



USO DE LA FITORREMEDIACIÓN Y BIORREMEDIACIÓN COMO TÉCNICAS PARA LA
RECUPERACIÓN DE LOS SUELOS CONTAMINADOS CON PLAGUICIDAS

Sonia Alejandra Monares Durán

Trabajo de Grado para Optar por el título de
Especialista en Química Ambiental

Directora

Yaneth Quintero López
MSc. Química

Universidad Industrial de Santander
Facultad de Ciencias
Escuela de Química
Especialización Química Ambiental
Bucaramanga
2024



Dedicatoria

El presente trabajo está dedicado a mis padres por ser mi apoyo inagotable y mi sostén en cada paso a lo largo de toda mi vida. A todas las personas especiales que me acompañaron en esta etapa, aportando educación, pasión y dedicación. Orientando a una formación profesional y personal.



Agradecimientos

Primero que todo agradecer a Dios y a todas las personas que han sido parte de este proceso, contribuyendo con conocimiento y aliento a lo largo de este camino. A mis padres por impulsarme en mi proyecto de vida, por su amor, dedicación y por brindarme su orientación indispensable.

Agradezco a la institución educativa por la formación académica de la mano de docentes calificados, que enriquecen de conocimientos y refuerzan nuestras virtudes, de igual forma, a la directora de Tesis, que gracias a sus consejos y correcciones fundamentales logre culminar este trabajo.

**Tabla de contenido**

	Pág.
Dedicatoria.....	2
Agradecimientos.....	3
Lista de tablas.....	6
Lista de figuras.....	7
Resumen.....	8
Abstract.....	9
INTRODUCCIÓN.....	10
1.DESCRIPCIÓN DEL TRABAJO.....	11
1.1 Planteamiento del problema.....	11
1.2 Objetivos.....	13
1.2.1 <i>Objetivo general</i>	13
1.2.2 <i>Objetivos específicos</i>	13
2.MARCO REFERENCIAL.....	14
2.1 Plaguicidas.....	14
2.1.1 <i>Principales categorías de plaguicidas en función de su composición química</i>	16
2.1.2 <i>Efectos ambientales y ecológicos que causan los plaguicidas</i>	19
2.1.3 <i>Daños a la salud</i>	21
2.2 Normativa.....	21
2.3 Biorremediación.....	23
2.4 Fitorremediación.....	24
3. METODOLOGÍA.....	25
	4



3.1 Enfoque de la investigación.....	26
3.2 Diseño de la investigación.....	27
3.3 Actividades a desarrollar.....	28
4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	30
5. CONCLUSIONES	49
6. RECOMENDACIONES.....	51
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	52



Lista de Tablas

	Pág.
Tabla 1. <i>Clasificación de los plaguicidas según su peligrosidad y toxicidad.</i>	15
Tabla 2. <i>Vida media de los plaguicidas.</i>	16
Tabla 3. <i>Contaminantes Orgánicos Persistentes (COP) prohibidos en Colombia.</i>	22
Tabla 4. <i>Actividades a desarrollar.</i>	28
Tabla 5. <i>Especies de bacterias que degradan plaguicidas.</i>	33
Tabla 6. <i>Especies de plantas que degradan plaguicidas.</i>	43

Lista de Figuras

	Pág.
Figura 1. <i>Ciclo del pesticida en el medio ambiente.</i>	19
Figura 2. <i>Investigación cualitativa/</i>	26
Figura 3. <i>Proceso de un diseño sistemático.</i>	27



RESUMEN

Título: Uso de la fitorremediación y biorremediación como técnicas para la recuperación de los suelos contaminados con plaguicidas *

Autor: Sonia Alejandra Monares Duran**

Palabras Clave: Plaguicida, biorremediación, fitorremediación, agricultura, plagas.

Descripción:

En la agricultura los plaguicidas se han convertido en una herramienta indispensable a nivel mundial para la producción de cultivos de manera intensiva, por lo cual se ha elevado el uso de plaguicidas con el fin de lograr un control de plagas, maleza y enfermedades en los cultivos. Con el pasar de los años se ha vuelto complicado tratar los problemas que enfrenta la agricultura, por lo que se ha recurrido a mayores tasas de uso en ingredientes activos. Químicos donde una parte actúa efectivamente contra plagas, maleza y enfermedades, pero otra parte se pierde en el ambiente ocasionando problemas de contaminación en el suelo, propiciando un riesgo para la fauna y flora. Adicionalmente, los plaguicidas ocasionan efectos nocivos a la salud humana, provocando incluso hasta la muerte en personas que sean susceptibles a su exposición.

En este documento se reúne información sobre la fitorremediación y biorremediación como técnicas para la recuperación de los suelos contaminados por plaguicidas. Dicha recuperación se realiza por medio de plantas y microorganismos, buscando así reconocer el tipo de especies utilizadas, su eficiencia para neutralizar sustancias tóxicas y la disminución de efectos negativos que producen los plaguicidas en el suelo.

* Trabajo de Grado: Uso de la fitorremediación y biorremediación como técnicas para la recuperación de los suelos contaminados con plaguicidas

** Facultad de Ciencias. Escuela de Química. Especialización en Química Ambiental. Director: Yaneth Quintero López. Magíster en Química.



ABSTRACT

Title: Use of phytoremediation and bioremediation as techniques for the recovery of soils polluted with pesticides *

Author(s): Sonia Alejandra Monares Duran **

Key Words: Pesticide, bioremediation, phytoremediation, agriculture, pests.

Description:

In agriculture, pesticides have become an indispensable tool worldwide for intensive crop production, which is why the use of pesticides has increased to achieve control of pests, weeds, and diseases that are present in crops. As the years have passed, it has become more complicated to treat the problems that agriculture faces daily, and due to that higher rates of active ingredients have been used. Chemicals where one side acts effectively against pests, weeds, and diseases, but the other side gets lost in the environment causing contamination problems in the soil and creating a risk for the fauna and flora found. In addition, pesticides also have harmful effects on human health, even leading to death for people who are susceptible to their exposure.

This document gathers information on phytoremediation and bioremediation as techniques for the recovery of soils polluted by pesticides. This recovery is carried out through plants and microorganisms, thus seeking to recognize the type of species used, their efficiency in neutralizing toxic substances, and the reduction of negative effects that pesticides produce in the soil.

* Degree Work: Use of phytoremediation and bioremediation as techniques for the recovery of soils polluted with pesticides

** Science Faculty. Chemistry School. Specialization in Environmental Chemistry. Director: Yaneth Quintero López. Masters Degree in Chemistry.



INTRODUCCIÓN

En Colombia el uso de plaguicidas en la agricultura ha traído consigo la contaminación del suelo, generando un desequilibrio en el ecosistema. El Instituto Geográfico Agustín Codazzi (2016) reveló que el 15,6% alberga terrenos afectados por la sobrecarga de cultivos y ganadería sin control (sobreutilización) y según Juan Antonio Nieto Escalante, Director General del IGAC, los suelos sufren principalmente por: el uso inadecuado, contaminación por plaguicidas y fertilizantes.

En la agricultura se aplican los plaguicidas con el fin de proteger los cultivos sin tener en cuenta la toxicidad del producto. Este uso frecuente e indiscriminado conlleva a una contaminación, originando problemas de polución y pérdida del recurso suelo; afectando consigo al ser humano, flora y fauna del sitio afectado y ocasionando un impacto ambiental negativo. (Caro, L. y Cortes, P, 2020).

Actualmente el uso de plaguicidas es múltiple en la agricultura. Pese a que se aprobó el convenio de Estocolmo sobre los COP mediante la Ley 1196 de 2008, contamos con 3059 tipos de plaguicidas según el Registro Nacional de Plaguicidas reportado por el Instituto Colombiano Agropecuario (ICA, 2022). En Colombia se sigue usando cotidiana e indiscriminadamente los plaguicidas en la agricultura, conllevando a la contaminación ambiental, riesgos en el hombre y los animales. La aplicación de estos compuestos ha sido una de las principales fuentes de contaminación en las últimas décadas causando daños en la flora y la fauna, como por ejemplo la reducción de polinizadores y la reducción de fertilidad, afectando la población de los animales.

Hoy día con el uso desenfrenado de los plaguicidas se hace prioritario tener a la mano técnicas como la fitorremediación y la biorremediación para la recuperación de los suelos contaminados con plaguicidas, asegurando una reducción significativa en los compuestos nocivos que quedan presentes en el suelo y a su vez mejorando la calidad del lugar, logrando así que el sitio quede funcional para un nuevo cultivo.



1. DESCRIPCIÓN DEL TRABAJO

1.1 Planteamiento del problema

Diariamente el hombre causa daños al medio ambiente y la preservación de los recursos naturales se ha convertido en una prioridad. Para contrarrestar esto, existen diversas estrategias para descontaminar y mitigar el daño causado al entorno. En el caso de la contaminación de suelos por plaguicidas, la biorremediación y la fitorremediación se han convertido en soluciones para la recuperación de suelos. El proceso de biorremediación consiste en la degradación del contaminante mediante el uso de microorganismos, los cuales utilizan el compuesto como nutriente para sus reacciones metabólicas (Raffa, C.M y Chiampo, F, 2021) mientras que en la fitorremediación son las plantas las encargadas de extraer, degradar e inmovilizar el contaminante del suelo (Patel, E y Nainesh, R 2018).

A partir de la necesidad de controlar plagas de organismos perjudiciales para los cultivos, mejorando así la cantidad de producción agrícola a nivel mundial, se inició el uso de plaguicidas en la agricultura y desde el primer insecticida sintético, el dicloro difenil tricloroetano (DDT), sintetizado en 1874, el consumo de pesticidas en el mundo no ha dejado de crecer.

Pese a que existen normativas que prohíben el uso de cierto tipo de plaguicidas, en la actualidad como consecuencia del crecimiento poblacional existe una alta demanda de alimentos, lo cual ha elevado el uso de plaguicidas, con el fin de satisfacer la necesidad principal del hombre, alimentarse. Generando como consecuencia afecciones al medio ambiente debido al constante uso de plaguicidas.



Dado a la cantidad de efectos negativos que conlleva el uso de plaguicidas, no es suficiente tener normas que restrinjan o prohíban su uso. Es imprescindible contar con procesos eficientes a la hora de descontaminar el suelo, técnicas como la biorremediación y fitorremediación son útiles y efectivos a la hora de recuperar suelos contaminados por plaguicidas, reduciendo los compuestos nocivos que quedan en el suelo y a su vez mejorando la calidad del lugar.



1.2 Objetivos

1.2.1 Objetivo general

Determinar la eficiencia entre las técnicas de fitorremediación y biorremediación en la recuperación de suelos contaminados con plaguicidas.

1.2.2 Objetivos específicos

Establecer las diferentes especies de bacterias y plantas que se utilizan en los procesos de biorremediación y fitorremediación para la recuperación de suelos contaminados.

Definir las especies más eficientes para la recuperación de los suelos contaminados por plaguicidas.

Determinar entre la fitorremediación y la biorremediación que técnica es eficiente en la recuperación de los suelos contaminados por plaguicidas.

2. MARCO REFERENCIAL

2.1 Plaguicidas

Los plaguicidas son compuestos químicos potencialmente tóxicos dependiendo de la exposición, tanto para el medio ambiente como para la salud humana. La función de los plaguicidas radica en controlar las plagas, las cuales son: malezas, hongos, insectos, roedores, entre otros. En un plaguicida el compuesto que actúa contra la plaga se conoce como ingrediente activo y puede contener uno o más compuestos en él. Las plagas con el tiempo se vuelven resistentes a los ingredientes activos y esto conlleva a que se deba usar una cantidad de plaguicida de mayor calidad. (Caro, L. y Cortes, P, 2020).

La sociedad ha recurrido a estos compuestos a lo largo de la historia para proteger y aumentar el rendimiento de sus cultivos. Según el reporte del año 2022 por parte de la Organización Mundial de la Salud (OMS) se utilizan más de 1000 plaguicidas en todo el mundo para que las plagas no destruyan los alimentos (OMS, 2022). Desde 1978, la Organización Mundial de la Salud (OMS) estableció una clasificación de los plaguicidas, basada en su peligrosidad y toxicidad.

Tabla 1.*Clasificación de los plaguicidas según su peligrosidad y toxicidad*

Clasificación de riesgo según la OMS	Dosis letal 50 mg/kg (DL ₅₀ peso vivo) de plaguicidas formulado			
	Vía oral		Vía cutánea	
Grado de toxicidad	Sólidos	Líquidos	Sólidos	Líquidos
Ia Sumamente peligroso	5 o menos	20 o menos	10 o menos	40 o menos
Ib muy peligroso	Mas de 5 hasta 50	Mas de 20 hasta 200	Mas de 10 hasta 100	Mas de 40 hasta 400
II Moderadamente peligroso	Mas de 50 hasta 500	Mas de 200 hasta 2000	Mas de 10 hasta 1000	Mas de 40 hasta 4000
III Poco peligroso	Mas de 500 hasta 2000	Mas de 2000 hasta 3000	Mas de 100 hasta 1000	Mas de 400 hasta 4000
IV productos que normalmente no ofrecen peligro	Mas de 2000	Mas de 3000		

Nota. Adaptado de: Función y toxicidad de los ingredientes activos, González P, 2019, Asesoría técnica parlamentaria. N° SUP: 120.814, p. 3. <https://atp.bcn.cl>

Como se puede observar en la tabla 1, la Organización Mundial de la Salud (OMS) Clasifica el riesgo de los plaguicidas de acuerdo a su dosis letal 50 mg/kg (DL₅₀ peso vivo), iniciando con los plaguicidas que son sumamente peligrosos hasta los productos que no representan alto riesgo por su exposición vía oral y vía cutánea. Lo que indica la cantidad en mg/kg a la que se puede estar expuesto para que el 50% de la población presente daños colaterales.

Los plaguicidas de acuerdo con su vida media pueden ser permanentes, altamente persistentes, moderadamente persistentes, poco resistentes y ligeramente persistentes. La vida

media está representada por DT₅₀, quiere decir, que es el periodo de tiempo preciso para que el 50% del plaguicida se degrade en el medio ambiente. De acuerdo con la persistencia del plaguicida en el medio ambiente, será mayor o menor su contaminación, son directamente proporcionales. (Caro, L. y Cortes, P, 2020).

Tabla 2.
Vida media de los plaguicidas

Vida media DT ₅₀	Categoría
Menos de 4 semanas	Ligeramente persistente
4 semanas-26 semanas	Poco persistente
27 semanas-52 semanas	Moderadamente persistente
1 año-20 años	Altamente persistente
Mas de 20 años	Permanente

Nota. Adaptado de: Estado del arte de los efectos de plaguicidas de uso agrícola para la salud y el ambiente en Colombia (2007-2019), Cortez, P & Caro, L, 2020, Universidad Distrital Francisco José de Caldas, p.29.

En la Tabla 2, de acuerdo a la vida media de cada plaguicida se asume una categoría en la que se tiene conocimiento que tan persistente puede llegar a ser en el medio ambiente. Así como hay plaguicidas que tienen una vida media de más de 20 años siendo permanentes en el medio ambientes, también encontramos que hay plaguicidas que pueden ser ligeramente persistentes, resistiendo en el medio ambiente menos de 4 semanas.

2.1.1 Principales categorías de plaguicidas en función de su composición química

- **Organoclorados.** Los plaguicidas organoclorados son compuestos químicos orgánicos procedentes de hidrocarburos cíclicos aromáticos, con presencia en sus



moléculas de átomos de cloro (Raffa, C.M y Chiampo, F, 2021). El uso principal de este producto es en la agricultura como herbicida e insecticida. Los organoclorados se caracterizan por su estabilidad química lo que los hace persistentes en el lugar en donde se encuentren, también poseen un efecto de biomagnificación, lo que indica que la concentración aumenta al pasar de herbívoros a carnívoros (Caro, L. y Cortes, P, 2020). Actualmente este tipo de plaguicidas se encuentra prohibido en Colombia debido a sus efectos negativos en la salud humana y medio ambiente.

- **Organofosforados.** La familia de plaguicidas organofosforados está compuesta por una diversidad de estructuras químicas. Pueden ser amidas, ésteres o tioles del ácido fosfónico, fosfórico, fosforotioico o fosforoditioico, son más tóxicos y menos estables en comparación con los organoclorados (Caro, L. y Cortes, P, 2020). Este tipo de plaguicidas generalmente se usa como insecticida, pero es realmente tóxico para aves, anfibios, mamíferos, entre otros (Raffa, C.M y Chiampo, F, 2021). Se ha demostrado que los pesticidas organofosforados generan bioacumulación y pueden permanecer como contaminantes durante un periodo de tiempo prolongado. Los organofosforados actúan de 2 maneras, por contacto y de manera sistémica. Por contacto es cuando entran en el cuerpo del organismo y de manera sistémica cuando se distribuye por los tejidos de la planta volviéndose tóxica para quien la ingiere.
- **Carbamatos.** El grupo de plaguicidas carbamatos químicamente son compuestos ésteres del ácido carbámico, en comparación con los organofosforados son menos



tóxicos para el ambiente y tiene poca estabilidad química, por lo que no permanecen mucho tiempo en el ambiente, pero al igual que los organofosforados son inhibidores de la actividad de la enzima acetilcolinesterasa reflejándose su toxicidad en el sistema nervioso (Raffa, C.M y Chiampo, F, 2021). Por otra parte, los carbamatos no son plaguicidas bioacumulables. Su uso puede ser agrícola y doméstico, se utiliza como insecticida, herbicida y fungicidas. (Caro, L. y Cortes, P, 2020).

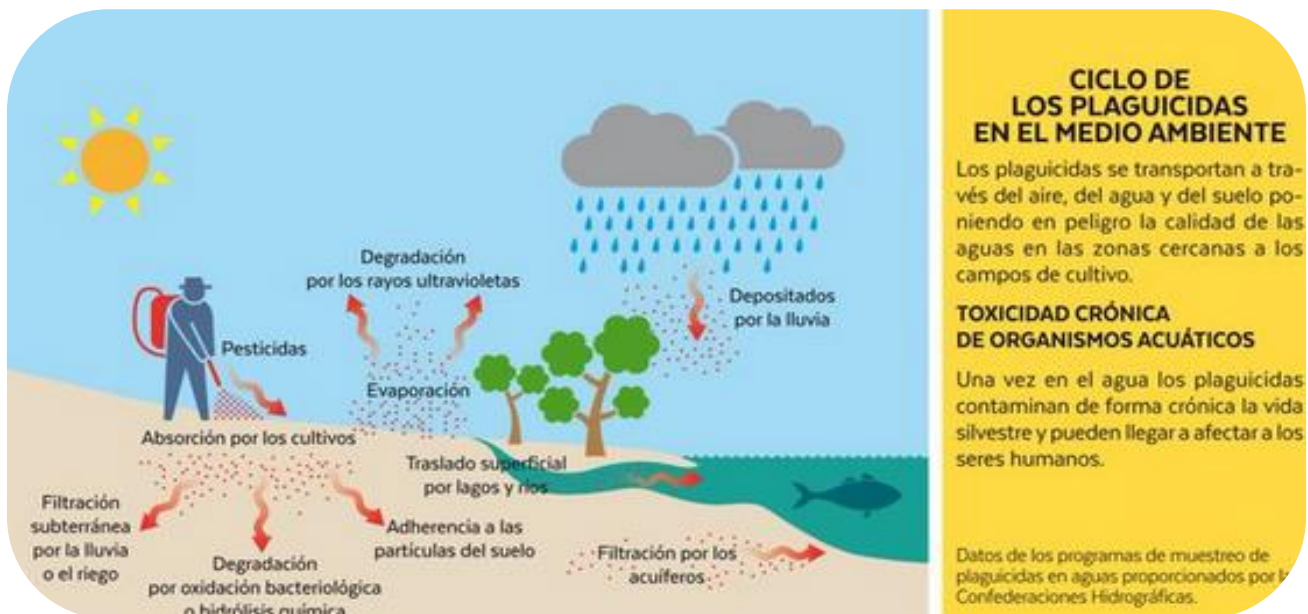
- **Piretroides.** Estos compuestos son sintetizados de la estructura de las piretrinas, son sustancias naturales y se utilizan como insecticidas. Los piretroides resultan tóxicos para los insectos, pero dependiendo del tiempo de exposición pueden ser dañinos para los humanos. Se usan principalmente en la parte doméstica, pero también a nivel agrícola y en la parte de salud pública en menor cantidad. Los piretroides no son persistentes y tiene una reducida acumulación en el ambiente y los organismos, ya que se degradan con facilidad por la luz solar. (Raffa, C.M y Chiampo, F, 2021).
- **Compuestos de origen biológico.** Los plaguicidas de origen biológico son compuestos provenientes de la naturaleza como, animales, plantas, frutas. Controlan gran cantidad de insectos y puede usarse en cualquier fase en la que el cultivo se encuentre. Tienen un bajo impacto ambiental, pero esto no disminuye su eficacia frente a las plagas que trata. Raffa, C.M y Chiampo, F, 2021).

2.1.2 Efectos ambientales y ecológicos que causan los plaguicidas

Entre un 48%-50% de los plaguicidas aplicados en los cultivos no llega a los organismos destino y quedan suspendidos en el ambiente, ya sea en el aire, agua o suelo. A esto le sumamos el uso desmedido que se le da a los plaguicidas y tenemos por consecuencia que gran cantidad de plaguicidas en el ambiente que pone en riesgo a especies de fauna, como polinizadores, animales que cumplen funciones de controladores biológicos y también a la flora como bosques, sabanas, entre otros.

Figura 1.

Ciclo del pesticida en el medio ambiente



Nota: La imagen muestra cómo se comporta los plaguicidas en el medio ambiente. Tomada de: Biorremediación con hongos y bacterias en el suelo contaminados con pesticidas 2022: Revisión sistémica (p.15), por Palomino, E (2022), Universidad César Vallejo.

En la figura 1, podemos observar la contaminación por plaguicidas, este tipo de contaminantes puede viajar mucho más allá de su punto inicial de aplicación debido a la influencia de las corrientes de aire. Además, los contaminantes provenientes de la agricultura pueden



contaminar las fuentes de agua a través de la escorrentía y la lixiviación, aunque la absorción de sedimentos y la bioacumulación pueden reducir o eliminar la concentración de contaminantes en ciertos casos. El suelo, por otro lado, se ve directamente afectado por la aplicación de plaguicidas, y el nivel de adsorción, degradación y reacciones químicas depende del tipo específico de suelo.

La mayoría de los plaguicidas, incluidos los derivados del fósforo y los carbamatos, son susceptibles a la degradación microbiana, lo que hace que su presencia residual desaparezca después de un breve período de tiempo. El tipo de suelo y las transformaciones que puedan sufrir en los diferentes procesos impacta en la acumulación de residuos de plaguicidas; los suelos ricos en arcilla y materia orgánica tienden a retener más residuos que los arenosos. La aplicación de algunos plaguicidas organoclorados presenta el mayor grado de riesgo, ya que son más resistentes a la eliminación y persisten en el suelo por un período prolongado de tiempo. (Tudi et al., 2021).

Los plaguicidas al persistir en el medio ambiente de manera bioacumulable no solo afectan a los animales, sino que afectan toda la cadena alimenticia, llegando a afectar a los seres humanos. Algunos efectos negativos para el ambiente son la pérdida de diversidad biológica, disminución de la fertilidad en las especies, menor equilibrio ecológico, pérdida de hábitat, alteración de ciclos biológicos y la bioacumulación en peces y aves. También se puede encontrar depósitos de plaguicidas en agua subterránea, suelos, agua y sedimentos los cual produce un impacto totalmente desfavorable para los organismos que allí habitan. (Caro, L y Cortes, P, 2020).



2.1.3 Daños a la salud

El daño provocado a la salud por los plaguicidas depende de la exposición, si es aguda o intermitente y del metabolismo de cada persona. Los efectos pueden aparecer de manera instantánea en forma de náuseas, mareos, confusión, diarrea y ansiedad o incluso demorarse años a medida que los químicos se van acumulando en el cuerpo, generando enfermedades neurodegenerativas, cáncer, enfermedades renales, respiratorias, metabólicas y del desarrollo. Además, en mujeres causa abortos, malformación en el feto, alteraciones hormonales, deficiencia en edad fértil.

Las personas más propensas a enfermarse son quienes manipulan los productos, viven cerca o trabajan en zonas agrícolas. A los plaguicidas se les atribuye el 22% de enfermedades que se originan en la población Latinoamericana y el 23% de las muertes. (Castillo, B y Mejía Dueñas, C. 2023).

2.2 NORMATIVA

En Colombia la normativa para el uso plaguicidas es amplia, empezó desde el año 1938, donde se iniciaron con inspecciones y control de comercio de insecticidas pasaron los años y se reglamentó el registro, la venta y aplicación en los años 1963 y 1965. En el año 1991 mediante el decreto 1843 se reglamenta el control y vigilancia epidemiológica en el uso y manejo de plaguicidas, para evitar afectaciones a la salud humana, actualmente es la norma que rige la

producción, procesos, formulación, transporte, distribución, almacenamiento, aplicación aérea de plaguicidas y medidas de protección del ambiente.

A nivel internacional Colombia está sujeta por medio del decreto 2811 de 1974 al Reglamento Sanitario Internacional, el Código Internacional de Conducta para la Distribución y Utilización de plaguicidas de la FAO (Castillo, B y Mejía Dueñas, C. 2023). Además, desde el año 2009 entró en vigencia la Ley 1196 de 2008 donde se aprueba el Convenio de Estocolmo sobre Contaminantes Orgánicos Persistentes, actualmente se han catalogado 17 COP, de los cuales 10 de estos compuestos tienen su propia normativa que prohíbe su uso en Colombia.

Tabla 3.
Contaminantes Orgánicos Persistentes (COP) prohibidos en Colombia

Sustancia COP	Normativa que prohíbe su uso
Endrina o Endrín	Resolución 1849 de 1985
Aldrina o Aldrín	Decreto 305 de 1988
Clordano	Resolución 10255 de 1993
DDT	Resolución 10255 de 1993 Decreto 704 de 1986
Dieldrina o Dieldín	Resolución 10255 de 1993
Heptacloro	Resolución 10255 de 1993
Mírex	Resolución 10255 de 1993
Lindano	Resolución 04166 de 1997
Endosulfán	Resolución 01669 de 1997

Nota. Adaptado de: Subgerencia de protección vegetal. Restricciones, prohibiciones y suspensión de registros de plaguicidas de uso agrícola en Colombia. Instituto Colombiano Agropecuario (ICA). (2021).



En la Tabla 3, se mencionan algunas de las resoluciones y decretos existentes en Colombia, que aún se encuentran vigentes para la prohibición de ciertos Contaminantes Orgánicos Persistentes (COP), compuestos químicos que se usaron con mucha frecuencia ocasionando diversos efectos negativos en la población y medio ambiente.

2.3 BIORREMEDIACIÓN

Es un proceso que consiste en usar microorganismos para degradar contaminantes y compuestos químicos producidos en actividades petroleras, agrícolas, industriales, entre otras. Los contaminantes son transformados en productos o metabolitos más solubles, menos tóxicos, reducidos o en su defecto quedan completamente mineralizados.

Los microorganismos utilizan los contaminantes como fuente de energía para sus reacciones metabólicas. Para que los microorganismos puedan obtener nutrientes de los contaminantes es necesario contar con la presencia de enzimas como hidrolasas, peroxidasas y oxigenasas, éstas actúan como catalizador en las reacciones químicas. (Raffa, C.M y Chiampo, F, 2021).

Para que el proceso de biorremediación se pueda llevar a cabo es necesario que los microorganismos cuenten con factores ambientales óptimos, con temperatura, humedad y pH específico, también es importante tener en cuenta la estructura y la concentración del contaminante para asegurar que las cepas logren con éxito su crecimiento, desarrollo y degradación del pesticida

que se encuentre en el lugar a descontaminar. (Pariona, E, 2022). Algunos microorganismos poseen la capacidad de tolerar factores ambientales extremos, pueden tolerar altas temperaturas, bajos pH, baja humedad, pero no todos al tiempo o más de uno que se presente.

Algunas bacterias usadas con bastante éxito en la degradación de plaguicidas son del género *Aerobacter*, *Actinobacterias*, *Burkholderia*, *Flavobacterium*, *Azotobacter* y *Pseudomonas*. (Yadav, S, Sharma S, 2019).

2.4 FITORREMEDIACIÓN

En este proceso se aprovecha la capacidad de algunas plantas para acumular, absorber, metabolizar, estabilizar o volatilizar diversos contaminantes presentes en el suelo, aire y agua. Como método de descontaminación cuenta con la ventaja de ser económico, eficiente, ecológico y tener beneficios estéticos. Este tipo de procesos es eficiente ya que existe un amplio número de especies que son capaces de neutralizar o remover de manera permanente diferentes tipos de contaminantes en entornos diversos.

Las plantas pueden ser acumuladoras y excluidoras, depende de la tolerancia que tengan sobre el plaguicida. Como acumuladoras, tienen la capacidad de permanecer metabólicamente en equilibrio sobre las concentraciones y el contaminante tiende a acumularse en las partes altas de la planta. Mientras que las excluidoras retienen o transforman el contaminante en sus raíces o zona radicular, limitando el movimiento del plaguicida a sus partes altas, este proceso se lleva a cabo en las vacuolas de la raíz.

La fitorremediación, aunque es una tecnología económica y con gran capacidad de remediación en suelos contaminados por pesticidas, también cuenta con desventajas, la más significativa es el tiempo. Realizar recuperación por medio de plantas es un proceso largo, puede llevar años recuperar un lugar contaminado. Además, puede ocasionar daños a los animales que consuman de la planta que se utiliza para el proceso de descontaminar, ya que al acumular el contaminante se vuelve toxica para la fauna del lugar. (Patel, E y Nainesh, R, 2018).

Existen más de 500 plantas que ejecutan la función remediar suelos, entre las especies de plantas más utilizadas para tratar suelos contaminados por plaguicidas esta la *Zea mays*, *Cucurbita pepo*, *Ricinus communis* y algunas familias como: Laminaceae, Fabaceae, Cyperaceae, Flacourtiaceae. Este tipo de plantas tienden a acumular los plaguicidas de manera eficiente. (Gutiérrez, A, 2022).

3. METODOLOGÍA

Una investigación tal como Hernández et al. (2014) lo define, “es un conjunto de procesos sistemáticos, críticos y empíricos que se aplican al estudio de un fenómeno o problema” (p. 37), por lo tanto, la investigación se encarga de dar dispersión o expansión al problema de estudio, mediante un plan o pasos a seguir.

Con el fin de lograr desarrollar los objetivos propuestos en el presente proyecto y teniendo en cuenta la temática planteada, se escoge aplicar una investigación de tipo descriptivo e

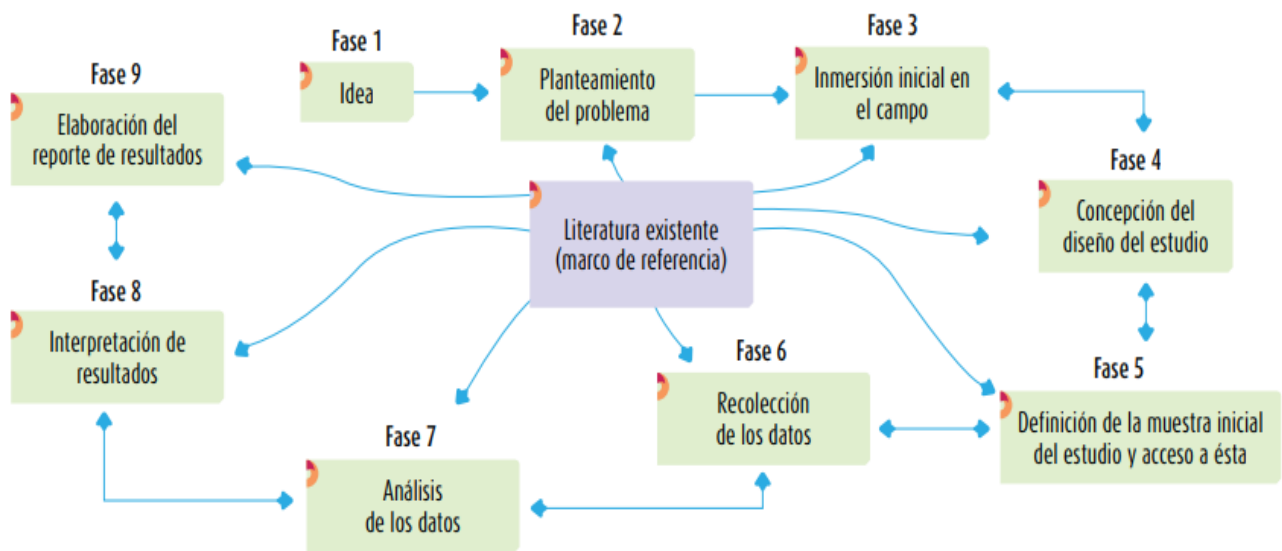
interpretativo, la cual busca examinar, profundizar e interpretar la idea de investigación que se analice.

La investigación se ubicó en el nivel descriptivo e interpretativo dado que se realizó una revisión documental acerca de las especies de bacterias y plantas que se utilizan en el proceso de la remediación en suelos contaminados con plaguicidas, identificando la eficiencia de cada especie, definiendo así que tecnología es más viable utilizar entre la fitorremediación y biorremediación a la hora de tratar un suelo contaminado con plaguicida.

3.1 Enfoque de la investigación

El enfoque de la investigación puede ser de, enfoque cuantitativo o cualitativo, de acuerdo al objetivo que se busca solucionar en la investigación planteada.

Figura 2.
Investigación cualitativa



Nota: La imagen muestra las fases en una investigación cualitativa. Tomada de: Metodología para la investigación, sexta edición. Por Hernández et al. (2014)

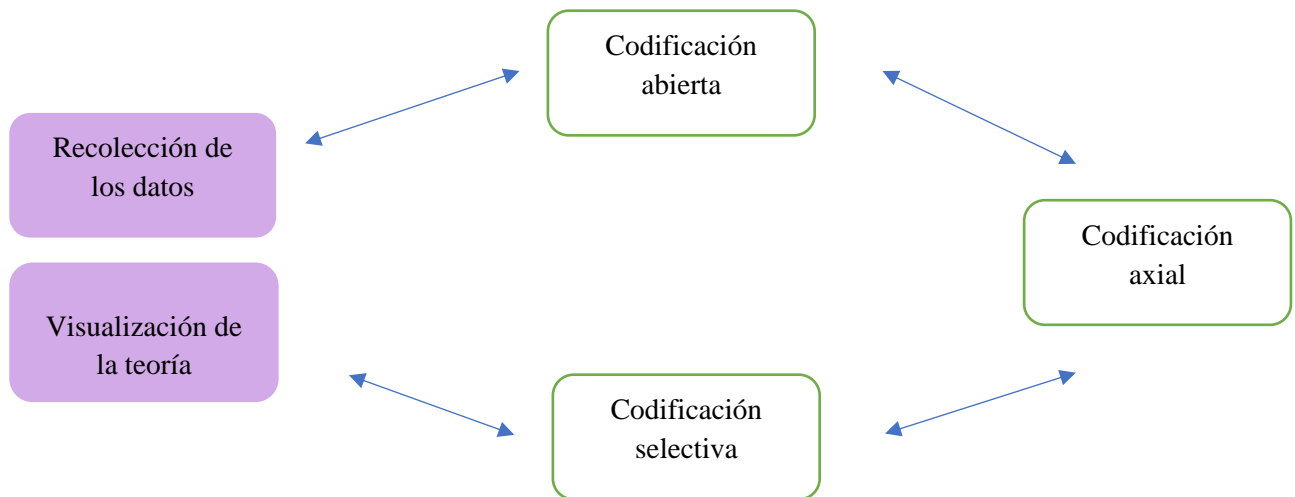
En la figura 2 se observa que la investigación propuesta utiliza una metodología de enfoque cualitativo, puesto que se debe recolectar información de diferentes fuentes, para luego analizar los documentos recolectados, lo que conlleva a estar dentro de la situación, teniendo claro el planteamiento del problema para reunir y evaluar toda la información necesaria para la investigación.

3.2 Diseño de la investigación

En el proceso de diseño sistemático intervienen diversos aspectos como la recolección de datos, codificación abierta, la codificación axial, selectiva y la visualización de la teoría.

Figura 3.

Proceso de un diseño sistemático



Nota: La imagen muestra las fases en una investigación cualitativa. Tomada de: Metodología para la investigación, sexta edición. Por Hernández et al. (2014)

Este proceso sistemático como lo podemos observar en la figura 3, se basa en el procedimiento de Corbin y Strauss, mediante la cual se puede determinar de mejor forma una revisión literaria con la finalidad de obtener los resultados planteados en los objetivos.

3.3 Actividades a desarrollar

A continuación, en la Tabla 4 se presenta cada una de las actividades que se va a desarrollar en el proyecto por cada objetivo específico, de tal manera que se observe con claridad la forma de realización de la investigación y la metodología.

Tabla 4.
Actividades a desarrollar

OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN	ACTIVIDADES POR OBJETIVO
<p>Obj. 1. Establecer las diferentes especies de plantas y bacterias que se utilizan en los procesos de biorremediación y fitorremediación para la recuperación de suelos contaminados.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Revisión documental de estudios, publicaciones, proyectos universitarios y artículos en base de datos como: Springer Open, ScienceDirect, Scopus y algunas otras revistas científicas, que traten la temática Biorremediación y Fitorremediación. • Análisis de la información recolectada en los documentos, que permita identificar factores claves que inciden en el proceso de Biorremediación o Fitorremediación en suelos contaminados con plaguicidas.



Obj. 2. Definir las especies más eficientes para la recuperación de los suelos contaminados por plaguicidas.

- Establecer las especies de bacterias y plantas que logran hacer una remoción de plaguicidas en los suelos contaminados.

- De acuerdo al análisis de los documentos, definir las especies más eficientes y las condiciones que necesitan a la hora de remediar el suelo contaminado con plaguicidas.

Obj. 3. Determinar entre la fitorremediación y la biorremediación que técnica es más eficiente en la recuperación de los suelos contaminados por plaguicidas.

- De los documentos encontrados, determinar entre la Biorremediación y la Fitorremediación que técnica es la más eficiente, teniendo en cuenta el porcentaje de remediación de las especies anteriormente estipuladas.



4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Como consecuencia de la problemática que el uso de sustancias contaminantes está causando en el medio ambiente, científicos e industriales llevaron a cabo ensayos donde comprobaron que algunas bacterias y plantas podían degradar y utilizar dichas sustancias como fuente de carbono y energía. Es así como la remediación mediante organismos vivos ha demostrado ser útil en la reducción de efectos negativos en el ambiente, ocasionados por diferentes tipos de sustancias químicas. (Garzón et al. 2017).

Los beneficios del uso de la biorremediación constan principalmente en reducir la toxicidad ocasionada por los plaguicidas en el ambiente, en animales e incluso en los seres humanos. Adicionalmente, en la mayoría de los casos los microorganismos usados en este tipo de recuperación, cuentan con la capacidad de degradar los metabolitos producidos en el proceso de la degradación del contaminante principal.

Entre las especies utilizadas en biorremediación para suelos contaminados con plaguicidas, Aswathi. A et al., (2019), manifiesta que la cepa *Pseudomona nitroreducens* degrada en un 97% los clorpirifos en un tiempo de 8 horas. La degradación tuvo lugar en condiciones de temperatura a 30 ± 2 °C a unas concentraciones de 50, 100, 500 y 1000 mg/L, lo que demostró que la *P. nitroreducens* posee tolerancia a altas concentraciones del plaguicida, utilizando como fuente de carbono y fuente de energía a los clorpirifos y a sus metabolitos.



Al-Khafaji et al, (2023), demostró que 3 cepas de *Pseudomona mendocina* son altamente eficientes al degradar clorpirifos, Durante el ensayo el pH se ajustó a 7.1 y la temperatura a 25°C con una concentración de 200 µL/L de clopirifos. Las cepas 1,2,3, degradaron en un 97%, 96% y 99% respectivamente. La degradación del plaguicida tuvo una alta efectividad a los 6 días, logrando el 100% de remoción en el día 12. El estudio tuvo por conclusión la alta capacidad que la bacteria tiene al degradar este tipo de contaminante y reafirmo los reportes de otros estudios acerca de la eficiencia de la bacteria *Pseudomona mendocina*.

Por otro parte Pariona. E, (2022), en una revisión exhaustiva determino que las bacterias más usadas en la remediación de suelos contaminados con plaguicidas pertenecen al género *Pseudomona*, *Bacillus*, *Cinetobacter*, *Stenotrophomonas*. Así mismo en su trabajo incluye que Zafar et al., (2018), con el fin de lograr eliminar un plaguicida organoclorado, el endosulfán, por medio de la bacteria *Pseudomona sp.*, lleva a cabo un estudio con 5 lotes, manejando concentraciones de 5, 25, 50 75 y 100 mg/L durante 3 días de exposición, concluye que la bacteria logra degradar el endosulfán entre 70% a 80%.

Adicional, la degradación de organofosforados, Amani et al., (2019) realizo un estudio de cepas bacterianas que tuvieron éxito en la degradación de diazinón y clorpirofos (insecticidas), logrando concluir que las bacterias del género *Acinetobacter* degradan el diazinón en un 88. 27% y los clorpirifos en un 81.07%, mientras que las *Pseudomonas aeruginosa*, obtuvieron una degradación del 82.45% en el diazinón y 88.35% de los clopirifos. Considerando que este tipo de bacterias son efectivas al momento de tartar un suelo contaminado con estos pesticidas.



Además de la especie *Pseudomona sp.*, se evaluaron especies como: *Bacillus cereus* y *Bacillus thuringiensis* a concentraciones de 800 mg/L y 1600 mg/L de plaguicidas organofosforados, arrojando alta eficiencia, manteniendo condiciones adecuadas. Cada especie de bacterias tiene una temperatura y concentración de contaminante determinado para que su proceso de adaptación y crecimiento sea óptimo, y pueda llevarse a cabo la biodegradación del plaguicida.

Teniendo en cuenta lo anterior, la *Pseudomona sp* tiene una eficiencia del 84%, si se trabaja a una temperatura de 28°C, pH de 8 y concentración de 800 mg/L, en 120h de exposición al contaminante. Mientras que *Bacillus thuringiensis* a temperatura de 30°C, pH de 7.2 y a concentración de 100 mg/L, alcanzo una eficiencia de 88.99% durante 48h de exposición. (Valdiviezo, V. 2019).

Ahora bien, respecto a los plaguicidas organoclorados existen bacterias como *Pseudomona sp.* (R-Ps), *Sphingomonas sp.* (R-Sp), *Stenotrophomonas sp.* (R-St), *Bacillus sp.* (R-Ba) y *Arthrobacter sp.* (R-Ar) que realizaron la degradación del pesticida organoclorado ácido 2,4-diclorofenoxiacético (2,4-D). Las condiciones que se propiciaron para la degradación fue pH 7.0 \pm 0.2, en ambiente aeróbico y durante 12 días de exposición. La eficiencia de las bacterias al degradar el organoclorado sigue el orden de *Arthrobacter sp.* 89.2% > *Sphingomonas sp.* 85.1% > *Pseudomonas sp.* 83.3% > *Bacillus sp.* 80.1% > *Stenotrophomonas* 72.4%.

Otra bacteria a la que se le atribuye la biodegradación de una amplia gama de plaguicidas es a la *Pseudomona aeruginosa*, en el caso de los organoclorados es capaz de degradar el diuron, utilizando este plaguicida como fuente de carbono y a su metabolito 3,4-dicloroanilina (3,4-DCA). (Hu et al. 2023).

En cuanto a la biorremediación, es amplia la cantidad de bacterias que son eficientes para tatar suelos contaminados con plaguicidas, es por eso que se busca definir las bacterias más eficientes para esta remediación. Por lo cual en la Tabla 5 se presenta las bacterias que cuentan con la capacidad de degradar distintos plaguicidas.

Tabla 5.
Especies de bacterias que degradan plaguicidas

Compuestos Organofosforados					
Nombre del plaguicida	Tipo de plaguicida	Bacteria que degrada el plaguicida	Condiciones físicas para la biodegradación	Tiempo.	Eficiencia en porcentaje
Clorpirifos	Insecticida	<i>Acinetobarcter oivarus</i>	T: 28°C pH: 7.40 C: 100 mg/L	20 días	82.45%
		<i>Bacillus subtilis</i>	T: 37°C pH: 8 C: --	5 días	85%
		<i>Klebsiella sp.</i>	T: 37°C pH: 7.6 ± 0.2 C: 100 mg/L	21 días	82.38%

USO DE LA FITORREMEDIACIÓN Y BIORREMEDIACIÓN COMO TÉCNICAS PARA LA RECUPERACIÓN DE SUELOS CONTAMINADOS CON PLAGUICIDAS

		<i>Pseudomona nitroreducens</i>	T: 30 ± 2 ° C: 50-1000 mg/L	8 horas	97%
		<i>Pseudomonas aeruginosa</i>	T: 28°C pH: 7.40 C: 100 mg/L	20 días	88.35%
		<i>Pseudomona mendocina</i>	T: 25°C pH: 7.1 C: 120 µg/mL	6 días	97%
Lorsban 480	Insecticida	<i>Pseudomona sp.</i>			72.32%
		<i>Bacillus cereus</i>	T: 27°C pH: --- C: 800 mg/L	3 días	96.54%
		<i>Bacillus thuringiensis</i>			75.24%
Quinalfos	Insecticida	<i>Pantoea agglomerans</i>	T: 30°C pH: 7.02 C: 100 mg/L	15 días	99%
		<i>Acinetobacter sp.</i>	T: 30°C pH: 7.02 C: 200 mg/L	15 días	80%
		<i>Bacillus sp.</i>	T: 30°C pH: 7.02 C: 200 mg/L	15 días	76%
Diazinón	Insecticida	<i>Acinetobarcter olivarius</i>	T: 28°C pH: 7.4 C: 50 mg/L	20 días	88,27%
		<i>Pseudomonas aeruginosa</i>	T: 28°C pH: 7.40 C: 50 mg/L	20 días	81.07%
		<i>Stenotrophomonas acidaminophila</i>	T: 37°C pH: 8 C: --	24 días	100%

Forato	Insecticida y acaricida	<i>Bacillus aerophilus</i>	T: 37 ± 1°C	13 días	> 85%
		<i>Pseudomona fulva</i>	pH: 7.2 C: 200 mg/kg		
Monocrotofós	Insecticida	<i>Pseudomonas aeruginosa</i>	T: 36±1°C	3 días	90% al 100%
		<i>Enterobacter loacae</i>	pH: 7 – 7.2 C: 200 mg/L		
		<i>Klebsiella oxytoca</i>			
		<i>Bacillus sp.</i>	T: 30°C pH: 7.02 C: 200 mg/L		
Malantión	Insecticida	<i>Bacillus lincheniformis</i>	T: 60°C pH: 7 C: --	5 días	78%
		<i>Serratia marcescens</i>	T: 30°C pH: 7.02 C: 62,98 mg/L	—————	87% al 90.31 %
		<i>Stenotrophomonas maltophilia</i>	T: 28°C pH: 7 C: 130 mg/kg	—————	98%

Compuestos Organoclorados

Nombre del plaguicida	Tipo de plaguicida	Bacteria que degrada el plaguicida	Condiciones físicas para la biodegradación	Tiempo.	Eficiencia en porcentaje
Aldrín	Insecticida	<i>Stenotrophomonas maltophilia</i>	T: 28°C pH: 7 C: 130 mg/kg	—————	80.17%
		<i>Pseudomona fluorescens</i>	T: 25°C	3 días	43.2%



USO DE LA FITORREMEDIACIÓN Y BIORREMEDIACIÓN COMO
TÉCNICAS PARA LA RECUPERACIÓN DE SUELOS CONTAMINADOS
CON PLAGUICIDAS

		<i>Flavobacterium sp.</i>	pH: --		27.0%
		<i>Bacillus polymyxa</i>	C: 0,2 mg/L		48.2%
Clorotalonil	Fungicida	<i>Enterobacter cloacae</i>	T: 30°C		
		<i>Ochrobactrum anthropi</i>	pH: ---		
		<i>Pseudomonas aeruginosas</i>	C: 20 mg/L	7 días	_____
DDT	Insecticida	<i>Chryseobacterium sp.</i>	T: 28°C		
			pH: --		
			C: 50 mg/L	30 días	80% al 98%
		<i>Serratia marcescens</i>	T: 28°C		
			pH: --		
			C: 50 mg/L	5 días	100%
		<i>Rhodococcus wratislaviensis</i>	T: 28°C		
			pH: --		
			C: 200 mg/L	5 días	41,7%
2,4-D: Ácido 2,4- diclorofenoxia cético	Herbicida	<i>Sphingomonas sp</i>			93.9%
		<i>Stenotrophomonas sp.</i>	T: 30°C		89.2%
		<i>Bacillus sp.</i>	pH: 7.0 ± 0.2		
			C: 100 mg/L	12 días	89.3%
		<i>Arthobacter sp.</i>			94,4%
		<i>Pseudomona sp.</i>			93%
Endosulfán	Insecticida y acaricida	<i>Pseudomonas sp.</i>	T: 28°C		
			pH: 7		
			C: 100 mg/L	5 días	80%
		<i>Bacillus safensis</i>	T: 25°C		62%
		<i>Bacillus subtilis</i>	pH: 7.5	30 días	95%

		<i>Bacillus cerus</i>	C: ---		70%
Fipronil	Insecticida	<i>Bacillus sp.</i>	T: 32°C pH: 7 C: 50 mg/L	15 días	77.5%
Lindano	Insecticida	<i>Stenotrophomonas maltophilia</i>	T: 28°C pH: 7 C: 130 mg/kg	_____	97%
		<i>Thermobifida cellulosilytica</i>	T: 37°C pH: 7.5 C: 1. 55 mg/L 2. 155 mg/L		1. 97% 2. 78%
		<i>Thermobifida halotolerans</i>	T: 35°C pH: 7.5 C: 1. 55 mg/L 2. 255 mg/L	30 días	1. 80% 2. 75%
		<i>Streptomyces coelicolor</i>	T: 30°C pH: 7.5 C: 1. 55 mg/L 2. 155 mg/L		1. 81% 2. 73%

Otros

Nombre del plaguicida	Tipo de plaguicida	Bacteria degrada plaguicida	que el	Condiciones físicas para la biodegradación	Tiempo.	Eficiencia en porcentaje
Pendimetalina	Herbicida, de la clase de dinitroanilina	<i>Bacillus cerus</i>		T: 30°C pH: 7 C: 500 mg/L	28 días	81.6%
		<i>Anasaccharospora irregularis</i>				84.4%
		<i>Bacillus safensis</i>				91%
		<i>Bacillus subtilis</i>		T: 25°C pH: 7.5	30 días	91%
		<i>Bacillus cerus</i>		C: ---		89%

Nota: Especies representativas en la biorremediación de suelos contaminados con plaguicidas. T= Temperatura, C= Concentración.



La tabla 5 refleja el porcentaje de acuerdo a la degradación de los plaguicidas. La eficiencia de la degradación depende de factores como, el pH, la concentración del contaminante y la temperatura, además influyen también algunos otros factores como, la estructura del compuesto, la humedad, el tipo de suelo que se va a recuperar y el contenido de materia orgánica. Estos elementos pueden influir decisivamente en la biodegradación del contaminante, aun cuando, existen microorganismos resistentes a factores ambientales extremos como altas temperaturas o bajos pH, no hay posibilidad de que los organismos resistan al tiempo dos factores ambientales extremos.

Durante la minuciosa revisión se logró determinar una gran cantidad de bacterias utilizadas para la biorremediación de suelos contaminados con plaguicidas, como se puede observar en la tabla 5 y en base a la información recolectada se puede definir que las especies más eficientes son las bacterias pertenecientes al género *Pseudomona*, *Bacillus* y *Stenotrophomonas*.

Las especies pertenecientes al género *Pseudomona* son las más destacadas en la literatura, ya que en diversos estudios han demostrado su capacidad de degradar plaguicidas, sobre todo los organofosforados, y la resistencia que tiene frente a ambientes adversos, agresivos e inestables. Las *Pseudomonas* y otras bacterias eficientes para la degradación de plaguicidas tienen la capacidad de utilizar los compuestos como fuente de carbono y de energía, lo que resulta eficiente a la hora de realizar un proceso de biorremediación.

En función del tipo de plaguicida se tiene que las bacterias más eficientes son:

En los organofosforados:

- Clorpirifos: *Pseudomona nitroreducens* (97%)
Pseudomona mendocina (97%)
Bacillus subtilis (85%)
- Lorsban: *Bacillus cerus* (96.54%)
- Quinalfos: *Pantoea aglomerans* (100%)
- Diazinon: *Stenotrophomonas acidaminophila* (100%)
- Monocrofos: *Pseudomona aeruginosa* (90% al 100%)
Enterobacter loaceae (90% al 100%)
Klebsiella oxytoca (90% al 100%)
- Malantion: *Stenotrophomonas maltophilia* (98%)
Serratia marcenses (87% al 90.31%)

En los organoclorados:

- Aldrín: *Stenotrophomonas maltophilia* (80.17%)
- DDT: *Chryseobacterium* sp. (80% al 98%)
Serratia marcenses (100%)
- Ácido 2,4-diclorofenoxiacético: *Arthobacter* sp. (94.4%)
Pseudomona sp. (93.3%)
Sphingomonas sp (93%)
Bacillus sp. (89.3%)
Stenotrophomonas sp. (89.2%)

- Endosulfán: *Bacillus subtilis* (95%)
- Lindano: *Stenotrophomonas maltophilia* (97%)

Thermobifida cellulosilytica (97%)

Otros:

- Pendimetalina: *Bacillus safensis* (91%)
Bacillus subtilis (91%)
Ansaccharospora irregularis (89%)
Bacillus cerus (84.4%)

Entre los procesos de remediación, el uso de plantas para la recuperación de áreas contaminadas por plaguicidas también muestra un buen grado de efectividad. En este caso la fitorremediación en el suelo, al igual que en el caso de la biorremediación, depende de los factores como el pH, temperatura, concentración del contaminante y el tipo de suelo.

La fitorremediación es una tecnología que usa la habilidad de algunas plantas para la inmovilización, extracción o destrucción de contaminantes peligrosos, como los metales pesados, hidrocarburos y plaguicidas. La desventaja más notable en este proceso es el tiempo, ya que la fitorremediación es un proceso que puede demorar incluso años y existe la posibilidad que el sitio contaminado no sea remediado en su totalidad. (Patel, E y Nainesh, R, 2018).

Dentro del proceso de fitorremediación encontramos 5 procesos:

1. **Fitoextracción:** Consta en que las plantas recolectan los contaminantes en sus raíces, hojas, frutos y corteza. En este proceso, se generan biomásas contaminada la cual se maneja de diferentes maneras, mediante compostaje, pirólisis, extracción de líquidos, entre otros procesos más.
2. **Fitodegradación:** Las plantas transforman los contaminantes orgánicos a través de sus actividades metabólicas, en moléculas más simples que le pueden servir incluso a la planta para su crecimiento
3. **Fitotransformación:** Las habilidades de la planta provoca la inmovilización y reducción e inactivación del contaminante.
4. **Fitovolatilización:** Los contaminantes son adsorbidos por la planta y se acumulan en la parte alta (hojas), donde son transpiradas en formas volátiles y son contaminantes menos dañinos.
5. **Rizofiltración:** Las raíces de las plantas filtran los contaminantes, esta técnica es más utilizada para descontaminar aguas, ya que se realiza en un medio hídrico y la planta se cultiva de manera hidropónica. (Kaur, R et al, 2021).

En la fitorremediación de suelos contaminados con plaguicidas de acuerdo al estudio realizado por Mamirova et al. (2022), propone como candidato un árbol frondoso, la *Paulownia tomentosa*, mediante un ensayo de degradación que tuvo desarrollo durante un año, en un suelo con pH de 7.48 ± 0.4 . Esta especie de árbol es capaz de degradar suelos contaminados con plaguicidas, incluso cuando la contaminación es una combinación de compuestos orgánicos persistentes (COP). La *Paulownia tomentosa* extrae los contaminantes del suelo y se acumula en

las raíces, hojas y tallos. También es resistente a diversas condiciones climáticas, como temperaturas que van desde los -20°C hasta los 40°C .

Un estudio realizado por Gao et al. (2023), con *Vulpia myuros*, una especie de planta herbácea, en la degradación de glifosato durante 30 días de exposición al contaminante, con una temperatura de 25°C y una concentración de 50 a $2000\ \mu\text{g/ml}$, la *Vulpia myuros* degradó entre un 74% a 99.3% del plaguicida, e incluso redujo el metabolito que se produjo, el AMP (ácido aminometilfosfórico), el cual se acumuló en las raíces y hojas de la planta. El 80% del plaguicida se degradó por medio de la transpiración.

La fitorremediación por medio de plantas acumuladoras se ha utilizado para la remediación de suelos contaminados con plaguicidas, Corrêa, N et al. (2018) realizó un ensayo de fitorremediación para de restauración en un terreno que se encontraba en abandono, ya que el suelo estaba contaminado con hexazona y ametrina. Las especies que se utilizaron en el ensayo fue de árboles brasileños, *Calophyllum brasiliense*, *Eremanthus crotonoides*, *Hymenaea courbaril*, *Inga striata* y *Protium heptaphyllum*, la exposición al contaminante fue durante 80 días, y la concentración del contaminante fue de 500 a $1000\ \text{g/ha}$.

Al final las especies que lograron degradar la hexazona y ametrina fueron *Calophyllum brasiliense* con valores de 78.40% y 74.50%, y para *Hymenaea courbaril* los valores de remoción estuvieron en 89.47% y 99.84% respectivamente. Con el resto de las especies, algunas no tuvieron éxito en su crecimiento debido a su sensibilidad ante los contaminantes y murieron.

Aioub, A et al. (2019) realizó una prueba mediante la especie *Plantago major* para la degradación de cipermetrina, un plaguicida de tipo piretroide utilizado para insectos. El experimento se realizó bajo condiciones de un pH de 7.3, una temperatura de 25-27°C y una concentración de 10 µg/g. Luego de 14 días, después de una examinación a las plantas expuestas, se obtuvo por resultado que el plaguicida se acumuló en las raíces y las hojas de la planta en un 90.6 % y 90.7%, respectivamente.

A continuación, en la Tabla 6 se presenta las plantas que cuentan con la capacidad de degradar distintos plaguicidas.

Tabla 6.
Especies de plantas que degradan plaguicidas

Compuestos Organofosforados					
Nombre del plaguicida	Tipo de plaguicida	Plantas que degrada el plaguicida	Condiciones físicas para la biodegradación	Tiempo.	Eficiencia en porcentaje
Glifosato	Herbicida	<i>Medicago savita</i>	T: --	13 días	33%
		<i>Pisum sativum</i>	pH: 5-9 C: 90.18 mg/kg		17%
		<i>Vulpia myuros</i>	T: 25°C pH: 5-9 C: 50 a 2000 µg/mL	30 días	74%r 99.3%h
Terbutilazina	Herbicida	<i>Lolium multiflorum</i>	T: 30±2°C pH: -- C: --	—————	30% al 40 %

Compuestos Organoclorados					
Nombre del plaguicida	Tipo de plaguicida	Planta que degrada el plaguicida	Condiciones físicas para la biodegradación	Tiempo.	Eficiencia en porcentaje
Atrazina	Herbicida	<i>Zea mays</i>			97.2% al 98.6%
		<i>Lolium perenne</i>			96.4% al 99.6%
		<i>Hordeum vulgare.</i>	T: 16-27°C pH: 9.42 C: 10 mg/kg	16 días	96.4% al 99.4%
		<i>Festuca arundinace</i>			88.6% al 96.7%
		<i>Iris versicolor</i>			58.7%
		<i>Andropogon virginicus</i> <i>Panicum virgatum</i>	T: 27-32°C pH: 6.1 C: --	112 días	43.9% 41.9%
DDT	Insecticida	<i>Cucurbita pepo</i>	T: -- pH: -- C: 1,500 µg/kg	—————	—————
		<i>Helianthus annuus</i>	T: -- pH: -- C: 1,500 µg/kg	—————	87%
		<i>Ricinus communis</i>	Cultivo a cielo abierto para simular condiciones reales		95.6% al 99.4%
Diuron	Herbicida	<i>Lupinus albus</i>	T: --		65.08%
		<i>Canavalia ensiformis</i>	pH: 6.2 C: 22,0 g/ha	21 días	96.15%

Imidacloprid	Insecticida	<i>Iris versicolor</i>			62.5%
		<i>Andropogon virginicus</i>	T: 27-32°C pH: 6.1 C: --	112 días	34.5%
		<i>Panicum virgatum</i>			64.3%
Endosulfan	Insecticida y acaracida	<i>Zea mays</i>	T: 29±1 °C		72.8% %
		<i>Vigna sinensis</i>	pH: 8.1	60 días	53.2%
		<i>Cucumis sativus</i>	C: 71,3 mg/kg T: --		21.1%
Lindano	Insecticida	<i>Spinacia oleracea</i>	pH: --		
			C: 5 mg/kg	45 días	81%
			10 mg/kg		76%
			15 mg/kg		69%
		20 mg/kg	61%		
<i>Eucalyptus dunnii</i>		20 años	97.2%		

Otros

Nombre del plaguicida	Tipo de plaguicida	Planta que degrada el plaguicida	Condiciones físicas para la biodegradación	Tiempo.	Eficiencia en porcentaje
Cipermetrina	Insecticida, piretroide clorado	<i>Plantago major</i>	T: 25-27°C pH: 7.3 C: 10 µg/g	14 días	90,6%r 90.7%h
Hexazinona	Herbicida, grupo químico triazina	<i>Lupinus albus</i>	T: --		76%
		<i>Canavalia ensiformis</i>	pH: 6.2 C: 38,2 g/ha	21 días	11.2%
		<i>Calophyllum brasiliense</i>	T: -- pH: 7 C: 1000 g/ha	80 días	78.40%

		<i>Hymenaea courbaril</i>	500 g/ha		99.84%
Tebutiurón	Herbicida, grupo químico de las ureas	<i>Stizolobium aterrimum</i>			17%
		<i>Lupinus albus</i>	_____	21 días	15%
Sulfentrazona	Herbicida, grupo químico triazolona, clorada y fluorada	<i>Canavalia ensiformis</i>	_____	_____	65%
Azoxystrobin	Fungicida, grupo químico estrobilurina	<i>Iris versicolor</i>			86.9%
		<i>Andropogon virginicus</i>	T: 27-32°C pH: 6.1 C: --	112 días	40.8%
		<i>Panicum virgatum</i>			41.9%
		<i>Plantago major</i>	T: --		91.6%
		<i>Helianthus annuus</i>	pH: 7.8 C: 20 mg/kg	14 días	91.15%
Ametrina	Herbicida, grupo químico triazina	<i>Glycine max</i>			91.6%
		<i>Calophyllum brasiliense</i>	T: -- pH: 7 C: 1000 g/ha	80 día	74.50%
			500 g/ha		89.47%

Nota: Especies representativas en la fitorremediación de suelos contaminados con plaguicidas. T= Temperatura, C= Concentración. r= raíces. h= hojas.

El uso de plantas en suelos contaminados por plaguicidas, también presenta cierta efectividad como se demuestra en la tabla 6. Al igual que la biorremediación, para que la fitorremediación pueda desarrollarse, es necesario que el suelo y la planta presenten ciertas condiciones. En el suelo se debe tener en cuenta el tipo de suelo, la concentración, la humedad y



el pH, ya que a medida que el suelo sea más ácido, el tiempo para degradar el plaguicida será mayor, respecto a las plantas que se utilicen para este tipo de remediación se debe tener en cuenta el sistema radicular, que las raíces logren abarcar gran cantidad del suelo, tanto en profundidad como en amplitud.

La fitorremediación es una técnica bastante utilizada en suelos contaminados con herbicidas, de acuerdo a la información recolectada. Las especies más eficientes y nombradas en la literatura hacen parte de las gramíneas y leguminosas. Otras especies bastante eficientes son los árboles leñosos, a pesar de que su eficiencia es mayor al 75% no se utilizan con mucha frecuencia debido a que su remediación puede tardar años y en cuestión de tiempo no es muy viable, pues muchas veces no se cuenta con el tiempo para dicha remediación.

Por otra parte, aunque las leguminosas demuestren ser muy eficientes para realizar la remediación mediante la fitoextracción, este tipo de técnica generan bastante biomasa, ya que la mayoría del contaminante adsorbido se almacena en sus raíces y en hojas, y muy rara vez es eliminado por transpiración de la planta. Este tipo de biomasa contaminada causa otro problema que se debe manejar de una forma distinta, ya sea por compostaje, pirólisis, extracción de líquidos, entre otros.

De acuerdo al tipo de plaguicida se tiene que las plantas más eficientes son:

En los organofosforados:

- Glifosato: *Vulpia myuros* (74% en raíces y 99.35% en hojas)

En los organoclorados:

- Atrazina: *Zea mays* (97.2% al 98.6%)
Lolium preenne (96.4% al 99.6%)
Hordeum vulgare (96.4% al 99.4%)
Festuca arundinace (88.6% al 96.7%)
- DDT: *Helianthus annuus* (87%)
Ricinus communis (95.6% al 99.4%)
- Diuron: *Canavalia ensiformis* (96.15%)
- Lindano: *Spinacia oleracea* (81%)
Eucalyptus dunnii (97.2%)

Otros:

- Cipermetrina: *Plantago major* (90.6% en raíces y 90.7% en hojas)
- Hexazinona: *Hymenaea courbaril* (99.84%)
Calophyllum brasiliense (99.84%)
- Azoxystrobin: *Plantago major* (91.6%)
Iris versicolor (86.9%)
Helianthus annuus. (91.15%)
Glycine max (91.6%)
- Ametrina: *Calophyllum brasiliense* (89.47%)



5. CONCLUSIONES

La biorremediación y la fitorremediación son técnicas eficientes para mitigar y remediar los posibles efectos negativos que puedan generar los plaguicidas en los suelos y a nivel biológico. Actualmente este tipo de técnicas ha ido incrementando su uso, ya que en comparación a otras tecnologías resultan ser de bajo costo y gran eficiencia.

A lo largo de este trabajo, se identificaron especies con un grado de eficiencia alto para degradar cierto tipo de plaguicidas. Las especies de bacterias más utilizadas en las diferentes investigaciones y teniendo en cuenta su alto porcentaje de remediación, son de género *Pseudomona*, *Bacillus* y *Stenotrophomonas*. En cuanto a las plantas, las más destacadas fueron las especies *Zea mays*, *Plantago major*, *Heliantus annus* y árboles leñosos.

Teniendo en cuenta la revisión documental, la efectividad de remoción de plaguicidas en el suelo usando biorremediación o fitorremediación es mayor al 80%, por lo tanto, se concluye que las dos son alternativas viables para ser implementadas a la hora de remediar suelos contaminados con plaguicidas y generar suelos muy productivos.

Comparando las técnicas de biorremediación y fitorremediación en la descontaminación de suelos, es más práctico utilizar la biorremediación para la degradación de plaguicidas, ya que el tiempo de duración del proceso de biorremediación es aproximadamente de 8 horas, debido al mecanismo de los microorganismos para dar lugar a nuevos compuestos de menor toxicidad e

incluso generando compuestos inactivos, mientras que en el proceso de fitorremediación la duración es mínimo de 14 días.

Además, otro beneficio en la biorremediación es que no se generan grandes cantidades de biomasa, como sucede con la fitorremediación, donde se genera otro problema al tener biomasa contaminada, el cual se puede biomagnificar si el tipo de planta ingresa en la cadena trófica, convirtiéndose en un peligro para los animales e incluso para los seres humanos.



6. RECOMENDACIONES

Debido a que la agricultura es de las pocas actividades donde se descargan deliberadamente en el medio ambiente productos químicos para acabar con algunas formas de vida que ponen en riesgo el éxito de los cultivos, se recomienda minimizar el uso de plaguicidas y reemplazarlas por técnicas más amigables con el medio ambiente, como lo son la alelopatía o el control biológico con especies nativas.

Aunque existan abundantes investigaciones respecto a la biorremediación, es necesario que se generen publicaciones de trabajos realizados de forma *ex situ*, ya que la mayoría de ensayos para determinar la eficiencia de los microorganismos se ha realizado y reportado a nivel de laboratorio y no en condiciones de campo.

Por otra parte, hasta el momento han sido pocas las especies de plantas que se han reportado en el uso de fitorremediación, es necesario realizar más investigación y publicaciones acerca de nuevas especies de plantas que puedan realizar este proceso de remediación en suelos contaminados con plaguicidas.



REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Acuña, v. Céspedes, J. (2021). Evaluación de las especies fitorremediadoras aplicadas en suelos agrícolas contaminados con pesticidas (Tesis de Ingeniería Ambiental). Universidad César Vallejo, Perú.
- Ahmed, A. Abdelbagi, A. Hammad, M. Elsheikh, A. Elsaid, O. Hur, J. (2017). Biodegradation of endosulfan and pendimethalin by three strains of bacteria isolated from pesticides-polluted soils in the Sudan. *Applied Biological Chemistry*, Vol 60, N°3 (pp. 287-297). DOI: <https://doi.org/10.1007/s13765-017-0281-0>
- Aioub, A. Li, Y. Qie, X. Xiang, X. Hu, Z. (2019). Reduction of soil contaminant by cypermethrin using phytoremediation with *Plantago major* and some surfactants. *Environmental Sciences Europe*, Vol 31, Article 26. DOI: <https://doi.org/10.1186/s12302-019-0210-4>
- Al-Khafaji, Z. Hashim, H. Nasser, M. Dabbi, M. (2023). The efficiency of *Pseudomonas mendocina* in biodegradation of chlorpyrifos insecticides. *Latin American Journal of Biotechnology and Life Sciences*, Vol 8, N° 1. DOI: [10.21931/RB/CSS/S2023.08.01.42](https://doi.org/10.21931/RB/CSS/S2023.08.01.42)
- Amani, F. Safari, A. Ebrahimi, F. Nazarian, S. (2019). Biodegradation of chlorpyrifos and diazinon organophosphates by two bacteria isolated from contaminated agricultural soils. *Biological Journal of Microorganism*, Vol. 7, N°28, (pp. 27-39). DOI: [10.22108/bjm.2017.105946.1079](https://doi.org/10.22108/bjm.2017.105946.1079)
- Archana, C. Saharan, N. Rathore, G. Srivastava, P. Rani, B. Pandey, P. K. (2018). Isolation and characterization of potential pendimethalin degrading bacteria from pesticides polluted soil. *Journal of Entomology and Zoology Studies*, Vol. 6(4), (pp.1842-1848). Recuperado de https://www.researchgate.net/publication/327744881_Isolation_and_characterization_of_potential_pendimethalin_degrading_bacteria_from_pesticides_polluted_soil
- Aswathi, A. Pandey, A. Sukumaran, R. (2019). Rapid degradation of the organophosphate pesticide – Chlorpyrifos by a novel strain of *Pseudomonas nitroreducens* AR-3. *Bioresource Technology*, Vol 291. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2019.122025>.
- Barroso, G. Dos Santos, E. Pires F. Galon, L. Cabral, C. Barbosa, J. (2023): Phytoremediation: A green and low-cost technology to remediate herbicides in the environment. *Chemosphere*, Vol 334. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2023.138943>



- Bhatt, P. Sharmaa, A. René, E. Kumar, A. Zhang, W. Chen, S (2021). Bioremediation of fipronil using *Bacillus* sp. FA3: Mechanism, kinetics, and resource recovery potential for contaminated environments. *Journal of Water Process Engineering*, Vol 39. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jwpe.2020.101712>
- Caro, L. Cortes, P. (2020). Estado del arte de los efectos de los plaguicidas de uso agrícola para la salud y el medio ambiente en Colombia (Tesis de especialista en educación y gestión ambiental). Universidad Distrital Francisco José de Caldas, Colombia.
- Castillo, B. Mejía Dueñas, C. (30 de junio 2023). Exposición a plaguicidas en Latinoamérica. Revisión Bibliográfica. *Revista científica forenses Honduras* 2023;9(1):14-15. DOI: <https://doi.org/10.5377/rcfh.v9i1.16389>
- Corrêa, N. Martins, V. Viera, F. Barbalho, B. Vidal, V. Okumura, F. Ferreira, M. Barbosa, J. (2018). Phytoremediation of Brazilian tree species in soil contaminated by herbicides. *Environmental Science and Pollution Research*, Vol 25, (pp. 27561–27568). DOI: <https://doi.org/10.1007/s11356-018-2798-0>
- Dooloktkeldiieva, T. Konurbaeva, M. Bobusheva, S. (2017). Microbial communities in pesticide-contaminated soils in Kyrgyzstan and bioremediation possibilities. *Environ Sci Pollut Res Int*.Nov;25(32). DOI: [10.1007/s11356-017-0048-5](https://doi.org/10.1007/s11356-017-0048-5)
- Dubey, R. Tripathi, V. Singh, N. Abhilash, P.C. (2014). Phytoextraction and dissipation of lindane by *Spinacia oleracea* L. *Ecotoxicology and Environmental Safe*, Vol 109, (pp. 22-26). DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.ecoenv.2014.07.036>
- Egorova, D. Farafonova, V. Shestakova, E. Andreyev, D. Maksimov, A. Vasyanin, A. Buzmakov, S. Plotnikova, E. (2017). Bioremediation of soil contaminated Dichlorodiphenyltrichloroethane with the use of aerobic strain *Rhodococcus wratislaviensis* Ch628. *Eurasian Soil Science*, Vol 50, (pp. 1217-1224). DOI: <https://doi.org/10.1134/S1064229317100015>
- Estrada-Gamboa, J., Umaña-Castro, R., Sancho-Blanco, C., Orozco-Aceves, M. (2023). Isolation, identification, and characterization of bacterial strains with potential for degradation of the pesticides chlorothalonil and chlorpyrifos. *Uniciencia*, 37(1), (pp.1-16). DOI: <https://doi.org/10.15359/ru.37-1.26>



- Gao, W. Zhang, Y. Lin, M. Mao, J. Xing, B. Li, Y. Hou, R. (2023). Capability of phytoremediation of glyphosate in the environment by *Vulpia myuros*. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, Vol 265. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2023.115511>
- García, D. (2022). Remediación sostenible de sitios contaminados con pesticidas mediante el uso de la biodegradación: Revisión sistemática (Tesis para Ingeniería Ambiental). Universidad César Vallejo, Perú.
- Garzón, J. Rodríguez, J. Hernández, C. (2017). Aporte de la biorremediación para desarrollar problemas de contaminación y su relación con el desarrollo sostenible. *Revista Universidad y Salud*, Vol 19, (pp. 309-318). DOI: <http://dx.doi.org/10.22267/rus.171902.93>
- González, P. (2019). Función toxica de los ingredientes activos con Clasificación toxicológica Ia e Ib. Biblioteca del Congreso Nacional de Chile/BCN | Asesoría Técnica Parlamentaria. Recuperado de https://www.bcn.cl/asesoriasparlamentarias/detalle_documento.html?id=74736
- Gotelli, M.J. Lo Balbo, A. Caballero, G.M. Gotelli, C.A. (2020). Hexachlorocyclohexane phytoremediation using *Eucalyptus dunnii* of a contaminated site in Argentina, *International Journal of Phytoremediation*, DOI: <https://doi.org/10.1080/15226514.2020.1736511>
- Gutiérrez, A. (2022). Fitorremediación de un suelo contaminado por glifosato mediante el uso de dos especies de plantas Leguminosas en la provincia del Azuay (Tesis para Ingeniería Ambiental). Universidad Católica de Cuenca-Ecuador.
- Hernández, J. cuervo, R. Montañez, J. Hernandez, N. Pérez, M. Cruz, A. Chaires, L. (2021). Biodegradación de plaguicidas organofosforados y organoclorados por *Candida tropicalis* y *Stenotrophomonas maltophilia* en microcosmos del suelo. *Rev. Int. Contam. Ambiental*, vol.37, 53889. DOI: <https://doi.org/10.20937/rica.53889>
- Hernández, R. Fernández, C. Baptista, M. (2014). Metodología de la investigación, Sexta edición. McGRAW-HILL/INTERAMERICANA EDITORES, S.A DE C.V. ISBN: 978-1-4562-2396-0.
- Huatlla, S. Melendez, M. (2020). Biodegradación de compuestos organofosforados utilizando microorganismos en suelos agrícolas (Tesis para Ingeniería Ambiental). Universidad César VallejoPerú.



- Hu, P. Wang, P. Li, Y. Ling, J. Ruan, Y. Yu, J. Zhag, L. (2023). Bioremediation of environmental organic pollutants by *Pseudomonas aeruginosa*: Mechanisms, methods and challenges. *Environmental Research*, Vol 239, part 1. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.envres.2023.117211>
- Instituto Colombiano Agropecuario. (2022). Registros Nacionales de Plaguicidas. Recuperado de https://www.ica.gov.co/areas/agricola/servicios/agricultura-ecologica-1/documentos/publicacion-bd_rn-rf_-31-mar-2022-1.aspx
- Instituto Colombiano Agropecuario. (2021). Subgerencia de protección vegetal. Restricciones, prohibiciones y suspensión de registros de plaguicidas de uso agrícola en Colombia. Recuperado de <https://www.ica.gov.co/getdoc/b2e5ff99-bd80-45e8-aa7a-e55f0b5b42dc/plaguicidas-prohibidos.aspx>
- Instituto Geográfico Agustín Codazzi. (2016). Las 6 “plagas” que causan la muerte en los suelos colombianos. Recuperado de <https://www.igac.gov.co/es/noticias/las-6-plagas-que-causan-la-muerte-de-los-suelos-colombianos>
- Jaramillo, B. Bermúdez, A. Tirado, I. (2016). Organophosphorus pesticides degrading bacteria present in contaminated soils. *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, volumen 2, N° 3, (pp. 13-22). DOI: <http://dx.doi.org/10.13140/RG.2.2.20023.73126>
- Jariyal, M. Jindal, V. Mandal, K. Gupta, V. Singh, B. (2018). Bioremediation of organophosphorus pesticide phorate in soil by microbial consortia. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, Vol. 159, (pp. 310-316). DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2018.04.063>
- Jhon, E. Varghese, E. Krishnasree, N. Jisha, M.S. (2018). *In situ* Bioremediation of chlorpyrifos by *Klebsiella sp.* Isolated from pesticide contaminated agricultural soil. *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences*, Vol 7, N° 03. ISSN: 2319-7706. DOI: <https://doi.org/10.20546/ijcmas.2018.703.170>
- Kaur, R. Singh, D. Kumari, A. Sharma, G. Rajput, S. Arora, S. Kaur, R. (2021). Pesticide residues degradation strategies in soil and water: a review. *International Journal of Environmental Science and Technology*, Vol 20, (pp. 3537-3560). DOI: <https://doi.org/10.1007/s13762-021-03696-2>



- Legalambietal Ltda. (1997). Resolución 04166. Se prohíbe la importación, fabricación, comercialización y uso de una sustancia química. Recuperado de https://www.maciasabogados.com/archivos/documentos_normatividad/Resolucion04166de1997.488.pdf
- Madera, C. (2020). Fitorremediación: Técnica aplicada a la recuperación de suelos agrícolas contaminados por plaguicidas (Tesis para Químico). Universidad de Córdoba, Montería, Colombia.
- Mamirova, A. Baubekova, A. Pidlisnyuk, V. Shadenova, E. Djansugurova, L. Jurjanz, S. (2022). Phytoremediation of Soil Contaminated by Organochlorine Pesticides and Toxic Trace Elements: Prospects and Limitations of Paulownia tomentosa. *Toxics*, 10, 465. DOI: <https://doi.org/10.3390/>
- Mayanglambam, T. Sharma, P. K. Singh, D. K. L, A. M, J. Mishra, A. K. Rawat, R. T. (2023). Biodegradation of quinalphos by gram-negative bacteria *Pantoea agglomerans* and *Acinetobacter* sp. dcm5A. *Environment Conservation Journal*, 24(2), 373–379. DOI: <https://doi.org/10.36953/ECJ.24132635>
- Mcknight, A. Gannon, T. Yelverton, F. (2021). Phytoremediation potential of three terrestrial plant species for removal of atrazine, azoxystrobin, and imidacloprid. *International Journal of Phytoremediation*, Vol 24, (pp. 187-195). DOI: <https://doi.org/10.1080/15226514.2021.1932724>
- Mendarte, C. Alarcón, A. Ferrera, R. (2021). Fitorremediación: Alternativa biotecnológica para recuperar suelos contaminados con DDT. Una revisión. *Revista Especializada en Ciencias Químico-Biológicas*, Vol 24, (pp. 1-15). DOI: <https://doi.org/10.22201/fesz.23958723e.2021.326>
- Ministerio de Agricultura. (1990). LEGISLACIÓN COLOMBIANA SOBRE INSUMOS AGRICOLAS. Resolución 1849/1985 (pp. 113-114), Decreto 704/1986 (pp. 18-19) y Decreto 305/ 1988 (pp.20-21). Bogotá D.E. Colombia. Recuperado de https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=&ved=2ahUKEwjQwrf5qvaDAxWzTTABHVRPBxcQFnoECAkQAQ&url=https%3A%2F%2Frepository.agrosavia.co%2Fbitstream%2Fhandle%2F20.500.12324%2F30206%2F27737_16910.pdf%3Fsequence%3D1%26isAllowed%3Dy&usq=AOvVaw2dZk --N5F3fd9AYnhXejr&opi=89978449
- Ministerio de Salud. (1993). Resolución 01255 de 9 de diciembre de 1993. Prohibición y restricción de unas sustancias químicas. Colombia. Recuperado de <https://principal.notinet.com.co/pedidos/Rmsps10255.pdf>



- Ministerio de Salud. (1997). Resolución 1669 de mayo 27 de 1997. Por el cual se restringe el uso de una sustancia química. Recuperado de <https://www.minsalud.gov.co/sites/rid/Lists/BibliotecaDigital/RIDE/DE/DIJ/RESOLUCION-1669-de-1997.pdf>
- Organización Mundial de la Salud - OMS. (2022). Residuos de plaguicidas en los alimentos. Recuperado de <https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/pesticide-residues-in-food>
- Palomino, E. (2022). Biorremediación con Hongos y Bacterias en suelo contaminados con Pesticidas 2022: Revisión Sistémica (Tesis de Ingeniería Ambiental). Universidad César Vallejo, Perú.
- Pariona, E. (2022). Biorremediación con Hongos y Bacterias en suelo contaminados con Pesticidas 2022: Revisión Sistémica (Tesis de Ingeniería Ambiental). Universidad César Vallejo, Perú.
- Patel, E. Nainesh, R. (2018). A review of phytoremediation. J Pharmacogn Phytochem, 2018;7(4):1485-1489. Recuperado de <https://www.phytojournal.com/archives?year=2018&vol=7&issue=4&ArticleId=5139>
- Raffa, C.M. Chiampo, F. (2021). Bioremediation of Agricultural Soils Polluted with Pesticides: A Review. Bioengineering 2021, 8(7), 92. DOI: <https://doi.org/10.3390/bioengineering8070092>
- Rodríguez, D. (2018). Capacidad de remoción de compuestos organofosforados por *Serratia marcescens* en suelos contaminados del Distrito de Moche (Tesis para Ingeniería Ambiental). Universidad César Vallejo, Perú.
- Romeh, A.A. (2015). Evaluation of the phytoremediation potential of three plant species for azoxystrobin-contaminated soil. *Int. J. Environ. Sci. Technol*, Vol 12, (pp. 3509–3518). DOI: <https://doi.org/10.1007/s13762-015-0772-7>
- Rosa, V. (2019). USO DE PSEUDOMONAS PARA BIORREMEDIAN SUELOS CONTAMINADOS CON PLAGUICIDAS ORGANOFOSFORADOS (Tesis de Ingeniería Ambiental). Universidad Científica del Sur, Perú.



- Sánchez, V. López, F. Cañizares, P. Rodríguez, L. (2017). Assessing the phytoremediation potential of crop and grass plants for atrazine-spiked soils. *Chemosphere*, Vol 185, (pp. 119-126). DOI: <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2017.07.013>
- Somtrakoon, K. Kruatrachue, M. Lee, H. (2014). Phytoremediation of Endosulfan sulfate contaminated soil by single and mixed plant cultivations. *Water Air Soil Pollut*, Vol 225. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11270-014-1886-0>
- Tarla, D.N.; Erickson, L.E.; Hettiarachchi, G.M.; Amadi, S.I.; Galkaduwa, M.; Davis, L.C.; Nurzhanova, A.; Pidlisnyuk, V. (2020). Phytoremediation and Bioremediation of Pesticide-Contaminated Soil. *Applied Sciences*, Vol 10, 1217. DOI: <https://doi.org/10.3390/app10041217>
- Teófilo, T. Mendes, K. Chaves, B. Oliveira, F. Silva, T. Takeshita, V. Souza, M. Tornisielo, V. Silva, D. (2020). Phytoextraction of diuron, hexazinone, and sulfometuron-methyl from the soil by green manure species. *Chemosphere*, Vol 256, 127059. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2020.127059>
- Tudi, M. Daniel Ruan, H. Wang, L. Lyu, J. Sadler, R. Connell, D. Chu, C. Phung, D.T. (27 January 2021). Agriculture Development, Pesticide Application and Its impact on the Environment. *International Journal of Environmental Research and Public Health* 2021, 18, 1112. DOI: <https://doi.org/10.3390/ijerph18031112>
- Usmani, Z. Kulp, M. Likk, T. (2021). Bioremediation of lindane contaminated soil: Exploring the potential of actinobacterial strains. *Chemosphere*, Vol 278. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2021.130468>
- Valdiviezo, V. (2019). Evaluación de la capacidad de microorganismos edáficos para degradar pesticidas (Tesis de Ingeniería Ambiental en Prevención y Remediación). Universidad de Las Américas, Ecuador.
- Vanitha, T. Suresh, G. Bhandi, M. Reddy, M. Venkata, S. (2023). Microbial degradation organochlorine pesticide: 2,4-Dichlorophenoxy-acetic acid by anoxic and mixed consortium. *Biosource Technology*, vol 382. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2023.129031>
- Yadav, S. Sharma, S. (2019). Pesticides: Problems and Remedial Measure, *Evaluation of Environmental Contaminants and Natural Products: A human Health Perspective*. (94-115). New Delhi, India. Bentham Science Publishers.