrano y Tapia-Marcos (2022) tuvo como objetivo diseñar un sistema de adsorción utilizando fibra de banano (FBA), zeolita (ZT) y cáscara de camarón (CCT) para la remediación de agua contaminada en la provincia de El Oro, realizaron experimentos de equilibrio y columna de lecho fijo, ajustando los datos a los modelos de Freundlich y Langmuir. Los resultados mostraron que la CCT tiene la mayor capacidad de adsorción de cadmio (1.64 mg/g) y un 99% de remoción en equilibrio, por lo que se entiende que, los adsorbentes propuestos son efectivos y ofrecen una alternativa de bajo costo para eliminar contaminantes.

El estudio del ministerio de salud tiene como propósito analizar epidemiológicamente los casos de intoxicación por plaguicidas reportados al Sistema Nacional de Vigilancia en Salud Pública (Sivigila) durante los años 2011 y 2012 cuya metodología consistió en un análisis descriptivo retrospectivo, donde se evaluaron variables de tiempo, lugar y población, basadas en los datos proporcionados por Sivigila. Los hallazgos revelaron que en 2011 se registraron 9811 casos y en 2012 un total de 9197, de los cuales el 61% fueron exposiciones intencionales por suicidio; el análisis es útil para entender la dimensión de estas intoxicaciones y orientar la implementación de medidas preventivas y de intervención. MinSalud (2013)

Cortés-Murcia (2012), busca examinar tres alternativas para el tratamiento de residuos de plaguicidas en el agua y el suelo: camas biológicas, filtros de carbón activado y fotocátalisis, se realizaron estudios para evaluar los principios de funcionamiento, diseño y costos aproximados de implementación de cada opción. En el estudio se identificaron

las medidas actualmente usadas en los sectores de flores, banano y café, complementadas con la consulta de otras soluciones posibles.

Los hallazgos destacan que las camas biológicas, originarias de Suecia, son eficaces en la biodegradación de plaguicidas mediante la acción de biomezclas, los filtros de carbón activado demostraron una alta capacidad para eliminar compuestos orgánicos por adsorción, debido a su estructura porosa.

El estudio de Panagiotis et al. (2016) analiza la eficiencia de cinco biocamas piloto en el tratamiento de aguas residuales con altos niveles de pesticidas tóxicos provenientes de plantas empacadoras de frutas. Se evaluó la bioaugmentación con inóculos bacterianos como estrategia para mejorar la capacidad de depuración, y se estudió la composición microbiana mediante qPCR, los resultados mostraron que las biocamas lograron una depuración superior al 99,5% para todos los pesticidas, siendo la bioaugmentación particularmente efectiva contra el fungicida tiabendazol. Este estudio es relevante para el uso de materiales alternativos en la adsorción de pesticidas orgánicos, ya que demuestra que técnicas biológicas pueden ser una alternativa efectiva y sostenible para la eliminación de contaminantes en aguas residuales.

El artículo de Valladares-Cisneros (2016), revisa el uso de adsorbentes no convencionales para eliminar contaminantes del agua, comparándolos con los convencionales, como el carbón activado y las arcillas, que requieren tratamiento previo. Los no convencionales, como biopolímeros y partes de plantas, no necesitan activación, aunque ésta mejora su eficacia. Se destacan los residuos agroindustriales como fuentes alternativas, demostrando su capacidad para reducir contaminantes como metales y pesticidas, el enfoque promueve procesos más sostenibles en el tratamiento de aguas residuales, siendo relevante para el estudio de materiales alternativos en la adsorción de pesticidas orgánicos en aguas de riego.

## **Marco Legal**

### **Resolución 631 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 (MinAmbiente, 2015).

### **Decreto 1843 de 1991**

Se establecen normas para evitar el deterioro ambiental y la salud humana por el uso de plaguicidas (Secretaría Seccional de Salud y Protección Social, 1991).

### **Ley 9 de 1979**

Por la cual se dictan medidas sanitarias para la protección del medio ambiente (Función Pública, 1979).

### **Decisión Andina 804 de 2015**

Estableció los lineamientos y procedimientos armonizados para el registro y control de Plaguicidas Químicos de Uso Agrícola (PQUA) (ANLA, 2015).

### **Código Internacional de Conducta para la Gestión de Plaguicidas de 2015**

Guía sobre las mejores prácticas en el manejo de los plaguicidas durante su ciclo de vida (Organización Mundial de la Salud, 2014).

### **Resolución 1256 de 2021**

Por la cual se reglamenta el uso de las aguas residuales y se adoptan otras disposiciones (MinAmbiente, 2021).

### **Resolución 1580 de 2022**

Por la cual se establecen los requisitos y el procedimiento para el registro de los fabricantes, formuladores, envasadores, distribuidores, importadores y/o exportadores de los

plaguicidas químicos de uso agrícola, así como los requisitos para el registro de plaguicidas químicos de uso agrícola y otras disposiciones (ICA, 2022).

**Resolución n° 2075 -2019**

Manual Técnico Andino para el Registro y Control de Plaguicidas Químicos de Uso Agrícola (Ministerio de Salud y Protección Social, 2019).

**Decreto 3930 de 2010**

Establece las disposiciones relacionadas con los usos del recurso hídrico, el Ordenamiento del Recurso Hídrico y los vertimientos al recurso hídrico, al suelo y a los alcantarillados (Función Pública, 2010).

## **Marco Conceptual**

### **Plaguicidas**

Todo agente de naturaleza química, física o biológica que sólo en mezcla o en combinación, se utilice para la prevención, represión, atracción, o control de insectos, ácaros, agentes patógenos, nemátodos, malezas, roedores u otros organismos nocivos a los animales, o a las plantas, a sus productos derivados, a la salud o la fauna benéfica. La definición también incluye los productos utilizados como defoliantes, reguladores fisiológicos, feromonas y cualquier otro producto que a juicio de los Ministerios de Salud o de Agricultura se consideren como tales (Secretaría Seccional de Salud y Protección Social, 1991).

### **Uso y Manejo de Plaguicidas**

Comprende todas las actividades relacionadas con estas sustancias, tales como síntesis, experimentación, importación, exportación, formulación, transporte, almacenamiento, distribución, expendio, aplicación y disposición final de desechos o remanentes de plaguicidas (Secretaría Seccional de Salud y Protección Social, 1991).

### **Toxicidad**

La propiedad que tiene una sustancia, elemento o compuesto, de causar daños en la salud humana o la muerte de un organismo vivo (Función Pública, 2010).

### **Aguas Residuales**

Son las aguas utilizadas o servidas, de origen doméstico o no doméstico (MinAmbiente, 2021).

## **Resinas Adsorbentes**

Son productos naturales o sintéticos. En cualquier caso, el proceso de fabricación ha de asegurar un gran desarrollo superficial mediante una elevada porosidad (Textos Científicos, 2006).

## **Hidrofílica**

Segmento molecular o un compuesto que se caracteriza por tener una fuerte afinidad por el agua y los solventes polares (Lifeder, 2020).

## **Agricultura**

Es la actividad humana tendiente a combinar diferentes procedimientos y saberes en el tratamiento de la tierra, con el objetivo de producir alimentos de origen vegetal, tales como frutas, verduras, hortalizas, cereales, entre otros (Concepto, 2014).

## **Absorción**

Es un fenómeno físico o químico o un proceso en el que los átomos, moléculas o iones entran en alguna fase a granel: material líquido o sólido. Este es un proceso diferente de la adsorción, ya que las moléculas que se absorben son absorbidas por el volumen, no por la superficie (como en el caso de la adsorción). (AcademiaLab, 2024).

## **Adsorción**

Es un proceso por el cual átomos, iones o moléculas son atrapadas o retenidas en la superficie de un material, en contraposición a la absorción, que es un fenómeno de volumen.(Química. Es, 2024).

### **Espectroscopia Infrarroja por Transformada de Fourier**

Es una técnica que mide la absorción de radiación infrarroja por parte de las moléculas de una muestra. Cada molécula absorbe radiación a diferentes longitudes de onda, lo que genera un espectro único que actúa como una “huella digital” de la sustancia. (cromtek, 2024)

### **Microscopia Electronica de Barrido**

Se fundamenta en la emisión de un barrido de haz de electrones sobre la muestra, los cuales interaccionan con la misma produciendo diferentes tipos de señales que son recogidas por detectores. (Martinez, 2020)

### **La Difracción de Rayos X**

Es una herramienta analítica que nos permite determinar la geometría tridimensional de materiales cristalinos. Implica el uso de radiaciones electromagnéticas, es decir, rayos X, para elaborar el espacio interatómico dentro de un cristal. (Vazquez, 2020)

## Metodología

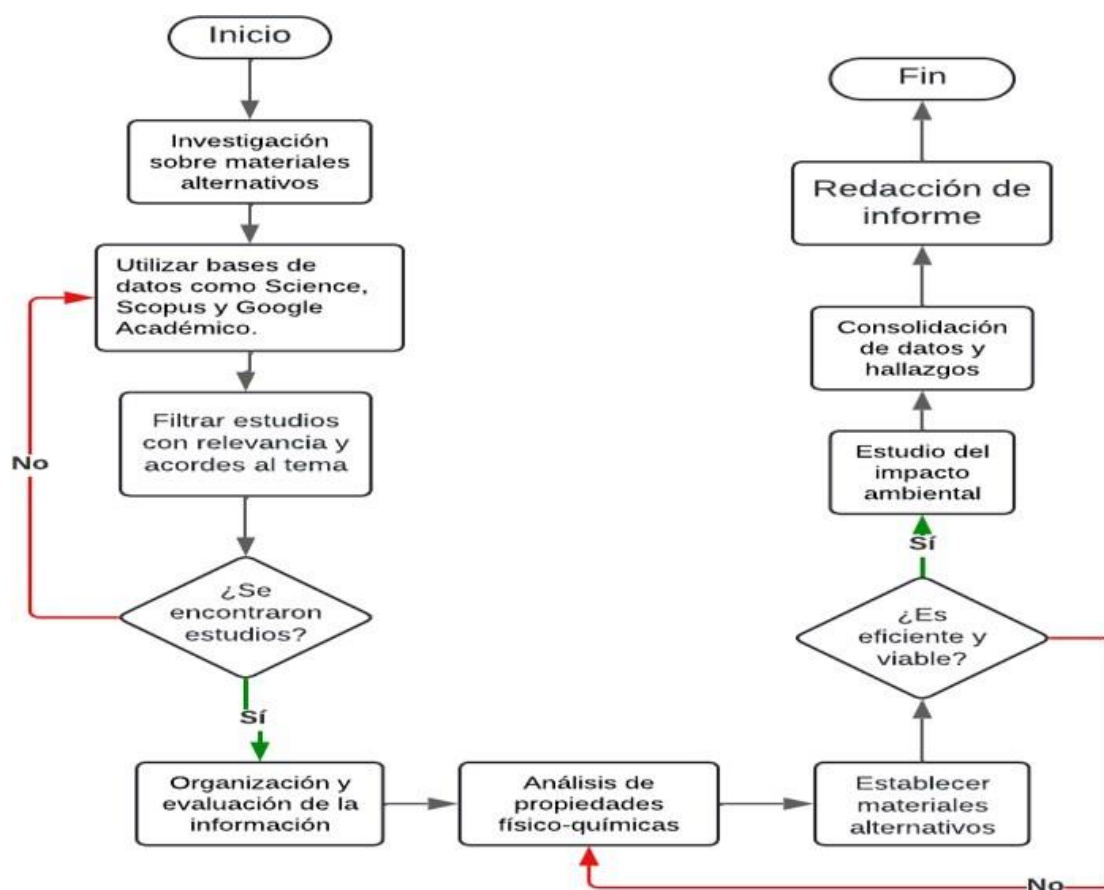
El tipo de estudio implementado en este trabajo es una revisión sistemática, crítica y comparativa, donde se logra evidenciar diversos factores, como la viabilidad económica, la eficiencia, y las limitaciones de los materiales alternativos a las resinas hidrofílicas adsorbentes hidrofílicas comerciales para la eliminación de pesticidas en aguas residuales de riego. Con un enfoque cualitativo se organiza y evalúa cuidadosamente la información sobre materiales prometedores que podrían reemplazar a las resinas adsorbentes comerciales o convencionales, destacando que el análisis se concentra en entender cómo estos materiales capturan y eliminan los plaguicidas de las aguas residuales, examinando sus propiedades fisicoquímicas para determinar los factores mencionados anteriormente en la práctica agrícola.

Se desarrolla un diagrama respecto a los objetivos mencionados mediante una revisión bibliográfica exhaustiva de investigaciones. Utilizando bases de datos reconocidas como Science, Scopus, Google Académico, entre otros, se seleccionan estudios que aportan conocimientos relevantes sobre estos materiales no convencionales, aplicando criterios de inclusión y exclusión respecto a las fuentes bibliográficas, ya que este proyecto no implica experimentación directa.

## Diagrama

Figura 2

Diagrama Metodología



## Análisis y discusión de la información recopilada

**Tabla 1**

*Análisis y discusión de la información recopilada*

<b>Resultado o Actividad</b>	<b>Objetivo Específico</b>	<b>Mes de Ejecución</b>
Lista de materiales alternativos viables	Identificar materiales alternativos viables a las resinas adsorbentes hidrofílicas comerciales.	Mes 1
Informe sobre propiedades físico-químicas	Describir las propiedades físico-químicas de los materiales alternativos	Mes 2 y 3
Evaluación hipotética la eficacia de adsorción y eliminación de pesticidas	Comparar la eficacia en la eliminación de diferentes tipos de plaguicidas basada en datos bibliográficos y análisis teóricos	Mes 4 y 5
Informe de impacto ambiental y potencial de reciclaje	Analizar el impacto ambiental de cada material alternativo investigado, centrándose en su potencial de biodegradabilidad y reducción de productos químicos y residuos secundarios.	Mes 6
Comparación de las resinas adsorbentes comerciales y no comerciales	Se espera que la revisión permita dar un enfoque comparativo de manera cuantitativa y cualitativa sobre los usos de materiales alternativos seleccionados.	Mes 7

La investigación se enfocó en analizar el uso de materiales alternativos a las resinas adsorbentes hidrofílicas comerciales, con el objetivo de mejorar la eliminación de pesticidas orgánicos en aguas residuales de riego. Los resultados obtenidos revelaron la eficacia de ciertos materiales no convencionales, como el biocarbón, los biopolímeros, las zeolitas, y residuos agroindustriales, los cuales demostraron ser viables tanto desde una perspectiva técnica como económica. Uno de los hallazgos más relevantes fue la capacidad de adsorción superior que

presentaron los biocarbones derivados de cáscaras de arroz y bagazo de caña de azúcar, alcanzando tasas de remoción de pesticidas de hasta un 97,6% para compuestos como el clorpirifós y el dimetoato. Este rendimiento fue posible gracias a la estructura porosa y al volumen de área superficial de estos materiales, lo que les permitió captar eficientemente las moléculas de pesticidas disueltas en el agua, tal como lo señalaron estudios previos sobre adsorción con biocarbones (Eissa et al., 2023). Este tipo de materiales, por su bajo costo y amplia disponibilidad, se posicionan como una alternativa accesible y efectiva en comparación con las resinas hidrofílicas comerciales.

Otro aspecto importante fue la comparación entre los biopolímeros, como el quitosano, y los adsorbentes convencionales. Los estudios revisados indicaron que los biopolímeros pueden ser muy efectivos en la eliminación de pesticidas, logrando eficiencias de hasta un 90% en la remoción de herbicidas como el glifosato (Sánchez et al., 2020). A pesar de esto, se evidenció que la eficiencia de estos materiales mejora significativamente cuando se les someten a procesos de modificación química; por ejemplo, la funcionalización de la sílice con grupos amino resultó en un aumento del 25% en la capacidad de adsorción en comparación con la sílice desnuda, lo que sugiere que estos materiales alternativos pueden superar incluso a los adsorbentes comerciales si se optimizan adecuadamente mediante técnicas químicas (Colasurdo, 2020).

A continuación, un cuadro comparativo sobre los porcentajes de efectividad y los métodos de implementación del quitosano, un biopolímero utilizado en la eliminación de pesticidas en las aguas residuales de riego:

**Tabla 2***Cuadro comparativo*

<b>Biopolímero</b>	<b>Método de implementación</b>	<b>Porcentaje de efectividad</b>	<b>Ventajas</b>	<b>Limitaciones</b>
<b>Quitosano</b>	1.Adsorción en columnas de flujo continuo.	70-95%	Bajo costo.	Sensible a variaciones de pH.
	2.Floculación y coagulación (adsorción directa en polvo).	80-90%	Biodegradables y no tóxico.	Eficiencia reducida con contaminantes específicos.
	2.Membranas e hidrogeles.	90-97%	Alta selectividad, reutilizable tras limpieza. y proceso controlable.	Pérdida de eficiencia en presencia de altas cargas de sólidos suspendidos.

**Fuente: elaboración propia**

En cuanto a la viabilidad económica, los materiales alternativos demostraron ser considerablemente más accesibles en términos de costos de producción y operación. Los biocarbones, en particular, pueden obtenerse de residuos agroindustriales como el bagazo de caña y la cáscara de arroz, los cuales son abundantes y de bajo costo, lo que los convierte en una opción económica para el tratamiento de aguas residuales (Peregrino-Sánchez, 2023). Esta

característica es especialmente relevante en contextos donde los recursos financieros son limitados y se requiere de soluciones sostenibles y económicas.

En el aspecto de la sostenibilidad, los materiales alternativos evaluados, en su mayoría derivados de fuentes naturales o de desechos agroindustriales, presentaron una menor huella ambiental en comparación con los adsorbentes comerciales, lo que es particularmente evidente en los biopolímeros y biocarbones, los cuales son biodegradables y no generan residuos tóxicos después de su uso (Ramírez-Campos, 2018).

Asimismo, el uso de residuos agroindustriales como materia prima para la producción de adsorbentes representa una solución doblemente beneficiosa, ya que, además de eliminar pesticidas del agua, ayuda a reducir la cantidad de desechos generados por la industria agrícola. Esta circularidad en el uso de recursos refuerza la idea de que la implementación de estos materiales puede contribuir significativamente a prácticas más sostenibles en la agricultura, tal como lo han subrayado estudios recientes (Crini, 2005).

## Conclusiones

- En la revisión bibliográfica se evidencia la capacidad significativa de los materiales alternativos para la absorción de agentes orgánicos (pesticidas) presentes en aguas residuales, lo cuál prometen ser viables y de bajo costo, demostrando eficiencia frente a las resinas convencionales.
- Es de gran interés implementar estos materiales alternativos, ya que tienen diversas ventajas, porque algunos son de origen vegetal, esto logra minimizar el impacto ambiental, contribuyendo con la economía circular y la sostenibilidad en sectores agrícolas.
- Los materiales alternativos han demostrado tener eficacia frente a pesticidas organoclorados, organofosforados y neonicotinoides, gracias a su capacidad para adsorber tanto compuestos polares como no polares. Esto amplía su aplicabilidad en diferentes contextos agrícolas y genera viabilidad económica.
- El desarrollo de tecnologías limpias como los materiales alternativos, es de gran ayuda para el tratamiento de las aguas residuales, ya que pueden mejorar la calidad del agua, y también reducir la contaminación.
- Algunos materiales alternativos pueden presentar limitaciones como sensibilidad al pH, baja estabilidad mecánica o modificaciones químicas. Estas podrían abordarse mediante investigaciones adicionales para garantizar su eficiencia en escenarios reales y mejorar los requerimientos específicos para que se logren implementar.

- Al utilizar residuos agrícolas o materiales renovables, se implementan procesos sostenibles que contribuyen con la economía circular. Esto permite generar un impacto ambiental positivo.
- Es necesario continuar con la investigación para asegurar que los materiales alternativos con el tiempo se puedan seguir implementando eficazmente, ya que algunos pueden presentar limitaciones de durabilidad o regeneración.

## Referencias

- Abdel Maksoud, M. I. A., Elgarahy, A. M., Farrell, C., Al, A., & others. (2019). Insight on water remediation application using magnetic nanomaterials and biosorbents. *Coordination Chemistry Reviews*, 403, 213096. <https://doi.org/10.1016/j.ccr.2019.213096>
- Abellán Contreras, F. J. (2019). Gestión hídrica, protección ambiental y aprovechamiento agrario en el entorno del Sinus Illicitanus: el Hondo y los Carrizales de Elche. En: J. Melgarejo (Ed.), *Congreso Nacional del Agua de Orihuela: Innovación, sostenibilidad* (pp. 731-744). Universidad de Alicante
- Ahmad, T., Rafatullah, M., Ghazalai, A., Sulaiman, O., Hashim, R., & Ahmad, A. (2010). Removal of pesticides from water and wastewater by different adsorbents: A review. *Taylor & Francis*, 231-270. <https://doi.org/10.1080/10590501.2010.525782>
- Aktar, W., Sengupta, D., & Chowdhury, A. (2009). Impacto del uso de pesticidas en la agricultura: sus beneficios y peligros. *Toxicol Interdisco*, 2(1), 1-12. <https://doi.org/10.2478/v1010200900017>
- Aldas-Vargas, A., Poursat, B. A., & Sutton, N. B. (2022). Potential and limitations for monitoring of pesticide biodegradation at trace concentrations in water and soil. *World Journal of Microbiology and Biotechnology*, 38(12), 240.
- Andrunik, M., & Bajda, T. (2021). Removal of pesticides from waters by adsorption: Comparison between synthetic zeolites and mesoporous silica materials. *Materials*, 14(13), 3532. <https://doi.org/10.3390/ma14133532>
- ANLA. (2015). *Decisión 804 del 24 de abril de 2015*. Autoridad Nacional de Licencias Ambientales. <https://www.anla.gov.co/eureka/normatividad/decisiones/686-decision-804-del-24-de-abril-de-2015-registro-y-control-de-plaguicidas-quimicos-de-uso-agricola>
- Academia Lab. (2024). Adsorción. Enciclopedia. Revisado el 26 de noviembre del 2024. <https://academia-lab.com/enciclopedia/adsorcion>

Aranda-Figueroa, M., Valladares-Cisneros, M., & Romero, R. (2019). Aplicación de adsorbentes de origen vegetal en la remoción de colorantes en agua. *Inventio* (37).

<https://doi.org/10.30973/inventio/2019.15.37/7>

Brookes, J. D., & Carey, C. (2015). Ensure availability and sustainable management of water and sanitation for all. *UN Chronicle*, 51(4), 15-16. <https://doi.org/10.18356/d694f52d-en>

Bolognesi, C. (2003). Genotoxicity of pesticides: A review of human biomonitoring studies.

*Mutation Research/Reviews in Mutation Research*, 543, 251-272.

[https://doi.org/10.1016/S1383-5742\(03\)00015-2](https://doi.org/10.1016/S1383-5742(03)00015-2)

Bosé, S., Kumara, S., Rangasamy, G., Prasannamedhaa, G., & Kanmani, S. (2023). Una revisión sobre la aplicabilidad de técnicas de adsorción para la remediación de pesticidas

recalcitrantes. *Chemosphere*, 313. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2022.137481>

Carneiro, R., Taketa, M., Thiago, B., Gomes-Neto, R., Jhones, L., Oliveira, C., & Beppu, M. F.

(2015). Eliminación del herbicida glifosato del agua mediante biopolímero membranas.

*Revista de Gestión Ambiental*, 151. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2015.01.005>

Carvalho, F. (2006). Agricultura, pesticidas, seguridad alimentaria e inocuidad de los alimentos.

*ScienceDirect*, 9, 685-692. <https://doi.org/10.1016/j.envsci.2006.08.002>

(Dakota del Norte). Química.es. Recuperado el 29 de noviembre de 2024, de

<https://www.quimica.es/enciclopedia/Adsorci%C3%B3n.html>

Caviedes Rubio, D. I., & Espinosa Pastrana, N. L. (2020). *Tratamientos para la remoción de pesticidas presentes en aguas residuales* (Trabajo de grado, Universidad Cooperativa de

Colombia). Recuperado de

[https://repository.ucc.edu.co/server/api/core/bitstreams/3f4d6e94-d4c4-4df9-9206-](https://repository.ucc.edu.co/server/api/core/bitstreams/3f4d6e94-d4c4-4df9-9206-9dcaff9be0e2/content)

[9dcaff9be0e2/content](https://repository.ucc.edu.co/server/api/core/bitstreams/3f4d6e94-d4c4-4df9-9206-9dcaff9be0e2/content)

- Colasurdo, D. (2020). *Estudio de la adsorción de los pesticidas Pendimetalina y Metolaclor sobre materiales carbonosos y silíceos para su eliminación de aguas contaminadas*. SEDICI. <https://doi.org/10.35537/10915/106589>
- Concepto. (2014). *Agricultura*. Concepto. <https://concepto.de/agricultura/#ixzz8pKNQOxjh>
- Cortés-Murcia, C. (2012). *Alternativas de tratamiento de aguas residuales con plaguicidas provenientes de actividades agrícolas*. Universidad Industrial de Santander.
- Crini, G. (2005). Recent developments in polysaccharide-based materials used as adsorbents in wastewater treatment. *Progress in Polymer Science*, 30(1), 38-70.  
<https://doi.org/10.1016/j.progpolymsci.2004.11.002>
- Cromtek.Cl. Retrieved November 27, (2024). From  
<https://www.cromtek.cl/2024/09/27/espectrofotometria-infrarroja-por-transformadas-de-fourier-principios-usos-y-beneficios>
- Dong, X., Chu, Y., Tong, Z., Sun, M., Meng, D., Yi, X., & Duan, J. (2024). Mecanismos de adsorción y funcionalización de biocarbón para pesticidas: Una reseña. *Ecotoxicología y Seguridad Ambiental*, 272. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2024.116019>
- Eissa F, Alsherbeny S, El-Sawi S, Slaný M, Lee SS, Shaheen SM, Jamil TS. Remediation of pesticides contaminated water using biowastes-derived carbon rich biochar. *Chemosphere*. 2023 Nov;340:139819. doi: 10.1016/j.chemosphere.2023.139819. Epub 2023 Aug 14. PMID: 37586496.
- Función Pública. (1979). *Ley 9 de 1979*. Función Pública.  
<https://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma.php?i=1177>

Función Pública. (2010). *Decreto 3930 de 2010. Función Pública.*

<https://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma.php?i=40620>

Gil, M., Soto, A., Usma, J., & Gutiérrez, O. (2012). Contaminantes emergentes en aguas, efectos y posibles tratamientos. *Revista P+L*, 7(2).

[https://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1909-04552012000200005](https://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1909-04552012000200005)

ICA. (2022). *Resolución 1580 de 2022*. ICA. <https://www.ica.gov.co/normatividad/normas-ica/resoluciones-oficinas-nacionales/2022/2022r1580>

IDEAM. (2024). Misión, visión, funciones y deberes. IDEAM.

<https://www.ideam.gov.co/transparencia/informacion-de-la-entidad/mision-vision-funciones-y-deberes>

Jáuregui-Haza, U., Gaspard, S., Hernández-Valdés, D., Enriquez-Victoreo, C., Gamboa-Carballo, J., Durimel, A., & Gadiou, R. (2018). Adsorción de plaguicidas organoclorados en carbón activado de bagazo de caña: El papel de los grupos superficiales ácidos. *Revista Anales de la Academia de Ciencias de Cuba*, 8(2).

<https://revistaccuba.sld.cu/index.php/revacc/article/view/390>

Karas, P., Perruchon, C., Karanasios, E., Papadopoulou, E., Manthou, E., Sitra, S., & Karpouzas, D. (2016). Biodepuración integrada de aguas residuales contaminadas con pesticidas de la industria envasadora de frutas mediante biolechos: Bioaumentación, evaluación de riesgos y gestión optimizada. *Journal of Hazardous Materials*, 320, 635-644.

<https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2016.07.071>

Kotnala, S., & Vir-Singh, S. (2024). Eliminación de pesticidas del agua mediante el uso de adsorbentes sostenibles: Una revisión. *ResearchGate*.

Lifeder. (2020). *Hidrofílico: Usos del término, características, ejemplos*. Lifeder.

<https://www.lifeder.com/hidrofílico/>

Liang, W., Wang, B., Cheng, J., Xiao, D., Xie, Z., & Zhao, J. (2021). Estructuras organometálicas ecológicas en 3D, materiales compuestos de aerogeles de nanotubos de carbono para la eliminación de pesticidas en el agua. *Hazardous Materials*, 401.

<https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2020.123718>

Martínez, E. (2020, August 24). Microscopía electrónica de barrido (SEM), ¿para qué me sirve? *ATRIA Innovation*. <https://atriainnovation.com/blog/microscopia-electronica-de-barrido-sem-utilidades/>

MinAmbiente. (2015). *Resolución 631 de 2015*. MinAmbiente.

<https://www.minambiente.gov.co/documento-normativa/resolucion-631-de-2015/>

MinAmbiente. (2021). *Resolución 1256 de 2021*. MinAmbiente.

<https://www.minambiente.gov.co/documento-normativa/resolucion-1256-de-2021/>

Ministerio de Salud de Colombia. (2013). *Caracterización epidemiológica de las intoxicaciones por plaguicidas en Colombia 2011-2012*. Ministerio de Salud de Colombia, 18(20).

Ministerio de Salud y Protección Social. (2019). *Resolución #2075-2019*. Ministerio de Salud y Protección

Social. <https://www.minsalud.gov.co/sites/rid/Lists/BibliotecaDigital/RIDE/DE/DIJ/resolucion-2075-de-2021.pdf>

- MinSalud. (2020). *Reducción de riesgos asociados al uso de productos plaguicidas y desinfectantes*. Ministerio de Salud y Protección Social.  
<https://www.minsalud.gov.co/sites/rid/Lists/BibliotecaDigital/RIDE/VS/PP/abece-plaguicidas-desinfectantes.pdf>
- Mohamed, H., Udoetok, A., Solgi, S., Zhou, Z., & Wilson, L. D. (2022). Design of sustainable biomaterial composite adsorbents for point-of-use removal of lead ions from water. *Frontiers in Water*, 4. <https://doi.org/10.3389/frwa.2022.739492>
- Organización Mundial de la Salud. (2014). *Código internacional de conducta para la gestión de plaguicidas*. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura.  
<https://openknowledge.fao.org/server/api/core/bitstreams/b0a755ea-5c79-4b90-a8a6-65223234ef8a/content>
- Pacheco Serrano, F. A., & Tapia Marcos, R. M. (2022). *Diseño de un sistema adsorbente de lecho mixto para remoción selectiva de contaminantes en una matriz acuosa* (Proyecto integrador, Escuela Superior Politécnica del Litoral, Facultad de Ciencias Naturales y Matemáticas). Guayaquil, Ecuador. Recuperado de  
<https://www.dspace.espol.edu.ec/retrieve/805fb943-b3a3-4160-aa21-7720e8184ac3/T-110494%20FANNY%20PACHECO-%20ROMINA%20TAPIA.pdf>
- Panagiotis, A., Perruchon, C., Karanasios, E., Papadopoulou, S., Manthou, E., Sitra, S., & Karpouzas, D. (2016). Biodepuración integrada de aguas residuales contaminadas con pesticidas de la industria envasadora de frutas mediante biolechos: Bioaumentación, evaluación de riesgos y gestión optimizada. *Journal of Hazardous Materials*, 320, 635-644. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2016.07.071>

- Patharaju, R., & Aruna, M. (2024). Los efectos de la exposición a los pesticidas en los cuerpos de agua: Una revisión. *IRJMets*. <https://www.doi.org/10.56726/IRJMETS50669>
- Peregrino, A. (2023). Efectividad del carbón activado de semillas de pino en el tratamiento del agua en el río San Lucas, Cajamarca - 2023 [Tesis de licenciatura, Universidad Privada del Norte]. Repositorio de la Universidad Privada del Norte.  
<https://hdl.handle.net/11537/36201>
- Rahman, M. (2024). Fabricación de bionanocompuestos a base de arcilla natural y quitosano derivados de biomasa residual y su posible aplicación en la purificación de aguas residuales mediante adsorción continua: Una revisión crítica. *Revista Sudafricana de Ingeniería Química*, 48. <https://doi.org/10.1016/j.sajce.2024.02.006>
- Ramírez-Campos, M. (2018). El uso de pesticidas en la agricultura y su desorden ambiental. *Revista de Enfermería Vanguard*, 6(2), 40-47. <https://doi.org/10.35563/revan.v6i2.210>
- Sánchez, L., Ollier, R., Santo-Pererira, A., Fernandes-Fracero, L., & Alvarez, V. (2020). Chapter 15 - Pesticide removal from industrial effluents using biopolymeric materials. *Biopolymer Membranes and Films*, 359-382. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-818134-8.00015-8>
- Secretaría Seccional de Salud y Protección Social. (1991). *Decreto Número 1843 de 1991*.  
Secretaría Seccional de Salud y Protección Social.  
<https://www.dssa.gov.co/index.php/descargas/1011-decreto-1843-1991/file>
- Shaheen, S. M., Eissa, F. I., Ghanem, K. M., Gamal El-Din, H. M., & Al Anany, F. S. (2013). Heavy metals removal from aqueous solutions and wastewaters by using various byproducts. *Journal of Environmental Management*, 128, 514-521.  
<https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2013.05.061>

Textos Científicos. (2006). *Los materiales adsorbentes*. Textos Científicos.

<https://www.textoscientificos.com/quimica/carbon-activo/materiales-adsorbentes>

Vazquez, J. (2020, October 20). *¿Qué es la Difracción de Rayos X (XRD)?* Espectrometria.

<https://espectrometria.com.mx/que-es-la-difraccion-de-rayos-x-xrd-y-por-que-es-tan-importante-para-la-industria/>

Valladares-Cisneros, M., Valerio-Cárdenas, C., de la Cruz-Burelo, P., & Melgoza-Alemán, R.

(2016). Adsorbentes no-convencionales: Alternativas sustentables para el tratamiento de aguas residuales. *Revista Ingenierías Universidad de Medellín*, 16(31), 55-73.

<https://doi.org/10.22395/rium.v16n31a3>

Zheng, S. (2015). Distribution and risk assessment of 82 pesticides in Jiulong River and estuary in South China. *Chemosphere*, 144, 1170-1178.

<https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2015.09.050>