



UNIVERSIDAD DE CIENCIAS Y ARTES DE CHIAPAS

SECRETARÍA GENERAL

DIRECCIÓN DE SERVICIOS ESCOLARES

AUTORIZACIÓN DE IMPRESIÓN

Lugar: Tuxtla Gutiérrez.
Fecha: 04 de noviembre de 2024.

C. Virginia Guadalupe Fonseca Sánchez

Pasante del Programa Educativo de: Ingeniería Ambiental

Realizado el análisis y revisión correspondiente a su trabajo recepcional denominado:
Análisis de las Alternativas de Biorremediación para Suelos Contaminados por Plaguicidas
Organoclorados.

En la modalidad de: Informe Técnico

Nos permitimos hacer de su conocimiento que esta Comisión Revisora considera que dicho documento reúne los requisitos y méritos necesarios para que proceda a la impresión correspondiente, y de esta manera se encuentre en condiciones de proceder con el trámite que le permita sustentar su Examen Profesional.

ATENTAMENTE

Revisores

Dr. Juan Antonio Villanueva Hernández

Mtro. Ulises González Vázquez

Dr. José Manuel Gómez Ramos

Firmas:

Ccp. Expediente



**UNIVERSIDAD DE CIENCIAS Y
ARTES DE CHIAPAS**
FACULTAD DE INGENIERÍA
PROGRAMA EDUCATIVO DE INGENIERÍA AMBIENTAL

INFORME TÉCNICO

**ANÁLISIS DE LAS ALTERNATIVAS DE
BIORREMEDIACIÓN PARA SUELOS
CONTAMINADOS POR PLAGUICIDAS
ORGANOCOLORADOS**

**PARA OBTENER EL TÍTULO DE
INGENIERO AMBIENTAL**

**PRESENTA:
VIRGINIA GUADALUPE FONSECA SÁNCHEZ**

**DIRECTOR:
DR. JOSÉ MANUEL GÓMEZ RAMOS**



TUXTLA GUTIÉRREZ, CHIAPAS

NOVIEMBRE 2024

INDICE GENERAL.

CAPITULO I.

I.1. Introducción	5
I.1. Antecedentes	6
I.1.1. Antecedentes nacionales	6
I.1.2. Antecedentes internacionales	6
I.3. Planteamiento del problema	7
I.4. Justificación.....	8

CAPITULO II.

II.1. Objetivos	10
II.1.1. Objetivo general.....	10
II.1.2. Objetivos específicos	10

CAPITULO III.

III.1. Marco Teórico	11
III.1.1. Base teórica	11
III.1.1.1. Suelos	11
III.1.1.2. Plaguicidas	12
III.1.1.3. Efectos de los plaguicidas	23
III.1.1.4. Biorremediación	24
III.1.2. Base legal	27
III.1.2.1. Convenio de Estocolmo	27
III.1.2.2. Convenio de Rotterdam	27
III.1.2.3. Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos	27
III.1.2.4. Ley General de Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente	28
III.1.2.5. Ley Federal de Responsabilidad Ambiental	28
III.1.2.6. Ley de Desarrollo Forestal	28
III.1.2.7. Ley de Desarrollo Sustentable Rural	28

CAPITULO IV.

IV.1. Metodología	29
IV.1.1. Tipo de investigación	29
IV.1.2. Diseño de investigación	29
IV.1.3. Búsqueda de información	30
IV.1.4. Captura de información	30
IV.1.5. Separar las diferentes alternativas de biorremediación	31
IV.1.6. Análisis de la información	31

CAPITULO V.

V.1. Resultados	32
-----------------------	----

CAPITULO VI.

VI.1. Conclusión	44
VI.2. Referencias bibliográficas	45
VI.3. Anexos	50

Índice de gráficos.

Gráfico 1. Composición del suelo.	11
Gráfico 2. No. de investigaciones enfocadas en la biorremediación de suelos contaminados por plaguicidas durante el periodo 2011-2021	32
Gráfico 3. Grupo de plaguicidas encontrados en las investigaciones durante el periodo 2011-2021	35
Gráfico 4. Métodos de biorremediación encontrados en las investigaciones durante el periodo 2011-2021	36
Gráfico 5. Insecticidas organoclorados encontrados en las investigaciones durante el periodo 2011-2021.	37
Gráfico 6. Métodos de biorremediación encontrados en las investigaciones del periodo 2011-2021 enfocado en los suelos contaminados por organoclorados	37

Índice de tablas.

Tabla 1. Clasificación de plaguicidas según su concentración	12
Tabla 2. Clasificación de plaguicidas según su composición química	12
Tabla 3. Clasificación de plaguicidas de acuerdo al uso que se le destina	12
Tabla 4. Clasificación de plaguicidas según el organismo que controla	13
Tabla 5. Clasificación de plaguicidas según su modo de acción	13
Tabla 6. Clasificación de los plaguicidas según su formulación.....	13
Tabla 7. Clasificación de los plaguicidas según su vida útil media de efectividad.	14
Tabla 8. Palabras claves	29
Tabla 9. Bases de datos	30
Tabla 10. Criterios de inclusión	30
Tabla 11. Documentos encontrados de las alternativas de biorremediación en suelos contaminados por plaguicidas	32
Tabla 12. Ventajas y desventajas de las alternativas de biorremediación	39

Índice de figuras.

Fig 1. Estructura química de algunos plaguicidas organofosforados	15
Fig 2. Estructura química de algunos carbamatos	16

Fig 3. Estructura química de algunos piretroides y piretrinas	17
Fig 4. Estructura química del insecticida aldrín	17
Fig 5. Estructura química del insecticida dieldrín	18
Fig 6. Estructura química del insecticida endrín	18
Fig 7. Estructura química del insecticida heptacloro	19
Fig 8. Estructura química del insecticida heptacloro	19
Fig 9. Estructura química del insecticida hexaclorobenceno	20
Fig 10. Estructura química del insecticida DDT	20
Fig 11. Estructura química del insecticida dicofol	21
Fig 12. Estructura química del insecticida endosulfan	21
Fig 13. Estructura química del insecticida lindano	22
Fig 14. Estructura química del insecticida toxafeno	22
Fig 15. Diferentes vías de ingreso de los plaguicidas al suelo	23
Fig 16. Las interacciones del plaguicida en el suelo determinan su evolución	24

Índice de fórmulas.

Formula molecular del insecticida aldrín	17
Formula molecular del insecticida dieldrín	18
Formula molecular del insecticida endrín	18
Formula molecular del insecticida heptacloro	19
Formula molecular del insecticida clordano	19
Formula molecular del insecticida hexaclobenceno	20
Formula molecular del insecticida ddt	20
Formula molecular del insecticida dicofol	21
Formula molecular del insecticida endosulfan	21
Formula molecular del insecticida lindano	22
Formula molecular del insecticida toxafeno	22

Índice de mapas.

Mapa 1. Métodos de biorremediación utilizados durante el periodo 2011-2021	43
--	----

CAPITULO I.

I.1. INTRODUCCIÓN.

La presente investigación busca analizar las alternativas de biorremediación que se han aplicado en los últimos diez años a nivel nacional en suelos contaminados por plaguicidas organoclorados. A partir de ello se sabe que la biorremediación consiste en utilizar microorganismos, hongos, plantas o enzimas que tienen la capacidad de recuperar un suelo contaminado [1]. Pero por que los suelos necesitan ser recuperados, dado a que es un recurso natural fundamental para la vida del ser humano y el planeta que se ha visto afectado por diversos factores una de ellas es el uso intensivo de plaguicidas una sustancia que está destinada a controlar las plagas que atacan a los cultivos [2].

Con la alta demanda de alimentos hubo cambios en la forma de producir y consumir por lo que hubo la necesidad de hacer uso de productos químicos para alcanzar mayores rendimientos y de esa manera solventar a la humanidad [3]. Lo que no se sabe es que causan estos plaguicidas cuando se incorporan al suelo más si son del grupo de los organoclorados son conocidos como contaminantes persistentes, debido a la alta persistencia que tienen en el medio, ya que dilatan muchos años en poder degradarse del todo del suelo trayendo como consecuencia un suelo pobre en nutrientes, desertificado además de que ya no es apto para seguir cultivando.

Este análisis se basará de los plaguicidas organoclorados un grupo que fue prohibido y restringido en 1970 en países industrializados mientras que en México en 1991 aunque han sido descontinuados, es necesario mencionar que aún se sigue haciendo uso de manera clandestina y gran parte de su contenido químico aún se encuentra en los suelos, provocando su continuo agotamiento biogeoquímico [4;5]. Socialmente, se busca generar conciencia y que se logre un cambio de panorama, en donde los agricultores, propongan dentro de sus prácticas agrícolas, implementar la biorremediación como una alternativa favorable para la salud de los suelos.

En el marco teórico se incluirán antecedentes internacionales y nacionales relacionados con el tema de investigación también los conceptos teóricos en los que se incluye la generalidad de los plaguicidas dando un enfoque a los plaguicidas organoclorados, los métodos de biorremediación que existen y las técnicas que puedan aplicarse, ya sea de manera in situ y ex situ.

La metodología que se utilizará en este trabajo abarcará tres fases, búsqueda, recopilación y análisis de la información. La información requerida para la elaboración de las tablas, se basará de artículos y tesis del periodo 2011 al 2021 consultadas en las diferentes bases de datos que

serán recopiladas en el programa microsoft excel para su análisis. Teniendo como resultado un SIG de la república mostrando las remediaciones más usadas en cada región. Con esta investigación se concluye, dar a conocer cuáles son las técnicas de biorremediación que se han implementado en los últimos diez años a nivel nacional con la intención de que los agricultores y la sociedad interesada en el tema, conozca las técnicas que existen y porque es importante que los suelos sean recuperados.

I.2. ANTECEDENTES.

I.2.1. Antecedentes internacionales.

Según el estudio realizado por Fontalvo y Vera [6], argumenta que aún se encuentra residuos del toxafeno en los suelos de las bodegas de Cenalgodón (Copey). Por lo que implementaron la técnica de bioaumentación para la biodegradación del toxafeno mediante hongos de la pudrición blanca, que consistió en usar dos sustratos, la cascarilla de arroz y aserrín con la acción sinérgica de *P. ostreatus* y *G. lucidum*. En donde se removió el 90% toxafeno a partir de 30 días de tratamiento. Y también se presenta menores concentraciones de toxafeno en comparación al suelo contaminado/sin sustrato, lo que sugiere que los sustratos pudieron estimular el crecimiento de las poblaciones microbianas nativas del suelo con la capacidad de degradar el plaguicida. Por lo que llegó a la conclusión de que los procesos enzimáticos están involucrados en la biodegradación de toxafeno presente en el suelo contaminado.

Kopitko et al. [7], en su investigación reporta que usó la técnica bioaumentación y bioestimulación para la remoción del dicloro difenil tricloroetano. La cual llevó a cabo en dos procesos anaerobio y aerobio. Donde también utilizó diversos géneros de bacterias nativas como, *Burkholderias cepacia*, *Pseudomonas (fluorescens, putida, mendocina)*, y *Aeromonas caviae*. Las cuales lograron remover un 56.2% del dicloro difenil tricloroetano durante 8 semanas de tratamiento anaerobio y un 46.5% después de 20 semanas de tratamiento aerobio. Mientras que, para la bioestimulación, solo se lograron remover el 9.45% de dicloro difenil tricloroetano durante 8 semanas de tratamiento anaerobio y en tratamiento aerobio solo se removió el 39.11%. Destacando que la bioaumentación presenta mejores resultados en ambos procesos al momento de remover el dicloro difenil tricloroetano de los suelos.

I.1. Antecedentes nacionales.

Hernández [8], destaca que para la degradación del aldrín y lindano, recurrieron a 3 tratamientos de biorremediación en la que uso las siguientes cepas, *C. tropicalis*; *S. maltophilia* y *Consortio C. tropicalis/S. maltophilia*. Y tuvieron como resultado, la degradación del aldrín por medio de *Candida tropicalis* con 55.79 % mientras que *Stenotrophomonas maltophilia* el 80.17 % y *C. tropicalis/S. maltophilia* el 87.05 % durante 30 días. Y para el lindano los resultados de degradación a través de *Candida tropicalis* fue de 81.01%, *Stenotrophomonas maltophilia* el 75.85 % y *C. tropicalis/S. maltophilia* 78.34% durante 30 días. Llegando a la conclusión que el mejor tratamiento para el aldrín es el consorcio *C. tropicalis/S. maltophilia* y para el lindano *C. tropicalis*.

Rodríguez y Rodríguez [9], evaluó la biodegradación de diez plaguicidas organoclorados, por parte de *Penicillium* sp, tomando en cuenta dos variables, el inóculo y el porcentaje de humedad en las 14 muestras en los diferentes puntos del suelo. Logrando una remoción de 27% en 16 días de tratamiento, destacando con mayores porcentajes el 4,4,-DDT y sulfato de endosulfan. Así como también la capacidad de biorremediadora por parte de este microorganismo para poder eliminar plaguicidas de alta persistencia en el ambiente. Los bajos porcentajes de humedad (85%) e inóculo (1%) permitieron la reducción de xenobióticos, lo que sugiere, son ideales para remediar suelos contaminados con plaguicidas organoclorados usando a *Penicillium* sp.

Mendarte et al. [10], detalla a la fitorremediación como una alternativa para recuperar los suelos contaminados con dicloro difenil tricloroetano y que las plantas como la calabaza, tomate, soya, calabacín, entre otras más como gramíneas, plantas de ornato, algas, árboles y plantas medicinales tienen la capacidad de acumular el dicloro difenil tricloroetano en tallos y raíces. La fitorremediación asistida por microorganismos para sitios contaminados con dicloro difenil tricloroetano mejora significativamente la remoción del mismo y por lo que su uso incrementaría el éxito en la restauración de suelos contaminados que podrían ser utilizados nuevamente y de manera segura en la agricultura. Se delata que en los últimos diez años en México se han considerado estudios de fitorremediación para la limpieza de los suelos contaminados con dicloro difenil tricloroetano, por lo que resulta importante continuarlos para ofrecer a las comunidades una estrategia económica con la recuperación de los sitios contaminados con este compuesto, que se sigue utilizando de manera ilegal en el país.

I.3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.

En la actualidad, los plaguicidas han sido de gran utilidad y beneficio en la agricultura, garantizan la producción de alimentos además de que combate las plagas de los cultivos. Pero también se han convertido en un peligro no solo por el uso inadecuado y las grandes cantidades aplicadas en los campos, si no por la persistencia que tiene en el medio. Independientemente los plaguicidas ocasionan diversos daños al ambiente que con el transcurso del tiempo se han encargado de afectar negativamente y deteriorar los recursos naturales. Entre estos elementos se encuentra el suelo [11].

Los plaguicidas han tenido un sustancial incremento en 1990 aumento 2.2 millones de toneladas para 2000 creció 3 millones y en 2018 supero los 4 millones de toneladas. A nivel continente América es el inicial consumidor (45.5%) seguido de Asia (28.5%), Europa (20.7%), África (3.4%) y Oceanía (2%) [12;13]. Mientras que por todo el mundo creció un 79% y paso de 2.3 a 4.1 millones de toneladas. El mayor consumidor fue China que se concentró 43% seguido de Estados Unidos con 10% y México con 1.3% [3].

México, es uno de los países que mayormente utiliza agroquímicos no se tiene una cantidad exacta, pero existen alrededor de 900 pesticidas y los cultivos en los que se usa el mayor volumen son el maíz, algodón, papa, chile, tomate, frijol, trigo, aguacate y café. Y en los estados como Sinaloa, Chiapas, Veracruz, Jalisco, Nayarit, Colima, Sonora, Baja California y Tamaulipas, representan alrededor del 70% del consumo de plaguicidas al año [14;15]. Actualmente se hace uso de plaguicidas que se encuentran prohibidos por el convenio de Estocolmo y Rotterdam. En los cuales se encuentra el endosulfan y el dicofol [16]. Además de que hay estudios en los que aún se destaca la persistencia de los plaguicidas organoclorados.

Los plaguicidas contaminan a los suelos de diversas formas, puede ocurrir de forma directa, al aplicarse sobre terreno o de forma indirecta, desde la planta por acción de la lluvia y el riego. También se da por forma aérea en este caso los insecticidas, fungicidas y herbicidas son los más propensos a usarse, depositándose aproximadamente el 50% del producto en el suelo. Una vez incorporado el plaguicida en el suelo tiende acumularse en la materia orgánica, una parte es transformada por los microorganismos y la otra parte queda en su forma original permaneciendo durante años en el suelo atrapada por algunos de sus componentes o de forma móvil a través de este. Dado a la alta resistencia que tienen permanecen activos durante mucho tiempo ocasionando la reducción de biodiversidad, erosión, degradación y pérdida de permeabilidad además de que conduce al desequilibrio y agotamiento de los suelos [17;18].

I.4. JUSTIFICACIÓN.

En México aún existen sitios contaminados por plaguicidas organoclorados a consecuencia del manejo inadecuado que se le proporcione años atrás, con el paso del tiempo genero efectos negativos dado a la persistencia que tienen en el medio, ya que son muy difíciles de desintegrarse. De seguir con esta situación, no habrá más suelos donde cultivar, se reducirá los niveles de productividad, lo cual afectará significante a la humanidad y a los demás recursos naturales, dado a que el agua no tendría donde drenar, debido a que los suelos se encuentran contaminados por químicos y por ende el aire también se ve afectado trayendo problemas como el cambio climático entre otros factores cruciales que afectan al medio ambiente [3;4].

La contaminación del suelo, no solo altera la biodiversidad del planeta y en la perdida de los cultivos, si no que ocasiona diversas consecuencias en la industria farmacéutica y biotecnológica, ya que estas dependen en gran medida de los microorganismos presentes en el suelo para la producción antibiótico entre otras sustancias [19]. Es necesario restablecer la salud de los suelos, ya que de ellos dependemos para la producción de alimentos entre otros servicios ecosistémicos que nos brinda. Pero no todo está perdido existen distintas técnicas de biorremediacion que le proporciona lo necesario a los suelos para mantenerse en buenas condiciones y cumplir con sus funciones.

La biorremediacion es un tratamiento biológico que tiene muchas ventajas una de ellas es la factibilidad que tiene de degradar una sustancia química, además que es de bajo costo y es agradable para el ambiente. Se ha encontrado diversas investigaciones científicas que se han enfocado en restaurar los suelos impactados por contaminantes y comprobar la factibilidad que tienen los microorganismos, enzimas y plantas de degradar estos compuestos. Por lo que, en este proyecto, se tiene como objetivo analizar en diversas fuentes de informacion confiable que se ha logrado en los últimos diez años para la recuperación de los suelos.

CAPITULO II.

II.1 OBJETIVOS.

II.1.1 Objetivo general.

Analizar las alternativas de biorremediación para suelos contaminados por plaguicidas organoclorados durante el periodo 2011 al 2021 a nivel nacional.

II.1.2. Objetivos específicos.

1. Capturar los datos obtenidos en la hoja excel, para la organización de la información recopilada, para su posterior cribado en organoclorados.
2. Separar las diferentes alternativas de biorremediación para suelos contaminados por plaguicidas en zona norte, centro, occidente y sureste.
3. Elaborar un análisis de las alternativas de biorremediación para suelos contaminados por plaguicidas organoclorados representándolo en un SIG de la república mostrando las remediaciones más usadas en cada región.

CAPITULO III.

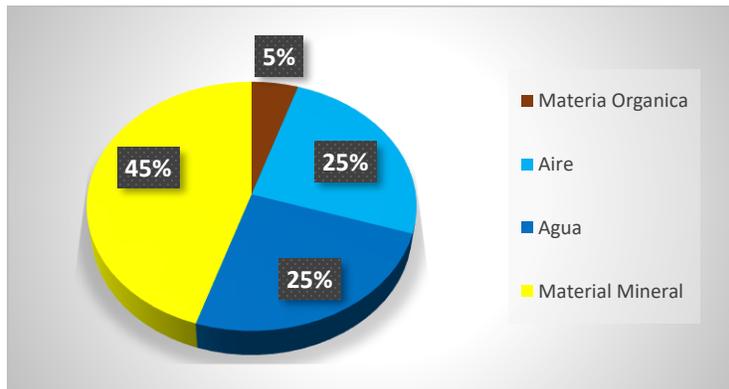
III.1. MARCO TEÓRICO.

III.1.1. Base teórica.

III.1.1.1 Suelo.

Según la Conanp, [20] el suelo es una capa delgada que se ha formado lentamente durante miles de años, a partir de la desintegración de esas rocas que se encuentran en la superficie terrestre a causa de la acción de agua, el viento, el sol y los seres vivos. Se compone de agua, aire, minerales y materia orgánica. Es un recurso natural no renovable dado que su pérdida no es recuperable. Un centímetro de suelo puede tardar cientos de miles de años en formarse y también puede desaparecer en el plazo de un año a través de la erosión. Constituye la mayor reserva de carbono orgánico terrestre, proporciona nutrientes, ayuda a suministrar el agua, evita la desertificación, proporciona resiliencia a las inundaciones y la sequía [21].

Gráfico 1. Composición del suelo.



Fuente: FAO, 2015

Un suelo sano tiene la capacidad de funcionar como un sistema vivo, dado a que alberga la cuarta parte de diversidad biológica del planeta llevan a cabo diversas funciones vitales entre ellas transformar la materia inerte y descomponerla. Se encarga de brindarnos una serie de servicios ecosistémicos en la que participa la producción de alimentos, los ciclos biogeoquímicos, soporte de las actividades humanas y fuente de materias primas. Son tan importantes en el sector agrícola dado a que en ellos se producen los alimentos que consumimos diariamente de manera directa e indirecta. Es necesario mencionar que el 95% depende de un suelo sano para poder llevarse a cabo la producción de alimentos. El suelo mitiga el cambio climático a través del secuestro de carbono y la reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero [20;22;23].

III.1.2. Plaguicidas.

De acuerdo a la Cicoplafest, [24] los plaguicidas son una sustancia o una mezcla de sustancias que están destinadas a prevenir o controlar las plagas que atacan a los cultivos incluido los vectores de enfermedades humanas y de animales que causen perjuicio o que interfieren con el mejor aprovechamiento de la producción agropecuaria. Son el resultado de un proceso de industrial de síntesis química. Puede utilizarse como un regulador de crecimiento de plantas, defoliantes, desecantes o agentes para reducir la densidad de la fruta o para evitar la caída prematura de la fruta [25;26].

III.1.2.1. Clasificación de los plaguicidas.

Los plaguicidas se clasifican de acuerdo a su concentración, composición química, uso al que se destina, plagas que controla, modo de acción, formulación, persistencia y grupo químico [24].

Tabla 1. Clasificación de plaguicidas según su concentración.

Concentración	Descripción
Ingrediente activo	Sustancia química que ejecuta la acción de ser un plaguicida.
Plaguicida técnico	Es el resultado final del ingrediente activo
Plaguicida formulado	Es la mezcla entre el plaguicida técnico y activo.

Fuente: CICOPLAFEST, 1991.

Tabla 2. Clasificación de plaguicidas según su composición química.

Compuestos	Descripción
Compuestos inorgánicos	Son todos aquellos que carecen de carbono en su estructura química.
Compuestos orgánicos	Son aquellos que contienen átomos de carbono en su estructura química.

Fuente: CICOPLAFEST, 1991.

Tabla 3. Clasificación de plaguicidas de acuerdo al uso que se le destina.

Uso	Destino
Agrícolas	Sistemas de producción agrícola, productos y subproductos de origen vegetal.
Forestales	Bosques, reservas forestales y maderas.
Urbano	Ciudades y zonas habitadas, no incluyendo el uso doméstico.
Jardinería	Jardines y plantas de ornato.

Pecuarios	Animales, instalaciones de producción intensiva o extensiva con destino del producto para consumo industrial, incluye animales domésticos.
Domestico	Interior del hogar.
Industrial	Cuidado de productos, subproductos y áreas industriales.

Fuente: CICOPLAFEST, 1991.

Tabla 4. Clasificación de plaguicidas según el organismo que controla.

Tipo de plaguicida	Organismos que controla
Insecticida	Insectos
Acaricida	Ácaros
Herbicida	Hierbas
Nematicida	Nematodos
Bactericida	Bacterias
Fungicida	Hongos
Molusquicida	Moluscos
Rodenticida	Ratones

Fuente: SADER, 2019

Tabla 5. Clasificación de plaguicidas según su modo de acción.

Modo de acción:	
De contacto	Se absorbe fácilmente por los tejidos externos de la plaga.
De ingestión	Es ingerido por la plaga para su acción efectiva.
Sistemático	Se absorbe y traslada por el sistema vascular de los animales y plantas.
Fumigante	Se penetra por todas las vías de absorción.
Repelente	Impide que las plagas se acerquen, evitando así su ataque.
Defoliante	Causa la caída del follaje de las plantas.

Fuente: CICOPLAFEST, 1991.

Tabla 6. Clasificación de los plaguicidas según su formulación.

Formulación sólida	Formulación líquida	Otras formulaciones
Polvo técnico	Concentrado	Cebo
Polvo soluble	Emulsionable	Aerosol
Polvo humectable	Líquidos miscibles	Bolsas hidrosolubles
Gránulos dispersables	Soluciones	Gases
Granulados tabletas o pastillas	Suspensiones	

Polvo para espolvoreo.		
------------------------	--	--

Fuente: SADER, 2019.

Tabla 7. Clasificación de los plaguicidas según su vida útil media de efectividad.

Persistencia	Vida media	Ejemplos
No persistentes	De días hasta 12 semanas	Malatión, diazinon, carbarilo, diametrin.
Moderadamente persistentes	De 1 a 18 meses	Paratión, lannate.
Persistente	De varios meses a 20 años	Ddt, aldrín, dieldrín.
Permanentes	Indefinidamente	Productos hechos a partir de mercurio, plomo, arsénico.

Fuente: Ramírez y Lazaño, 2001.

Los plaguicidas se clasifican en diversos grupos químicos, en este caso se agregan los más importantes y destacados en las investigaciones. Entre ellos se encuentran los organoclorados, organofosforados, carbamatos y piretroides.

III.1.2.1.1. Organoclorados (OC).

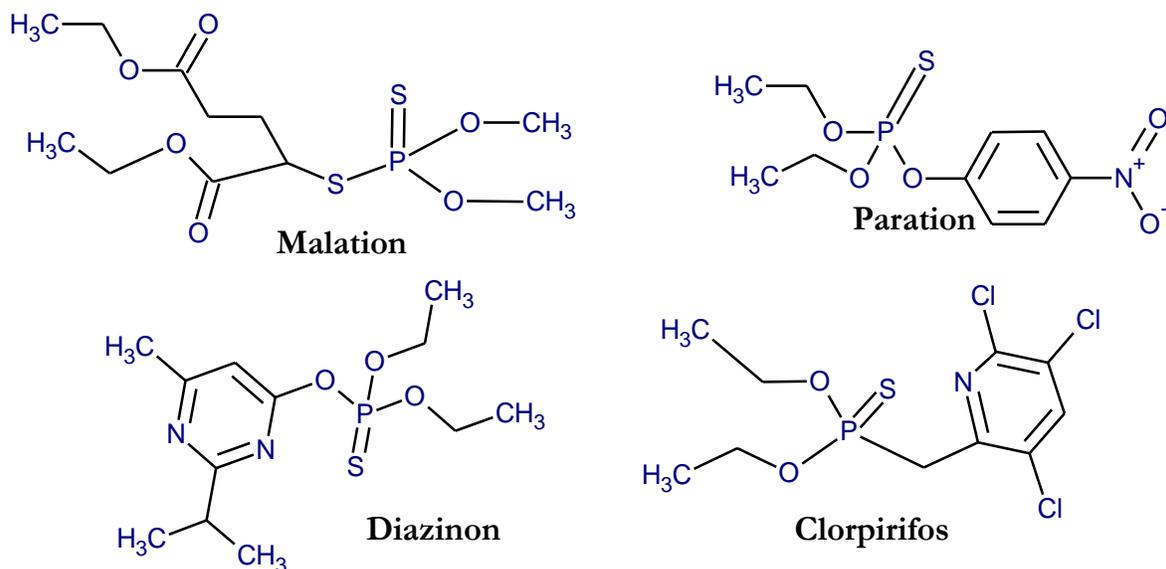
La mayoría de los plaguicidas organoclorados son insecticidas que contienen átomos de cloro, carbono e hidrógeno y algunos otros pueden incluir oxígeno y azufre. Son poco solubles en agua, estables a la luz, a la humedad, al aire y al calor, lo que los hace bastante persistente en el medio ambiente. Se les conoce por ser compuestos orgánicos persistentes (COPS), compuestos que por sus características físico-químicas, resisten la degradación fotoquímica, química y bioquímica, lo que causa que su vida media en el ambiente sea elevada. Se destacan por ser plaguicidas de primera generación además de que en la década de los 70 fueron los plaguicidas con mayor aplicación agrícola [24; 27; 28].

III.1.2.1.2. Organofosforados (OF).

Los plaguicidas organofosforados son ésteres derivados del ácido fosfórico, tiofosfórico, ditiofosfórico, fosfónico y fosfínico. Se caracterizan por ser un grupo de plaguicidas menos persistentes que los organoclorados, son de fácil descomposición, son biodegradables, se hidrolizan fácilmente en medio húmedo y tienen un pH alcalino. La mayor actividad de este plaguicida es que se puede presentar mediante nematocida, fungicida y herbicida. Entre los plaguicidas organofosforados se encuentran azinfos metílico, carbofenotión, coumafós, clorfeninfos, clorpirifós, diazinon. Dicrotofós, dimetoato, dioxiatión disulfotón. Edifenfos, epn, ethion, etoprofos, fenitrotión, fentión, fonofós, fosalone, fosfamidon, fosmet, foxim,

isofenfos, malation, metamidofos, metidation, mevinfos, monocrotofos, naled, ometoato, oxidemeton metil, paration etílico, paration metílico, pirimifos metil, profenofos, sulprofos, temefos, triazofos, ttributil tritidato de fosforo y triclorfon [24; 29].

Fig 1. Estructura química de algunos plaguicidas organofosforados.

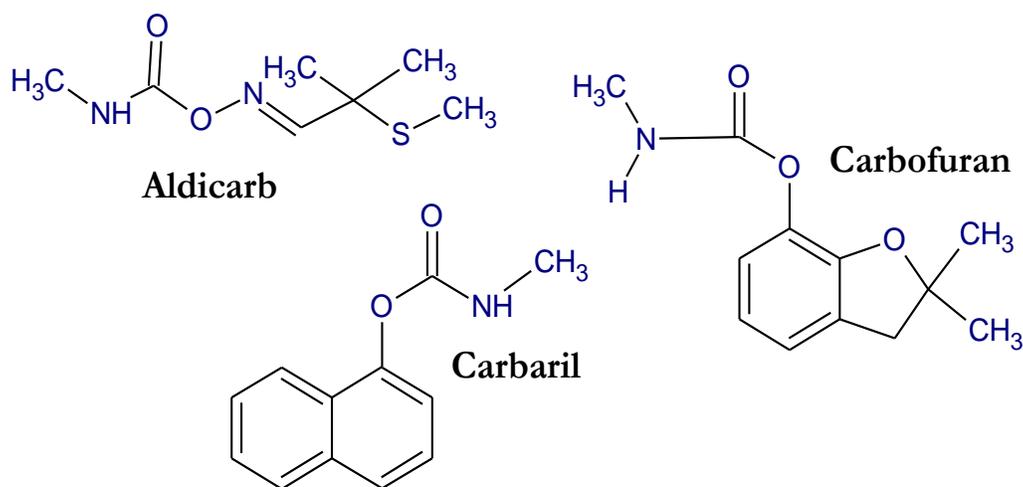


Fuente: Narváez et al., 2004.

III.1.2.1.3. Carbamatos (C).

Los carbamatos están ligados a la fisostigmina, principal alcaloide de la planta *physostignina venenosum* (balfour), que es inhibidor de la acetilcolinesterasa, sin embargo, los plaguicidas carbamicos son sustancias sintéticas derivadas del ácido carbámico (NH₂-COOH) además de que son menos persistentes que los organofosforados [24]. Los carbamatos pueden tener propiedades insecticidas y herbicidas. En el primer caso la máxima actividad corresponde a los derivados N-alkil-carbamato de alquilo o arilo y los N, N-dialquicarbamatos de hidroxiheterociclos entre estos compuestos tienen importancia práctica el aldicarb, bigón, pirolán y carbofuran. En cambio, los derivados N-arilcarbamatos tienen actividad herbicida, como el asulán, betanal y barbán, algunos de los cuales pueden ser sistémicos. Y finalmente los derivados tio- y ditiocarbamatos, en general, tienen propiedades herbicidas, aunque alguno de ellos presenta también actividad fungicida. Entre estos compuestos se encuentran el molinato, vapán y vegadex [30].

Fig 2. Estructura química de algunos carbamatos.

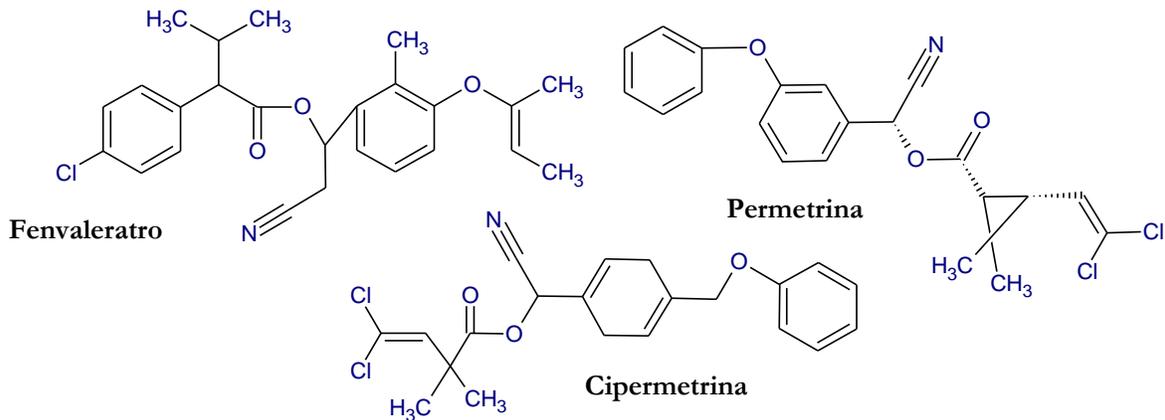


Fuente: Narváez et al., 2004.

III. 1.2.1.4. Piretroides (P).

Las piretrinas son compuestos naturales que tienen propiedades insecticidas y que se encuentran en el extracto de piretro de ciertas flores de crisantemos mientras que los piretroides son sustancias químicas manufacturadas de estructura muy parecida a las piretrinas a diferencia de las piretrinas pueden permanecer más tiempo en el ambiente [31]. Son insecticidas sintéticos relacionados estructuralmente con las piretrinas, se disuelven mejor en el agua, químicamente se dividen en dos tipos, tipo I sin grupo α -ciano (aletrina, permetrina, tetrametrina, cismetrina y d-fenotrina) y tipo II con grupo α -ciano (cipermetrina, deltametrina, fenvalerato y fenpropanato) [32]. Generalmente utilizan derivados del petróleo como disolvente y algunos de ellos contienen compuestos organofosforados, carbamatos u otras sustancias que tienen el fin de mejorar el efecto del insecticida. Entre ellas encontramos piretrinas, aletrina, ciflutrin, cipermetrina, deltametrina, fenvalerato, flumetrina, permetrina, tetrametrina, etc. [24; 32].

Fig 3. Estructura química de algunos piretroides y piretrinas



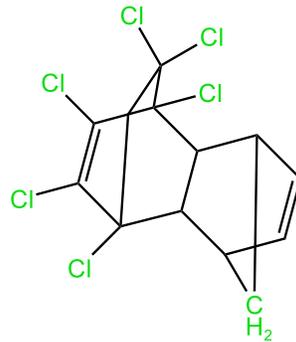
Fuente: Narváez et al., 2004

El enfoque de esta investigación se basa en el estudio de los plaguicidas organoclorados.

III. 1.2.1.5. Aldrín.

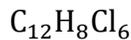
Utilizado para combatir los insectos que se encontraban en el suelo, como los termites también conocidos como hormiga blanca, el gusano de la raíz del maíz, las doradillas, el gorgojo acuático del arroz, saltamontes y aproximadamente se usó grandes cantidades para cultivos de maíz y papa [33].

Fig 4. Estructura química del insecticida aldrín.



Fuente: Narváez Valderrama et al., 2011.

Ecuación 1. Fórmula molecular del insecticida aldrín.



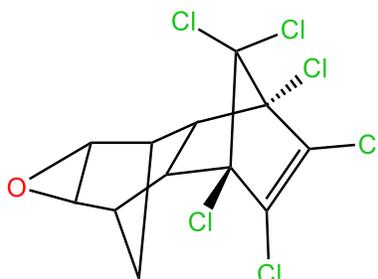
Fuente: Instituto nacional de seguridad e higiene en el trabajo, 2015.

III.1.2.1.5. Dieldrín.

Utilizado principalmente para controlar las termitas, plagas textiles y enfermedades transmitidas por los insectos que viven en suelos agrícolas. Su vida media en el suelo es de aproximadamente

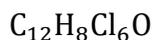
cinco años. El pesticida aldrín se convierte rápidamente en dieldrín, por lo que las concentraciones de dieldrín en el medio ambiente son más altas de lo que indicaría el uso de dieldrín solo [33].

Fig 5. Estructura química del insecticida dieldrín.



Fuente: Instituto nacional de seguridad e higiene en el trabajo, 2015.

Ecuación 1. Formula molecular del insecticida dieldrín.

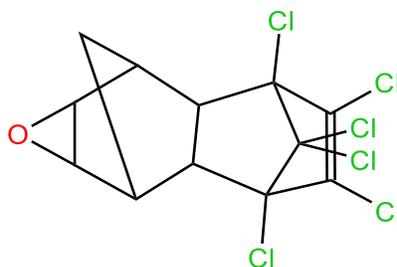


Fuente Instituto nacional de seguridad e higiene en el trabajo, 2015.

III.1.2.1.5. Endrín.

Este insecticida se utiliza para controlar roedores como ratones, topillos y también se rocía sobre las hojas de cultivos como el algodón y los granos. Sin embargo, tiene una vida media larga y persiste en el suelo hasta por 12 años [33].

Fig 6. Estructura química del insecticida endrín.



Fuente: Centro nacional de informacion biotecnológica, 2023.

Ecuación 1. Formula molecular del insecticida dieldrín.

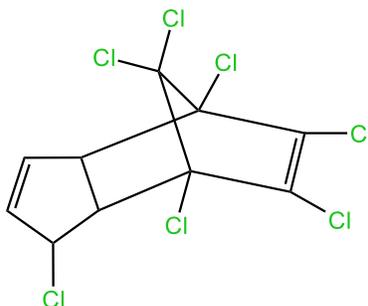


Fuente: Centro nacional de informacion biotecnológica, 2023.

III.1.2.1.6. Heptacloro.

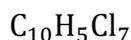
Utilizado para matar insectos del suelo y termitas, también se ha utilizado más ampliamente para matar insectos del algodón, saltamontes, mosquitos portadores de malaria y otras plagas de cultivos [33].

Fig 7. Estructura química del insecticida heptacloro.



Fuente: Centro nacional de informacion biotecnológica, 2023.

Ecuación 1. Formula molecular del insecticida heptacloro.

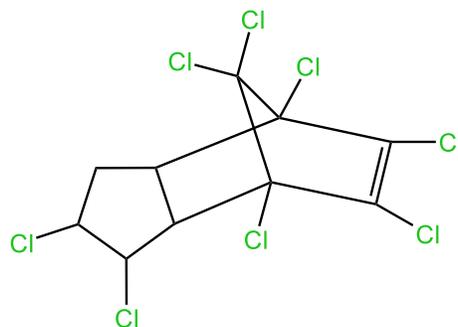


Fuente: Centro nacional de informacion biotecnológica, 2023.

III. 1.2.1.6. Clordano

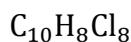
Este insecticida aparece en 1945, y se utilizó en gran variedad de cultivos como hortalizas, cereales de grano pequeño, maíz, otras semillas oleaginosas, papas, caña de azúcar, remolacha azucarera, frutas, nueces, algodón y yute [33].

Fig 8. Estructura química del insecticida clordano.



Fuente: Centro nacional de informacion biotecnológica, 2023.

Ecuación 1. Formula molecular del insecticida clordano.

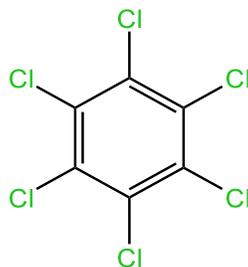


Fuente: Centro nacional de informacion biotecnológica, 2023.

III.1.2.1.7. Hexaclorobenceno (HCB).

Introducido por primera vez en 1945 para tratar semillas, fue utilizado para controlar el sarro del trigo y mata los hongos presentes en los cultivos alimentarios. También es un subproducto de la fabricación de ciertos productos químicos industriales y existe como impureza en varias formulaciones de plaguicidas [33].

Fig 9. Estructura química del insecticida hexaclorobenceno.



Fuente: Centro nacional de informacion biotecnológica, 2023.

Ecuación 1. Formula molecular del insecticida hexaclobenceno.

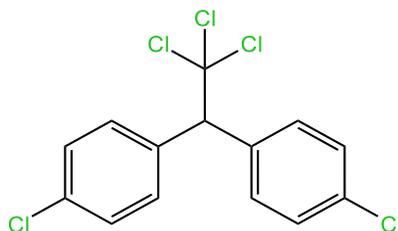


Fuente: Centro nacional de informacion biotecnológica, 2023.

III.1.2.1.8. Diclorodifeniltricloroetano (DDT)

El diclorodifeniltricloroetano, fue utilizado por primera vez en 1945 y apartir de 1956, se usó de manera extensiva en todo el país. Se utilizo en gran variedad de cultivo agrícolas, especialmente en el algodón. Su persistencia (hasta un 50% puede permanecer en el suelo de 10 a 15 años después de la aplicación) y su uso generalizado han hecho que los residuos de diclorodifeniltricloroetano, se encuentren en todas partes [33].

Fig 10. Estructura química del insecticida DDT



Fuente: Narváez Valderrama et al., 2011

Ecuación 1. Formula molecular del insecticida ddt.

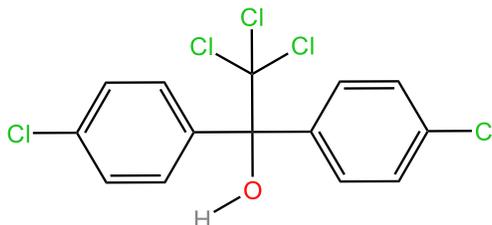


Fuente: Centro nacional de informacion biotecnológica, 2023.

III.1.2.1.9. Dicofol

El dicofol es un plaguicida organoclorado compuesto por dos isómeros: *p, p'*-dicofol y *o, p'*-dicofol. Se ha utilizado en la agricultura para controlar los ácaros en una variedad de cultivos, frutas (cítricos y manzanas), verduras, plantas ornamentales y algodón [33].

Fig 11. Estructura química del insecticida dicofol.



Fuente: Centro nacional de informacion biotecnológica, 2023.

Ecuación 1. Formula molecular del insecticida dicofol.

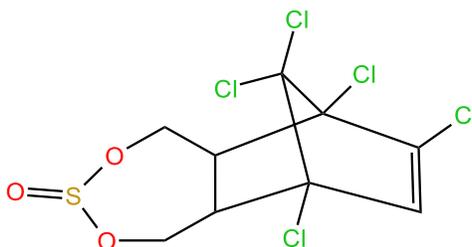


Fuente: Centro nacional de informacion biotecnológica, 2023.

III.1.2.1.10. Endosulfan

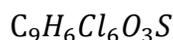
Según la evaluación de gestión de riesgos del endosulfan, adoptada por el comité de revisión de contaminantes orgánicos persistentes, el endosulfan es un insecticida que se ha utilizado desde la década de 1950 para controlar plagas de cultivos, actualmente se utiliza para controlar una amplia gama de plagas en una variedad de cultivos, incluidos el café, el algodón, el arroz, el sorgo y la soja [33].

Fig 12. Estructura química del insecticida endosulfan.



Fuente: Centro nacional de informacion biotecnológica, 2023.

Ecuación 1. Formula molecular del insecticida endosulfan.

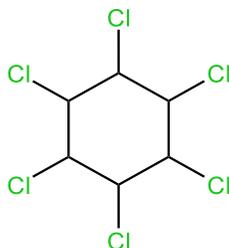


Fuente: Centro nacional de informacion biotecnológica, 2023.

III.1.2.1.11. Lindano

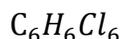
Se ha utilizado como insecticida de amplio espectro para el tratamiento de semillas y suelos, aplicaciones foliares, tratamiento de árboles y madera y contra ectoparásitos en aplicaciones tanto veterinarias como humanas. La producción de lindano ha disminuido rápidamente en los últimos años y todavía se sabe que solo unos pocos países producen lindano [33].

Fig 13. Estructura química del insecticida lindano.



Fuente: Centro nacional de informacion biotecnológica, 2023.

Ecuación 1. Formula molecular del insecticida lindano.

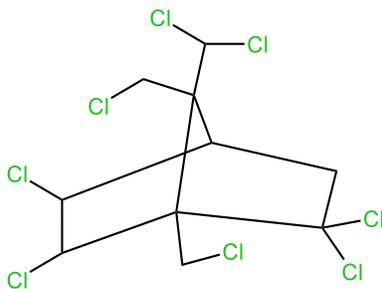


Fuente: Centro nacional de informacion biotecnológica, 2023.

III.1.2.1.11. Toxafeno

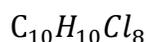
Este insecticida fue utilizado en algodón, cereales, frutas, nueces y verduras. Y se sabe que el 50% de una liberación de toxafeno puede persistir en el suelo hasta por 12 años. Es una de las cuantas sustancias que no aparecen en el catálogo oficial, lo que significa que no está registrado y no está autorizado para México [33].

Fig 14. Estructura química del insecticida toxafeno.



Fuente: Centro nacional de informacion biotecnológica, 2023.

Ecuación 1. Formula molecular del insecticida toxafeno.

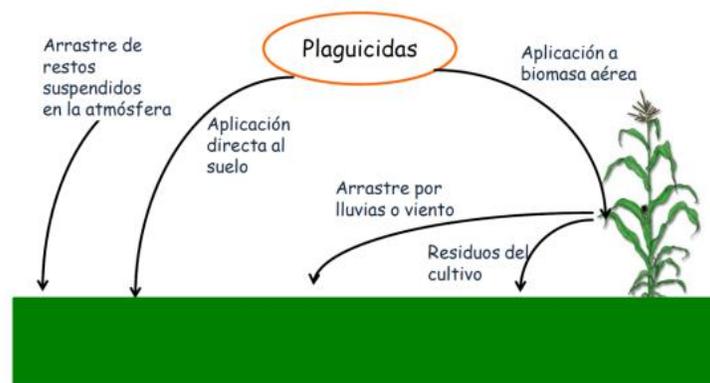


Fuente: Centro nacional de informacion biotecnológica, 2023.

III.1.3. Efectos de los plaguicidas

El suelo se ha visto afectado a largo plazo por contaminantes persistentes, que han ocasionado alterar y desequilibrar su estado natural. Gran parte de los microorganismos que se encuentran son amenazados por los impactos negativos que los plaguicidas ocasionan al ingresar, se puede incorporar por distintas vías, de forma directa, aérea o por los mismos cultivos [34]. Además de que tiene una función muy importante por lo que los insecticidas son capaces de almacenar gran parte de su contenido químico en él [17]. Es importante mencionar que son capaces de guardar el 50% del insecticida dado a la condición que tiene de reservar [5].

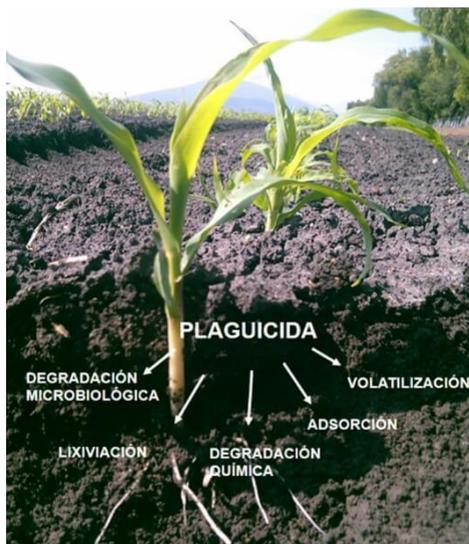
Fig 15. Diferentes vías de ingreso de los plaguicidas al suelo.



Fuente: Torri, 2015.

La cuestión es el daño que ocasionan al interactuar suelo-plaguicida, ya que existen muchos que tienen corta vida y que son fáciles de degradar por el mismo suelo, pero existen otros como es el caso de los organoclorados un grupo de pesticidas que dilatan muchos años en desaparecer totalmente. Entre los factores que impactan en la persistencia de estos plaguicidas se destaca la descomposición química, descomposición fotoquímica, descomposición microbiana, volatilización, lixiviado, descomposición por plantas y organismos. Aunque depende de algunas variables como la humedad, temperatura, materia orgánica, tipo de arcilla, pH, intercambio iónico del suelo, así como de las características fisicoquímicas del compuesto químico. Su aplicación ha ocasionado grandes consecuencias en los que se destaca la transformación, pérdida y degradación del mismo [30; 35]

Figura 16. Las interacciones del plaguicida en el suelo determinan su evolución.



Fuente: Intagri, 2017.

III.1.4. Biorremediación.

Es un método biológico que consiste en limpiar los suelos contaminados por ciertos contaminantes entre los que se resalta los plaguicidas. Dado a que utiliza diversos microorganismos (plantas, hongos, bacterias, etc.) que tienen la capacidad transformar los compuestos orgánicos a productos menos dañino para el medio ambiente [36;37]. Se da mediante dos formas en in situ con presencia de oxígeno a este proceso se le denomina respiración aerobia mientras que en la ex situ es sin disposición de oxígeno y se le distingue por ser un proceso anaerobio [38]. Se destaca por tener la capacidad de usar estos contaminantes como fuente de alimento y energía, cabe recalcar que esto depende de las actividades catabólicas que presente el organismo. De acuerdo con estudios realizados por diversos autores mencionan que esta técnica ha sido un gran éxito para tratar los suelos, lodos y sedimentos afectados por químicos [39].

III.1.4.1. Degradación enzimática.

Se utilizan enzimas para degradar las sustancias nocivas que se encuentran en el sitio contaminado, estas son obtenidas de microorganismos (bacterias y hongos), especialmente diseñados para así obtener una alta especificidad. Las enzimas no son consumidas por las reacciones que ellas catalizan, por lo que a medida que ellas consumen los sustratos contaminantes pueden seguir actuando [40].

III.1.4.2. Degradación microbiana.

Consiste en utilizar microorganismos como bacterias y hongos que tiene la función de descomponer las sustancias tóxicas que se encuentran en el sitio contaminado, por ejemplo, los hongos, usan micelios fúngicos que producen enzimas capaces de degradar los componentes contaminantes [40].

III.1.4.3. Fitorremediación.

Es una técnica de biorremediación sustentable donde se emplea plantas o vegetales que tienen el propósito de descontaminar los suelos impactados por compuestos orgánicos e inorgánicos además que son de bajo costo. Utiliza diferentes tipos de plantas que tienen la función de filtrar, remover, degradar, volatilizar y estabilizar los contaminantes presentes en los suelos [41; 10].

III.1.4.4. Biorremediación in situ.

Es un proceso que se basa en remover los contaminantes que se encuentran en el suelo, sin necesidad de cavar en el sitio. Por lo regular puede lograrse con el suministro de aire u oxígeno (bioventeo), nutrientes (bioestimulación), microorganismos (bioaumentación) o humedad, además del control de temperatura y pH. Incluso se utiliza a volúmenes muy grandes [42; 43].

III.1.4.5. Bioventeo.

Es un tratamiento capaz de biodegradar naturalmente cualquier contaminante bajo condiciones aerobias (oxígeno). El aire se distribuye en el lugar contaminado por medio de pozos de extracción, mediante movimiento forzado (inyección), con bajas velocidades de flujo, con el fin de suministrar solo el oxígeno necesario a los organismos que llevan a cabo la actividad de degradar los compuestos químicos [37].

III.1.4.6. Bioestimulación.

Este método consiste en ocupar los mismos microorganismos que se encuentran en el suelo contaminado, introduciendo nutrientes y oxígeno para estimular el crecimiento microbiano de esta forma ampliar la población de los organismos, así puedan biodegradar a los contaminantes orgánicos o bien de transformarlo a uno más inocuo para el medio ambiente [37].

III.1.4.7. Bioaumentación.

A grandes diferencias de las demás técnicas, esta se utiliza cuando se requiere de manera inmediata tratar el sitio contaminado o sea insuficiente la capacidad degradadora de la microflora

autóctona. Se añade microorganismos vivos, que tengan la función de disminuir el contaminante o biodegradarlo. Es importante mencionar que el inóculo que se utilice va depender de la superficie contaminada, la dispersión de contaminantes y el crecimiento de los microorganismos de degradar [37].

III.1.4.8. Biorremediación ex situ.

Se denomina por ser un proceso sin presencia de oxígeno pero que busca reducir los niveles de contaminación del suelo, a diferencia del aerobio esta técnica si es necesario excavar y extraer la muestra para iniciar con la descontaminación del sitio contaminado. Incluye biodegradación en fase de lodos en donde el suelo se mezcla con agua, microorganismos y nutrientes, biodegradación en fase sólida, en donde los suelos colocan en una celda de tratamiento (composteo) o sobre membranas impermeables (biolabranza), en donde se agrega agua y nutrientes [39:42]

III.1.4.9. Biorremediación en fase sólida (composteo).

El composteo es un método biológico que parte de la descomposición de materia orgánica y desechos de animales, bajo condiciones anaeróbicas (presencia de oxígeno). Juega un papel muy benéfico para la salud de los suelos y el crecimiento de las plantas, favorece en las propiedades físicas, químicas y biológicas, es fuente importante de nutrimentos para las plantas y para los microorganismos, aumenta la capacidad de retención de humedad del suelo y la capacidad de intercambio de cationes en el mismo además de que disminuye los cambios bruscos de temperatura y logra descomposición parcial o casi completa de algunos residuos agrotóxicos. Es un abono económico y fácil de implementar [44;45].

III.1.4.10. Biorremediación en fase de lodos (biorreactores).

Los biorreactores se pueden utilizar para tratar suelos heterogéneos y poco permeables o en los casos en que sea necesario reducir el tiempo de tratamiento, ya que se pueden combinar procesos químicos y biológicos controlados y eficientes para mejorar y acelerar la biodegradación. Esta tecnología es más adecuada para situaciones en las que existe un riesgo potencial de descarga y emisiones [46].

III.1.2 Base legal.

III.1.2.1 Convenio de Estocolmo.

Este convenio tiene como objetivo reducir con el tiempo los contaminantes orgánicos persistentes que han sido motivo de amenaza para el medio ambiente. Por lo que el 22 de noviembre del 2001 los gobiernos del mundo se reunieron en Suecia y adoptaron por un tratado internacional que estuviera destinado a restringir y eliminar su producción, utilización, emisión y almacenamiento. Entró en vigor el 17 de mayo de 2004 y en agosto de 2010 contaba con 170 Partes (169 países y una organización regional de integración económica).

III.1.2.2. Convenio de Rotterdam

Surge a medida de los efectos negativos que ocasionaba los altos niveles de producción de plaguicidas y el comercio que este mismo desarrollaba. De acuerdo al artículo 1. su objetivo es promover la responsabilidad compartida y los esfuerzos conjuntos de las partes en la esfera del comercio internacional de ciertos productos químicos peligrosos a fin de proteger la salud humana y el medio ambiente frente a posibles daños y contribuir a su utilización ambientalmente racional, facilitando el intercambio de información acerca de sus características, estableciendo un proceso nacional de adopción de decisiones sobre su importación y exportación y difundiendo esas decisiones a las partes. El convenio de rotterdam fue aprobado el 11 de septiembre de 1998, fecha en la que México lo suscribió. El 24 de febrero entro en vigor.

III.1.2.3. Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos.

De acuerdo a la constitución política de los estados unidos mexicanos capitulo I establece en el artículo 4 lo siguiente; que toda persona tiene derecho a un medio ambiente sano para su desarrollo y bienestar y el Estado garantizará el respeto a este derecho. El daño y deterioro ambiental generará responsabilidad para quien lo provoque en términos de lo dispuesto por la ley.

III.1.2.4. Ley General Equilibrio Ecológico Protección Ambiental.

Con base a la ley general de equilibrio ecológico y protección al ambiente capitulo II en el artículo 98 para preservación y aprovechamiento sustentable del suelo se debe llevar los siguientes criterios; en las acciones de preservación y aprovechamiento sustentable del suelo, deberán considerarse las medidas necesarias para prevenir o reducir su erosión, deterioro de las propiedades físicas, químicas o biológicas del suelo y la perdida duradera de la vegetación natural. En las zonas afectadas por fenómenos de degradación o desertificación, deberán llevarse a cabo

las acciones de regeneración, recuperación y rehabilitación, a fin de restaurarlas. Acorde al artículo 103, quienes realicen actividades agrícolas y pecuarias deberán llevar a cabo las prácticas de preservación, aprovechamiento sustentable y restauración innecesaria para evitar la degradación del suelo y desequilibrios ecológicos y en su caso lograr su rehabilitación en los términos de lo dispuesto por esta y las demás leyes aplicables.

III.1.2.5 Ley Federal Responsabilidad Ambiental.

Esta ley hace mención al artículo 1, los preceptos de este ordenamiento son reglamentarios del artículo 4 constitucional, de orden público e interés social y tienen por objeto la protección, la preservación y restauración del ambiente y el equilibrio ecológico, para garantizar los derechos humanos a un medio ambiente sano para el desarrollo y bienestar de toda persona, y a la responsabilidad generada por el daño y el deterioro ambiental.

III.2.6. Ley General de Desarrollo Forestal Sustentable.

Capítulo I, artículo 3 y fracción XXVII son objetivos de esta ley promover acciones con fines de conservación y restauración de suelos. El artículo 13 corresponde a los municipios y a las demarcaciones territoriales de la ciudad de México, de conformidad con esta ley y las leyes locales en la materia, las siguientes atribuciones: participar en la planeación y ejecución de la reforestación, forestación, restauración de suelos y conservación de los bienes y servicios ambientales forestales, dentro de su ámbito territorial de competencia.

III.2.7. Ley de Desarrollo Rural Sustentable.

En función a la ley de desarrollo sustentable rural artículo 32 derivado de la fracción XIII establece que se debe mejorar y conservar los suelos y los demás recursos naturales mientras que en el capítulo VI artículo 83 el gobierno federal, en coordinación con los gobiernos de las entidades federativas, las organizaciones de usuarios y los propios productores, ejecutará y apoyará la ejecución de obras de conservación de suelos. Y finalmente el artículo 84 promoverá el desarrollo de la electrificación y los caminos rurales y obras de conservación de suelos y agua, considerándolos como elementos básicos para el mejoramiento de las condiciones de vida de los habitantes del medio rural y de la infraestructura productiva del campo.

CAPITULO IV.

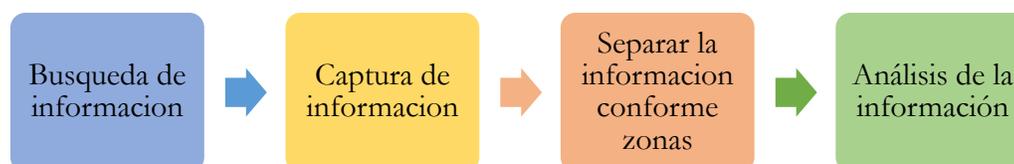
IV.1. METODOLOGIA.

IV.1.1. Tipo de investigación.

Es una investigación cualitativa, consiste en desmembrar toda la información descomponiéndolo en partes para observar las causas y los efectos. Se considera como causa el manejo incorrecto que se le dio a los plaguicidas organoclorados y como efecto la contaminación que ha provocado a los suelos.

IV.1.2. Diseño de investigación.

La metodología que se utilizará en este trabajo abarcará en cuatro fases:



IV.1.3. Búsqueda de información.

Para la búsqueda de información, se tomará en cuenta diferentes bases de datos académicas para esto es necesario definir las palabras claves que ayudarán a tener un mayor número de información relacionado con el tema de estudio. A continuación, se en lista el conjunto de palabras claves que se usaran para las búsquedas, las cuales se encuentran agrupadas dependiendo el tema:

Tabla 8. Palabras claves.

Matriz	Factor	Plaguicidas	Biorremediación	
Suelos	Contaminación	Agroquímicos (insecticidas, plaguicidas, pesticidas, etc.) Organoclorados Organofosforados Carbamatos Piretroides	Degradación microbiana Fitorremediación Bioestimulación Remediación	Bioaumentación Biodegradación Degradación enzimática Microorganismos

Fuente: Elaboración propia.

Existe una diversidad de bases de datos, pero tienen límites que implican que no se pueda seguir con las búsquedas, en este caso se utilizarán las bases de datos que proporciona la biblioteca de la universidad, ya que ofrecen acceso libre a una variedad de literatura que serán de gran importancia en el desarrollo del tema. Se enlistan las bases de datos que se usarán:

Tabla 9. Bases de datos.

Repositorios	Revistas	Buscadores académicos
Repositorio red iberoamericana	Redalyc	Google académico
La referencia	JSTOR	BASE
REDIB	Elsevier Science Direct	Scielo

Fuente: Elaboración propia.

Se tomará en cuenta criterios de inclusión que permitirán seleccionar y analizar los estudios asociados con la biorremediación de suelos contaminados a nivel nacional.

Tabla 10. Criterios de inclusión.

Documentos	Tiempo	Idioma
Revistas y tesis que cumplan con el enfoque a los plaguicidas y las alternativas de biorremediación (Experimentales).	2011-2021	Español - Inglés

Fuente: Elaboración propia.

IV.1.4. Captura de información mediante el programa Microsoft Excel.

Para capturar toda la información obtenida de las búsquedas se hará uso de una hoja de cálculo. La tabla estará estructurada de la siguiente forma:

- Documento (revista o tesis).
- Título del documento.
- Autores.
- Año de publicación.
- Lugar de estudio.
- Plaguicidas.
- Método de biorremediación.

Nota: En el apartado de anexos se agrega la tabla completa con respecto a los puntos mencionados anteriormente.

IV.1.5. Separar las diferentes alternativas de biorremediación para suelos contaminados por plaguicidas organoclorados con respecto a su región.

Después de tener la información capturada de forma general, se realizará un cribado en los plaguicidas organoclorados y sus correspondientes técnicas de biorremediación que es el tema de estudio.

En este apartado se agregará una tabla que este compuesta por lo siguiente:

- Región (noreste, noroeste, occidente, centro y sureste).
- Plaguicidas organoclorados.
- Método de biorremediación.
- Ventajas.
- Desventajas.

IV.1.6. Analizar las alternativas de biorremediación más usadas a nivel nacional.

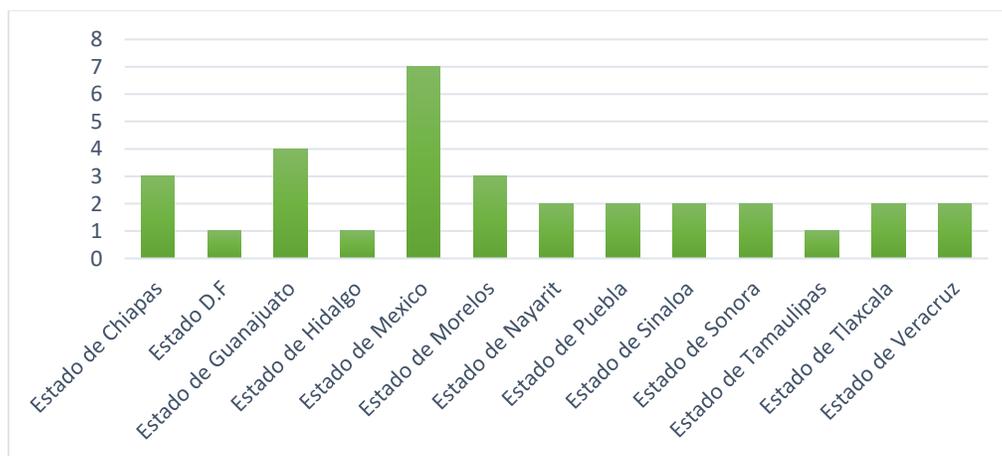
Al terminar de capturar todos los datos en la hoja de cálculo, se tiene como penúltimo paso hacer un filtrado. Y por último se realizará un SIG de la república usando el programa ArcGIS mostrando las remediaciones más usadas en cada región.

CAPITULO V.

V.1. RESULTADOS Y ANALISIS.

V.1.1. Búsqueda de información.

Gráfico 2. No. de investigaciones enfocadas en la biorremediacion de suelos contaminados por plaguicidas durante el periodo 2011-2021.



Fuente: Elaboración propia

Nota: Los estados de Guanajuato, Puebla, Sinaloa, Sonora, Tamaulipas y Tlaxcala comparten datos en un mismo documento, pero como son lugares diferentes se tuvo que distribuir.

Durante la búsqueda se tuvo un total de 28 investigaciones enfocadas a las alternativas de biorremediacion de suelos contaminados por plaguicidas. Los estados con más reporte son México, Guanajuato, Chiapas y Veracruz.

V.1.2. Captura de informacion.

En la siguiente tabla se puede observar a detalle los documentos que se encontraron acerca del tema de investigacion de manera general durante el periodo 2011 al 2021.

Tabla 11. Documentos encontrados de las alternativas de biorremediacion en suelos contaminados por plaguicidas.

Documento	Título del documento	Año de publicación
Tropical and Subtropical Agroecosystems.	Fitorremediacion una alternativa para eliminar la contaminación.	2011
Tesis de Doctorado.	Tolerancia y biodegradación de plaguicidas con hongos filamentosos.	2013

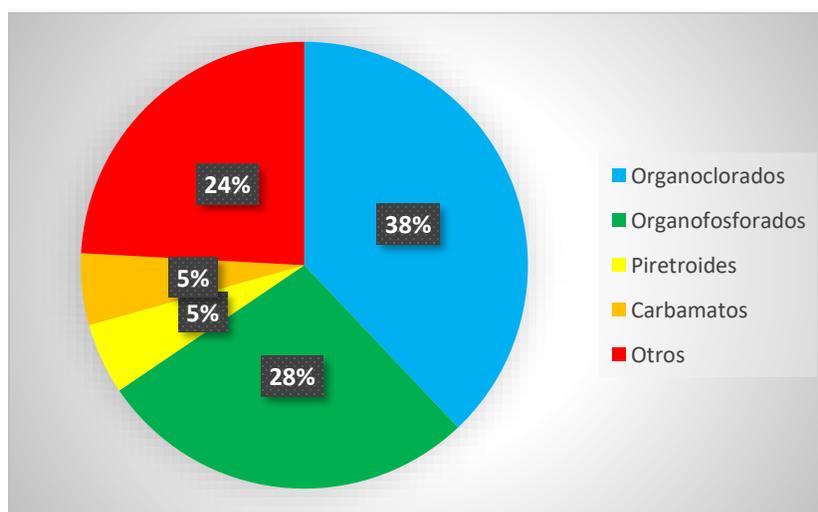
Revista Internacional de Contaminación Ambiental.	Mechanisms and strategies for pesticide biodegradation: Opportunity for waste, soils and water cleaning.	2013
Tesis de Maestría.	Efecto del endosulfan sobre la actividad de glutations-transferasa de <i>Ocimum Basilicum L.</i>	2013
Revista Latinoamericana de Biotecnología Ambiental y Algal.	Biosurfactantes y su papel en la biorremediación de suelos contaminados con plaguicidas.	2014
Tesis Maestría	Obtención de enzimas recombinantes para biorremediación.	2014
Tesis Maestría	Degradación de los plaguicidas endosulfán y malatión por cepas bacterianas aisladas de suelo agrícola.	2014
Tesis Maestría	Producción y caracterización de las enzimas del hongo comestible <i>Auricularia fuscosuccinea</i> que intervienen en la degradación del contaminante endosulfán.	2014
Tesis de Maestría	Evaluación del desempeño de <i>Pilobolus sp.</i> para remover metil paratión en microhábitats de cultivos de maíz.	2015
Revista Argentina de Microbiología	Producción de enzimas ligninolíticas durante la degradación del herbicida paraquat por hongos de la pudrición blanca.	2016
Tesis de Doctorado	Estudio de los mecanismos de degradación de ddt y sus intermediarios en suelos contaminados mediante la bioestimulación de poblaciones microbianas para proponer estrategias de remediación.	2017
Tesis de Doctorado	Transformación genética de bacterias para degradar plaguicidas organofosforados.	2017

Revista la Sociedad Académica	Caracterización morfológica de un consorcio microbiano presente en la remoción de ($\alpha+\beta$)-endosulfán.	2017
Tesis de Maestría	Capacidad metabólica-adaptativa en consorcio bacteriano con aplicación en prácticas agroecológicas.	2018
Tesis Maestría	Comparación de un proceso de bioestimulación y la combinación de bioestimulación-bioaumentación para la degradación de boscalid, bifentrina y fenvalerato en suelo.	2018
Tesis de Maestría	Análisis de la capacidad de crecimiento de <i>Agrocybe pediades</i> en presencia de hexalorobenceno.	2018
Tesis Maestría	Degradación de plaguicidas organofosforados y organoclorados en un suelo utilizando <i>Candida tropicalis</i> y <i>Stenotrophomonas maltophilia</i> .	2018
Tesis Licenciatura	Microorganismos de suelos florícolas contaminados con plaguicidas durante su tratamiento con vermicomposta.	2019
Tesis de Maestría	Evaluación de la degradación del Plaguicida metamidofos por cepas Bacterianas aisladas de suelo Florícola del estado de México.	2019
Tesis de Maestría	Proceso de degradación de atrazina en un suelo agrícola por actividad enzimática de <i>Aspergillus niger</i> .	2019
Tesis de Doctorado	Análisis del transcriptoma y proteoma de la cepa <i>Burkholderia zhejiangensis</i> CEIB S4-3 en el proceso de biodegradación del plaguicida paratión metílico.	2019
Revista de la Facultad de Ciencias Básicas	Biorremediación de suelo de la chinampa ubicada en Cuernavaca delegación Xochimilco, D.F contaminado con plaguicidas empleando <i>Penicillium</i> sp.	2019
Tesis de Doctorado	Respuestas toxicológicas y fisiológicas de <i>Eisenia Fetida</i> a endosulfán lactona.	2019

Revista Especializada en Ciencias Químico-Biológicas	Identificación de microorganismos aislados de suelos agrícolas con capacidad de tolerar 2.4-D y malatión.	2020
Revista de Agronomía	Effect of the pesticide endosulfan and two different biostimulants on the stress responses of phaseolus leptostachyus plants grown in a saline soil.	2021
Revista Especializada en Ciencias Químico-Biológicas	Fitorremediación: Alternativa biotecnológica para recuperar suelos contaminados con DDT. Una revisión	2021
Tesis de Licenciatura	Degradación de compuestos xenobióticos por medio de consorcios microbianos.	2021
Tesis de Maestría	Diseño de metagenómica funcional de consorcios microbianos tolerantes a glifosato, carbofurán, permetrina y clorpirifós.	2021

Fuente: Elaboración propia.

Gráfico 3. Grupo de plaguicidas encontrados en las investigaciones durante el periodo 2011-2021.

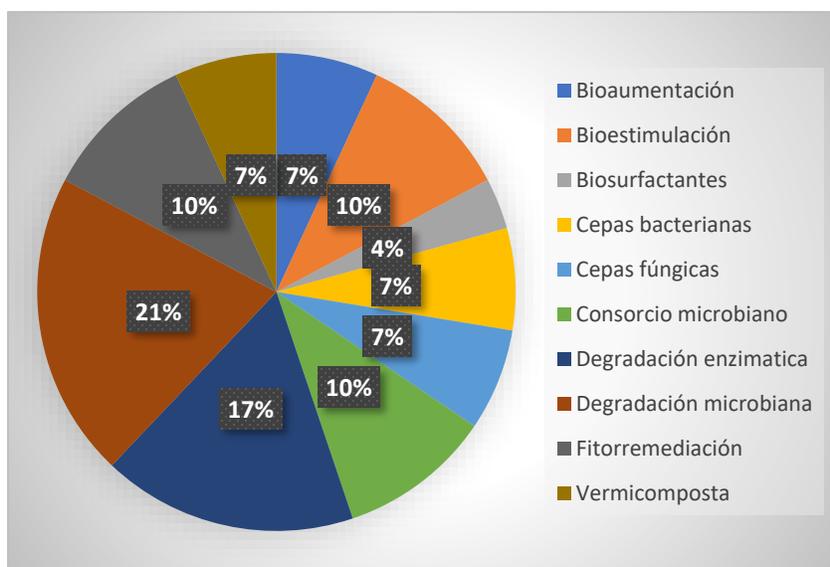


Fuente: Elaboración propia

Nota: en otros se encuentran los siguientes grupos químicos (ácido fenoxiacético, avermectins, benzimidazoles, bipiridilos, calcógenos, cloronitrilo, piridincarboxamidas, spinosines y triazinas).

De las 28 investigaciones, se obtuvo un 38% enfocadas a los plaguicidas organoclorados, con un 28% en los organofosforados, mientras que en otros hay un 24% quedando con 5% los piretroides y carbamatos.

Gráfico 4. Métodos de biorremediación encontrados en las investigaciones durante el periodo 2011-2021.



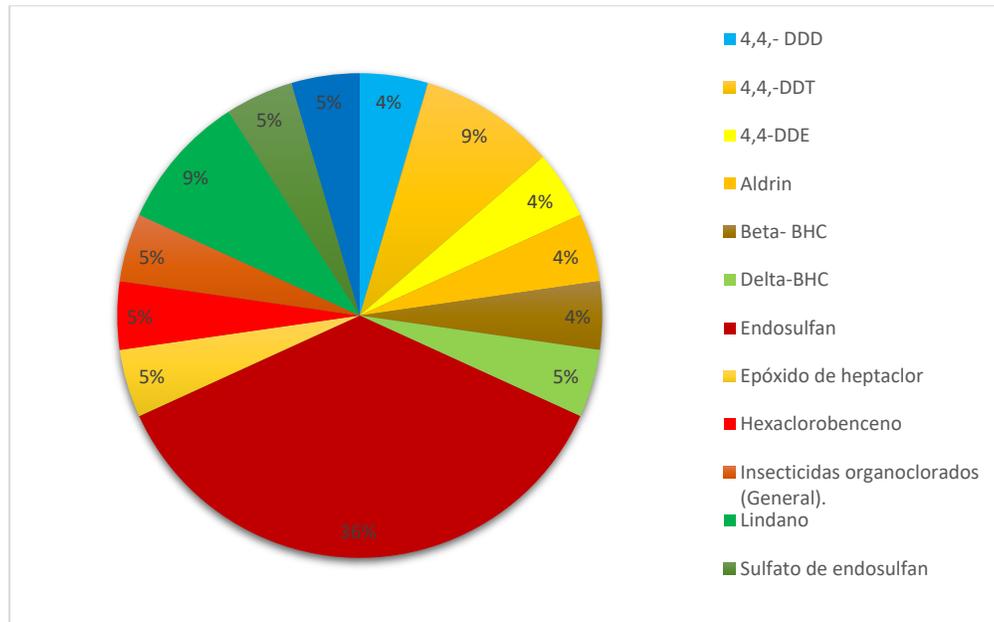
Fuente: Elaboración propia

Se encontraron diez métodos de biorremediación que se han aplicado en los últimos diez años a nivel nacional teniendo con un 21% la degradación microbiana, un 17% degradación enzimática, con un 10% el uso de biosurfactantes, consorcios microbianos y la bioestimulación. Mientras que la vermicomposta, las cepas fúngicas, bioaumentación y cepas bacterianas quedan con 7%. Finalmente, con un 4% la fitorremediación.

V.1.2.1 Cribado en los organoclorados.

De lo general se partió a lo particular, se encontraron 12 investigaciones enfocadas a los plaguicidas organoclorados y sus respectivos métodos de biorremediación. A continuación, se detallan de manera gráfica la cantidad porcentual de insecticidas que fueron encontrados en los suelos de los distintos estados del país al igual las técnicas que se han utilizado para la recuperación del suelo en los últimos diez años.

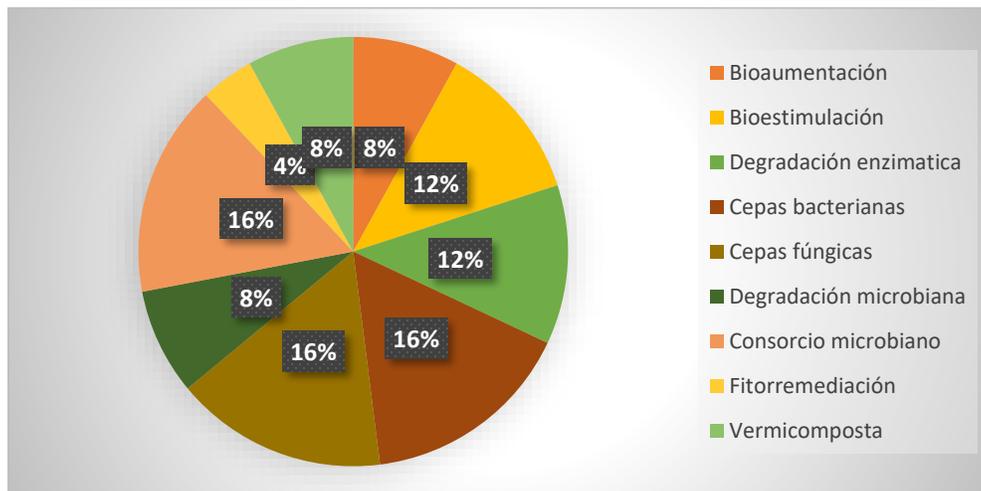
Gráfico 5. Insecticidas organoclorados encontrados en las investigaciones durante el periodo 2011-2021.



Fuente: Elaboración propia.

Uno de los insecticidas con mayor número de investigaciones es el endosulfan (38%) seguido del lindano y 4,4- ddt (9%).

Gráfico 6. Métodos de biorremediación encontrados en las investigaciones del periodo 2011-2021 enfocado en los suelos contaminados por organoclorados.



Fuente: Elaboración propia.

Las técnicas de biorremediación más usadas de acuerdo al número de investigaciones encontradas son por medio cepas fúngicas, bacterianas y bioaumentación (16%). Y con un 12% se encuentra la bioestimulación y la degradación enzimática.

V.1.3. Separar la información conforme su región.

En este apartado se anexa una tabla enfocada al tema de estudio que son los organoclorados y sus respectivas técnicas de biorremediación, pero por región. También se agrega las ventajas y desventajas de acuerdo al estudio que destaca cada autor.

Tabla 12. Ventajas y desventajas de las alternativas de biorremediación.

Región	Insecticidas	Método de biorremediación	Ventajas	Desventajas
Centro	DDT	Bioestimulación	<ol style="list-style-type: none"> 1. El proceso de bioestimulación mediante el uso de cosustratos orgánicos induce diferentes mecanismos de degradación. 2. Es una estrategia más eficiente. 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Se necesita un co-sustrato. 2. El estudio aún requiere de experimentos a nivel piloto para conocer los datos relativos a los costos y al desempeño a gran escala.
Centro	Endosulfan	Bioestimulación	<ol style="list-style-type: none"> 1. Es una estrategia remediadora y sustentable. 2. Es tolerante y se adapta fácilmente. 3. <i>Penicillium crustosum</i> mejora la germinación de semillas y el crecimiento de plantas en suelos contaminados con endosulfán. 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Se necesita de un sustrato. 2. Se necesitarán más estudios realizados en el campo a mayor escala e incluyendo la fase reproductiva para demostrar que los bioestimulantes también mejoran el rendimiento de los cultivos. 3. Se recomienda el uso de bioestimulantes para compensar los efectos adversos que deja el endosulfan al suelo.
Centro	Endosulfan	Cepas fúngicas	<ol style="list-style-type: none"> 1. Contribuye de manera eficiente y económica en la disminución de contaminación puntual de plaguicidas. 2. <i>Phanerochaete chrysosporium</i>, <i>Trametes versicolor</i> y <i>Trichoderma koningii</i>, así como las cepas <i>Mucorcircinelloides</i>, <i>Penicillium janthinellum</i>, 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Las cepas <i>F. axysporum</i> y <i>F. equiseti</i> y <i>Penicillium janthinellum</i> presentaron dinámicas de desarrollo más lentas y se vieron afectadas por el insecticida por lo que demuestra una recuperación

			<i>Alternaria alternata</i> y <i>Fusarium moniliforme</i> tienen la capacidad para biodegradar a los plaguicidas.	menor que el resto de las demás cepas.
Centro	Hexaclorobenceno	Degradación microbiana	1.El hongo <i>Agrocybe pediades</i> tiene la capacidad de tolerar y crecer en presencia de hexaclorobenceno con concentraciones de 10 hasta 500 µg/l, en medio sólido, mientras que, en cultivo líquido presentó un mayor crecimiento cuando en el cultivo contenía HCB en una concentración de 300 µg/l.	1. Se necesita un co-sustrato.
Centro	Lindano Beta-BHC Delta-BHC Epóxido de heptacloro Trans-Clordano 4,4-DDE Endosulfán 4,4,-DDD 4,4,-DDT Sulfato de endosulfán	Bioaumentación	1. Tiene la capacidad biorremediadora de eliminar plaguicidas de alta persistencia en el ambiente. 2. Son ideales para remediar suelos contaminados con plaguicidas organoclorados usando a <i>Penicillium</i> sp.	1. La humedad es uno de los parámetros que benefician durante la degradación, por lo que es necesario que se presente en bajos valores para obtener una mejor degradación del plaguicida.

Noroeste	Endosulfan	Consortio microbiano	<ol style="list-style-type: none"> 1. Los hongos han mostrado una gran capacidad de adaptación y resistencia a una inhibición ante el medio contaminado. 2. Son resistentes y se adaptan a la adición del contaminante endosulfán. 3. Durante la tercera etapa del reactor, se logra una remoción de hasta 99% del compuesto endosulfan. 4. Se puede usar el endosulfán como fuente de carbono para su degradación. 	<ol style="list-style-type: none"> 1. La temperatura debe ser de 25°C durante cuatro días para incentivar el crecimiento microbiano. 2. Hay posibilidad de que existan microorganismos que no puedan reproducirse, ya que algunas pueden presentar distintas reacciones al momento de degradar. 3. Durante la segunda etapa del reactor, solo se logra una remoción del 36% del compuesto endosulfan.
Occidente	Endosulfan	Fitorremediación	<ol style="list-style-type: none"> 1. Es una estrategia económica. 2. <i>Ocimum basilicum</i> L. se adapta fácilmente y puede repeler a algunas especies de insectos, lo que contribuiría al proceso de biorremediación. 3. <i>Ocimum basilicum</i> L. en una excelente candidata para biorremediar plaguicidas organoclorados. 4. Disminuye la concentración de endosulfan en el suelo hasta en un 37%. 5. Estéticamente agradable. 6. Aparte de representar poco riesgo para la salud del medio ambiente. 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Es necesario estudiar la capacidad fitoacumuladora de la planta <i>Ocimum basilicum</i> L en vacuolas y raíz expuestas a endosulfan.

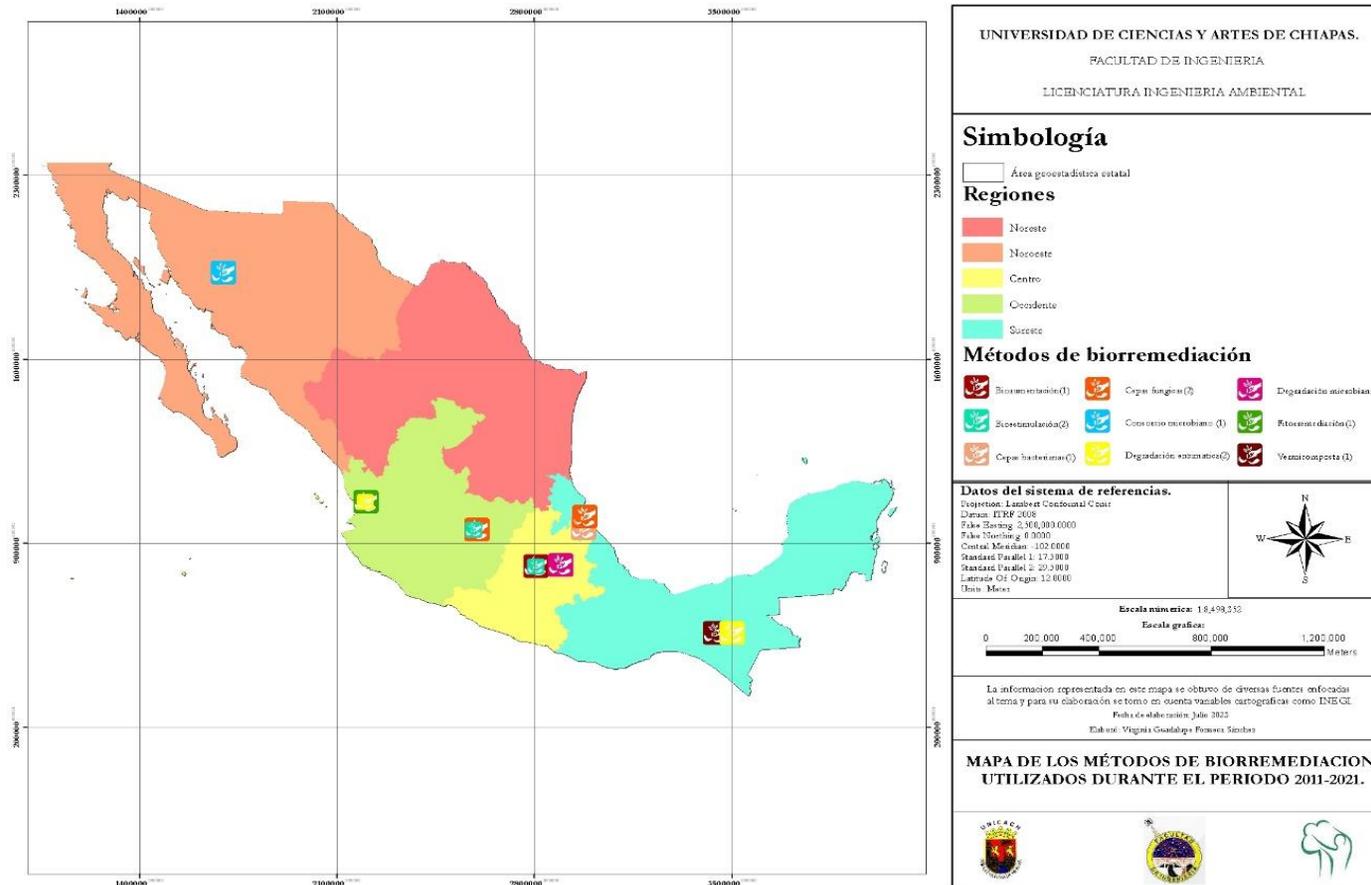
Occidente	Se menciona de manera general (Plaguicidas Organoclorados).	Degradación enzimática	<ol style="list-style-type: none"> 1. No generan biomasa. 2. Son catalizadores ya sea con uno o varios sustratos 3. Se puede utilizar en altas concentraciones 4. Estabilidad, ya que no son consumidas durante la catalisis. 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Puede ser difícil aislarlas. 2. Inicialmente el proceso de aislamiento y purificación es costoso. 3. Al inicio hay que hacer muchas pruebas de investigación para determinar que enzimas son las degradadoras, esto puede llevar su tiempo.
Sureste	Aldrín Lindano	Cepas fúngicas	<ol style="list-style-type: none"> 1. Son capaces de degradar plaguicidas organofosforados y organoclorados. 2. En términos de economía, el tratamiento con <i>C. tropicalis</i> es de mayor viabilidad. 3. El mejor tratamiento para la degradación del insecticida lindano es con la cepa <i>C. tropicalis</i>; para el caso del aldrín es conveniente usar el consorcio <i>C. tropicalis/S. maltophilia</i>. 4. Se puede realizar en poco tiempo. 	<ol style="list-style-type: none"> 1. La presencia de productos xenobióticos al comienzo del crecimiento de <i>S. maltophilia</i> provoca efectos negativos, se recomienda que el inóculo de la cepa sea de edad adulta.
Sureste	Endosulfan	Vermicomposta	<ol style="list-style-type: none"> 1. Las lombrices de tierra son capaces de adaptarse a suelos muy diferentes y extensamente contaminados. 2. Proporcionan datos importantes para estudios de ecotoxicología. 3. Funcionan como biomarcadores de suelos contaminados y que, a su vez, la presencia de estas enzimas facilita la biodegradación y biotransformación de contaminantes. 4. Tienen la habilidad y supervivencia de estar en condiciones ambientales adversas. 	<ol style="list-style-type: none"> 1. A menores concentraciones (0.001 – 0.004 mg/kg) genera toxicidad aguda en <i>Eisenia fetida</i>.

Sureste	Endosulfan	Degradación enzimática	<p>1. Las cuatro cepas de <i>A. fuscossuccinea</i> ECS-0201, ECS-0202, ECS-0210 y ECS-0217 disminuyeron el contenido de endosulfán durante su crecimiento en medio líquido.</p> <p>2. La cepa seleccionada fue la ECS-0210, ya que su extracto enzimático libre de células disminuyó el contenido de endosulfán y se determinó la presencia de las enzimas ligninolíticas: fenol oxidasa y lacasa.</p> <p>3. Los resultados demuestran que durante ocho días de crecimiento en medio líquido las cuatro cepas evaluadas degradan 94-100% de este insecticida.</p>	<p>1. Sólo los hongos ECS-0201 y ECS-0210 presentaron actividad de las enzimas fenol oxidasa y lacasa.</p> <p>2. <i>A. fuscossuccinea</i>, por sí sola no produce enzimas.</p> <p>3. Las cepas ECS-0201 y ECS-0210 presentaron actividad oxidasa, pero no peroxidasa.</p> <p>4. Algunos factores como el tiempo de la reacción, la utilización de mediadores, ensayos de sinergismo pudieron influir en la nula degradación del contaminante.</p>
Sureste	Endosulfan.	Cepas bacterianas	<p>1. Cuenta con la capacidad de crecer en presencia de insecticidas.</p> <p>2. Viables para su implementación en técnicas de biorremediación.</p>	<p>1. Es necesario usar un co-sustrato.</p>

Fuente: Elaboración propia

V.1.4. SIG de la república mostrando las remediaciones más usadas en cada región.

Mapa 1. Métodos de biorremediación utilizados durante el periodo 2011-2021.



Fuente: Elaboración propia.

CAPITULO VI.

VI.1. CONCLUSION.

De todo lo expuesto en esta investigación, se concluye lo siguiente:

- El análisis permitió conocer que de todos los métodos de biorremediación que se aplicaron en el 2011 al 2021 en los suelos contaminados por plaguicidas organoclorados, la alternativa más usada a nivel nacional es por medio de cepas fúngicas y bacterianas, son capaces de degradar insecticidas como el endosulfan, hexaclorobenceno, lindano y aldrín.
- Los factores que pueden llegar a alterar la eficiencia de la biorremediación bacteriana y fúngica son la temperatura, el pH, la aireación, la humedad, la falta de nutrientes debido a que estos afectan el crecimiento de los hongos y las bacterias.
- De acuerdo a lo encontrado en los diversos estudios, aun se siguen usando plaguicidas organoclorados como es el caso del endosulfan, un insecticida conocido por ser perjudicial para el medio ambiente, más cabe mencionar que se encuentra restringido y prohibido.
- México es un país que cuenta con gran presencia del sector agrícola y por ende del uso indiscriminado de agroquímicos que han conllevado el desequilibrio de los recursos naturales, se tiene muy pocos estudios relacionados con la biorremediación de los suelos impactados por estos contaminantes.
- La biorremediación es una alternativa que contribuye de manera económica, ambiental y es de gran beneficio social además de que es eficiente, ya que puede llevarse a cabo en poco tiempo, es sustentable, tolerante y ha demostrado una gran capacidad de degradar los plaguicidas presentes en los suelos.

VI.2. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS.

- [1] A. M. del Puerto Rodríguez, S. Suárez Tamayo, and D. E. Palacio Estrada, “Efectos de los plaguicidas sobre el ambiente y la salud,” *Rev. Cubana Hig. Epidemiol.*, vol. 52, no. 3, pp. 372–387, 2014.
- [2] Organización de las Naciones Unidas (FAO), “Los suelos sanos son la base para la producción de alimentos saludables,” *Fao*, pp.1-4, 2015, [Online]. Available: <http://www.fao.org/3/a-i4405s.pdf>.
- [3] Centro de Estudios para el Desarrollo Rural Sustentable y la Soberanía Alimentaria (CEDRSSA), “Impacto del uso de plaguicidas en el sector agropecuario” pp.1-44, 2020, [Online]. Available: <http://www.cedrssa.gob.mx/files/b/13/54IMPACTO%20DE%20LOS%20PLAGUICIDAS.pdf>
- [4] S.D. Leal Soto, A.I. Valenzuela Quintanar, M. de L. Gutiérrez Coronado, M. del C. Bermúdez Almada, J. García Hernández, M.L. Aldana Madrid, P. Grajeada Cota, M.I. Silveira Gramont, M.M. Meza Montenegro, S.A. Palma Durán, G.N. Leyva García, B.O. Camarena Gómez, Ciara Paulina Valenzuela Navarro, “Residuos de plaguicidas organoclorados en suelos agrícolas”, *Terra Latinoamericana*, vol.32, no.1, pp.1-11, 2014.
- [5] B. Castillo, J.O. Ruiz, M.A.L. Manrique, C. Pozo, “Contaminación por plaguicidas agrícolas en los campos de cultivos en Cañete (Perú)”, *Revista espacios*, vol.4, no.4, pp.1-11, 2020.
- [6] J. Luna Fontalvo y S. Vera, “Biodegradación de toxafeno por hongos de la pudrición blanca”, *suelos ecuatoriales*, vol. 47, no.1 y 2, pp. 72-77,2016.
- [7] M. Kopytko, S. N. Correa-Torres, and M. J. Estévez-Gómez, “Contaminados con pesticidas organoclorados,” *Rev. Investig. Agrar. y Ambient.*, pp. 119–130, 2017.
- [8] J.L. Hernández Castellanos,” Degradación de plaguicidas organofosforados y organoclorados en un suelo utilizando *Candida tropicalis* y *Stenotrophomonas maltophilia*” (tesis de maestría), Facultad de ciencias biológicas y agropecuarias, Tuxpan Veracruz,2018.
- [9] R. Rodríguez and M. Rodríguez “Biorremediación de suelo de la chinampa ubicada en Cuemanco delegación Xochimilco, D.F contaminado con plaguicidas empleando *Penicillium sp.*,” *Bistua Rev. La Fac. Ciencias Basicas*, vol. 17, no. 1, p. 48, 2018.

- [10] C. Mendarte-Alquisira, A. Alarcón, and R. Ferrera-Cerrato, “Fitorremediación: Alternativa biotecnológica para recuperar suelos contaminados con DDT. Una revisión,” *TIP Rev. Espec. en Ciencias Químico-Biológicas*, vol. 24, no. 1-15, pp. 1–15, 2021.
- [11] Organización Mundial de la Salud (OMS). Residuos de los plaguicidas en los alimentos, 2022. [Online]. Available: <https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/pesticide-residues-in-food>
- [12] Food and Agriculture Organization of the United Nations, “Pesticides Use. Last Update, 2020. [Online]. Available: <https://www.fao.org/faostat/en/#data/RP/visualize>
- [13] M.C. Diez, R. Barra y G. Vidal, “Dos caras de los plaguicidas”, 2021. [Online]. Available: <https://www.ciperchile.cl/2021/09/21/dos-caras-de-los-plaguicidas/>
- [14] C. García Gutiérrez y G. D. Rodríguez Meza, “Problemática y riesgo ambiental por el uso de plaguicidas en Sinaloa” *Ra Ximhai*, vol.8, no.3, pp.1-10, 2012.
- [15] I. Ortiz, M.A. Ávila Chávez y L.G. Torres, “Plaguicidas en México: usos, riesgos y marco regulatorio. Revista Latinoamericana Ambiental y Algal, vol4, no.1, pp.26-46.
- [16] O. Arellano-Aguilar, J. Rendon Von Ostén, “La huella de los plaguicidas en México”, 2018. [Online]. Available: https://www.researchgate.net/publication/316430717_La_huella_de_los_plaguicidas_en_Mexico
- [17] G. González Acosta, “Marco Jurídico Nacional de la Comercialización y Control de Plaguicidas y otras sustancias para la agricultura en la Republica de Argentina”, *Revista Científica de la Facultad de Derecho y Ciencias Sociales y Políticas*, 2022.
- [18] S. Navarro García y A. Barba Navarro, Comportamiento de los plaguicidas en el medio ambiente, 1996. [Online]. Available: https://www.mapa.gob.es/ministerio/pags/biblioteca/hojas/hd_1995_09.pdf
- [19] R. Morgado, S. Loureiro, M.N. González-Alcaraz, “Changes in ecosystem structure and soil functions due to soil contamination”, *Soil Pollution: From Monitoring to Remediation*, 2018.
- [20] Comisión Nacional Áreas Naturales Protegidas (CONANP), 2019. [Online]. Available: <https://www.gob.mx/conanp/articulos/el-suelo-recurso-para-la-vida>

- [21] Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO), “Los suelos sanos son la base para la producción de alimentos saludables” [Online]. Available: <http://www.fao.org/3/a-i4405s.pdf>
- [22] Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO), “¡Está vivo! El suelo es mucho más de lo que piensas”, [Online]. Available: <https://www.fao.org/fao-stories/article/es/c/1275321/#:~:text=Los%20suelos%20son%20esenciales%20para,para%20una%20buena%20nutrici%C3%B3n%20humana>.
- [23] Secretaria de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT) (2022), [Online]. Available: <https://www.gob.mx/semarnat/es/articulos/dia-mundial-del-suelo-2022?idiom=es>
- [24] Comisión Intersecretarial para el Control del proceso y uso de Plaguicidas, Fertilizantes y Sustancias Tóxicas (CICOPLAFEST). (1991). Catalogo Oficial. [Online]. Available: <https://biblioteca.semarnat.gob.mx/janium/Documentos/Ciga/agenda/PP03/catalogo.pdf>
- [25] Organización de las Naciones Unidas (FAO). (1910).
- [26] S. Astudillo S, “COPs Contaminantes Orgánicos Persistentes” *Revista la granja*, vol.2, núm.2, pp.16-17, 2003.
- [27] Secretaria de Agricultura y Desarrollo Rural (SADER). (2019). Manual para el buen uso y manejo de plaguicidas en campo. [Online]. Available: https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/452645/Manual_para_el_buen_uso_y_manejo_de_plaguicidas_en_campo.pdf
- [28] J.A. Ramírez and M. Lacazaña,” Plaguicidas: clasificación, uso, toxicología y medición de la exposición” *Arch Prev Riesgos Labor*, vol. 4, nom.2, pp. 67-75, 2001.
- [29] J.F. Narváez Valderrama, J.A. Palacio Baena, J. A. y F.J. Molina Pérez, “Persistencia de plaguicidas en el ambiente y su ecotoxicidad: Una revisión de los procesos de degradación natural” *Gestión y Ambiente*, vol. 15, no.3, pp. 27-37, 2012.
- [30] M.J. Sanchez Martin and M. Sanchez Camazano. (1984). Los plaguicidas: Adsorción y evolución en el suelo. [Online]. Available: <http://digital.csic.es/bitstream/10261/12919/1/plaguicidas.pdf%3B>

- [31] Agencia para sustancias toxicas y el registro de enfermedades (ATSDR),” Piretrinas y piretroides. [Online]. Available: https://www.atsdr.cdc.gov/es/toxfaqs/es_tfacts155.html
- [32] Y. Koga y N. Ruiz. (2010). “Uso de piretroides ¿La solución adecuada? [Online]. Available: <https://bioservice.com.pe/Piretroides.pdf>
- [33] Convenio Estocolmo. (2019). Los contaminantes orgánicos persistentes (COP). [Online]. Available: <http://chm.pops.int/TheConvention/ThePOPs/tabid/673/Default.aspx>
- [34] J.R. Forero, H.I. Castro and J.A. Guerrero, “Extracción de plaguicidas en suelo empleando dióxido de carbono supercrítico-cosolventes”, *Revista Colombiana de Química*, vol.38, no.2, pp. 425-434,2009.
- [35] Instituto para la innovación tecnológica en la agricultura (INTAGRI). (2017). “Evolución de plaguicidas en el suelo”. [Online]. Available: <https://www.intagri.com/articulos/suelos/evolucion-de-plaguicidas-en-el-suelo>
- [36] R. Iturbe Arguelles, “¿Que es la biorremediacion?”. [Online]. Available: https://www.dgdc.unam.mx/assets/cienciaboletn/cb_11.pdf
- [37] J. Van Deuren, Z. Wang and J. Ledbetter. (1997). Remediation technologies screening matrix and reference guide. [Online]. Available: <http://www.epa.gov/tio/remed.htm>
- [38] J.B. Eweis, S.J. Ergas, D.P. Chang and E.D. Schroeder. *Principios Biorremediación*. Boston WCB/McGraw-Hill, 1998.
- [39] Instituto de seguridad minera, “Técnicas empleadas para la biorremediacion de suelos”, 2017. [Online]. Available: <https://www.revistaseguridadminera.com/operaciones-mineras/biorremediacion-y-tipos-de-tecnicas-para-recuperar-los-suelos/>
- [40] J. Fabelo, “Propuesta Ecológica Para La Recuperación De Suelos Contaminados,” *Cent. Azúcar*, vol. 44, no. 1, pp. 53–60, 2017.
- [41] Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias, 2020. [Online]. Available: <https://www.gob.mx/inifap/articulos/fitorremediacion-para-suelos-sanos-y-productivos-libres-de-contaminantes>
- [42] Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático (INECC). (2007). Tecnologías de remediación. [Online]. Available: <http://www2.inecc.gob.mx/publicaciones2/libros/372/tecnolog.html>

- [43] P. Román, M. M. Martínez y A. Pantoja. (2013). Manual de compostaje del agricultor. [Online]. Available: <chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://www.fao.org/3/i3388s/I3388S.pdf>
- [44] Secretaria de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (SAGARPA). (2013). ¿Qué es la composta? [Online]. Available: <https://www.gob.mx/epn/articulos/que-es-la-composta>
- [45] E. Riser-Roberts. (1998). Remediación de suelos contaminados con petróleo. [Online]. Available: <https://www.routledge.com/Remediation-of-Petroleum-Contaminated-Soils-Biological-Physical-and-Chemical/Riser-Roberts/p/book/9780367400446>
- [46] Convenio Rotterdam. (2019). Los contaminantes orgánicos persistentes (COP). [Online]. Available: <https://www.pic.int/ElConvenio/ProductosQu%C3%ADmicos/AnexoIII/tabid/2031/language/es-CO/Default.aspx>
- [47] Diario Oficial de la Federación. (2021). Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos. [Online]. Available: <https://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/pdf/CPEUM.pdf>
- [48] Diario Oficial de la Federación. (2021). Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente. [Online]. Available: <https://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/pdf/LGEEPA.pdf>
- [49] Diario Oficial de la Federación. (2021). La Ley Federal de Responsabilidad Ambiental [Online]. Available: https://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/pdf/LFRA_200521.pdf
- [50] Diario Oficial de la Federación. (2021). Ley General de Desarrollo Forestal Sustentable [Online]. Available: <https://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/pdf/LGDFS.pdf>
- [51] Diario Oficial de la Federación. (2021). Ley de Desarrollo Rural Sustentable [Online]. Available: https://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/pdf/235_030621.pdf

VI.3. ANEXOS.

Anexo 1. Tabla general de las alternativas de biorremediación para suelos contaminados por plaguicidas.

Documento	Título del documento	Autores	Año de publicación	Lugar	Plaguicidas	Método de biorremediación
Tropical and Subtropical Agroecosystems	Fitorremediación una alternativa para eliminar la contaminación.	Angélica Evelin Delgadillo-López. César Abelardo González-Ramírez. Francisco Prieto-García. José Roberto Villagómez-Ibarra. Otilio Acevedo-Sandoval.	2011	Estado de Hidalgo	Se menciona de manera general.	Fitorremediación
Tesis de Doctorado	Tolerancia y biodegradación de plaguicidas con hongos filamentosos.	Katina Stamatiu Sánchez.	2013	Estado de Guanajuato	Endosulfan Clorpirifós Clorotalonil	Cepas fúngicas
Revista Internacional de Contaminación Ambiental	Mechanisms and strategies for pesticide biodegradation: Opportunity for waste, soils and water cleaning.	Ma. Laura Ortiz-Hernández Enrique Sánchez-Salinas María Luisa Castrejón Godínez Edgar Dantan González Elida Carolina Popoca Ursino	2013	Estado de Morelos	Se menciona de manera general.	Degradación microbiana
Tesis de Maestría	Efecto del endosulfan sobre la actividad de glutations-transferasa de	Maricela Ramírez Sandoval	2013	Estado de Nayarit	Endosulfan	Fitorremediación

	Ocimum Basilicum L.					
Revista Latinoamericana de Biotecnología Ambiental y Algal	Biosurfactantes y su papel en la biorremediación de suelos contaminados con plaguicidas.	Nuvia L. De la Rosa Cruz Enrique Sánchez-Salinas Ma. Laura Ortiz- Hernández	2014	Estado de Morelos	Se menciona de manera general.	Biosurfactantes
Tesis Maestria	Degradación de los plaguicidas endosulfán y malatión por cepas bacterianas aisladas de suelo agrícola.	Ana Catya de Jesús Jiménez Torres	2014	Estado de Veracruz	Endosulfan Malation	Cepas bacterianas
Tesis Maestria	Producción y caracterización de las enzimas del hongo comestible Auricularia fuscosuccinea que intervienen en la degradación del contaminante endosulfán.	Alfredo Francisco Yáñez Montalvo	2014	Tapachula Estado Chiapas	Endosulfan Clorpirifós Clorotalonil	Degradación enzimatica
Tesis Maestria	Obtención de enzimas recombinantes para biorremediación.	Geovanny Nairn Melchor Partida	2014	Estado de Nayarit	No se menciona.	Degradación enzimatica

Tesis de Maestria	Evaluación del desempeño de pilobolus sp. para remover metil paratión en microhábitats de cultivos de maíz.	Luis Antonio Vaje Romero	2015	Estado de México	Metil Paration	Cepas fúngicas
Revista Argentina de Microbiología	Producción de enzimas ligninolíticas durante la degradación del herbicida paraquat por hongos de la pudrición blanca.	Reyna L. Camacho-Morales José Luis Gerardo-Gerardo Karina Guillén Navarro José E. Sánchez	2016	Estado de Chiapas	Paraquat	Degradación enzimatica
Tesis de Doctorado	Estudio de los mecanismos de degradación de ddt y sus intermediarios en suelos contaminados mediante la bioestimulación de poblaciones microbianas para proponer estrategias de remediación.	Juan Antonio Velasco Trejo	2017	Estado de Guanajuato	DDT	Bioestimulación
Tesis de Doctorado	Transformación genética de bacterias para degradar plaguicidas	David Antonio Moreno Medina	2017	Estado de México	Clorpirifos	Cepas bacterianas

	organofosforados.					
Revista la Sociedad Académica	Caracterización morfológica de un consorcio microbiano presente en la remoción de ($\alpha+\beta$)-endosulfán.	Alex Vanessa Gutiérrez García Andrea Reynoso Varela Sergio de los Santos Villalobos Ruth Gabriela Ulloa Mercado Edna Rosalba Meza Escalante Denisse Serrano Palacios	2017	Estado de Sonora	Endosulfan	Consortio microbiano
Tesis Maestria	Comparación de un proceso de bioestimulación y la combinación de bioestimulación-bioaumentación para la degradación de boscalid, bifentrina y fenvalerato en suelo.	Maria Alexandra Zambrano Vargas	2018	Estado de Guanajuato	Boscalid Bifentrina Fenvalerato	Bioestimulación y Bioaumentación
Tesis de Maestria	Capacidad metabólica-adaptativa en consorcio bacteriano con aplicación en prácticas agroecológicas.	Yair García Saavedra	2018	Estado Sinaloa, Tlaxcala y Puebla	2,4-D Malation Carbofuran.	Degradación microbiana

Tesis Maestria	Degradación de plaguicidas organofosforados y organoclorados en un suelo utilizando <i>Candida tropicalis</i> y <i>Stenotrophomonas maltophilia</i> .	José Leonardo Hernández Castellanos	2018	Estado de Veracruz	Aldrín Lindano Malatión Clorpirifos Metil paratión	Degradación microbiana
Tesis de Maestria	Análisis de la capacidad de crecimiento de <i>Agrocybe pediades</i> en presencia de hexalorobenceno .	Aimé Hernández Sirio	2018	Estado de Tlaxcala	Hexaclorobenceno	Degradación microbiana
Revista de la Facultad de Ciencias Básicas	Biorremediación de suelo de la chinampa ubicada en Cuernavaca delegación Xochimilco, D.F contaminado con plaguicidas empleando <i>Penicillium</i> sp.	Rodríguez V. Refugio Rodríguez B. Massiel	2019	Estado Distrito Federal	Lindano Beta- BHC Delta-BHC Epóxido de heptacloro Trans-Clordano 4,4-DDE Endosulfán 4,4,- DDD 4,4,-DDT Sulfato de endosulfán	Bioaumentación

Tesis de Maestría	Proceso de degradación de atrazina en un suelo agrícola por actividad enzimática de <i>Aspergillus niger</i> .	Brenda Elena Herrera Gallardo	2019	Estado de México	Atrazina	Degradación enzimática
Tesis de Doctorado	Análisis del transcriptoma y proteoma de la cepa Burkholderia zhejiangensis CEIB S4-3 en el proceso de biodegradación del plaguicida paratión metílico.	María Luisa Castrejón Godínez	2019	Estado De Morelos	Paratión metílico	Degradación enzimática
Tesis de Maestría	Evaluación de la degradación del Plaguicida metamidofos por cepas Bacterianas aisladas de suelo Florícola del estado de México.	Maribel Verónica Albiter López	2019	Estado de México	Metamidofos	Degradación microbiana

Tesis Licenciatura	Microorganismos de suelos florícolas contaminados con plaguicidas durante su tratamiento con vermicomposta.	Marco Antonio Palomino García	2019	Estado de México	Agriver Benomilo Fosetil-al Furadan Palgus Rotamik Sagamet Serenade Terramicina	Vermicomposta
Tesis de Doctorado	Respuestas toxicológicas y fisiológicas de <i>Eisenia Fetida</i> a endosulfán lactona.	Paola Taydé Vázquez Villegas	2019	Tuxtla Gutiérrez Estado de Chiapas	Endosulfan	Vermicomposta
Revista Especializada en Ciencias Químico-Biológicas	Identificación de microorganismos aislados de suelos agrícolas con capacidad de tolerar 2.4-D y malatión.	María Fernanda Rosado-Flores Juan Manuel González-Prieto Maribel Mireles-Martínez Jorge Alberto Torres-Ortega, Ninfa María Rosas-García Jesús Manuel Villegas-Mendoza	2020	Estado de Tamaulipas y Guanajuato	2, 4-Diclorofenoxiacético o Malatión	Degradación microbiana
Revista de Agronomía	Effect of the pesticide endosulfan and two different biostimulants on the stress responses of	Anbu Landa-Faz Sara González-Orenga Mónica Boscaiu Refugio Rodríguez-Vázquez Oscar Vicente	2021	Estado de México	Endosulfan	Bioestimulación

	phaseolus leptostachyus plants grown in a saline soil.					
Tesis de Licenciatura	Degradación de compuestos xenobióticos por medio de consorcios microbianos.	Aminadab Gómez Molina	2021	Estado de Puebla	Benomilo	Consortio microbiano
Tesis de Maestría	Diseño de metagenómica funcional de consorcios microbianos tolerantes a glifosato, carbofurán, permetrina y clorpirifós.	América Jazmín Cota Álvarez	2021	Estado de Sinaloa y Sonora	Glifosato Carbofuran Permetrina Clorpirifos	Consortio microbiano
Revista Especializada en Ciencias Químico-Biológicas	Fitorremediación: Alternativa biotecnológica para recuperar suelos contaminados con DDT. Una revisión	Calíope Mendarte-Alquisira Alejandro Alarcón Ronald Ferrera-Cerrato	2021	Estado de México	DDT DDE DDD	Fitorremediación

Fuente: Elaboración propia.