

INTERAMERICAN UNIVERSITY OF PUERTO RICO INC.
RECINTO DE SAN GERMÁN
DEPARTAMENTO CIENCIAS Y TECNOLOGÍA
PROGRAMA DE MAESTRÍA EN CIENCIAS EN CIENCIAS AMBIENTALES

**REMOCIÓN DE GLIFOSATO ENTRE CARBÓN ACTIVADO Y CARBÓN DE LEÑA
PRODUCIDO DE MANERA ARTESANAL**

Laura Ronda Vargas

2026

INTERAMERICAN UNIVERSITY OF PUERTO RICO, INC.
RECINTO DE SAN GERMÁN
DEPARTAMENTO DE CIENCIAS Y TECNOLOGÍA
PROGRAMA DE MAESTRÍA EN CIENCIAS EN CIENCIAS AMBIENTALES

Tesis presentada y aprobada para completar los requisitos para el grado de Maestría en Ciencias
en Ciencias Ambientales especialización en Biología Ambiental.

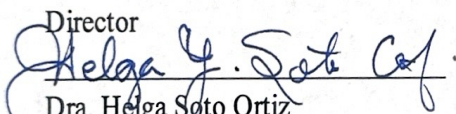
REMOCIÓN DE GLIFOSATO ENTRE CARBÓN ACTIVADO Y CARBÓN DE LEÑA
PRODUCIDO DE MANERA ARTESANAL

LAURA RONDA VARGAS
Mayo, 2026

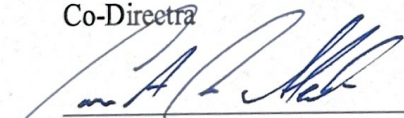
Miembros del Comité Graduado:


Dr. José Vera Serrano

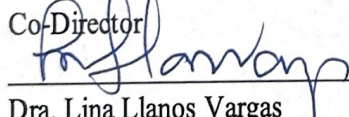
8 de mayo de 2026
Fecha

Director

Dra. Helga Soto Ortiz
Co-Directora

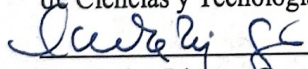
8 de mayo de 2026
Fecha


Dr. Carlos Linares Medina
Co-Director

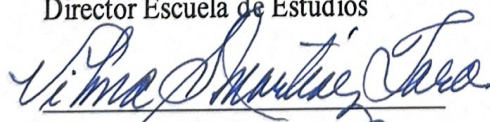
8 de mayo de 2026
Fecha


Dra. Lina Llanos Vargas
Directora del Departamento
de Ciencias y Tecnología

8 de mayo de 2026
Fecha


Dr. Carlos Irizarry Guzmán
Director Escuela de Estudios

8 de mayo de 2026
Fecha


Vilma Martínez Toro
Decana de Asuntos Académicos

8/ mayo/2026
Fecha

DEDICATORIA

Con todo el amor y gratitud que alberga mi corazón, dedico esta tesis a mis padres, los pilares fundamentales de mi vida y los arquitectos de mis sueños.

A mi papá, mi ángel guardián, mi roca y mi faro, cuyo ejemplo de trabajo arduo, perseverancia y dedicación ha sido mi mayor inspiración. Gracias por enseñarme el valor del esfuerzo, por impulsarme a nunca rendirme y por recordarme que no hay meta inalcanzable cuando se persigue con pasión y determinación. Tus sabios consejos y tu apoyo incondicional me han dado la fuerza para superar cada obstáculo y alcanzar este logro. Aunque no estés físicamente a mi lado, tu alma y tu espíritu siempre me acompañarán, guiando cada paso de mi vida.

A mi mamá, mi fuente de amor inagotable, cuyas palabras de aliento y cariño han sido el bálsamo que ha sanado mis heridas y el impulso que ha fortalecido mi espíritu. Gracias por creer en mí incluso cuando yo dudaba, por abrazarme en mis momentos de debilidad y por celebrar cada uno de mis triunfos como si fueran tuyos. Tu amor incondicional ha sido el motor que ha impulsado mi camino y la luz que ha iluminado mis pasos.

Papá y mamá, esta tesis es un pequeño tributo a su amor infinito, a su sacrificio constante y a su apoyo inquebrantable. Ustedes son mi mayor tesoro, mi mayor orgullo y mi mayor bendición. Espero que este logro les haga sentir tan orgullosos de mí como yo me siento de ustedes. Gracias por ser mis padres, mis amigos y mis maestros. Los amo con todo mi ser.

AGRADECIMIENTOS

Con mucho agradecimiento, quiero expresar mi sincero reconocimiento a todos los que hicieron posible la finalización de esta tesis.

Quiero agradecer de todo corazón al Dr. José Vera Serrano, mi director de tesis, por su enorme apoyo. Su gran experiencia, su visión clara y su dedicación sin descanso fueron esenciales en todo el proceso de mi investigación. Gracias a sus valiosos consejos, su paciencia y el constante respaldo que me dio, pude superar muchos obstáculos y cumplir con mis metas. Su liderazgo siempre me inspiró a esforzarme más y a dar lo mejor de mí en cada momento.

Profesor Carlos Linares Medina y a la Dra. Helga Soto Ortiz, miembros de mi comité de tesis, gracias por su apoyo incondicional. Sus comentarios acertados, sus críticas constructivas y su amplio conocimiento fueron muy importantes para mejorar mi trabajo. Su compromiso y respaldo fueron claves para el éxito de esta investigación.

A la Dra. Lucille Oliver, le agradezco. Su apoyo constante, sus palabras de ánimo y su disposición para ayudarme en cada paso fueron fundamentales en este proceso. Su calidad humana, su paciencia y su sabiduría me dieron la confianza que necesitaba para enfrentar los desafíos y alcanzar mis objetivos. Su guía ha sido un verdadero regalo que siempre valoraré.

Por último, pero no menos importante, quiero expresar mi más sincero agradecimiento a mi prometido, Raian Rodríguez Mattei. Su apoyo incondicional desde el primer momento, su motivación constante y su presencia firme a lo largo de este camino fueron pilares fundamentales para la culminación de este proyecto. Gracias por creer en mí, por impulsarme en los momentos difíciles y por acompañarme con amor y compromiso en cada etapa de este logro.

A todos ustedes, muchas gracias. Su apoyo, esfuerzo y dedicación hicieron posible este logro.

TABLA DE CONTENIDO

ABSTRACT.....	1
RESUMEN	2
ACRÓNIMOS	3
LISTA DE FIGURAS.....	4
LISTA DE TABLAS	5
INTRODUCCIÓN	7
OBJETIVOS	10
REVISIÓN DE LITERATURA	11
MATERIALES Y MÉTODOS	31
RESULTADOS Y DISCUSIÓN	41
RECOMENDACIONES.....	57
REFERENCIAS.....	59

ABSTRACT

Glyphosate is a widely used herbicide globally, known for its effectiveness in eliminating weeds. However, its intensive use has raised serious environmental concerns, particularly regarding its impact on water body contamination. The presence of this compound in water sources can negatively affect both human health and aquatic ecosystems, making the development of efficient removal strategies essential.

According to Pérez-Vázquez, Arturo, Fernández-Peña, María de Lourdes, Castañeda-Chávez, María del Refugio, & Díaz-Rivera, Pablo. (2024), its prolonged application has led to detrimental consequences for ecosystems, fauna, and human health. Consequently, numerous scientists worldwide have focused their efforts on studying its effects and seeking ecological alternatives to reduce its use.

Among the most effective methods for glyphosate removal in water, adsorption with activated carbon stands out. This material has a highly porous surface that facilitates the retention of various organic pollutants. In addition to its high efficiency, its use is a viable option due to its accessible cost and the possibility of application at different scales (González & Fuentes, 2022).

This study will evaluate the variation in glyphosate concentration after its interaction with activated carbon and artisanal charcoal, aiming to compare the capacity of both as adsorbents in aqueous solutions.

The main purpose of this research is to develop sustainable alternatives to reduce glyphosate contamination, optimizing water treatments and promoting water resource preservation through data and analysis.

RESUMEN

El Glifosato es un herbicida ampliamente empleado a nivel global debido a su efectividad en la eliminación de malezas. Sin embargo, su uso intensivo ha despertado serias inquietudes ambientales, especialmente por su impacto en la contaminación de cuerpos de agua. La presencia de este compuesto en fuentes hídricas puede afectar negativamente tanto la salud humana como los ecosistemas acuáticos, lo que hace indispensable el desarrollo de estrategias eficientes para su eliminación.

Según Pérez-Vázquez, Arturo, Fernández-Peña, María de Lourdes, Castañeda-Chávez, María del Refugio, & Díaz-Rivera, Pablo. (2024), su aplicación prolongada ha generado consecuencias perjudiciales en los ecosistemas, la fauna y la salud de las personas. Por ello, numerosos científicos alrededor del mundo han dirigido sus esfuerzos al estudio de sus efectos y a la búsqueda de alternativas ecológicas que permitan disminuir su uso.

Entre los métodos más eficaces para la eliminación del Glifosato en el agua destaca la adsorción con carbón activado. Este material posee una superficie altamente porosa que facilita la retención de diversos contaminantes de origen orgánico. Además de su alta eficiencia, su empleo resulta una opción viable debido a su costo accesible y a la posibilidad de aplicarse en diferentes escalas (González & Fuentes, 2022).

Este estudio evaluará la variación en la concentración de Glifosato tras su interacción con carbón activado y carbón de leña elaborado artesanalmente, con el fin de comparar la capacidad de ambos como adsorbentes en soluciones acuosas.

El propósito principal de esta investigación es desarrollar alternativas sostenibles para reducir la contaminación por Glifosato, optimizando tratamientos de agua y promoviendo la preservación de recursos hídricos mediante datos y análisis.

ACRÓNIMOS

Acrónimos	Significados
ADS	Absorción
ADN	Ácido Desoxirribonucleico
CA	Carbón Activado
CL	Carbón de Leña
DL50	Dosis Letal Media
GC-MS	<i>(Gas Chromatography-Mass Spectrometry)</i>
GM	Geneticamente Modificado
HPLC	<i>(High-Performance Liquid Chromatography)</i>
H ₀	Hipótesis Nula
H ₁	Hipótesis Alternativa
OMS	Organización Mundial de la Salud
pH	Potencial de Hidrógeno
ppm	Partes por Millón
UV	Ultravioleta

LISTA DE FIGURAS

Lista de figuras	Número de página
Gráfica 1: Medición de la absorbancia del Glifosato con diferentes concentraciones	41

LISTA DE TABLAS

Lista de tablas	Número de página
Tabla 1: Proporciones establecidas de concentración y volumen añadido de la solución madre para hacer las diluciones necesarias para preparar las soluciones de los estándares.	36
Tabla 2: Medida de absorbancia para Glifosato para medir la estabilidad durante el transcurso de la reacción.	42
Tabla 3: Resultados obtenidos para el experimento de absorción de Glifosato en carbón activado a temperatura ambiente. Esta temperatura fluctuó entre 22 °C - 25 °C.	44
Tabla 4: Resultados obtenidos para el experimento de absorción de Glifosato en carbón activado a temperatura constante de 27 °C sin agitación.	44
Tabla 5: Resultados obtenidos para el experimento de absorción de Glifosato en carbón activado a temperatura constante de 27 °C con agitación.	45
Tabla 6: Resultados obtenidos para el experimento de absorción de Glifosato en carbón artesanal de leña a temperatura ambiente. Esta temperatura fluctuó entre 22 °C -25 °C.	47

Tabla 7: Resultados obtenidos para el experimento de absorción de Glifosato en carbón artesanal de leña a temperatura constante de 27 °C sin agitación.	47
Tabla 8: Resultados obtenidos para el experimento de absorción de Glifosato en carbón artesanal de leña a temperatura constante de 27 °C con agitación.	48

INTRODUCCIÓN

La contaminación del agua por Glifosato, un herbicida ampliamente utilizado en la agricultura moderna, representa un problema ambiental y de salud pública significativo a nivel global. Este compuesto químico, conocido por su persistencia en el medio ambiente, tiene el potencial de causar efectos adversos en los ecosistemas acuáticos y en la salud humana (Giesy, Dobson, & Solomon, 2000). La presencia de Glifosato en cuerpos de agua puede afectar negativamente la biodiversidad acuática, alterar las cadenas alimentarias y contaminar fuentes de agua potable (Annett, Habibi, & Hontela, 2014).

Ante esta problemática, la remoción de Glifosato del agua se ha convertido en una prioridad para garantizar la seguridad ambiental y la salud pública. Entre las diversas técnicas disponibles para la eliminación de contaminantes orgánicos del agua, la adsorción utilizando carbón activado ha demostrado ser una de las más efectivas y económicas (Sánchez, 2018). El carbón activado, caracterizado por su alta área superficial y su capacidad para adsorber una amplia gama de contaminantes, incluyendo el Glifosato, se presenta como una solución prometedora (Moreno-Castilla, 2004).

Este estudio se justifica por varias razones fundamentales. En primer lugar, la investigación sobre la remoción de Glifosato mediante carbón activado puede proporcionar una solución práctica y eficiente para tratar aguas contaminadas (González & Fuentes, 2022), contribuyendo a la protección de los recursos hídricos. En segundo lugar, el análisis de los mecanismos de adsorción y los factores que influyen en la eficiencia del proceso puede ayudar a optimizar las condiciones de tratamiento, mejorando la eficacia de las tecnologías de remoción de contaminantes. Este estudio puede servir como base para futuras investigaciones y desarrollos

tecnológicos en el campo del tratamiento de aguas, promoviendo prácticas sostenibles y responsables en la gestión de recursos hídricos.

En este contexto, la presente investigación tiene como objetivo general evaluar la eficiencia de diferentes tipos de carbón (activado y de leña producido de manera artesanal) en la remoción de Glifosato de soluciones acuosas. Para ello, se plantean los siguientes objetivos específicos: preparar soluciones diluidas de Glifosato para generar una curva de calibración y determinar la concentración inicial del contaminante; comparar la capacidad adsorbente del carbón activado y del carbón de leña artesanal a diferentes tiempos (tiempo 0, 1 semana y 2 semanas); analizar la influencia de las condiciones ambientales (temperatura ambiente 22°C - 25°C , horno a 27°C y shaker a 27°C) sobre la eficacia de la remoción de Glifosato; determinar la concentración restante de Glifosato mediante espectrofotometría UV-Vis; y evaluar la efectividad del tratamiento con carbón activado y carbón de leña artesanal, estableciendo recomendaciones para su uso en procesos de descontaminación de agua.

Para guiar esta investigación, se han planteado diversas hipótesis, tanto nula como alterna. La hipótesis nula establece que no existen diferencias significativas en la eficiencia de remoción de Glifosato de soluciones acuosas entre el carbón activado y el carbón de leña producido artesanalmente (H_0), mientras que la hipótesis alterna (H_1) sostiene que sí existen dichas diferencias. En cuanto a las hipótesis específicas, se plantea que no hay diferencia en la capacidad de adsorción de Glifosato entre el carbón activado y el carbón de leña artesanal a diferentes tiempos (tiempo 0, 1 semana y 2 semanas) (H_0), frente a la hipótesis alterna (H_1), que sugiere lo contrario. Asimismo, se considera que las condiciones ambientales, como la temperatura ambiente 22°C - 25°C, el uso de un horno a 27°C y un shaker a 27°C, no influyen en

la eficacia de la remoción de Glifosato (H_0); en contraposición, la hipótesis alterna (H_1) postula que dichas condiciones sí afectan este proceso.

Fundamentalmente, esta investigación no solo aborda una necesidad ambiental urgente, sino que también contribuye al avance del conocimiento científico y tecnológico en el tratamiento de aguas. Los resultados de este estudio pueden tener aplicaciones prácticas significativas y proporcionar una base sólida para el desarrollo de políticas y estrategias de gestión ambiental.

OBJETIVOS

1. Objetivo general

Evaluar la eficiencia de diferentes tipos de carbón (activado y de leña producido de manera artesanal) en la remoción de Glifosato de soluciones acuosas.

2. Objetivos específicos

Partiendo de una solución concentrada de Glifosato al 41%, preparar soluciones diluidas para generar una curva de calibración y determinar la concentración inicial de Glifosato en las muestras.

Comparar la capacidad de adsorción del carbón activado y del carbón de leña producido de manera artesanal en la eliminación de Glifosato a diferentes tiempos (tiempo 0, 1 semana y 2 semanas).

Analizar la influencia de las condiciones ambientales (a temperatura ambiente 22°C - 25°C , horno a 27°C y Shaker a 27°C) sobre la eficacia de la remoción de Glifosato.

Determinar la concentración restante de Glifosato en las muestras mediante espectrofotometría UV-Vis y aplicar la curva de calibración para obtener las concentraciones.

Evaluar la efectividad del tratamiento con carbón activado y carbón de leña artesanal para la remoción de Glifosato, estableciendo recomendaciones para su uso en procesos de descontaminación de agua.

REVISIÓN DE LITERATURA

La contaminación del agua por agroquímicos representa una preocupación significativa para la salud pública y el medio ambiente a nivel global. Entre estos agroquímicos, el Glifosato, un herbicida ampliamente utilizado en la agricultura, ha generado considerable controversia debido a sus potenciales efectos adversos. Introducido por primera vez por Monsanto en 1974 bajo la marca Roundup, el Glifosato ha sido adoptado extensamente en cultivos genéticamente modificados (GM) que son tolerantes a este herbicida, lo que ha contribuido a un aumento masivo en su uso desde mediados de la década de 1990 (Conacyt, 2020).

La clasificación del Glifosato como “probablemente carcinógeno” por la Organización Mundial de la Salud (OMS) en 2015 ha intensificado el debate sobre su seguridad y efectos en la salud humana y ambiental. Estudios científicos han vinculado el Glifosato con efectos genotóxicos y estrés oxidativo, que pueden llevar a daños en el ADN y efectos adversos en la salud, incluyendo el desarrollo de varios tipos de cáncer y problemas neurológicos. Además, se ha documentado que este herbicida persiste en el medio ambiente, afectando negativamente la biodiversidad y los ecosistemas acuáticos y terrestres. (Conacyt, 2022).

A nivel político y regulatorio, la discusión sobre la renovación de la autorización para el uso del Glifosato en la Unión Europea ha reflejado la división de opiniones con algunos países optando por restricciones más estrictas o incluso la prohibición total del herbicida. Estos debates subrayan la importancia de evaluar no solo los riesgos para la salud humana, sino también los impactos ambientales y sociales asociados con el uso continuo de agroquímicos como el Glifosato. (Ruffino & Mathieu, 2023).

La presente investigación tiene como objetivo principal desarrollar un método efectivo para la remoción de Glifosato en agua mediante el empleo de carbón activado. Una ventaja de

esta investigación sería mitigar el impacto negativo de los agroquímicos (Glifosato) en el medio ambiente, especialmente en fuentes de agua potable y ecosistemas acuáticos. Además, este estudio busca contribuir al conocimiento científico en el campo de la remoción de agroquímicos y promover su aplicación en la práctica ambiental, destacando la importancia de encontrar soluciones sustentables para enfrentar este desafío ambiental.

El carbón activado se obtiene principalmente a partir de materiales ricos en carbono, como la madera, cáscaras de coco, turba o carbón mineral. El proceso de fabricación implica dos etapas principales: la carbonización, en la cual el material de partida se somete a altas temperaturas en ausencia de oxígeno para eliminar sustancias volátiles, y la activación, que puede ser física (utilizando vapor de agua o dióxido de carbono a temperaturas de 800-1100 °C) o química (mediante agentes como el ácido fosfórico o el hidróxido de potasio). Este tratamiento desarrolla una estructura altamente porosa que otorga al carbón activado su capacidad de adsorción de moléculas, siendo ampliamente utilizado en purificación de agua, tratamiento de gases y aplicaciones médicas (Bansal & Goyal, 2005; Marsh & Rodríguez-Reinoso, 2006).

Por otro lado, el carbón de leña artesanal se elabora tradicionalmente a través de la pirólisis de la madera, un proceso que consiste en calentar la madera en ausencia parcial de oxígeno para descomponerla térmicamente. Generalmente, este procedimiento se realiza en hornos de tierra o estructuras rudimentarias, donde la leña se apila y se cubre con tierra o barro para controlar el suministro de aire y favorecer la carbonización en condiciones limitadas de oxígeno. El resultado es un material sólido rico en carbono, utilizado principalmente como combustible doméstico o industrial. Aunque esta técnica artesanal es de bajo costo, su eficiencia y control ambiental son limitados en comparación con métodos industriales más modernos (FAO, 1987; Antal & Gronli, 2003).

Aunque este método se ha utilizado desde hace siglos en diversas culturas, y la producción a gran escala ha aumentado, el carbón hecho de manera tradicional sigue siendo relevante en muchas comunidades debido, en parte, a su facilidad de acceso y a sus características únicas (Acevedo, 2020). Su importancia radica no sólo en la utilización como fuente de energía, sino también en el propio uso cultural y económico. El carbón de leña artesanal puede ofrecer una solución viable en la medida en que el mundo se enfrenta a grandes retos medioambientales.

Origen del Carbón de leña

El carbón de leña se obtiene de la madera de varios tipos de árboles, siendo los más comunes aquellos que crecen en abundancia en la zona de producción. Entre las especies más utilizadas se encuentran el eucalipto, conocido por su rápido crecimiento y alta densidad, y el pino, que produce un carbón de buena calidad, aunque más resinoso (Acevedo, 2020); y el roble, un tipo muy apreciado por su gran durabilidad y su buena capacidad para ofrecer calor. La elección adecuada es de gran importancia, porque se relaciona con la calidad del carbón producido y su rendimiento como combustible. Cada tipo de madera ofrece propiedades diferentes al carbón, al igual que la cantidad de humos, el calentamiento y el sabor ahumado, de forma que puede llegar a ser especialmente deseable en la cocina (Acevedo, 2020).

Proceso de Producción: Elaboración de Carbón de leña artesanal

La producción de carbón de leña artesanal permite la realización de varios pasos que efectivamente son fundamentales. En primer lugar, la madera es seleccionada, la cual debe ser seca y no estar enferma. No obstante, esto exige seleccionar troncos que sean del tamaño adecuado para que así la carbonización efectivamente resulte en un buen carbón. Posteriormente, la madera se corta en piezas más pequeñas y se apila para ayudar a que aparezca el proceso de

carbonización; muchos dejan que la madera se seque al aire durante un período para reducir el contenido de humedad. El hecho de que la carbonización de la madera se realice en hornos o pilas de madera implica que la madera se quema en condiciones controladas de oxígeno. Un proceso que puede durar de varias horas a varios días (Peláez, 2024). La carbonización se lleva a cabo en hornos de barro o metálicos, diseñados para contener la madera y controlar la entrada de aire; o pilas de leña, donde las piezas de leña se colocan apiladas de forma cónica en el suelo, ennegrecidas o cubiertas de tierra o cenizas para limitar el oxígeno que puede existir en el interior. Para carbonizar, aquí la madera se transforma en carbón, se pierde mucha agua junto con compuestos volátiles, obteniéndose por tanto un material más denso y combustible. El carbón resultante necesita ser enfriado antes de manipularlo, para evitar que se encienda, puesto que, al estar en contacto con el aire, pronto se quemaría. (Surculento Villalobos, Rodrigo, Marín M, Gabriela M., & Lopez N., Luis, 2023). Así, “el proceso requiere atención y cuidado de los detalles a efectos de conseguir un carbón que sea muy bueno” (Vázquez et al., 2025). La habilidad y el conocimiento del productor son clave para garantizar que el carbón cumpla con los requisitos del mercado y las expectativas de los consumidores (Peláez, 2024). El carbón de leña tradicional presenta un conjunto de beneficios. Si su producción se lleva a cabo responsablemente, puede ser considerada una fuente de energía renovable. Su uso genera, comparado con los combustibles fósiles, menos emisiones de CO₂, lo que conlleva su menor impacto ambiental (Sánchez, 2018).

El carbón de leña, asimismo, puede ser un tipo de fuente de ingresos para la multitud de comunidades rurales, y también constituir una fuente de empleo e ingresos para éstas. La producción de carbón puede ser algo que se realice a nivel familiar, involucrando a varias generaciones, fomentando la vinculación comunitaria e impulsando la autosuficiencia. En

diversas culturas, la recolección y fabricación del carbón de leña es una actividad social que fomenta la colaboración y la unión entre las personas (Vázquez et al., 2025)

El carbón de leña tradicional tiene múltiples usos. Sus aplicaciones son muy variadas, de forma habitual se usa para cocinar o asar al aire libre y en las parrillas gracias a su capacidad de generar calor de forma intensa y constante. Se utiliza también, en muchas regiones, en zonas rurales, para calefacción en los hogares. En la producción de hierro y acero e incluso como materia prima en productos químicos. El carbón de leña es utilizado en diversos procesos de filtración debido a su capacidad para absorber impurezas en agua y aire. En muchas industrias, se emplea como base para producir carbón activado, que tiene diversas aplicaciones, como la purificación del agua, el tratamiento del aire y otros sectores industriales. Además, en la agricultura, se usa como enmienda para el suelo (Martín, 2024), mejorando la retención de agua y nutrientes, lo que contribuye a mejorar la calidad de las prácticas agrícolas, entre otros beneficios.

De este modo, hay que tener en cuenta que el carbón de leña artesanal puede tener un gran impacto ambiental, siendo este positivo o negativo. La producción del carbón de leña artesanal es sostenible, es decir, evita la deforestación y da paso a la reforestación, aunque la quema del carbón de leña artesanal puede liberar partículas de polvo y gases de efecto invernadero, lo cual puede dar lugar a preocupaciones en cuanto a la calidad del aire y el cambio climático. Se hace necesario poner en práctica la producción del carbón de leña sostenible, para evitar estos efectos negativos (Peláez, 2024).

La implementación de técnicas de producción más limpias o eficientes puede ayudar a reducir este impacto ambiental. Por ejemplo, la implementación de hornos de carbonización de leña más modernos puede optimizar el proceso, incrementando su eficiencia y minimizando las

emisiones. Además, es fundamental llevar a cabo reforestación y gestionar de manera sostenible los bosques para evitar que la producción de carbón de leña artesanal cause daños a los ecosistemas locales (Sánchez, 2018).

Agroquímicos

Los agroquímicos (también llamados fitosanitarios o plaguicidas) son compuestos químicos utilizados en la agricultura para proteger y preservar los cultivos de plantas y animales (Rangel-Ortiz, Esmeralda, Landa-Cansigno, Oriana, Páramo-Vargas, Javier, & Camarena-Pozos, David Alfonso, 2023). Su uso está extensamente generalizado; no obstante, como todo producto químico, debe ser empleado con precaución ya que en ocasiones puede llegar a ser perjudicial para los seres vivos.

En cuanto a su clasificación, estos compuestos se organizan según su funcionalidad y otros parámetros relevantes, tal como lo señalan Rangel et al. (2023). Entre los más utilizados se encuentran los herbicidas, que eliminan plantas indeseables y varían en su persistencia, impacto en las plantas y momento de aplicación. Los fungicidas, por su parte, combaten hongos y mohos dañinos y se clasifican según su modo de acción, composición o área de aplicación. El insecticida elimina insectos perjudiciales, incluye subtipos como ovicidas, larvicidas y adulticidas, que actúan en distintas etapas del ciclo de vida de los insectos. Las acaricidas, utilizadas tanto en plantas como en animales, repelen ácaros como las garrapatas. Los nematocidas destruyen los nematodos y gusanos del suelo que afectan a las plantas. Los rodenticidas eliminan roedores, como ratas, que son responsables de dañar cultivos y transmitir enfermedades.

Por su parte, los fertilizantes aportan nutrientes químicos esenciales para mejorar la calidad del suelo y promover el crecimiento de las plantas. Finalmente, los fitorreguladores, que

son sustancias que regulan el crecimiento de las plantas mediante hormonas vegetales, controlan el desarrollo de raíces y partes aéreas (Rangel et al., 2023). Estos agroquímicos aumentan la productividad de los cultivos, aunque pueden alterar las condiciones del suelo y dificultar su reutilización debido a la erosión.

En este contexto, los avances tecnológicos en la agricultura han llevado a un mayor uso de agroquímicos, destacando la importancia de adherirse a los principios del uso justo. La manipulación inadecuada de estos productos puede dañar a las personas, los cultivos, las plantas beneficiosas, los insectos y peces beneficiosos, además de contaminar lagos y fuentes de agua. Aunque los plaguicidas son esenciales en la agricultura moderna, su uso adecuado requiere gran conocimiento, experiencia y responsabilidad por parte de los técnicos y usuarios (OIT, 1993).

Los plaguicidas, también conocidos como pesticidas, son sustancias diseñadas para combatir plagas que afectan la salud humana, cultivos, frutas almacenadas y animales domésticos. Hoy en día, “los plaguicidas se crean mediante síntesis química, lo que los hace más efectivos contra las plagas, pero también más perjudiciales para el medio ambiente y la salud humana” (Rangel et al., 2023).

En 1975, la Organización Mundial de la Salud (OMS) clasificó los plaguicidas en cinco categorías toxicológicas basadas en la DL50, lo que determina las bandas de color en las etiquetas de los productos para advertir sobre su riesgo; no obstante, en los Estados Unidos, el 75% de los plaguicidas se utilizaron en la agricultura en 1993. En Argentina, en 2009, los cultivos de soja, maíz, trigo y girasol representaron el 81% de la facturación de plaguicidas. Estos herbicidas se aplicaron principalmente en cultivos como arroz y soja, mientras que los insecticidas se usaron en granos almacenados y cultivos frutales, y los fungicidas fueron dominantes en la vid, papa, caña de azúcar y cítricos.

La necesidad de los plaguicidas surge de la Revolución Verde, un conjunto de innovaciones tecnológicas aplicadas a la agricultura que comenzó a mediados del siglo XX. Esta revolución tenía como objetivo aumentar la productividad agrícola para satisfacer la creciente demanda de alimentos a nivel mundial, y entre las innovaciones se incluían nuevas variedades de cultivos de alto rendimiento, sistemas de riego mejorados, fertilizantes sintéticos y, crucialmente, plaguicidas.

Los agroquímicos se desarrollaron y distribuyeron ampliamente para controlar y eliminar plagas (especies indeseables de plantas y animales que afectan negativamente los cultivos); sin estos químicos, las plagas podrían causar pérdidas significativas en la producción agrícola, poniendo en riesgo la seguridad alimentaria; por ejemplo, insectos, hongos, malezas y otros organismos pueden devastar cultivos enteros, reduciendo la disponibilidad de alimentos y elevando los precios. Así, los plaguicidas han sido esenciales para proteger los cultivos y aumentar el rendimiento agrícola, contribuyendo a la estabilidad alimentaria en muchos países (Tinoco-Ojanguren, 1999).

El uso de agroquímicos ha crecido exponencialmente desde su introducción. En la actualidad, el aumento en la cantidad de productos químicos aplicados también genera costos asociados a la actividad, así mismo, este incremento en el uso de agroquímicos es especialmente notable en los países en desarrollo, que actualmente representan entre el 20% y el 25% del consumo mundial de estos químicos (Forget, 1991; McConnell & Hruska, 1993; Pimentel, D., Acquay, H., Biltonen, M., Rice, P., Silva, M., Nelson, J., Lipner, V., Giordano, S., Horowitz, A., & D'Amore, M. 1992, como se cita en Tinoco Ojanguren, 1999). En estos países, el crecimiento más acelerado en la utilización de agroquímicos se debe a varios factores, entre ellos la adopción

de tecnologías agrícolas modernas y el aumento de la producción agrícola para satisfacer tanto las necesidades locales como las de exportación.

A pesar de sus beneficios, el uso intensivo de agroquímicos también conlleva riesgos significativos. Hoy en día, hay más de 15,000 tipos diferentes de agroquímicos en uso en todo el mundo. Estos compuestos son aplicados para controlar una amplia variedad de plagas, desde insectos hasta malezas y enfermedades de las plantas. Sin embargo, la utilización de estos químicos no siempre se maneja de manera segura, especialmente en los países en desarrollo donde la regulación y las medidas de seguridad pueden ser insuficientes (Tinoco-Ojanguren, 1999).

Glifosato

Hoy en día, el Glifosato es uno de los productos químicos agrícolas más utilizados en el mundo. Se considera un herbicida sistémico de amplio espectro para gramíneas anuales y perennes. Esto está relacionado con un gran número de defectos de nacimiento en los Estados Unidos. El Glifosato penetra en la soja y provoca graves efectos tóxicos en la piel, como dermatitis, porfiria, hipercolesterolemia y trastornos mentales (Luis Clarimón & Ana Cortés, 2016).

De acuerdo con la Agencia de Sustancias Tóxicas y Registro de Enfermedades (ATSDR, 2020), el Glifosato es un herbicida no selectivo de fosfonoglicina, cuyo uso fue registrado por primera vez por la EPA en 1974. Este herbicida se produce comercialmente en forma de sal, disponible en formulaciones líquidas y granuladas. Las formulaciones comerciales suelen incluir aditivos y surfactantes que mejoran la absorción, aunque no son la parte activa del herbicida. Los productos comerciales pueden tener concentraciones de Glifosato que varían del 0.96% al 94%. Se utiliza ampliamente en productos herbicidas para usos residenciales, comerciales y agrícolas,

especialmente en cultivos genéticamente modificados para resistir al Glifosato. En 2014, se utilizaron aproximadamente 125,000 toneladas en agricultura en EE. UU. y 13,000 toneladas en usos no agrícolas. El Glifosato se libera en el medio ambiente, donde tiene baja probabilidad de bioacumularse y se degrada por procesos microbianos o se inactiva al adsorberse al suelo (ATSDR, 2020).

El Glifosato, un herbicida ampliamente utilizado en todo el mundo, ha dominado el mercado desde su introducción por Monsanto en 1974, bajo el nombre de Roundup, y ha capturado casi la mitad del mercado de plaguicidas modernos. Este producto se distingue por su capacidad para combatir eficazmente una amplia variedad de malezas anuales, perennes y leñosas, gracias a su habilidad para circular eficientemente a través del sistema vascular de las plantas una vez aplicado (ATSDR, 2020).

El mecanismo de acción del Glifosato está asociado con su capacidad para bloquear la vía del ácido shikímico, que está involucrada en la síntesis de aminoácidos aromáticos en plantas, hongos y algunos microorganismos. El Glifosato inhibe la enzima 5-enolpiruvilshikimato-3-fosfato sintasa, que es el penúltimo paso en la vía del shikimato. Esta inhibición conduce a una reducción en la síntesis de los aminoácidos aromáticos tirosina, fenilalanina y triptófano, así como a una disminución en la síntesis de proteínas. Por lo tanto, el bloqueo de esta vía metabólica eventualmente causa la muerte del organismo objetivo en pocos días (Costas, Durán y Faro, 2022).

La degradación del Glifosato produce principalmente ácido aminometilfosfónico (AMPA), junto con otros compuestos como sarcosina y glicina. La enzima Glifosato oxidoreductasa, que usa el cofactor Flavina Adenina Dinucleótido (FAD), juega un papel crucial en esta degradación y ha sido incorporada en cultivos diseñados para ser tolerantes al Glifosato,

como los cultivos Roundup Ready (Kanissery, R., Gairhe, B., Kadyampakeni, D., Batuman, O., & Alferez, F., 2019).

En términos de seguridad, el Glifosato se clasifica con una DL50 (que significa Dosis Letal Media) oral aguda de 5600 mg/kg; DL50 hace referencia a la cantidad de la dosis de una sustancia, radiación o patógeno necesaria para matar a la mitad de un conjunto de animales de prueba después de un tiempo determinado.

Lo que lo coloca en la categoría IV, es decir, entre los productos que generalmente no representan un peligro agudo significativo. Sin embargo, su uso extensivo en países como Argentina, Estados Unidos y Brasil ha causado preocupaciones debido a posibles efectos adversos tanto para la salud humana como para el medio ambiente. Esta preocupación ha generado una proliferación de estudios toxicológicos, ecotoxicológicos y otros estudios relacionados, que buscan evaluar su impacto en áreas críticas como adsorción y degradación en el suelo, lixiviación al agua subterránea, escurrimiento hacia aguas superficiales y otros. (Rángel et al., 2023).

De acuerdo con la Agencia de Sustancias Tóxicas y Registro de Enfermedades (2020), los estudios de toxicidad en humanos han demostrado posibles efectos negativos del uso del Glifosato. Los estudios en animales han mostrado que la exposición oral al Glifosato técnico puede causar disturbios gastrointestinales, efectos en la glándula salival, hepáticos, renales, oculares y de peso corporal. Estos efectos observados en animales se consideran relevantes para la salud humana, a falta de datos experimentales que sugieran lo contrario. Los estudios también han encontrado que el Glifosato puede causar efectos adversos en el desarrollo y tiene potencial carcinogénico según algunos metaanálisis y estudios epidemiológicos (ATSDR, 2020).

Basada en ATSDR (2020), los datos toxicocinéticos del Glifosato se resumen de la siguiente manera; el Glifosato se absorbe con facilidad en el tracto gastrointestinal, mientras que su absorción a través de la piel es mínima y se presume que también ocurre en el tracto respiratorio. Una vez en el organismo, se distribuye rápidamente por el torrente sanguíneo sin acumularse en órganos o tejidos específicos. En los mamíferos, su metabolismo es limitado, ya que menos del 1% se transforma en ácido aminometilfosfónico (AMPA). Aproximadamente dos tercios de una dosis oral de Glifosato son eliminados en las heces como compuesto inalterado, mientras que la mayor parte del Glifosato absorbido se excreta sin modificaciones a través de la orina (ATSDR, 2020).

La principal forma de degradación del Glifosato es por acción microbiana, con una vida media en el suelo de entre 7 y 60 días. La actividad microbiana en el suelo puede verse afectada positivamente por el Glifosato, aunque también se han observado efectos tóxicos. La tasa de degradación está influenciada por la adsorción en el suelo y las condiciones ambientales, como la temperatura y la presencia de ciertos microorganismos. El Glifosato suele degradarse cometabólicamente, sin ser utilizado como fuente de carbono por los microorganismos, aunque algunos estudios han mostrado que puede servir como sustrato para ciertos nutrientes. (González & Fuentes, 2022).

A pesar de su tendencia a adherirse a las partículas del suelo, limitando su movilidad, ciertas condiciones como la siembra directa y suelos húmedos, seguidos de lluvias, pueden facilitar su entrada al agua subterránea (Bedmar, 2011). De acuerdo con Salazar & Aldana (2011), el uso de herbicidas basados en Glifosato pueden tener un impacto importante en la calidad del agua y la biodiversidad acuática, derivado de su estudio, se observaron retardos en el crecimiento de algas y peces, así como inhibiciones en la eclosión de erizos de mar, y cambios histopatológicos

preocupantes en organismos como la tilapia, incluyendo la proliferación de células filamentosas, hiperplasia celular en branquias, y alteraciones en órganos como el hígado y los riñones, como la vacuolación de hepatocitos y la picnosis nuclear (Salazar & Aldana, 2011).

Unesco (2022) enfatiza la vital importancia de las aguas subterráneas para la agricultura global, especialmente en términos de riego y producción de alimentos. El Glifosato ha sido identificado como un contaminante que puede persistir y afectar adversamente a los ecosistemas acuáticos, si no se utiliza adecuadamente.

Kanissery, et.al. (2019) indican que Glifosato, utilizado para el control de malezas mediante pulverización foliar, puede acabar en diferentes depósitos de suelo y áreas no deseadas debido al lavado, la deriva y la descomposición de las plantas tratadas. Aunque el Glifosato tiende a unirse a las partículas del suelo, acumulándose en las capas superiores, puede ser transportado hacia aguas subterráneas y superficiales a través de procesos como la escorrentía y la lixiviación. A pesar de su alta adsorción al suelo, se han detectado trazas de Glifosato en aguas subterráneas y superficiales, aunque en concentraciones por debajo del límite de contaminación.

Técnicas para eliminar agroquímicos del agua

Sarria, Gallo & Pérez (2020), resumen los procesos para el tratamiento de plaguicidas presentes en matrices acuosas en:

Técnicas de precipitación

La precipitación es un método fisicoquímico en el que se agregan reactivos al agua para convertir los contaminantes disueltos en sólidos insolubles. Estos sólidos pueden ser posteriormente removidos mediante sedimentación y filtración. Es un proceso comúnmente usado para la eliminación de metales pesados y otros compuestos inorgánicos del agua (Sarria, Gallo & Pérez, 2020).

Métodos electroquímicos

Los procesos electroquímicos se basan en la aplicación de una corriente eléctrica para promover reacciones de oxidación y reducción que transforman los contaminantes en sustancias menos dañinas. Incluyen técnicas como la electrocoagulación, la electro flotación y la oxidación electroquímica, siendo esta última especialmente efectiva para la generación de radicales libres que descomponen los contaminantes orgánicos, como el Glifosato (Sarria, Gallo & Pérez, 2020).

Técnicas basadas en intercambio iónico

El intercambio iónico utiliza resinas específicas que retienen selectivamente los iones disueltos en el agua. Estos iones son posteriormente reemplazados por otros iones de una solución regenerante. Este método es eficaz para eliminar pesticidas como la atrazina y el isoproturón, especialmente cuando se combina con carbón activado (Sarria, Gallo & Pérez, 2020).

Métodos de tratamiento mediante procesos biológicos

Los tratamientos biológicos emplean microorganismos para degradar y eliminar contaminantes del agua. Dependiendo del aceptador de electrones en el metabolismo bacteriano, estos tratamientos pueden ser aeróbicos, anaeróbicos o anóxicos. La biodegradación puede ser estimulada mediante la adición de nutrientes o el enriquecimiento de comunidades microbianas específicas para mejorar la eliminación de plaguicidas, como el Glifosato (Sarria, Gallo & Pérez, 2020).

Métodos avanzados de oxidación

Estos procesos generan radicales hidroxilos altamente reactivos que mineralizan los contaminantes orgánicos en CO₂ y agua. Incluyen métodos como la fotocatalisis, la ozonización y el uso de peróxido de hidrógeno. Son especialmente útiles cuando otros métodos de

tratamiento no son efectivos y pueden ser combinados con tratamientos biológicos para mayor eficiencia (Sarria, Gallo & Pérez, 2020).

Degradación fotocatalítica heterogénea con TiO_2

La fotocatalisis heterogénea utiliza semiconductores como el dióxido de titanio (TiO_2) que, bajo irradiación ultravioleta, generan radicales libres que degradan los contaminantes. Este proceso es eficaz para una amplia gama de sustancias orgánicas refractarias. (Sarria, Gallo Pérez, 2020).

Proceso Foto-Fenton en fase homogénea

La reacción Foto-Fenton combina peróxido de hidrógeno con sales de hierro bajo irradiación UV para generar radicales hidroxilos. Es un método muy efectivo para la degradación de contaminantes orgánicos, especialmente cuando se requiere una mineralización completa (Sarria, Gallo & Pérez, 2020).

Fijación de fotocatalizadores y materiales de soporte

La investigación en la inmovilización de fotocatalizadores se centra en fijar catalizadores como el TiO_2 en soportes sólidos para mejorar su recuperación y reutilización. Estos avances buscan aumentar la eficiencia del proceso fotocatalítico y reducir costos operativos (Sarria, Gallo & Pérez, 2020).

Reactor catalítico basado en luz

Los foto-reactores catalíticos están diseñados para maximizar la exposición de los contaminantes utilizando un catalizador bajo irradiación UV. Pueden ser de dos tipos: con partículas suspendidas o con catalizador inmovilizado en un soporte continuo. Los colectores solares parabólicos compuestos (CPC) son una configuración eficiente para aplicaciones a gran escala (Sarria, Gallo & Pérez, 2020).

Procesos de filtración con membranas

Los tratamientos de membrana, como la ósmosis inversa y la nanofiltración, utilizan membranas semipermeables para separar los contaminantes del agua. Son eficaces para remover pesticidas y otros microcontaminantes, aunque pueden presentar problemas de fouling y requieren mantenimiento regular (Sarria, Gallo & Pérez, 2020).

Partículas a escala nanométrica

Las nanopartículas ofrecen una alta superficie específica y propiedades únicas para la remoción de contaminantes. Incluyen nanomateriales como los nanotubos de carbono y las nanopartículas metálicas, que pueden ser utilizados en procesos de adsorción, catálisis y desinfección del agua (Sarria, Gallo & Pérez, 2020).

Adsorción

La adsorción implica la captura de contaminantes solubles en la superficie de un sólido adsorbente, como el carbón activado. Este método es ampliamente utilizado debido a su simplicidad y eficiencia, aunque puede ser limitado por la capacidad de adsorción y la necesidad de regeneración del adsorbente (Sarria, Gallo & Pérez, 2020).

La adsorción, puede ser limitada por su capacidad y la necesidad de regeneración. Para superar estas limitaciones, los biopolímeros, como los hidrogeles de quitosano, ofrecen una alternativa prometedora. A diferencia de los polímeros sintéticos, que se obtienen principalmente del petróleo y tienen aplicaciones diversas en la industria y la vida cotidiana, los biopolímeros se derivan de fuentes naturales, como residuos agrícolas e industriales. Los hidrogeles de quitosano, por ejemplo, son biopolímeros sostenibles que pueden adsorber contaminantes específicos con menor impacto ambiental (Valero, Ortegón & Uscategui, 2013).

Uso de Carbón activado para la remoción de herbicidas

El Glifosato es un herbicida ampliamente utilizado en la agricultura para el control de malezas. Sin embargo, su uso extensivo ha llevado a la contaminación de cuerpos de agua, lo que plantea riesgos significativos para la salud humana y los ecosistemas acuáticos (Giesy et al., 2000). La remoción de Glifosato del agua es, por tanto, una prioridad ambiental y de salud pública.

El carbón activado es uno de los materiales más efectivos para la remoción de contaminantes orgánicos del agua, incluyendo el Glifosato. Este material se caracteriza por su alta área superficial y su estructura porosa, que le permite adsorber una amplia gama de compuestos (Moreno-Castilla, 2004). La adsorción es un proceso en el cual los contaminantes se adhieren a la superficie del adsorbente, en este caso, el carbón activado.

La adsorción del Glifosato en el carbón activado se debe principalmente a interacciones electrostáticas y a la formación de enlaces de hidrógeno entre el Glifosato y los grupos funcionales presentes en la superficie del carbón (Sánchez, 2018). Estos mecanismos permiten una alta eficiencia en la remoción del Glifosato, especialmente cuando se optimizan las condiciones del proceso, como el pH y la concentración inicial del contaminante.

Varios factores pueden influir en la eficiencia de la adsorción del Glifosato en el carbón activado. Entre ellos se incluyen el pH de la solución, la temperatura, la concentración inicial de Glifosato y las características del carbón activado utilizado (Annett, Habibi, & Hontela, 2014). Por ejemplo, se ha encontrado que un pH más bajo puede aumentar la capacidad de adsorción debido a la protonación de los grupos funcionales del Glifosato, lo que mejora su interacción con el carbón activado.

Diversos estudios han evaluado la capacidad de diferentes tipos de carbón activado para remover Glifosato de soluciones acuosas. Un estudio específico encontró que el carbón activado

con mayor área superficial y mayor contenido de oxígeno funcional mostró una mayor capacidad de adsorción (Moreno-Castilla, 2004). Estos hallazgos son cruciales para el diseño y la implementación de sistemas de tratamiento de agua a gran escala.

La remoción efectiva del Glifosato del agua no solo protege la salud humana al prevenir la exposición a este herbicida, sino que también preserva los ecosistemas acuáticos. La implementación de tecnologías basadas en carbón activado puede ser una solución sostenible y económica para mitigar la contaminación por Glifosato, contribuyendo a la gestión responsable de los recursos hídricos (Giesy et al., 2000).

El uso de carbón activado para la remoción de Glifosato del agua es una técnica prometedora que combina eficiencia, costo-efectividad y sostenibilidad. La comprensión de los mecanismos de adsorción y los factores que afectan este proceso es esencial para optimizar su aplicación en el tratamiento de aguas contaminadas. La investigación continua en este campo es crucial para desarrollar soluciones innovadoras que protejan la salud pública y el medio ambiente.

Carbón activado

El carbón activado es un material poroso que se obtiene a partir de materiales ricos en carbono, como la madera, las cáscaras de coco y el carbón mineral. Este material se caracteriza por su alta área superficial y su capacidad para adsorber una amplia variedad de contaminantes, lo que lo hace extremadamente útil en diversas aplicaciones industriales y ambientales (Moreno-Castilla, 2004).

Este material posee una estructura altamente porosa, lo que le confiere una gran área superficial. Esta característica es fundamental para su capacidad de adsorción, permitiéndole capturar y retener contaminantes tanto orgánicos como inorgánicos (Sánchez, 2018). Además, el

carbón activado puede ser modificado químicamente para mejorar su selectividad y capacidad de adsorción para contaminantes específicos (Giesy et al., 2000).

En la agricultura, el carbón activado se utiliza principalmente como mejorador de suelos y para la remoción de contaminantes. Su estructura porosa le permite retener agua y nutrientes, mejorando la capacidad del suelo para mantener estos recursos esenciales disponibles para las plantas (Annett, Habibi, & Hontela, 2014). Esto es particularmente beneficioso en suelos arenosos o en regiones con problemas de sequía.

También es efectivo en la absorción de pesticidas, herbicidas y otros compuestos químicos que pueden ser perjudiciales para la salud de las plantas y la calidad del suelo. Al adsorber estos contaminantes, el carbón activado ayuda a crear un entorno más limpio y saludable para los cultivos, promoviendo un crecimiento más vigoroso y reduciendo el riesgo de toxicidad (Sánchez, 2018).

El carbón activado es ampliamente utilizado para la remoción de contaminantes del agua y del aire. En el tratamiento de aguas residuales, es eficaz para eliminar pesticidas, productos farmacéuticos y colorantes industriales, entre otros contaminantes (Moreno-Castilla, 2004). Su capacidad para adsorber compuestos orgánicos volátiles (COV) y otros contaminantes a base de agua lo hace indispensable en la purificación del agua (Giesy et al., 2000).

En la purificación del aire, el carbón activado se utiliza para eliminar contaminantes y sustancias nocivas presentes en los flujos gaseosos, como los COV, olores y toxinas atmosféricas. Esto es crucial en industrias como la automotriz y la manufacturera, donde se requiere cumplir con normativas ambientales estrictas y mejorar la calidad del aire en ambientes interiores (CPL Activated Carbons Iberia, 2024).

El carbón activado es un material versátil y eficaz para la remoción de contaminantes en diversas aplicaciones, incluyendo la agricultura y el tratamiento de aguas y aire. Sus propiedades adsorbentes y su capacidad para mejorar la calidad del suelo y del agua lo convierten en una herramienta valiosa para la protección ambiental y la salud pública.

MATERIALES Y MÉTODOS

Materiales

1. Materiales para Preparación de Soluciones y Medición

Probeta de 10 ml

Probeta de 50 ml

Matraz volumétrico de 500 ml

Matraz volumétrico de 100 ml

Pipeta graduada

Agua destilada

2. Materiales para Preparación de Muestras

Matraz Erlenmeyer de 100 ml

Carbón activado

Carbón de leña producido de manera artesanal

Plato para pesar

Balanza analítica

3. Materiales para Procesamiento y Análisis

Horno

Shaker

Cubetas de cuarzo

UV-Vis (Espectrofotómetro UV-Visible)

4. Equipo de Seguridad

Guantes

Gafas y bata de laboratorio

Métodos

Preparación de la solución de Glifosato

La preparación de las soluciones estándares y muestras del Glifosato es un paso crucial para tener datos confiables en el proceso de remoción de este herbicida del agua utilizando carbón activado. Este paso asegura que las concentraciones de Glifosato sean precisas y reproducibles, lo cual es fundamental para obtener resultados experimentales confiables y comparables. Los cálculos mostrados se trabajaron de tal manera que fuera conveniente medir el volumen de las alíquotas que se transfieren para hacer diluciones. A continuación, se describen los procedimientos y consideraciones para la preparación de la solución de Glifosato.

Cálculo para la preparación de solución de trabajo

Alíquotas de la solución de trabajo se exponen al carbono para estudiar la absorción de Glifosato en esta matriz. Basándonos en pruebas preliminares de ajuste de parámetros experimentales, se determinó que la concentración más adecuada para esta solución es de 4.10%. Para la preparación de la solución de trabajo se utiliza una cantidad de 50 ml de la solución madre de Glifosato (41.0%) diluida en agua hasta alcanzar un volumen total de 500 ml. Esto produce una solución de trabajo de concentración 4.10%. A continuación se muestra la fórmula y procedimiento matemático para la preparación de esta solución:

$$M_1V_1 = M_2V_2$$

Donde:

M_1 es la concentración de la solución madre (41.0%)

V_2 es el volumen de la solución madre a diluir (50 ml)

M_2 es la concentración deseada de la solución de trabajo

V_2 es el volumen final de la solución de trabajo (500.0 ml)

$$M_1 V_1 = M_2 V_2$$

$$(41.0\%)(50\text{mL}) = M_2 (500 \text{ mL})$$

$$\frac{2,050\% \text{mL}}{500.0 \text{mL}} = M_2 (500 \text{ mL})$$

$$M_2 = 4.10\%$$

En resumen, para la preparación de la solución de trabajo, se disuelve 50 ml de la solución madre hasta obtener un volumen total de 500 ml, el porcentaje de Glifosato obtenido en la solución de trabajo sería 4.10%.

Preparación de solución de trabajo

El Glifosato de la solución madre (50 ml), analíticamente se mide y se transfiere a un matraz volumétrico de 500.0 ml. Se añaden aproximadamente 50 ml de agua destilada al matraz para disolver el Glifosato. Se agita suavemente el matraz hasta que se complete la disolución. Estos pasos se repiten hasta tener aproximadamente un 75% del volumen final de 500 ml en la volumétrica. Luego se deja reposar por 12 horas para que las burbujas formadas se rompan. Por último, se enraza con precisión al volumen final. Esto teniendo cuidado al añadir el agua destilada y en la agitación para evitar la formación de burbujas.

Preparación de soluciones estándar

A partir de la solución madre al 41.0% de Glifosato se preparan cinco soluciones estándar de diferentes concentraciones (1.23 %, 2.46 %, 4.1 %, 6.15 % y 8.2 %). Se toman diferentes volúmenes de alíquotas de la solución madre para luego preparar la solución estándar a la concentración deseada. Como ejemplo de cálculo, a continuación se muestra el procedimiento matemático para la preparación de una solución estándar al 1.23% en un volumen total de 100 ml:

$$M_1V_1 = M_2V_2$$

Donde:

M_1 es la concentración de la solución madre (41.0%)

V_1 es el volumen de la solución madre a diluir (3.0 ml)

M_2 es la concentración deseada de la solución de trabajo

V_2 es el volumen final de la solución de trabajo (100 ml)

$$M_1V_1 = M_2V_2$$

$$(41.0\%) (3.00 \text{ ml}) = M_2 (100 \text{ ml})$$

$$\frac{123\% \text{ml}}{100 \text{ml}} = M_2 (100 \text{ ml})$$

$$1.23\% = M_2$$

Esta demostración de cálculos presenta que 3.0 ml de la solución madre son necesarios para preparar una dilución que produce una concentración de 1.23% Glifosato en un volumen final de 100 ml. Esta fórmula se utilizará para cada volumen de la solución madre a diluir. Se mide analíticamente una cantidad de la solución madre y se transfiere a un matraz volumétrico de 100 ml. Luego, se añade agua destilada y se agita hasta enraizar al volumen deseado. Los

volúmenes que se utilizan para preparar las soluciones de los otros estándares son 6 ml, 10 ml, 15 ml y 20 ml para obtener concentraciones de 2.46 %, 4.1 %, 6.15 % y 8.2 % respectivamente. Las concentraciones establecidas se trabajaron en relación al volumen añadido de la solución madre para completar un volumen de 100 ml de las soluciones estándares. Esto proporciona una manera más eficiente para medir las alícuotas de la solución madre que son transferidas para preparar las soluciones estándares.

Procedimiento del Carbón de leña artesanal

En la remoción de Glifosato mediante carbono de leña producido artesanalmente, se trabajó con una serie de concentraciones de este compuesto (1.23 %; 2.46 %; 4.1 %; 6.15 %; 8.2 %), que correspondían a la multiplicación de la molaridad inicial con el volumen inicial los cuales dieron a 123 % ml; 246 % ml; 410 % ml; 615 % ml; y 820 % ml, respectivamente, encontrándose que el carbón de leña proporcionó capacidades de remoción adversas. Esto podría sugerir que este material se encuentre contaminado con Glifosato afectando los resultados obtenidos

Estos resultados nuancen que a pesar de la cierta capacidad de eliminación de Glifosato que tiene el carbón de leña, esta es muy inferior a la que se puede conseguir con otras técnicas como en carbón activado, sugiriendo que la técnica del carbón de leña puede requerir mejoras en el proceso de producción del mismo para aumentar su capacidad de adsorción y que esta técnica pueda llegar a ser una alternativa interesante para la eliminación del Glifosato.

Tabla 1

Proporciones establecidas de concentración y volumen añadido de la solución madre para hacer las diluciones necesarias para preparar las soluciones de los estándares.

Concentración de Estándares (%)	Volumen Añadido de Solución
	Madre a una volumétrica de 100 ml
1.23%	3.0 ml
2.46%	6.0 ml
4.1%	10.0 ml
6.15%	15.0 ml
8.20%	20.0 ml

Ambiente de las soluciones en el estudio

Las soluciones de Glifosato preparadas se mantienen a temperatura ambiente 22 °C - 25 °C a 27 °C, en un horno a 27 °C o en un agitador con una temperatura de 27 °C, dependiendo de la parte del experimento que se está trabajando. Es importante etiquetar cada frasco con la concentración de la solución, la fecha de preparación y qué carbón contiene para asegurar un manejo adecuado y evitar confusiones durante el experimento.

Verificación de la concentración

Las soluciones obtenidas de las diluciones fueron analizadas en un espectrofotómetro UV-Vis para generar una curva de calibración. Para ello, se registraron las absorbancias de las soluciones en función de su concentración de Glifosato. Los datos obtenidos fueron evaluados en Excel, obteniendo una curva de calibración con un valor de R^2 de 0.994.

Preparación del Carbón activado

La preparación del carbón activado es un paso esencial para asegurar su efectividad en la adsorción de Glifosato en agua. Este proceso incluye la selección, limpieza y acondicionamiento del carbón activado para optimizar su capacidad adsorbente. A continuación, se describen detalladamente los procedimientos y consideraciones para la preparación del carbón activado.

Selección del Carbón activado

El primer paso en la preparación del carbón activado es la selección de la matriz adecuada para el experimento. Se pueden utilizar tanto carbón activado granular (CAG) como carbón activado en polvo (CAP), dependiendo de las necesidades específicas del estudio. La selección se basa en las características del carbón, como el área superficial, el tamaño de poro y la presencia de grupos funcionales en la superficie (Moreno-Castilla, 2004). En este experimento se seleccionó el carbón activado llamado Aqua-Tech en granulos se obtiene de manera comercial en lugares especializados en el cuidado y venta de animales acuaticos.

Adsorción en lote

La adsorción en lote es un método experimental utilizado para evaluar la capacidad de adsorción de un adsorbente, en este caso, el carbón activado, para remover Glifosato de soluciones acuosas (Martín, 2024). Este procedimiento permite determinar la eficiencia de adsorción bajo condiciones controladas y es fundamental para comprender los mecanismos de interacción entre el Glifosato y el carbón activado. A continuación, se describen detalladamente los procedimientos y consideraciones para llevar a cabo la adsorción en lote.

Preparación de las soluciones de Glifosato

Las soluciones de Glifosato de para estándares se utilizan concentraciones de (1.23 %, 2.46 %, 4.1 %, 6.15 % y 8.2 %) para evaluar el efecto de la concentración inicial en la adsorción.

Preparación del Carbón activado

Se pesan cantidades iguales de carbón activado utilizando una balanza analítica. La cantidad utilizada en el experimento de adsorción en lote es de aproximadamente 1 gramo.

Experimento de adsorción

Preparación de los frascos Erlenmeyer

Llenar cada frasco Erlenmeyer con 50 ml de la solución de Glifosato preparada. Por último, añadimos aproximadamente 1 gramo de carbón activado a cada frasco.

Agitación de las soluciones

Se prepararon 18 Erlenmeyer de 50 ml distribuyéndolos en tres condiciones de temperatura: seis se colocaron en un agitador a 27 °C con una velocidad de 150 rpm para asegurar una mezcla homogénea, seis se dejaron a temperatura ambiente 22 °C - 25 °C y los últimos seis se ubicaron en un horno a 27 °C permitiendo alcanzar el equilibrio de adsorción en intervalos de tiempo 0, 1 semana y 2 semanas.

Análisis de la concentración de Glifosato

Para determinar la concentración de Glifosato en las soluciones, se utilizó un espectrofotómetro UV-Vis. Primero, el equipo fue calibrado empleando soluciones de agua destilada como blanco. Luego, se midieron las absorbancias a una longitud de onda de 261.98 nm para cada una de las concentraciones estándar de Glifosato, utilizando la curva de calibración como referencia.

Registro de datos y análisis

Todos los datos obtenidos durante los experimentos se registran, incluyendo las concentraciones iniciales y finales de Glifosato, la cantidad de carbón activado utilizada y el tiempo de adsorción. Estos datos se analizan para evaluar la eficiencia de adsorción bajo diferentes condiciones y para determinar las mejores prácticas para la remoción de Glifosato del agua.

Consideraciones de seguridad

Es importante seguir las prácticas de seguridad adecuadas durante todo el procedimiento. Se utilizó guantes y gafas de seguridad para protegerse de posibles salpicaduras de soluciones químicas. Se realizaron los experimentos en un área bien ventilada y manejaron todos los reactivos utilizando las reglas de seguridad establecidas.

Preparación del Espectrofotómetro UV-Vis

Antes de analizar las muestras, se llevó a cabo la preparación y calibración del espectrofotómetro UV-Vis para garantizar mediciones precisas. Primero, el equipo se encendió y se dejó estabilizar durante 10-15 minutos. Luego, se limpiaron las celdas de cuarzo con jabón, se enjuagaron con agua destilada y se secaron adecuadamente. Posteriormente, se estableció la línea base del instrumento utilizando una celda de referencia y una celda de muestra con agua. Cada vez que se realizaba un análisis, las celdas eran limpiadas externamente con una toallita no abrasiva ("Kimwipe") para evitar interferencias en las mediciones. Para la construcción de la curva de calibración, se prepararon soluciones estándar de Glifosato con concentraciones de 1.23%, 2.46%, 4.1%, 6.15% y 8.20%, a partir de una solución patrón al 41.0%. Estas soluciones fueron elaboradas mediante la adición de un volumen específico de la solución madre en matraces aforados de 100 ml, siguiendo las proporciones establecidas en la tabla 1. Luego, se midió la absorbancia de cada solución estándar a la longitud de onda específica para el Glifosato

($\lambda=261.98$ nm) y se construyó una curva de calibración graficando la absorbancia en función de la concentración de las soluciones estándar.

Análisis de las muestras

Una vez calibrado el espectrofotómetro, se procede al análisis de las muestras. El procedimiento es el siguiente:

Preparación de las muestras

Las muestras tratadas se filtran para eliminar cualquier partícula residual de carbón activado. Luego, se transfiere una alícuota de cada muestra a una celda de cuarzo limpia, asegurando que estén listas para su análisis en el espectrofotómetro UV-Vis.

Medición de la absorbancia

Una vez preparadas las muestras, se coloca la celda de cuarzo en el espectrofotómetro y se mide la absorbancia a una longitud de onda de 261.98 nm, correspondiente al Glifosato. Finalmente, se registra la absorbancia de cada muestra para su análisis posterior.

Cálculo de la concentración residual

Las absorbancias medidas se convierten en concentraciones de Glifosato utilizando la curva de calibración previamente establecida. Finalmente, se determinan las concentraciones residuales de Glifosato en cada muestra para su análisis y comparación. Así, el porcentaje de remoción es $\left[\frac{(C_i - C_f)}{C_i} \right] \times 100\%$ donde C_i es la concentración de Glifosato y C_f es la concentración final después de la exposición al carbón activado a diferentes tiempos.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

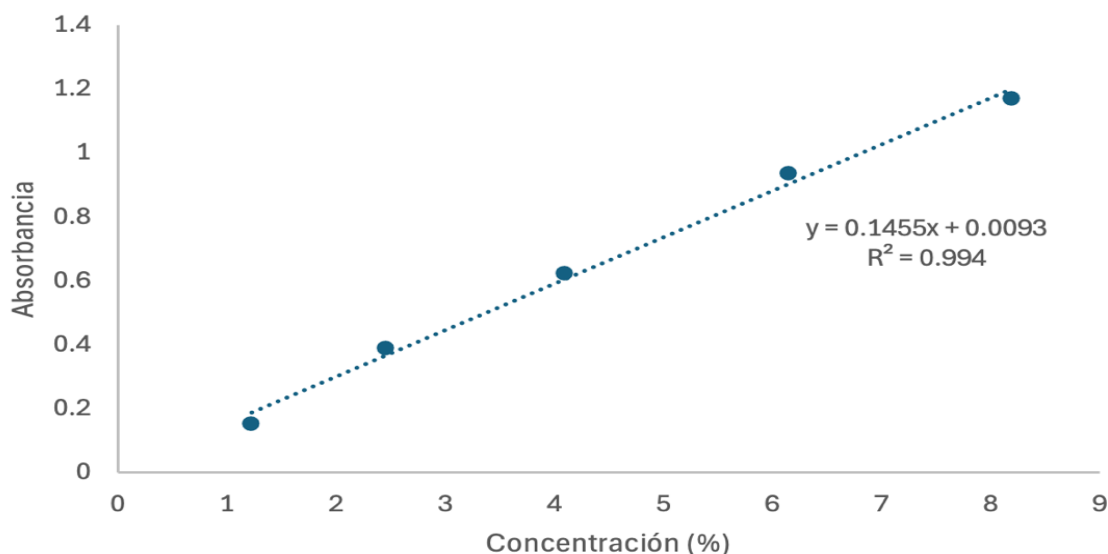
Resultados

El proyecto se centra en la eliminación de Glifosato, un herbicida muy utilizado que ha generado recelo por sus efectos negativos a nivel ambiental y en la salud. Para evaluar efectividad de remoción, se comparan dos tipos de carbón: carbón activado y carbón de leña sometiéndolos a diferentes condiciones (temperatura ambiente 22°C - 25°C, horno a 27°C y agitación a 27°C).

Para evaluar el comportamiento de absorción de Glifosato en los diferentes medios de carbono, se trabajó con una curva de calibración partiendo de una solución patron de 41%. Los datos de absorción de las muestras de Glifosato expuestas al carbón fueron evaluadas por la ecuación de la regresión lineal obtenida de la curva de calibración mostrada en la Gráfica 1.

Gráfica 1

Medición de la absorbancia del Glifosato con diferentes concentraciones.



Curva de calibración realizada para la medición de la absorbancia de Glifosato con diferentes concentraciones. La gráfica muestra un R^2 de 0.994.

Desviación estándar de los residuos (σ)

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum (y_i - \hat{y}_i)^2}{n - 2}}$$

$$\sum (\text{residuos}^2) \approx 0.00165$$

$$\sigma = \sqrt{\frac{0.00165}{5 - 2}} = \sqrt{0.00055} \approx 0.0235$$

Error estándar de la pendiente

$$S_m = \frac{\sigma}{\sqrt{\sum (x_i - \bar{x})^2}}$$

$$\bar{x} \approx 4.44$$

$$\sum (x_i - \bar{x})^2 \approx 30.7$$

$$S_m \approx \frac{0.024}{\sqrt{30.7}} \approx 0.0043$$

$$m = 0.1455 \pm 0.0043$$

Límite de detección y límite de cuantificación

$$LOQ = \frac{3.3\sigma}{m}$$

$$LOD = \frac{3.3(0.015)}{0.1455} = 0.34\%$$

$$LOQ = \frac{10\sigma}{m}$$

$$LOQ = \frac{10(0.015)}{0.1455} = 1.03\%$$

Estudio del comportamiento de Glifosato en solución con el tiempo

Para tener una idea del comportamiento de Glifosato con el tiempo, se analizó la solución de Glifosato por dos semanas. Los datos mostraron que el Glifosato se mantuvo estable por las dos semanas para las que se llevaron a cabo los experimentos. Los resultados se muestran en la tabla 2.

Tabla 2

Absorbancia UV-Vis (± 0.003)	Tiempo Cero	1^{ra} semana	2^{da} semana
Glifosato 41%	0.682	0.680	0.684

Medida de absorbancia de Glifosato para medir la estabilidad durante el transcurso de la reacción.

Resultados del Carbón activado

La tabla 3 presenta los resultados para el experimento utilizando carbón activado como sustrato del Glifosato a temperatura ambiente 22°C - 25°C. Se partió de una concentración inicial de Glifosato al 4.63%. Después de una semana disminuyó a 2.51%, mostrando una eliminación efectiva de aproximadamente el 46% del Glifosato en la solución. No obstante, a las dos semanas se obtuvo una concentración de 2.18%, lo que indica una eliminación del 53%. Aunque absorbe más a las dos semanas, el cambio en concentración no presentó una disminución marcada en comparación con la primera semana, lo que da a entender que el carbón activado pudo haber llegado o estar cerca de su límite en capacidad de adsorción.

La tabla 4 presenta los datos obtenidos para el experimento trabajado en el horno a 27°C sin agitación. La concentración de Glifosato alcanzó una concentración de 4.18% luego de la

primera semana para una absorción de solo 10% por parte del carbón activado. Luego de dos semanas, solo un 22% del Glifosato fue absorbido. En comparación con los resultados a temperatura ambiente (22°C - 25°C), se observó una absorción significativamente menor de Glifosatos en el carbón activado. Este comportamiento podría sugerir que aumentar la temperatura no necesariamente ayudaría a tener mayor absorción del Glifosato por parte del carbono activado.

Los datos obtenidos con agitación a 27°C se presentan en la tabla 5. Estos mostraron una concentración de Glifosato de 2.10% para la primera semana y 2.67% para la segunda semana. La absorción de Glifosato por el carbono activado para la primera y segunda semana fue 55% y 42% respectivamente. Estos datos muestran una contradicción donde la segunda semana presenta menos absorción que la primera. Si comparamos con los resultados obtenidos para el experimento a temperatura ambiente 22°C – 25°C (presentados en la tabla 3), observamos que el porcentaje de absorción se encuentra en el mismo rango. Esto puede explicarse con la saturación del carbono activado por parte del Glifosato. Bajo las condiciones en las que se trabajaron los experimentos, aparenta que la absorción máxima podría estar alrededor del 50%. Por esta razón, luego de la primera semana, la diferencia en absorción podría no ser significativa o mantenerse en un mismo rango.

Tabla 3

	Absorción UV-Vis	Concentración	Porcentaje de
Carbón activado	(± 0.002 a 0.003)	Glifosato en	Glifosato
Temperatura Ambiente		solución	Absorbido
(22 °C -25 °C)		(%)	por el carbón
			activado
Tiempo Cero	0.682	4.63%	0%

1^{ra} semana	0.374	2.51%	48%
2^{da} semana	0.326	2.18%	53%

Resultados obtenidos para el experimento de absorción de Glifosato en carbón activado a temperatura ambiente. Esta temperatura fluctuó entre 22 °C -25 °C. Presenta la concentración en porcentaje de Glifosato en solución a tiempo inicial, siete y catorce días. Además, se presenta el porcentaje de Glifosato absorbido por el carbón activado.

Tabla 4

Carbón activado Horno 27 °C	Absorción UV/Vis (± 0.002 a 0.003)	Concentración Glifosato en solución (%)	Porcentaje de Glifosato Absorbido por el carbón activado
Tiempo Cero	0.682	4.63%	0%
1^{ra} semana	0.618	4.18%	10%
2^{da} semana	0.532	3.59%	22.5%

Resultados obtenidos para el experimento de absorción de Glifosato en carbón activado a temperatura constante de 27 °C sin agitación. Presenta la concentración en porcentaje de Glifosato en solución a tiempo inicial, siete y catorce días. Además, se presenta el porcentaje de Glifosato absorbido por el carbón activado.

Tabla 5

Carbón activado Agitación a 27 °C	Absorción UV/Vis (± 0.002 a 0.003)	Concentración Glifosato en solución (%)	Porcentaje de Glifosato Absorbido por el carbón activado
Tiempo Cero	0.682	4.63%	0%
1^{ra} semana	0.310	2.10%	54.6%
2^{da} semana	0.398	2.67%	42.3%

Resultados obtenidos para el experimento de absorción de Glifosato en carbón activado a temperatura constante de 27 °C con agitación. Presenta la concentración en porcentaje de Glifosato en solución a tiempo inicial, siete y catorce días. Además, se presenta el porcentaje de Glifosato absorbido por el carbón activado.

Resultados Carbón de leña artesanal

Los resultados de la evaluación del carbón de leña artesanal son dispares y difíciles de justificar a primera instancia. Podemos observar cómo algunas de las absorciones obtenidas en el UV-Vis presentan valores mayores al reportado para tiempo cero. Esto provoca un porcentaje de absorción del Glifosato en el carbón con valores negativos.

En el experimento a temperatura ambiente 22 °C - 25 °C (datos presentados en la tabla 6), la primera semana el carbón de leña artesanal absorbió un 48%. Este comportamiento concuerda

con los valores previos obtenidos para el carbón activado presentados en la tabla 3. Este dato es el único comparable con el carbón activado.

Para la segunda semana, la absorción de Glifosato en el carbón de leña presentó un valor de -9% donde la absorción obtenida fue mayor al valor reportado a tiempo cero. Este patrón se repite con el calentamiento al horno sin agitación donde se obtuvo una absorción de Glifosato en el carbón de leña artesanal para la primera semana de 9% y una absorción de -42% para la segunda semana (datos presentados en la tabla 7).

Por otro lado, el experimento con agitación a 27 °C presentó absorciones de -42% y -129% para la primera y segunda semana respectivamente (datos presentados en la tabla 8). Los resultados donde se obtuvieron porcentajes negativos de absorción de Glifosato por parte del carbón son inesperados. Esto podría presentar algún material o contaminante en el carbono artesanal que se libera con el tiempo. La agitación pudo agravar la liberación de componentes atrapados en el carbón de leña artesanal.

Tabla 6

Carbón de leña artesanal	Absorción UV/Vis (± 0.002 a 0.003)	Concentración Glifosato en solución (%)	Porcentaje de Glifosato Absorbido por el carbón artesanal
Temperatura Ambiente 22 °C - 25 °C			
Tiempo Cero	0.656	2.57%	0%
1^{ra} semana	0.384	1.34%	48%
2^{da} semana	0.204	2.80%	-9%

Resultados obtenidos para el experimento de absorción de Glifosato en carbón artesanal de leña a temperatura ambiente. Esta temperatura fluctuó entre 22 °C -25 °C. Presenta la concentración en porcentaje de Glifosato en solución a tiempo inicial, siete y catorce días. Además, se presenta el porcentaje de Glifosato absorbido por el carbón activado.

Tabla 7

Carbón de leña artesanal Horno a 27 °C	Absorción UV/Vis (± 0.003 a 0.004)	Concentración Glifosato en solución (%)	Porcentaje de Glifosato Absorbido por el carbón artesanal
Tiempo Cero	0.656	2.77%	0%
1^{ra} semana	0.412	2.51%	9.4%
2^{da} semana	0.374	3.96%	-42%

Resultados obtenidos para el experimento de absorción de Glifosato en carbón artesanal de leña a temperatura constante de 27 °C sin agitación. Presenta la concentración en porcentaje de Glifosato en solución a tiempo inicial, siete y catorce días. Además, se presenta el porcentaje de Glifosato absorbido por el carbón activado.

Tabla 8

Carbón de leña artesanal Agitación a 27 °C	Absorción UV/Vis (± 0.004 a 0.005)	Concentración Glifosato en solución (%)	Porcentaje de Glifosato Absorbido por
---	---	--	--

	el carbón artesanal		
Tiempo Cero	0.656	1.50%	0%
1^{ra} semana	0.227	2.13%	-42%
2^{da} semana	0.320	3.44%	-129%

Resultados obtenidos para el experimento de absorción de Glifosato en carbón artesanal de leña a temperatura constante de 27 °C con agitación. Presenta la concentración en porcentaje de Glifosato en solución a tiempo inicial, siete y catorce días. Además, se presenta el porcentaje de Glifosato absorbido por el carbón activado.

Discusión Resultados

Los resultados mostraron ciertos patrones para el carbono activado, mientras que para el carbón de leña artesanal presentó posibles inconsistencias en los resultados.

Para el carbón activado, se presenta un patrón donde aparenta que la absorción llega a un máximo a las dos semanas. Para el experimento donde se mantienen condiciones a temperatura ambiente 22 °C - 25 °C, se presenta una absorción de casi la mitad del Glifosato en solución con un 48%. En comparación, luego de la segunda semana hay un aumento en absorción para un 53%, pero el cambio en este no es tan significativo como el observado en la primera semana. Esto puede mostrar una saturación del carbón activado por parte del Glifosato donde la absorción de este disminuye con el tiempo.

Los resultados discutidos anteriormente son comparables, en cierto grado al experimento donde se trabajó a 27 °C con agitación. Aunque en este caso mostró más absorción en la primera semana que en la segunda, se mantuvo en un porcentaje de absorción que ronda el 50%. Esto es comparable a lo obtenido en el experimento a temperatura ambiente 22 °C - 25 °C.

La discrepancia aparece al comparar estos resultados con condiciones donde se calentó a 27 °C sin agitación. Aunque se obtuvo un aumento en absorción según pasó el tiempo, no llegó al 50% aproximado que se obtuvo con las otras dos condiciones. Aunque la diferencia en temperatura entre ambiente y 27 °C no es muy significativa, es posible que la adición de calor interfirió con el proceso de absorción del Glifosato en el carbón activado al añadir energía térmica. Esto pudo provocar una absorción lenta o débil.

Esto trae una aparente inconsistencia en la discusión del resultado. Por un lado, con agitación a 27 °C presentó unos resultados similares al obtenido a temperatura ambiente 22°C - 25°C sin agitación, pero por el otro lado la ausencia de agitación no mostró una absorción muy

significativa con el tiempo. Como la diferencia se encuentra en la agitación, podríamos decir que esto permite más posibilidades de interacción entre el carbón activado y el Glifosato, contrarrestando en cierta medida el efecto de la energía térmica añadida en el calentamiento.

Los resultados para la absorción de Glifosato utilizando carbón de leña artesanal son inconsistentes en comparación con los datos obtenidos para carbón activado. En los tres experimentos realizados, para la segunda semana obtenemos menos absorción de lo que aparenta ser posible, especialmente para el experimento donde se trabajó con agitación a 27 °C. El obtener una absorción negativa es confusa porque no hace sentido, es como decir que el carbón absorbe menos que nada. Una explicación más razonable se puede dividir en tres posibilidades. Primero, el carbón de leña artesanal utilizado libera a la solución, después de un tiempo, algún material que absorbe a frecuencias comparables al Glifosato. Esto presenta una preocupación de la calidad o pureza de este material. En relación a la estabilidad del Glifosato a altas temperaturas, es crucial recordar que el Glifosato comienza a descomponerse a aproximadamente 200 °C (Mamacoca, 2000). La producción de carbón activado, mediante activación física, requiere temperaturas considerablemente más elevadas, típicamente entre 600 y 900 °C (Redalyc, 2012). Por lo tanto, si se intentara preparar carbón activado utilizando Glifosato como material de partida, este se descompondría completamente durante el proceso de calentamiento, perdiendo su estructura molecular y dejando de existir como Glifosato. Además, la literatura científica se enfoca en precursores ricos en carbono para la producción de carbón activado, como biomasa o carbón mineral, y no reporta el uso de Glifosato para este fin (Redalyc, 2012). La presencia de fósforo y nitrógeno en la molécula de Glifosato podría incluso interferir negativamente en el proceso de carbonización y activación. Tercero, que sea una combinación de los primeros dos. Cuando consideramos las tres opciones presentadas, hace sentido obtener valores negativos de absorción

en el carbón bajo estos posibles escenarios. Esto nos indica que se está añadiendo Glifosato (u otro material) a la solución y esta sustancia proviene del carbón artesanal de leña. Como consecuencia vemos como los valores de absorción obtenidos en el UVVis aumentan después de un tiempo cuando se esperaría que no cambiaran si el Glifosato no se adhiere al carbón, o que baje si el Glifosato se adhiere.

El dato de absorción negativo más alto (-120%) obtenido para la absorción de Glifosato en el carbón de leña artesanal se obtuvo en el experimento de agitación a 27 °C. Igualmente se obtuvieron resultados negativos en la primera semana. Esto se pudo deber a que la agitación ayudó o aceleró la liberación de materiales solubles a la solución.

En los datos obtenidos para el experimento a 27 °C y a temperatura ambiente 22 °C - 25 °C, la primera semana muestra una absorción positiva como esperado o deseado. Sin embargo, la absorción a temperatura ambiente 22°C - 25°C muestra un valor considerablemente mayor en comparación con el experimento realizado a 27°C sin agitación. Este patrón y datos son virtualmente iguales al obtenido para el carbón activado sugiriendo un comportamiento similar antes de que entre en efecto la introducción de material ajeno a la solución. En consecuencia, provocando porcentajes de absorción negativos.

Estos resultados son relevantes para el desarrollo de técnicas de tratamiento de agua contaminada y podrían llevar a investigar más sobre las mejores condiciones para el uso de distintos tipos de carbón como las lesiones que remueven contaminantes concretos.

Conclusiones

El estudio demostró que el carbón activado, al igual que el carbón de leña, posee capacidad de adsorción de Glifosatos. Sin embargo, el carbón de leña artesanal mostró una posible contaminación con agentes que aumentan la señal en el UV-Vis provocando una aparente absorción negativa al cabo del tiempo. Entendemos que esto no se presenta como algo inmediato, sino paulatino y efectos como temperatura o agitación provocan la aceleración de este fenómeno.

El Glifosato comienza a descomponerse térmicamente a temperaturas superiores a los 198 °C. Durante este proceso, se generan subproductos como sarcosina y ácido N-metilaminometilfosfónico (N-MAMPA), que pueden descomponerse aún más en compuestos como dimetilamina, potencialmente tóxicos (Delatour, T., Badoud, F., Severin, K., Bücking, M., Göckener, B., & Theurillat, V., 2022) (Mackie & Kennedy, 2019).

La producción de carbón vegetal artesanal implica temperaturas de pirólisis que varían entre 400 °C y 700 °C, dependiendo del tipo de biomasa y las condiciones del proceso. Estas temperaturas son significativamente más altas que el punto de descomposición del Glifosato, lo que sugiere que el Glifosato presente en la materia prima se descompondría durante la producción del carbón (Mielke, K. C., Da Silva Brochado, M. G., Laube, A. F. S., Guimarães, T., De Paula Medeiros, B. A., & Mendes, K. F., 2023).

Sin embargo, la descomposición térmica del Glifosato puede generar subproductos tóxicos. Aunque las altas temperaturas de la pirólisis podrían descomponer estos subproductos, la eficiencia de esta descomposición depende de factores como la temperatura alcanzada y la duración del proceso. Además, si el carbón no se produce adecuadamente, podrían quedar residuos de estos subproductos, que al ser liberados durante la combustión del carbón, podrían contaminar los alimentos cocinados o el aire circundante.

Por lo tanto, es crucial asegurar que el carbón de leña artesanal se produzca bajo condiciones controladas y a temperaturas suficientemente altas para garantizar la completa descomposición del Glifosato y sus subproductos. De lo contrario, existe el riesgo de que estos compuestos tóxicos contaminen los alimentos o el ambiente durante su uso. Esto introduce la preocupación sobre la integridad del carbono artesanal donde puede ser producido de material contaminado con Glifosato.

Aun considerando el comportamiento de estos datos, no se puede categóricamente adjudicar contaminación de Glifosato en el carbón de leña utilizado o basándose en los resultados de este trabajo. Se tendría que hacer estudios más comprensivos para confirmar la presencia de este herbicida en el material analizado. Esto tampoco adjudica contaminación a todo tipo de carbón producido de manera tradicional o artesanal.

Los datos obtenidos para el carbón activado mostraron resultados más cónsonos con una absorción de Glifosato en esta matriz. Se obtuvo una posible absorción máxima cerca del 50% bajo condiciones de temperatura ambiente 22 °C - 25 °C o a 27 °C con agitación. A una temperatura de 27 °C sin agitación, la absorción de Glifosato en el carbón activado mostró ser menos efectiva. Bajo los parámetros experimentales establecidos en este trabajo, es posible que, a mayor temperatura, menor la interacción entre la matriz del carbón activado, pero que la agitación aumente las interacciones entre el carbón activado y el Glifosato cancelando en cierta medida, el efecto de temperatura. Es mayormente aceptado que la absorción debe aumentar con la temperatura (Marbawi et al., 2024). Pero, bajo ciertas condiciones se ha encontrado que los pesticidas pudieran presentar una absorción negativa en el carbón cuando la temperatura incrementa (Fontecha-Cámara et al., 2006). Para aclarar esta discrepancia se deben hacer experimentos termodinámicos específicos para explorar un posible fenómeno exotérmico atípico

en la absorción del Glifosato en el carbón activado utilizando la metodología trabajada en esta investigación. En otras palabras, la data obtenida sugiere una menor absorción a mayor temperatura, pero no presenta evidencia suficiente para sostener esta aseveración.

Sería interesante llevar a cabo más investigaciones para conseguir optimizar las condiciones de adsorción y tratar otros elementos de interés que pudieran influir en la eficiencia de los adsorbentes.

No obstante, la inclusión de estas técnicas de tratamiento de agua contribuye sin duda a luchar contra la contaminación por Glifosato y ayudar a proteger la salud pública y los ecosistemas acuáticos

En general, los resultados reflejan que la eficacia del carbón como adsorbente está influenciada por factores como la temperatura y la agitación, mostrando en algunos casos una disminución en la capacidad de adsorción. Aunque el carbón activado se presentó como la mejor opción para la remoción de Glifosato, su desempeño en condiciones adversas sugiere la necesidad de seguir explorando alternativas o modificaciones para mejorar su eficiencia.

Por el contrario, los resultados de la evaluación del carbón de leña artesanal son dispares. Los datos presentan una absorción mayor de Glifosato según pasa el tiempo. Esto provoca que el porcentaje de absorción calculado de Glifosatos en el carbono presente valores negativos. Lo esperado es que disminuya si hay absorción en el carbono o que se mantenga constante si no se lleva a cabo la absorción.

La ecuación utilizada para calcular el porcentaje de absorción en el carbono es $\left[\frac{(C_i - C_f)}{C_i} \right] \times 100\%$. Si la concentración final (C_f) de Glifosato en solución es mayor que la concentración inicial (C_i), el valor del porcentaje de absorción en el carbono tendrá valores

negativos. Los resultados no hacen sentido desde una perspectiva de absorción en el carbono (con valores negativos). Esto porque erróneamente se está sugiriendo que absorbe menos que nada.

Para explicar o hacer sentido a esta discrepancia; se observa el comportamiento de absorción del espectro de UV/Vis. Este no muestra diferencias significativas entre la forma de los espectros de Glifosato y los espectros obtenidos en el experimento con el carbón de leña. El patrón antes descrito nos lleva a inferir que la cantidad de Glifosato en solución está aumentando en vez de disminuir o quedarse igual.

Una posible explicación es que el carbón de leña artesanal contenga Glifosatos y los esté liberando a solución según transcurre el tiempo en el experimento. De esto ser cierto, provocaría que la absorbancia aumente produciendo valores de C_f mayores que C_i y como resultado valores negativos al calcular el porcentaje de Glifosato absorbido por este carbón.

El sugerir que el carbón de leña está contaminado con Glifosatos presenta una preocupación sobre la utilización de este material para la cocción de alimentos. La manera en la cual se prepara el carbón de leña artesanal y no pasa por controles de calidad donde se pueda determinar la cantidad o contaminante que pueda tener. Si la madera utilizada o el terreno (donde se prepara el carbón) se encuentra contaminado con Glifosato, por la naturaleza del carbón, este absorberá los tóxicos liberándolo al ambiente al ser quemado o estar expuestos a soluciones acuosas.

Para corroborar estos resultados se sugiere más experimentos más específicos donde se determine si en efecto el carbono de leña utilizado se encuentra contaminado con Glifosatos. Esto resalta la importancia de seguir estudiando este material y sus posibles aplicaciones en tratamientos de agua.

RECOMENDACIONES

Recomiendo qué en trabajos futuros se profundice en el conocimiento de la toxicocinética y toxicidad del Glifosato en modelos experimentales y humanos, dada la relevancia que estos estudios tienen para la salud pública. En particular, se sugiere investigar con mayor detalle la absorción, distribución, metabolización y excreción del Glifosato en distintos sistemas biológicos, de modo que se pueda establecer una correlación más precisa entre los datos experimentales en animales y los potenciales efectos en humanos. La integración de estudios epidemiológicos con experimentales permitirá dilucidar los mecanismos de acción y la eventual relación con efectos adversos, como alteraciones gastrointestinales y hepáticas, aportando información crítica para la regulación de este herbicida (ATSDR, 2020).

Otro aspecto fundamental a explorar es la optimización de las técnicas de remoción de Glifosato en matrices acuosas. Aunque se han probado diversos métodos –desde la precipitación y procesos electroquímicos hasta tratamientos de membrana y avanzados procesos de oxidación, la adsorción utilizando carbón activado ha mostrado resultados prometedores, pero con posibles incongruencias en condiciones de alta temperatura y agitación. Sería interesante llevar a cabo más investigaciones para conseguir optimizar las condiciones de adsorción y tratar otros elementos de interés que pudieran influir en la eficiencia de los adsorbentes. Esta línea de estudio podría incluir el análisis comparativo entre materiales tradicionales y nuevos adsorbentes, como los biopolímeros derivados de residuos agrícolas, que ofrecen un enfoque más sostenible (Sarria, Gallo y Pérez, 2020).

Asimismo, se recomienda para investigaciones futuras realizar estudios a largo plazo sobre la degradación microbiana del Glifosato en diferentes tipos de suelos y cuerpos de agua,

considerando las variaciones ambientales que afectan su movilidad y persistencia. La investigación en este ámbito debe contemplar la evaluación de la actividad microbiana y su capacidad para degradar el herbicida, así como los efectos de condiciones como la humedad, la temperatura y la presencia de nutrientes. Este enfoque no solo permitirá mejorar los procesos de biorremediación, sino que también contribuirá a la comprensión de cómo el Glifosato y sus metabolitos afectan la biodiversidad y la calidad de los ecosistemas acuáticos (González y Fuentes, 2022).

Finalmente, es importante impulsar el desarrollo y evaluación de sistemas híbridos de tratamiento de agua que combinen métodos físicos, químicos y biológicos. La integración de nanopartículas, fotocatalisis y procesos electroquímicos con la adsorción sobre carbón activado o alternativas sostenibles como los hidrogeles de quitosano podría generar sinergias que potencien la eliminación de Glifosato en condiciones adversas. La comparación sistemática de la eficacia de estos métodos bajo distintos regímenes de temperatura y agitación permitirá identificar los parámetros críticos y mejorar los protocolos de tratamiento. Cabe destacar que, en este contexto. (Moreno-Castilla, 2004; Giesy et al., 2000; UNESCO, 2022).

REFERENCIAS

- Acevedo, S., Galicia, L., Plaza, E., Atencio, R., Rodríguez, A., & González, E. (2016). *Activated Carbon Prepared from Bituminous Coal with Potassium Hydroxide Activation*. *Revista Técnica de la Facultad de Ingeniería Universidad del Zulia*, 39(2), 64-70.
<https://ve.scielo.org/pdf/rftiuz/v39n2/art03.pdf>.
- Agency for Toxic Substances and Disease Registry (ATSDR). (August de 2020). *Toxicological profile for Glyphosate*. Agency for Toxic Substances and Disease Registry (ATSDR).
<https://www.atsdr.cdc.gov/ToxProfiles/tp214-c3.pdf>
- Annett, R., Habibi, H. R., & Hontela, A. (2014). *Impact of glyphosate and glyphosate-based herbicides on the freshwater environment*. *Journal of Applied Toxicology*, 34(5), 458–479. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/24615870/>
- Antal, M. J., & Grønli, M. (2003). *The art, science, and technology of charcoal production*. *Industrial & Engineering Chemistry Research*, 42(8), 1619–1640.
<https://doi.org/10.1021/ie0207919>
- Bansal, R. C., & Goyal, M. (2005). *Activated carbon adsorption (1.^a ed.)*. CRC Press. <https://doi.org/10.1201/9781420028812>
- Bedmar, F. (2011). *Informe especial sobre los plaguicidas agrícolas*. Uba.Ar.
<https://www.agro.uba.ar/users/semmarti/Usotierra/CH%20Plaguicidas%20fin.PDF>
- Cid, A. A., Hernández, D. L., Merino, E. G., & González, A. M. (2024). *Síntesis de carbones activados con semillas de chirimoya y su aplicación en la adsorción de colorantes textiles*. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*, 40, 263-278. DOI: <https://doi.org/10.20937/RICA.54967>.

Ciencia Hoy. (2011). *Informe especial sobre plaguicidas agrícolas*. *Ciencia Hoy* 21(122), 10-35.

<https://www.agro.uba.ar/users/semmarti/Usotierra/CH%20Plaguicidas%20fin.PDF>.

Clarimón, L., & Cortés, A. (2016). *Alternativas al uso del glifosato y otros herbicidas en síntesis química.. Zaragoza: Comisiones Obreras de Aragón. Confederación Sindical de Comisiones Obreras:*

<https://www.ccoo.es/cf089f5ee22ced87a15305a825155072000051.pdf>

Conacyt. (2020). *Expediente científico sobre el Glifosato y los cultivos GM*. Secihti:

[https://secihti.mx/wp-](https://secihti.mx/wp-content/uploads/documentos/Glifosato/Dossier_formato_Glifosato.pdf)

[content/uploads/documentos/Glifosato/Dossier_formato_Glifosato.pdf](https://secihti.mx/wp-content/uploads/documentos/Glifosato/Dossier_formato_Glifosato.pdf)

Conacyt. (28 de julio de 2022). *Las pruebas sobre daños a la salud y el ambiente causados por el Glifosato tienen sustento científico*. Secihti: [https://secihti.mx/wp-](https://secihti.mx/wp-content/uploads/sala_de_prensa/desmentidos/Desmentido_Glifosato_28072022.pdf)

[content/uploads/sala_de_prensa/desmentidos/Desmentido_Glifosato_28072022.pdf](https://secihti.mx/wp-content/uploads/sala_de_prensa/desmentidos/Desmentido_Glifosato_28072022.pdf)

Costas-Ferreira, C., Durán, R., & Faro, L. R. (2022). *Toxic Effects of Glyphosate on the Nervous System: A Systematic Review*. *International Journal of Molecular Sciences*, 23(9).

<https://doi.org/10.3390/ijms23094605>.

CPL Activated Carbons Iberia. (16 de mayo de 2024). *¿Para qué se utiliza el carbón activado?*

CPL Activated Carbons Iberia: <https://cpl-iberia.com/para-que-se-utiliza-el-carbon-activado/>

Delatour, T., Badoud, F., Severin, K., Bücking, M., Göckener, B., & Theurillat, V. (2022).

Degradation of glyphosate along coffee roasting: Do residue levels in green beans mirror exposure derived from coffee consumption? *Food Chemistry*, 403, 134355.

<https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2022.134355>

- FAO. (1987). Simple technologies for charcoal making. Food and Agriculture Organization of the United Nations.
- G, F. (1991). *Pesticides and the Third World. Journal of toxicology and environmental health*, 32(1), 11–31.
- <https://www.scirp.org/reference/referencespapers?referenceid=1996144>
- Fontecha-Cámara, M., A., López Ramón, V., Álvarez-Merino, M., A., Moreno-Castilla, C. (2006). *Langmuir* 22, 9586-9590.
- González Ortega, Emmanuel, & Fuentes Ponce, Mariela H. (2022). *Dinámica del Glifosato en el suelo y sus efectos en la microbiota. Revista internacional de contaminación ambiental*, 38, 54197. <https://doi.org/10.20937/rica.54197>
- Giesy, J. P., Dobson, S., & Solomon, K. R. (2000). *Ecotoxicological Risk Assessment for Roundup® Herbicide. En J. P. Giesy, S. Dobson, & K. R. Solomon, Reviews of Environmental Contamination and Toxicology (págs. 35-120)*. New York: Springer.
- <https://dh-web.org/place.names/posts/RoundupEcotoxicologicalRisk.pdf>
- Kanissery, R., Gairhe, B., Kadyampakeni, D., Batuman, O., & Alferez, F. (2019). *Glyphosate: Its Environmental Persistence and Impact on Crop Health and Nutrition. Plants*, 8(11), 499. <https://doi.org/10.3390/plants8110499>.
- López, N. J., & Madrid, M. L. (2011). *Herbicida Glifosato: usos, toxicidad y regulación. Revista de Ciencias Biológicas y de la Salud*, 13(2), 23-28.
- <https://biotecnia.unison.mx/index.php/biotecnia/article/download/83/76>.
- Mamacoca. (2000). *Documento Plan de Manejo Ambiental Erradicación de Cultivos Ilícitos*. http://www.mamacoca.org/docs_de_base/Fumigas/Glifosato_DNE.pdf

- Martín-Gutiérrez, George, Pablos-Reyes, Pablo, Cobo-Vidal, Yakelín, & Villazón-Gómez, Juan Alejandro. (2024). *Reservas de carbono orgánico en diferentes tipos de utilización de la tierra. Pastos y Forrajes*, 47.
http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0864-03942024000100004&lng=es&tlng=es.
- Marsh, H., & Rodríguez-Reinoso, F. (2006). *Activated carbon (Origins)*. In *Elsevier eBooks* (pp. 13–86). <https://doi.org/10.1016/b978-008044463-5/50016-9>
- McConnell, R., & Hruska A, J. (1993). *An epidemic of pesticide poisoning in Nicaragua: implications for prevention in developing countries*. *American Journal of Public Health*, 83(11), 1559–1562. doi: 10.2105/ajph.83.11.1559.
- Mielke, K. C., Da Silva Brochado, M. G., Laube, A. F. S., Guimarães, T., De Paula Medeiros, B. A., & Mendes, K. F. (2023). *Pyrolysis Temperature vs. Application Rate of Biochar Amendments: Impacts on Soil Microbiota and Metribuzin Degradation*. *International Journal of Molecular Sciences*, 24(13), 11154. <https://doi.org/10.3390/ijms241311154>
- Moreno-Castilla, C. (2004). *Adsorption of organic molecules from aqueous solutions on carbon materials*. *Carbon*, 42(1), 83-94.
<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S000862230300469X>
- Oficina Internacional del Trabajo (OIT). (1993). *Guía de seguridad y salud en el uso de productos agroquímicos*. *International Labour Organization*:
https://www.ilo.org/sites/default/files/wcmsp5/groups/public/@ed_protect/@protrav/@safework/documents/instructionalmaterial/wcms_235707.pdf

Ojanguren, R. T. (2002). *Plaguicidas, balanceando riesgos y recursos*. Ecosur:

https://ecosur.repositorioinstitucional.mx/jspui/bitstream/1017/985/1/0000351061_documento.pdf

Orcel, M. (12 de enero de 2023). *La renovación del pesticida Glifosato provoca gran debate en Europa por los peligros para la salud*. Euronews:

<https://es.euronews.com/2023/12/01/la-renovacion-del-pesticida-Glifosato-provoca-gran-debate-en-europa-por-los-peligros-para->

Ortega, E. G., & Ponce, M. H. (2022). *Dinámica del Glifosato en el suelo y sus efectos en la microbiota*. Revista Internacional de Contaminación Ambiental (38), 127-144.

<https://doi.org/10.20937/RICA.54197>.

Peláez Cid, Alejandra Alicia, López Hernández, Diana Laura, Gómez Merino, Esmeralda, & Herrera González, Ana María. (2024). *Síntesis de carbones activados con semillas de chirimoya y su aplicación en la adsorción de colorantes textiles*. Revista internacional de contaminación ambiental, 40, 54967. <https://doi.org/10.20937/rica.54967>

Pérez-Vázquez, A., Fernández-Peña, M. d., Castañeda-Chávez, M. d., & Díaz-Rivera, P. (2024). *Glifosato: riesgo o amenaza para la salud humana y la vida silvestre*. Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas, 15(5), 1-12.

https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-09342024000500013

Pimentel, D., Acquay, H., Biltonen, M., Rice, P., Silva, M., Nelson, J., D'Amore, M. (1992).

Environmental and Economic Costs of Pesticide Use. BioScience, 42(10), 750–760. DOI: doi.org/10.2307/1311994.

- Rangel-Ortiz, E., Landa-Cansigno, O., Páramo-Vargas, J., & Camarena-Pozos, D. A. (2023). *Prácticas de manejo de plaguicidas y percepciones de impactos a la salud y al medio ambiente entre usuarios de la cuenca del Río Turbio, Guanajuato, México*. *Acta Universitaria*, 33, 1–26. <https://doi.org/10.15174/au.2023.3749>.
- Redalyc. (2012). *Obtención de carbón activado a partir de residuos agroindustriales y su evaluación en la remoción de color del jugo de caña*. *Revista ION*, 25(2), 65-74.
Recuperado de <https://www.redalyc.org/pdf/482/48224413006.pdf>
- Sánchez, A. (2018). *Removal of glyphosate from water using activated carbon: A review*. *Environmental Science and Pollution Research*, 25(1), 1-12.
<https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC7730355/>
- Sarria-Villa, R. A., Gallo-Corredor, J. A., & Perez, E. H. (2020). *Tecnologías de remoción de plaguicidas presentes en aguas*. *Journal de Ciencia e Ingeniería*, 12(1), 215-229. DOI: <https://doi.org/10.46571/JCI.2020.1.19>.
- Surculento Villalobos, Rodrigo, Marín M, Gabriela M., & Lopez N., Luis. (2023). *Obtención de carbón activado a partir de mezclas de residuos de plásticos PET por activación con ácido fosfórico*. *Revista Boliviana de Química*, 40(3), 20-28.
<https://doi.org/10.34098/2078-3949.40.3.3>
- UNESCO. (2022). *Aguas subterráneas: hacer visible el recurso invisible*. París: Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura.
<https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000382894>

Valero-Valdivieso, M. F., Ortegón, Y., & Uscategui, Y. (2013). *Biopolímeros avances y perspectivas*. *Dyna*, 80, 171-180.

<http://www.scielo.org.co/pdf/dyna/v80n181/v80n181a19.pdf>

Villalobos, R. S., M., G. M., & N., L. L. (2023). *Obtención de carbón activado a partir de mezclas de residuos de plásticos pet por activación con ácido fosfórico*. *Revista Boliviana de Química* 40(3), 80-88. DOI: <https://doi.org/10.34098/2078-3949.40.3.3>.