

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD DE CIENCIAS AGRONÓMICAS



TESINA:

**“SISTEMATIZACIÓN DE TECNOLOGÍAS PARA LA
BIORREMEDIACIÓN DE LOS SUELOS.”**

POR:

ELVIS JOSÉ ÁBREGO CALLES.

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD DE CIENCIAS AGRONÓMICAS
DEPARTAMENTO DE RECURSOS NATURALES Y MEDIO AMBIENTE



TESINA:
“SISTEMATIZACIÓN DE TECNOLOGÍAS PARA LA
BIORREMEDIACIÓN DE LOS SUELOS.”

POR:
ELVIS JOSÉ ÁBREGO CALLES.

COMO REQUISITO PARA OBTENER EL TÍTULO DE
INGENIERO AGRÓNOMO.

SAN SALVADOR, EL SALVADOR, CENTRO AMÉRICA, 2024.

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR

RECTOR

Ing. MSc. Juan Rosa Quintanilla

SECRETARIO GENERAL

Lic. Pedro Rosalío Escobar Castaneda

FACULTAD DE CIENCIAS AGRONÓMICAS

DECANO

Ing. Agr. MAECE. Nelson Bernabé Granados Alvarado

SECRETARIO

Ing. Agr. MSc. Edgar Geovany Reyes Melara

**JEFE DEL DEPARTAMENTO DE RECURSOS NATURALES
Y MEDIO AMBIENTE.**

Ing. Agr. MSc. José Mauricio Tejada Asencio

ASESOR INTERNO

PhD. Miguel Ángel Hernández Martínez

TRIBUNAL CALIFICADOR

PhD. Miguel Ángel Hernández Martínez

Ing. Agr. MSc. José Mauricio Tejada Asencio

Ing. Agr. Juan Gerardo Marroquín Reina

COORDINADOR GENERAL DE PROCESOS DE GRADUACIÓN

Ing. Agr. Juan Gerardo Marroquín Reina

Esta investigación fue realizada al finalizar el curso de especialización de “gestión integral de sistemas productivos agroecológicos” bajo la dirección del comité de Investigación indicado, ha sido aprobada por el mismo y aceptada como requisito para obtener el Título de

Ingeniero Agrónomo

Comité de Tesina

PhD. Miguel Ángel Hernández Martínez

Tutor de Tesina

Ing. Agr. MSc. José Mauricio Tejada Asencio

Jefe Departamento de Recursos Naturales y Medio Ambiente

Ing. Agr. Juan Gerardo Marroquín Reina

Coordinador de procesos de Graduación

Departamento de Recursos Naturales y Medio Ambiente

Dedicatoria

Primeramente, a Dios Padre todo poderoso por haberme dado la oportunidad de vivir, darme siempre la fuerza, el consuelo y la sabiduría para poder seguir adelante con mis sueños como también mis metas, a pesar de todos los problemas y adversidades que se fueron presentando en este viaje.

A mis padres, Ángel María Ábrego Cardoza y Dolores Calles Clavel por siempre brindarme su apoyo incondicionalmente, agradecerles por sus regaños, sus enseñanzas y correcciones en todas las etapas de mi vida, ya que sin ellos no podría ser la persona que hoy en día soy, gracias a ellos puede alcanzar este objetivo como profesional universitario.

A mis Hermanos, Christian Omar Ábrego Calles, Yuliana Verónica Ábrego Calles, Ángel David Ábrego Calles, María Cristina Ábrego Calles, gracias a ellos por ser parte de este viaje para lograr finalmente la culminación de todos estos años de estudios. Ellos siempre serán mi inspiración más grande para seguir adelante.

A mis amigos y profesores PhD. Miguel Ángel Hernández Martínez, Samuel Rivera, William Alexander Palacios, Nelson Ricardo Chile. Ever Alexis Martínez. Por el apoyo en cada etapa de la carrera, por los consejos y asesorías.

Agradecimientos

A Dios por permitirme a ver llegado hasta el final de mis estudios.

A mi familia por su apoyo incondicional en todas las etapas de mi carrera como también en mi vida, ya que sin ellos nunca hubiera sido posible la finalización de este sueño. “Inmensamente gracias”.

A mi asesor PhD. Miguel Ángel Hernández Martínez por toda la disponibilidad a lo largo del proceso, por su apoyo para la revisión y discusión del proyecto en el trabajo de investigación.

A mis profesores del curso de especialización Ing. Agr. Carlos Alberto Aguirre, Lic. Daniel de Jesús Palacios, Ing. Agr. MSc. José Mauricio Tejada, por su paciencia y enseñanza a lo largo de la investigación,

A mis amigos y compañeros de estudio que siempre estuvieron ahí desde el inicio de la carrera por el anhelo de un día poder ser profesionales: Samuel Rivera, Julio Alberto Carrillo, Willian Alexander Palacios, Nelson Ricardo Chile, Ever Alexis Martínez, Juan Ricardo Vargas, Ari Alejandro Armijo.

A la Universidad de El Salvador por permitirme finalizar esta etapa de formación, a lo largo de todos estos años.

Son muchas las personas que han contribuido al proceso de formación de mi carrera como futuro profesional de las Ciencias Agrarias,

Índice General

Tabla de contenido

Contenido	pág.
I. INTRODUCCIÓN.....	1
II. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	2
III. OBJETIVOS.	3
3.1. Objetivo general:.....	3
3.2. Objetivos específicos:.....	3
IV. ESTADO DEL ARTE.	4
V. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA.....	7
5.1. Biorremediación:.....	7
5.1.1. Métodos de la biorremediación en suelo.	7
5.1.2 La biorremediación <i>In situ</i> :.....	7
5.1.3. La biorremediación <i>Ex situ</i> :.....	8
5.1.4. Bioaumentación:.....	8
5.1.5. Bioestimulación:.....	8
5.1.6. Biofiltros:.....	9
5.1.7. Bioventilación:.....	10
5.1.8. Biolabranza:.....	10
5.2. Biorremediación de lodos contaminados con hidrocarburos.	13
5.2.1. Principales microorganismos degradadores de HC.....	13
5.2.2. El petróleo y sus productos derivados.....	14
5.2.3. Tipos de contaminantes:.....	16
5.2.4. Metales pesados en el ambiente.	17
5.2.5. Los metales pesados se clasifican en:.....	18
5.2.6. Los contaminantes del suelo según el origen pueden ser geogénicos o antropogénicos.	18
5.3. Fitorremediación.....	18
5.4. Mecanismos de fitorremediación.	19
5.4.1. Fitoextracción o fitoacumulación.	19
5.4.2. Rizofiltración.	20

5.4.3. Fitoestimulación o Rizodegradación.	21
5.4.4. Fito estabilización.....	21
5.4.5. Fitodegradación o fitotransformación.	21
5.4.6. Fitovolatilización.	22
VI. METODOLOGÍA.....	26
VII. RESULTADOS.....	27
7.1. Mecanismos de fitorremediación.	27
7.2. Biorremediación de los suelos.	31
7.2.1. Metodos de biorremediacion de suelos:	31
7.3.1. Atenuación Natural:	31
7.3.2. Bioestimulación:.....	32
7.3.3. Bioaumentación:	32
7.3.4. Fitorremediación.....	32
7.4. Ingredientes de biorremediadores de suelos	35
7.4.1. <i>Trichoderma Nativa</i> :.....	35
7.4.2. <i>Bacillus Subtilis</i> :.....	35
7.4.3. <i>POCHONIA</i> :.....	36
7.4.4. <i>Micorrizas</i> :.....	36
7.4.5. <i>Metarhizum</i> :.....	37
7.4.6. <i>Bacillus pumilis</i> :.....	37
7.4.7. <i>Bacillus thuringiensis var. Kurstaki, var Aizaway</i> :.....	38
7.4.8. Eficaz:	39
7.5. Ingredientes que contiene el producto “Eficaz” que actúa como bioestimulante son.....	39
7.5.1. Beneficios de eficaz.....	39
7.5.3. Bacterias fotosintéticas, Bacterias ácido lácticas (BAL), Levadura:.....	40
VIII. ANÁLISIS DE RESULTADOS.....	60
IX. CONCLUSIONES.....	62
IX. BIBLIOGRAFÍA.	63
XI. ANEXOS.	68

Índice de cuadros

pág.

Cuadro 1. Estrategias de biorremediación. (Cota Ruiz et al 2019).....	8
Cuadro 2. Tipos y estrategias de biorremediación. (Montenegro Gómez 2019).	12
Cuadro 3. Composición del petróleo en su estado crudo (García Astillero 2019).....	14
Cuadro 4. Primera refinación por destilación fraccionada (García Astillero 2019).	14
Cuadro 5. Organismos degradadores de petróleo, utilizados para la recuperación de suelos (Trujillo Toro y Ramírez Quirama 2012).....	16
Cuadro 6. Grupos y ejemplos de los distintos tipos de contaminantes. (Costa Ruiz et al 2019)..	17
Cuadro 7. Especies de plantas utilizadas para la fitorremediación en el país (Amer consultores S.A. de CV. 2023).	23
Cuadro 8. Especies de Hortalizas utilizadas para la fitorremediación del suelo. (Amer consultores SA de CV. 2023).	25
Cuadro 9. Mecanismos de fitorremediación.	27
Cuadro 10. Ventajas y desventajas de la Fitorremediación.....	30
Cuadro 11. Tecnologías de Biorremediación (Amer consultores S.A. de CV. 2022).	33
Cuadro 12. Biorremediadores de suelo desarrollados por Amer consultores S.A de C.V. 2023. .	33
Cuadro 13. Fungicidas Orgánicos disponibles por Amer consultores S.A de CV.	42
Cuadro 14. Insecticidas Orgánicos disponibles por Amer consultores S.A de CV.	43
Cuadro 15. Acondicionadores del Suelo disponibles por Amer consultores S.A de CV.	45
Cuadro 16. Estimulante Orgánico y Biofertilizante disponibles por Amer consultores S.A de CV.	47
Cuadro 17. biofertilizante orgánico, disponible por Amer consultores S.A de CV.....	49
Cuadro 18. Sustrato orgánico para bandejas de Hortalizas y Flores, disponibles por Amer consultores S.A de CV.....	49
Cuadro 19. Productos orgánicos disponible por El Surco S.A de CV.....	51

Índice de figuras	pág.
Figura 1. Biofiltro (Utilizado para el tratamiento de gas, en ambientes cerrados o abiertos)	9
Figura 2. Bioventilación biodegradación anaeróbica del contaminante	10
Figura 3. Diseño de celda (Como remediador para el tratamiento de lodos en suelos contaminado).....	11
Figura 4. Proceso de transformación del petróleo.	15
Figura 5. Mecanismo por el cual las plantas absorben y almacenan contaminantes	20
Figura 6. Imagen satelital de la Universidad de El Salvador	26
Figura 7. Trichoderma Nativa.	35
Figura 8. Bacillus Subtilis.....	35
Figura 9. Pochonia	36
Figura 10. Efecto de la <i>Micorriza</i>	36
Figura 11. Efecto de control del hongo <i>Metarhizum</i>	37
Figura 12. <i>Bacillus Pumilis</i>	38
Figura 13. <i>Bacillus thuringiensis</i>	38
Figura 14. Producto Eficaz (bioestimulante y activador microbiano para uso en suelo como un foliar).....	39

Índice de anexos	pág.
Anexo 1. Programa fitosanitario para la producción de chile dulce y jalapeño.	68
Anexo 2. Limpieza de surcos	Anexo 3. Incorporación de Bocashi
Anexo 4. Plantas de sorgo.....	74
Anexo 5. Preparación de los surcos	Anexo 6. Incorporación de plantas de sorgo
Anexo 7. Aplicación de eficaz	74
Anexo 8. Programa fitosanitario para la producción de Tomate orgánico en invernadero.....	75
Anexo 9. Preparación de las camas de	Anexo 10. Conteo de Frutos y monitores..... 81
Anexo 11. Aplicación de Eficaz para	Anexo 12. Producción de cultivo de 81

RESUMEN

El objetivo del presente estudio fue analizar los tipos de tecnologías reportadas en la literatura y que son aplicados en procesos de biorremediación de los suelos contaminados y alterados por efectos de una agricultura intensiva, como también por moléculas orgánicas e inorgánicas incorporados a través de actividades agrícolas. Considerando la gran importancia que tiene para la salud del suelo y recuperación del medio ambiente, fue de gran utilidad sistematizar algunas tecnologías que se han desarrollado basadas en mecanismos de bioaumentación, bioestimulación, lamfarming, biopilas, bioventilación, fitorremediación y fitodegradación, algunas tecnologías se han implementado en el tratamiento de moléculas orgánicas xenobióticas (herbicidas, insecticidas, acaricidas e hidrocarburos, entre otros). Durante la investigación se sistematizó una experiencia práctica de bioremediación y bioaumentación. En campo se realizó una parcela demostrativa la consistió en la preparación, limpieza, siembra, producción de chile jalapeño y espuela de gallo (*Capsicum annuum*), utilizando la planta de sorgo (*Sorghum bicolor* linn moench) en sus fases fenológicas tempranas, como fitorremediador de suelo para la desinfección del suelo y utilización de abonos orgánicos enriquecidos con microorganismos eficientes para el tratamiento de moléculas residuales de agroquímicos; este proceso resulta ser una alternativa económica para los productores en unidades productivas agroecológicas. La utilización de mecanismos en para la biorremediación y fitorremediación de los suelos, son una opción económica para mejorar la calidad de los suelos que han sido afectados por la implementación desmedida de agroquímicos.

Palabras Clave: biorremediación, bioestimulación, biodegradación, fitorremediación, fitoestabilización, xenobióticos, inoculación.

¹ Estudiante de Carrera de Ingeniería Agronómica, Universidad de El Salvador

ABSTRACT

The objective of this study was to analyze the types of technologies reported in the literature and that are applied in bioremediation processes of contaminated soils and altered by the effects of intensive agriculture, as well as by organic and inorganic molecules incorporated through agricultural activities. Considering the great importance, it has for soil health and environmental recovery, it was very useful to systematize some technologies that have been developed based on mechanisms of bioaugmentation, biostimulation, lamfarming, biopiles, biovento, phytoremediation and phytodegradation, some technologies have been implemented in the treatment of xenobiotic organic molecules (herbicides, insecticides, acaricides and hydrocarbons, among others). During the research a practical experience of bioremediation and bioaugmentation field was systematized which consisted of the preparation, cleaning, planting, production of jalapeño pepper and rooster spur (*Capsicum annuum*), using the sorghum plant (*Sorghum bicolor linn moench*) in its early phenological phases, as soil phytoremediator for soil disinfection and use of organic fertilizers enriched with efficient microorganisms for the treatment of residual molecules of agrochemicals; This process turns out to be an economic alternative for producers in agroecological productive units. The use of processes of bioremediation and phytoremediation of soils are an alternative to improve the quality of soils that have been affected by the excessive implementation of agrochemicals.

Keywords: bioremediation, biostimulation, biodegradation, phytoremediation, phytostabilization, xenobiotics, inoculation.

I. INTRODUCCIÓN

La biorremediación es todo proceso mediante el cual se busca la recuperación de suelos agrícolas contaminados con agroquímicos, empleando organismos vivos (plantas, hongos, bacterias o enzimas) para remover (extraer), degradar (biodegradar) o transformar (biotransformar) compuestos orgánicos tóxicos en productos metabólicos menos tóxicos o inocuos. La biorremediación puede emplear organismos propios del sitio (autóctonos) o ajenos a éste (exógenos) y llevarse a cabo en condiciones aerobias (en presencia de oxígeno) o anaerobias (sin oxígeno) (Van Deuren et al. 1997: 19, citado por Velasco y Sepúlveda (2003)).

La técnica apropiada para llevar a cabo la biorremediación, debe ser el resultado de la valoración de una serie de variables y de características del sitio o del contaminante por tratar (Trujillo Toro y Ramírez Quirama, 2012). Su implementación ha permitido el aprovechamiento de las plantas hongo bacterias, y enzimas en la recuperación de sitios contaminados por metales pesados. (Montenegro Gómez, 2019).

El uso de las biotecnologías en la biorremediación de los suelos (bioaumentación, bioestimulación, biofiltros, biorreactores, biovento, biolabranza), cultivos sólidos y fitorremediación, han sido una alternativa para degradación de los productos xenobióticos con la finalidad de la recuperación de los suelos en el medio ambiente es una alternativa para reducir los costos económicos en el área agrícola (López Martínez, 2005).

La fitorremediación se considera una técnica de biorremediación que emplea la vegetación y sus microorganismos asociados para degradar, extraer y/o inmovilizar los contaminantes del suelo y aguas. Es una alternativa para la degradación de los metales pesados presentes en el suelo (Claro Gómez, 2021). La utilización de sorgo (*Sorghum bicolor linn moench*) como planta fitorremediadora en los procesos de preparación y desintoxicación del suelo antes de la siembra de chile jalapeño espuela de gallo, y tomate en invernadero, ha dado buenos resultados en unidades productivas agroecológicas (Amer Consultores SA de CV. 2021).

El uso de tecnologías de biorremediación para el tratamiento de suelos contaminados es relativamente reciente. Tienen la ventaja de ser de bajo costo, es de fácil aplicación, efectivo y es un tratamiento seguro con un mínimo de riesgos a la salud. (Velasco y Sepúlveda, 2003).

II. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Se estima que un 90% de los suelos de El Salvador se encuentran degradados. El 59% tiene algún grado de erosión. La contaminación por agroquímicos son uno de los detonantes de la degradación de los suelos. La calidad de los suelos en El Salvador cada año está siendo afectada por la contaminación de algunos productos químicos aplicados al suelo como los son, (herbicidas, insecticidas, acaricidas, fungicidas, nematicidas, entre otros productos). Siendo este uno de los principales factores que afectan la salud del suelo en el país, A través del uso desmedido de agroquímicos o agrotóxicos los cuales están siendo aplicados de forma excesiva (Rivera 2021), sumado a los efectos nocivos de las quemadas, afectan la producción de los cultivos año con año algunos ejemplos los podemos observar en las áreas de producción como, hortalizas, frutales, granos básicos, etc. La contaminación de los metales pesados a través de productos xenobióticos y las malas prácticas agronómicas son las principales causas de alta contaminación en el suelo en áreas de producción agrícola, generando bajos rendimientos en la temporada de cosecha. La biorremediación es una tecnología biológica para la descontaminación de suelos basada en la conversión o metabolización de los contaminantes a través de los microorganismos eficientes (Moliterni Merlo, 2015).

El incremento en compuestos tóxicos (metales pesados, pesticidas, etc.) en suelos afecta a la salud humana y/o la provisión de servicios ecosistémicos y puede reducir la seguridad alimentaria, decreciendo el rendimiento agrícola y generando cultivos inseguros para consumo (Montenegro Gómez, 2019)

El principal problema de los suelos contaminados es la aplicación desmedida de los agroquímicos en grandes cantidades, por la falta de conocimiento de aplicación del producto, causando como consecuencia la esterilización de algunos suelos por la acumulación de metales pesados.

¿Será la biorremediación una alternativa para la recuperación de los suelos contaminados en El Salvador?

III. OBJETIVOS.

3.1. Objetivo general:

Sistematizar tipos de tecnologías que se aplican en procesos y mecanismos de biorremediación de los suelos contaminados y alterados, con potencial para aplicación en unidades productivas agroecológicas.

3.2. Objetivos específicos:

- ❖ Identificar tipos de procesos y mecanismos de biorremediación de suelos con potencial para la agricultura agroecológica.

- ❖ Sistematizar tecnologías utilizadas para la biorremediación de suelos en El Salvador.

IV. ESTADO DEL ARTE.

Según Amer consultores SA. de C.V. (2020). Para la recuperación del suelo que han sido afectados por prácticas de monocultivo principalmente por la producción de maíz y frijol, afectando la capacidad productiva del suelo por el uso de agroquímicos en cantidades altas, ocasionando un punto de desequilibrio para el desarrollo de estas plantas. Para contrarrestar el efecto negativo que estaba presente en el área de producción, los agricultores emplearon prácticas de fitorremediación con la ayuda de la planta de sorgo (*Sorghum bicolor*), también utilizaron materiales complementarios como el uso de fertilizante orgánico tipo Bocashi enriquecido con microorganismos eficientes, este mecanismo de biorremediación impulsa la aceleración del proceso de recuperación del suelo en un tiempo corto. Así de esta manera poder eliminar la mayor cantidad de metales pesados presentes, los cuales limitan el desarrollo adecuado del cultivo ocasionando bajos rendimientos y pérdidas económicas.

En Sonzacate El Salvador, fue aplicado el proceso de fitorremediación del suelo a través de la implementación de la planta de sorgo como un fitorremediador, para la recuperación, activación y estimulación del suelo. Con la ayuda de un estimulante orgánico elaborado a base de microorganismos eficientes llamado comercialmente “EFICAZ” Utilizado para la preparación y descontaminación del suelo, dejando el área lista para trasplantar plantas de chile espuela de gallo en el departamento de Sonsonate. También se utilizó la aplicación de bocashi elaborado en la empresa Amer consultores SA de C.V.

Según Trujillo Toro y Ramírez Quirama (2012). El proceso de tratamiento de lodos contaminados por las empresas petroleras en Colombia, han venido implementado la biorremediación de los suelos de lodos contaminados por hidrocarburos como alternativa, para el manejo de residuos resultantes de los derrames que presenta en las actividades de explotación, refinación, transporte y distribución del producto.

Estas son algunas de las empresas petroleras que están implementado los procesos de biorremediación en Colombia:

PETROLABIN LTDA: Manejo de residuos propios de la industria del petróleo (bioremediación de lodos, estabilización de lodos petroleros, lavado químico de lodos, des adsorción térmica

recuperación de crudo partiendo de lodo residual petroleros, asesorías sobre manejo de residuos especiales).

ATP Ingeniería LTDA: Biorremediación y/o Landfarming estimulado.

TOTAL. waste management LTDA–TWM: Biorremediación de suelos contaminados.

GEOAMBIENTAL LTDA: Biorremediación de suelos contaminados.

PUJAR LTDA: Biorremediación de suelos contaminados con Hidrocarburos utilizando, principalmente el mecanismo de biorremediación Landfarming para la descontaminación de las áreas afectadas por el derramamiento de petróleo. Con la combinación de otras técnicas como los son la Atenuación Natural, y el Biovento como mecanismo de apoyo para acelerar los procesos de degradación de los contaminantes.

La aplicación de procesos de biodegradación para la eliminación de hidrocarburos (HC) en la recuperación de sitios contaminados. Adicionando nutrientes como Nitrógeno y Fosforo, la modificación de variables operacionales (Humedad, Temperatura, y Oxígeno del suelo). Permitiendo la recuperación de los sitios afectados a través del mecanismo de biorremediación landfarming como una alternativa para la reducción de hidrocarburos y residuos de la industria petrolera en Colombia.

Según Madera Sarmiento (2020), la acumulación de metales pesados en los suelos se debe a la contaminación generada por la actividad antropogénicas como los desechos producidos por la industria, las emisiones de gases por los automóviles, los productos derivados del petróleo, la minería, las excesivas aplicaciones de fertilizantes y pesticidas agrícolas. Los investigadores han desarrollado un estudio con dos especies de plantas nativas procedentes del humedal Santa María ubicadas en el lago cercano a la ciudad de Bogotá (Colombia).

Para la evaluación de lodos provenientes de plantas de tratamiento de vertederos industriales con la finalidad de verificar la migración de contaminantes de interés sanitario como lo son: Cianuro, Fenol, Cinc, Níquel, etc. Hacia algunas zonas de la planta, se llevó a cabo utilizando dos especies vegetales, el *Biden leavis* (Botoncillo flor Amarilla) y *Pteridium aquilinum* (helecho águila o mambáy). Para medir el efecto de fitodegradación que estas plantas tienen sobre los metales pesados como cadmio, cromo, níquel y el plomo, mostrando tolerancia a las condiciones

fisicoquímicas, del ambiente de factores de bioconcentración, translocación y tiempos de acumulación en la planta. La explotación de oro es considerada uno de los problemas medioambientales más primordiales en Colombia, la minería es considerada perjudicial para el medio ambiente, debido a la remoción de la cubierta vegetal, lo que aumentado la erosión en algunas zonas. Un elemento muy usado en beneficio de la minería es el Mercurio (Hg), el cual en estos procesos es liberado de manera indiscriminada a fuentes de agua y suelos.

La aplicación de la técnica de fitorremediación para la fitodegradación de elementos pesados en el ambiente como cadmio (Cd), cromo (Cr), níquel (Ni) y plomo (Pb). El uso de dos especies vegetales, el *Biden leavis* (Botoncillo flor Amarilla) y *Pteridium aquilinum* (helecho águila o mambáy), obtuvo buenos resultados como al igual en el tratamiento de aguas y suelos contaminados por mercurio (Hg). Acusada de la explotación de la minería de oro (Au) en Colombia. A través de estos cultivos se puede decir que tienen un alto potencial descontaminar en el suelo para áreas tropicales impactadas por sitios de minería de oro (Au) artesanal. La fitorremediación y sus mecanismos pueden ser una alternativa viable de ser implementada para la rehabilitación de suelos contaminados.

Según Amer Consultores SA de CV (2020). Las crucíferas están reportadas como las mejores plantas para la técnica de biorremediación de suelos. Esta técnica se sustenta en procesos de biofumigación o los efectos supresivos asociados a la liberación de isotiosanatos (ITC) generados durante la hidrólisis de los glucosinolatos (GSL), mediante la acción de la enzima mirosinasa presente en las brasicas (Diez Rojo 2010). Entre estas plantas pueden mencionarse el brócoli y repollo de las coles están catalogadas dentro de las más productoras de gases isotiocianato. La acción fumigante de los principales compuestos volátiles ITC y GLS que se liberan durante la biodegradación de la materia orgánica, ha mostrado ejercer un efecto supresor. Controlando especies de los géneros *Aphanomyces*, *Fusarium*, *Gaumannomyces*, *Phytophthora*, *Pythium*, *Rhizoctonia*, *Sclerotinia*, *Verticillium*, *Globodera*, *Meloidogyne*, *Pratylenchus* y *Tylenchus*.

La implementación de las plantas de brócoli y repollo como control de patógenos para las plantas, se ha utilizado en la preparación del suelo con el cultivo de tomate para descontaminar y limpiar el área de producción agrícola como una alternativa para la reducción de costos, también para generar mejores beneficios a la agricultura agroecológica.

V. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA.

5.1. Biorremediación:

La biorremediación es todo proceso mediante el cual se busca la recuperación de suelos agrícolas contaminados con agroquímicos, empleando organismos (plantas, hongos y bacterias o enzimas). Su técnica consiste en estimular los microorganismos nativos para degradar el contaminante a compuestos menos tóxicos que forman biomasa y dióxido de carbono (mineralización), o iniciar el equilibrio microbiológico del suelo atenuando hongos y bacterias patógenas (Diez Rojo 2010). Es cualquier proceso que utiliza organismos vivos como microorganismos, hongos y plantas, por medio de agentes o compuestos derivados de cualquiera de ellos, para retornar un medio ambiente alterado por contaminantes a su condición natural ya sea en el suelo o en las aguas. También se define como procesos de aceleración de la tasa de degradación natural de hidrocarburos por adicción de nutrientes (Trujillo Toro y Ramírez Quirama 2012).

5.1.1. Métodos de la biorremediación en suelo.

La biorremediación puede llevarse a cabo *In Situ*: excavando el terreno y tratándolo a pie de excavación, o bien *Ex Situ*, en instalaciones aparte. La técnica apropiada para llevar a cabo este proceso, debe ser el resultado de la valoración de una serie de variables y de características del sitio o del contaminante por tratar. (Trujillo Toro y Ramírez Quirama 2012).

5.1.2 La biorremediación *In situ*:

Este tipo de tratamiento normalmente es la opción más adecuada para la recuperación de suelos, ya que no es necesaria la preparación y excavación del material contaminado. No obstante, antes de decidir el tipo de tratamiento deben valorarse numerosos factores entre los que se destacan el impacto ambiental en la zona, las actividades industriales que pueden verse afectadas, los costos comparativos con otros tratamientos, las dificultades de acceso a la zona contaminada para proveer de oxígeno y nutrientes, la determinación del porcentaje de tratamiento, la velocidad del proceso y, por último, el potencial de peligro de extensión de la contaminación (Trujillo Toro y Ramírez Quirama 2012).

Entre las técnicas más utilizadas se tienen: bioaireación o bioventeo, inyección de aire a presión, atenuación natural, bioestimulación, bioaumentación.

5.1.3. La biorremediación *Ex situ*:

Se lleva a cabo cuando el procedimiento se realiza fuera del lugar donde está la contaminación. Entre las técnicas más utilizadas se tienen la disposición sobre el suelo (Landfarming), Bioceldas o biopilas, Tratamiento de biosuspensión (Trujillo Toro y Ramírez Quirama 2012).

Cuadro 1. Estrategias de biorremediación. (Cota Ruiz et al 2019).

<i>EX SITU</i>	<i>IN SITU</i>
Landfarming	Atenuación Natural
Biopilas	Bioventeo
Composteo	Bioestimulación
Biorreactores	Bioaumentación

5.1.4. Bioaumentación:

La bioaumentación es la práctica de introducir microorganismos exógenos con capacidades biodegradadoras con el objetivo de asegurar el proceso de biodegradación y reducir los tiempos de tratamiento. Es el término general que se suele emplear para referirse al incremento en la cantidad de agentes descontaminantes, en especial a microorganismos (virus, bacterias, actinomicetos), proceso que se puede llevar a cabo tanto *in-situ* como *ex-situ*, siempre dependiendo de factores económicos, del tipo de contaminante y de las facilidades que existan para manejo *ex-situ* o la adquisición de los bioremediadores en las cantidades y de la calidad requeridos. (Posada 2012).

5.1.5. Bioestimulación:

Compuestos que incrementan el crecimiento y el vigor de las plantas por medio de mayor eficiencia en la absorción de agua y nutrientes. Son productos no fertilizantes que tienen un impacto benéfico en las plantas. Muchos de estos materiales bio-estimulantes son productos naturales que no contienen químicos añadidos ni reguladores del crecimiento de las plantas sintéticas. Material orgánico que, cuando se aplica en pequeñas cantidades, aumenta el crecimiento y desarrollo vegetal sin que la respuesta sea atribuida a la aplicación de los nutrientes vegetales tradicionales. Cuando los bioestimulantes se aplican antes de un estrés, mejoran la tolerancia de la planta frente al estrés (Benavides Mendoza 2021).

5.1.6. Biofiltros:

La biofiltración es sin duda una tecnología de tratamiento biológico de gas más utilizada. Está caracterizada por el uso de un soporte orgánico, que provee los nutrientes necesarios para el crecimiento de los microorganismos, transformando el soporte orgánico en un filtro biológicamente activó. Al pasar el aire contaminado a través del lecho, los microorganismos presentes en la superficie del soporte degradan los contaminantes.

El diseño de los biofiltros es muy variable: pueden ser sistemas cerrados o abiertos; de uno o múltiples lechos de soporte teniendo cada uno, tiene una altura de entre 0.5 y 1.5 m. Los biofiltros permiten, por lo general, tratar flujos específicos de gas de 50 a 300 m³ por m³ de reactor por hora, con valores extremos de 12 m³ por m³ de reactor por hora para el tratamiento de compuestos xenobióticos y de 600 m³ por m³ de reactor por hora para el tratamiento de contaminantes poco tóxicos (figura 1) (Thalasso y Pineda Olmedo 2002).

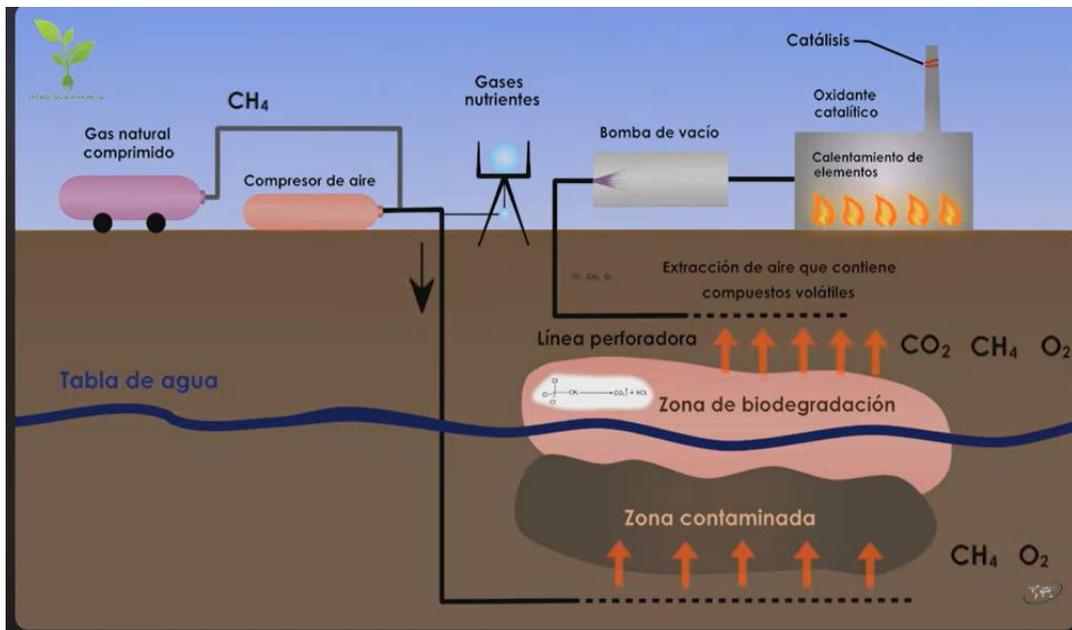


Figura 1. Biofiltro (Utilizado para el tratamiento de gas, en ambientes cerrados o abiertos)

Fuente Tomado de Thalasso y Pineda Olmedo 2002

La capacidad de con-contracción de los contaminantes tratados con éxito puede ser de algunos mg por m³ hasta arriba de 5 g por m³, dependiendo del nivel de toxicidad del compuesto. Esos últimos valores significan una capacidad de degradación de 10 a 200 g de contaminante por m³ de reactor por hora (Thalasso y Pineda Olmedo 2002).

5.1.7. Bioventilación:

Consiste en suministrar aire e incluso nutrientes al área contaminada mediante la adecuación de una red de productos y tuberías, se caracteriza por proveer tasas “moderadas” de aire para estimular el metabolismo aerobio de los microorganismos y promover la oxidación de los compuestos contaminantes, al mismo tiempo que se minimiza la volatilización de los contaminantes a la atmósfera (figura 2) (Cota Ruiz et al 2019).

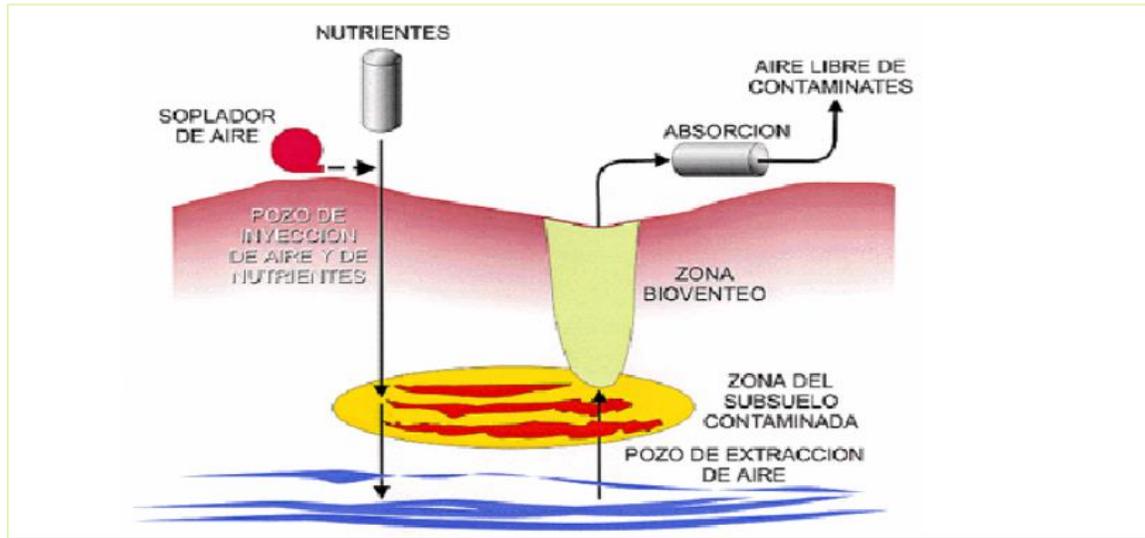


Figura 2. Bioventilación biodegradación anaeróbica del contaminante

Fuente: Tomado de Cota Ruiz et al 2019.

5.1.8. Biolabranza:

Según Velasco y Sepúlveda (2003), esta innovadora técnica permite la remediación de suelos a un costado o fuera del sitio afectado. También permite el control directo sobre los distintos parámetros que intervienen en el proceso de remediación, optimizando así la velocidad de degradación y convirtiendo a esta técnica en la más veloz.

El método de biolabranza es una tecnología de remediación en la que el suelo contaminado se coloca en una celda de tratamiento y se remueve para estimular la actividad microbiológica y promover la biodegradación de los contaminantes. Este tipo de tecnología puede ser una opción atractiva cuando los suelos contaminados tienen que ser removidos del sitio y se tiene suficiente espacio para construir la celda de tratamiento. El método de biolabranza se ha aplicado

ampliamente obteniéndose buenos resultados en la remoción de diversos contaminantes y con un bajo costo de operación. Los lodos generados en el tratamiento de aguas residuales pueden ser utilizados para mejorar la calidad de los suelos ya que son ricos en materia orgánica, macro y micronutrientes y únicamente del 1 al 10 % de la concentración total de elementos tóxicos se encuentran en formas solubles.

Estas características permiten considerar que el uso de lodos en la biorremediación de suelos puede ser una alternativa para favorecer los procesos microbiológicos y la degradación de los contaminantes, además de mejorar la calidad de los suelos después del tratamiento.

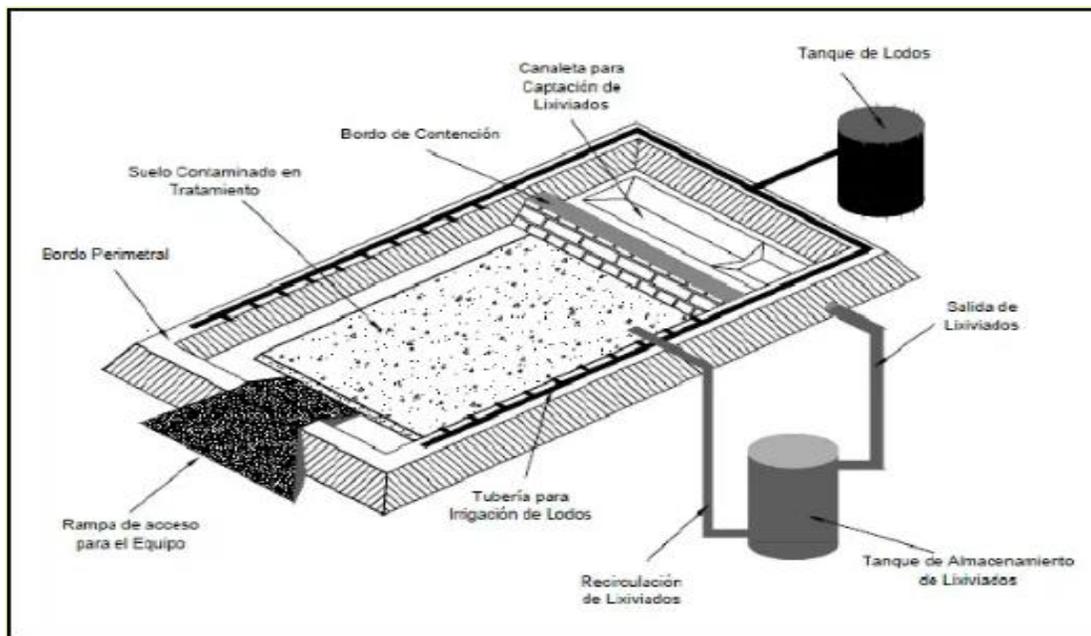


Figura 3. Diseño de celda (Como remediador para el tratamiento de lodos en suelos contaminado)

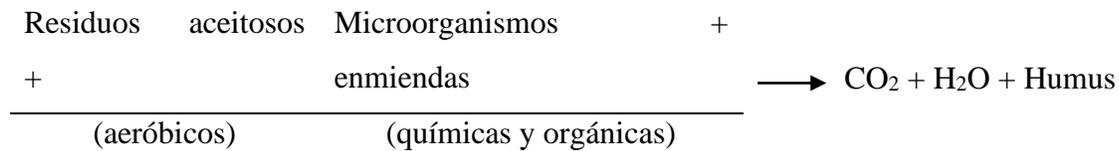
Fuente: Tomado de Velasco y Sepulveda 2003.

Cuadro 2. Tipos y estrategias de biorremediación. (Montenegro Gómez 2019).

Tipo de Organismo	Técnica	Lugar
<p>Degradación enzimática: Uso de enzimas obtenidas de microorganismos o bacterias modificadas genéticamente.</p> <p>Remediación microbiana: Uso de organismos directamente en el foco de la contaminación. Estos microorganismos pueden existir en ese sitio o provenir de otros ecosistemas.</p> <p>Fitorremediación: Uso de plantas para limpiar ambientes contaminados.</p>	<p>Bioaumentación: Práctica de incrementar la población microbiana nativas de un ecosistema con la adición de microorganismos adaptados selectivamente y con capacidad de degradar el contaminante de interés.</p> <p>Bioestimulación: Esta técnica modifica condiciones del suelo (Nutrientes, aireación, pH, humedad, entre otros) para estimular los microorganismos nativos.</p> <p>Landfarming: Aplicación de contaminantes o residuos contaminados de suelo no contaminado para degradación. El suelo es arado para promover la mezcla uniforme de los contaminantes y aireación.</p> <p>Bioventilización: Estimulación microbiana por medio de adicción de gases como Oxígeno y metano para aumenta la actividad microbiana y descompositora.</p> <p>Compostaje: Uso de microorganismos termofílicos aeróbicos en pilas construidas para degradar el contaminante.</p>	<p>La biorremediación se puede realizar in situ o ex situ</p> <p>In situ: Actividad degradativa de organismos que están presentes en el lugar contaminado a través del suministro de nutrientes (bioestimulación), o por inoculo (bioaumentación).</p> <p>Ex Situ: El contaminante es transportado a una planta de procesamiento donde se trata en reactores con microorganismos degradadores especializados.</p>

5.2. Biorremediación de lodos contaminados con hidrocarburos.

Según Trujillo Toro y Ramírez Quirama (2012), el principio básico de la biorremediación consiste en aumentar la velocidad de degradación natural de los hidrocarburos contaminantes de los suelos, puede ser mediante la mezcla del residuo con la capa superficial del suelo (material orgánico en forma de humus) y abonos orgánicos naturales, los cuales contienen microorganismos facultativos que se adaptan al consumo y degradación de los hidrocarburos. En el proceso también se dan reacciones fisicoquímicas, por exposición a agentes naturales, como la radiación solar, la humedad y viento de cada zona HC saturados > aromáticos ligeros > aromáticos de alto peso molecular > asfáltenos, resinas. Las bacterias, hongos y otros microorganismos se encargan de transformar los componentes orgánicos del hidrocarburo en: CO₂, H₂O y humus, de la siguiente manera:



Los subproductos del proceso son metales y otros componentes inorgánicos, estos quedan inmovilizados en el ambiente aeróbico (oxigenado) debido al intercambio iónico natural que se produce en el suelo, por lo que queda ligado química y físicamente a las partículas de este, previniéndose así la contaminación del agua. El material que queda remanente se denomina TPH, total petroleum hydrocarbon (hidrocarburos totales de petróleo).

5.2.1. Principales microorganismos degradadores de HC

Los suelos contaminados contienen gran cantidad de microorganismos que pueden incluir un número de bacterias y hongos capaces de utilizar hidrocarburos. Los suelos contaminados con hidrocarburos contienen más microorganismos que los suelos no contaminados, pero su diversidad microbiana es más reducida.

5.2.2. El petróleo y sus productos derivados.

Generalidades y caracterización básica:

García Astillero (2019) sostiene que el petróleo crudo es la materia prima principal de la industria de Refinación del Petróleo, está constituido por una mezcla de diferentes tipos de hidrocarburos, cuyas moléculas se componen de Carbono e Hidrógeno, con un pequeño porcentaje de otros elementos conformando hidrocarburos de estructuras más o menos complejas como compuestos heterocíclicos de nitrógeno, oxígeno y azufre, compuestos órganos metálicos, además contiene sedimentos inorgánicos y agua

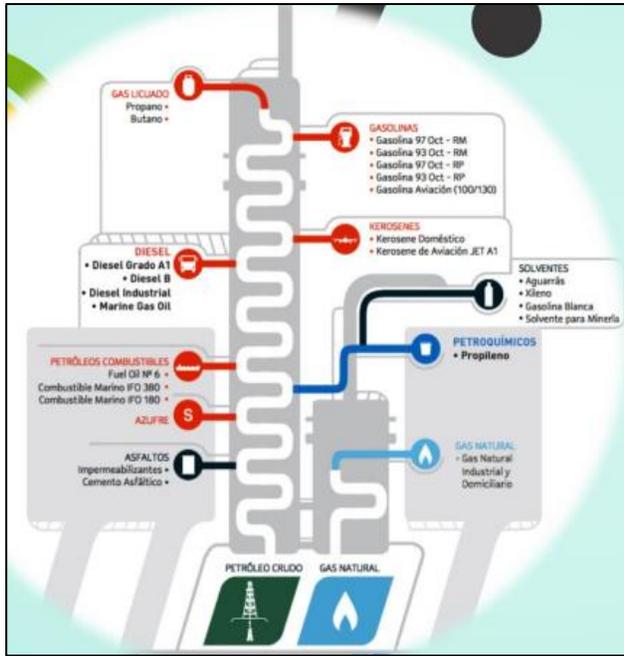
Cuadro 3. Composición del petróleo en su estado crudo (García Astillero 2019).

CRUDO	COMPOSICION	
ELEMENTOS	%	PESO
Carbono.	84	87
Hidrógeno.	11	14
Azufre.	0	5
Nitrógeno.	0	0.2
Oxígeno.	0	0.5

Cuadro 4. Primera refinación por destilación fraccionada (García Astillero 2019).

T° C.	Fracción.	N° C.	Uso.
< 20	Gas.	≤ 4	Combustión y Síntesis
20-60	Éter de petróleo.	5 – 6	Solvente
60 - 100	Ligroina.	6 – 7	Solvente
100 - 205	Gasolina.	5 – 10	Combustible
180 – 230.	Querosene.	11 – 12 y aromáticos.	Combustible de motores a reacción
230 – 305.	Aceite ligero.	13 – 17	Combustible de motores Diesel
305 – 405.	Aceite pesado.	18 – 25	Combustible de calderas
Solidos no volátiles.	Lubricantes.	Cadena larga unidad a cíclicos	Lubricantes
Volátiles	Asfalto.	Estructuras policíclicas	Carreteras

Ejemplos: Derivados de DIESEL y aplicaciones en la industria para la elaboración de diferentes productos que son utilizados para la elaboración de aceites materias primas entre otros.



- Asfalto para carreteras.
- Parafinas.
- Aceites lubricantes.
- Gasoil.
- Keroseno (Combustible para aviones).
- Gasolina (Combustible para autos).
- Diésel.
- Productos químicos para la agricultura.
- Textiles productos para el mantenimiento del auto.
- Plásticos.

Figura 4. Proceso de transformación del petróleo.

Fuente: Tomado de García Astillero 2019.

Gas Natural: Generalmente el petróleo va acompañado del gas natural, el cual es una mezcla de metano, propano y butano, donde casi siempre contiene más del 75% de metano. Cuando el gas natural contiene más del 95% de metano, se dice que el gas natural es seco.

Refinamiento del Petróleo: Para la obtención del hidrocarburo deseado, el petróleo crudo es sometido a tratamientos previos y endulzamiento (disminución del contenido de azufre), luego a una primera refinación por destilación fraccionada, posteriormente, las fracciones líquidas son sometidas a segundos tratamientos, como: Reforming catalítico para obtener aromáticos, cracking al vapor para obtener alquenos, etc.

Contaminación del planeta: La extracción como el tratamiento al igual que el consumo del petróleo y gas natural pueden contaminar los diferentes elementos básicos de la naturaleza: aire, agua y tierra. Como ya sabemos el petróleo y el gas natural son fuentes de energía no renovable, además.

Cuadro 5. Organismos degradadores de petróleo, utilizados para la recuperación de suelos (Trujillo Toro y Ramírez Quirama 2012).

Bacterias			Hongos	
<i>Anchrornobacter</i>	<i>Leumthrix</i>	<i>Allescheria</i>	<i>Oidiodendrun</i>	<i>Gonytrichum</i>
<i>Acinetobacter</i>	<i>Moraxella</i>	<i>Aspergillus</i>	<i>Paecylomyces</i>	<i>Hansenula</i>
<i>Actinomices</i>	<i>Nocardia</i>	<i>Aureobasidium</i>	<i>Phialophora</i>	<i>Helminthosporium</i>
<i>Aeromonas</i>	<i>Peptococcus</i>	<i>Botrytis</i>	<i>Penicillium</i>	<i>Torulopsis</i>
<i>Alcaligenes</i>	<i>Pseudomonas</i>	<i>Candida</i>	<i>Rhodospiridium</i>	<i>Trichoderma</i>
<i>Arthrobacter</i>	<i>Sarcina</i>	<i>Cephalosporium</i>	<i>Rhodotorula</i>	<i>Trichosporon</i>
<i>Bacillus</i>	<i>Spherotilus</i>	<i>Cladosporium</i>	<i>Saccharomyces</i>	<i>Fusarium</i>
<i>Beneckea</i>	<i>Spirillum</i>	<i>Cunninghamella</i>	<i>Saccharomycopsis</i>	<i>Sporobolomyces</i>
<i>Brevebacterium</i>	<i>Streptomyces</i>	<i>Debaromyces</i>	<i>scopulariopsis</i>	
<i>Xanthomyces</i>	<i>Xanthomyces</i>	<i>Xanthomyces</i>		
<i>Flavobacterium</i>	<i>Flavobacterium</i>	<i>Flavobacterium</i>		
<i>Vibrio</i>				

5.2.3. Tipos de contaminantes:

Entre los principales tipos de contaminantes tóxicos para los organismos, incluidos los humanos, se pueden citar los siguientes: los metales pesados, el petróleo y sus derivados, xenobióticos, nitroaromáticos, ésteres de nitrato y heterocíclicos nitrogenados, radioactivos y los emanados de los procesos biológicos.

La presencia de metales pesados en las distintas matrices altera la función de los ecosistemas, ya que estos no son “destruidos” biológicamente, sino que son acumulados. Por su parte, la contaminación de suelos y mantos acuíferos por derrames de hidrocarburos, principalmente los de diésel, son un problema grave de contaminación debido a la naturaleza compleja de compuestos aromáticos y alcanos que éstos contienen.

Este mismo escenario se presenta por el uso de pesticidas debido a su carácter tóxico y de prevalencia a través de los años. Los hidrocarburos aromáticos policíclicos (HAPs) son una clase de compuestos químicos con dos o más anillos bencénicos fusionados. Dentro de los

contaminantes ambientales más abundantes, éstos son de gran preocupación debido a su persistencia y toxicidad. Se generan durante la combustión de combustibles fósiles, incineración de residuos, o en forma de subproductos durante el proceso de producción de gas natural o refinamiento del petróleo (Costa Ruiz et al 2019).

Cuadro 6. Grupos y ejemplos de los distintos tipos de contaminantes. (Costa Ruiz et al 2019).

Grupo de contaminantes	Ejemplos
Metales pesados	Mercurio (Hg), cadmio (Cd), plomo (Pb), cromo (Cr), arsénico (As), cobalto (Co), cobre (Cu), manganeso (Mn), plata (Ag), bario (Ba), selenio (Se) y zinc (Zn).
Petróleo y derivados	HAPs* (Bensopireno, naftaleno, fenantreno, antraceno), alcanos. CO2 metano.
Pesticidas y misceláneos (Xenobióticos)	Compuestos orgánicos halogenados (endosulfan, aldrín, DDT, clotdano), carbofurano, bifenilos policlorados, BTEX (benceno, tolueno, etilbenceno y xileno)
Nitroaromáticos, ésteres de nitrato y heterocíclicos nitrogenados	Trinitrotolueno, nitroglicerina, trinitrofenol.
Reactivos	Uranio.

5.2.4. Metales pesados en el ambiente.

Se denominan metales pesados a aquellos elementos químicos que poseen un peso atómico comprendido entre 63.55 (Cu) y 200.59 (Hg), y presentan un peso específico superior a 4 (g/cm³), como el plomo (Pb), cadmio (Cd), cromo (Cr), mercurio (Hg), zinc (Zn), cobre (Cu), plata (Ag) y arsénico (As) y en altas concentraciones pueden resultar tóxicos para los seres vivos, tales como humanos, organismos del suelo, plantas y animales.

Los metales pesados han sido ampliamente utilizados en muchas actividades, tales como la agricultura, la minería, la fundición, la galvanoplastia y el refinado del oro (Au) (Bonilla Valencia 2013).

5.2.5. Los metales pesados se clasifican en:

- A) Oligoelementos o Micronutrientes-** Requeridos en pequeñas cantidades o trazas por plantas y animales, y son necesarios para que los organismos completen su ciclo vital, convirtiéndose en tóxicos cuando pasan cierto umbral; dentro de este grupo se encuentra: arsénico (As), bromo (Br), cobalto (Co), cromo (Cr), molibdeno (Mo), manganeso (Mn), níquel (Ni), selenio (Se), zinc (Zn).
- B) Metales pesados sin función biológica conocida-** La presencia en seres vivos en determinadas cantidades lleva a disfunciones en los organismos y en concentraciones altas, resultan altamente tóxicos, presentando la propiedad de acumularse en los organismos vivos, dentro de este grupo se encuentra: cadmio (Cd), mercurio (Hg), plomo (Pb), cobre (Cu), antimonio (Sb), bismuto (Bi).

5.2.6. Los contaminantes del suelo según el origen pueden ser geogénicos o antropogénicos.

Los geogénicos pueden proceder de la propia roca madre en la que se formó el suelo, de la actividad volcánica o del lixiviado de mineralizaciones, así se puede encontrar plomo (Pb), en los minerales primarios sulfurosos como la pirita (FeS_2) y en los minerales secundarios como el óxido de manganeso y el carbonato de calcio.

Los antropogénicos se producen por los residuos peligrosos derivados de actividades industriales, agrícolas, mineras, etc. y de los residuos sólidos urbanos, encontrándose plomo (Pb), en lodos residuales, riego, fundidoras, plaguicidas, fertilizantes, minas, automóviles, pinturas, carbonatos y combustión de carbón (Bonilla Valencia 2013).

5.3. Fitorremediación.

La fitorremediación constituye una variación de las técnicas de biorremediación, que se basa en el uso de plantas y los microorganismos asociados a ellas, así como las enmiendas del suelo y técnicas agronómicas dirigidas a liberar, contener, o transformar en compuestos inocuos a los contaminantes del suelo (Trujillo Toro y Ramírez Quirama 2012). Es una tecnología alternativa y sustentable, es el uso de plantas asociados al tratamiento *In Situ* de suelos y efluentes contaminados, es una tecnología que surge potencialmente para la limpieza eficaz y barata de una amplia gama de contaminantes (Bonilla Valencia 2013).

Hoy, las investigaciones en fitorremediación se encaminan no sólo al tratamiento de contaminantes inorgánicos (metales, metaloides, haluros y radionucleidos), sino también al tratamiento de contaminantes orgánicos; algunas especies de plantas probadas con éxito en la fitorremediación de suelos contaminados con hidrocarburos del petróleo son *Zea mays L.*, *Panicum maximum Jacq.*, *Paspalum virgatum L.*, *Echinochloa polystachya H.B.K.*, *Sorghum vulgare L.*, *Phaseolus vulgaris L.*, *Phaseolus coccineus L.*, *Chamaecrista nictitans (L.) Moench.*, *Brachiaria brizantha (Hochst. ex A. Rich) Stapf.*, *Triticum aestivum L.*, *Hordeum vulgare L.*, entre otras (Trujillo Toro y Ramírez Quirama 2012).

Para realizar la fitorremediación se requiere establecer una cobertura vegetal abundante; sin embargo, la alta concentración del contaminante será la principal limitante para el crecimiento de las plantas, además de la tolerancia de estas al contaminante conocido como hiperacumulación.

Las plantas hiperacumuladoras son capaces de almacenar excesivas cantidades de contaminante en su follaje (> 1% del peso seco de la planta), este mecanismo implica alta tolerancia específica a metales pesados, que están presentes en el suelo en concentraciones que normalmente podrían considerarse fitotóxicas (Bonilla Valencia 2013).

5.4. Mecanismos de fitorremediación.

El proceso de desintoxicación de contaminantes por medio de la fitorremediación se lleva a cabo aplicando al menos uno de los siguientes mecanismos: fitoextracción, rizofiltración, fitoestimulación, fitoestabilización, fitovolatilización y fitodegradación. Los contaminantes orgánicos complejos más tóxicos pueden degradarse en complejos simples no tóxicos en la naturaleza en forma de carbono, oxígeno e hidrógeno. Las sustancias químicas inorgánicas pueden cambiar su estructura química o ser transferidas de un medio a otro, lo que provoca la desaparición de los elementos químicos tóxicos (Varjani y Agarwal 2018). (Cuadro 8).

5.4.1. Fitoextracción o fitoacumulación.

Una de las formas de extraer contaminantes del suelo es por la fitoextracción, esta se vale de especies de plantas hiperacumuladoras para llevar a cabo la absorción de contaminantes ambientales, transporte / translocación y concentración en la biomasa de los órganos colectores. Las hiperacumuladoras pueden absorber contaminantes del suelo a través del sistema radicular y

trasladarlos a brotes y hojas. La fitoextracción ideal se puede realizar con plantas que producen una amplia cantidad de biomasa a medida que se desarrollan (Madera Sarmiento 2020).

Las especies de plantas con potencial para la fitoextracción deben tener la capacidad de acumular contaminantes en sus células y órganos, este proceso abarca varios pasos donde intervienen proteínas de transporte que permiten la captación y almacenamiento de contaminantes en la planta, deben seguir los siguientes pasos 1. Biodisponibilidad y adsorción a través de las raíces, 2. Translocación de contaminantes de las raíces a brotes a través de xilema y, 3. El secuestro de contaminantes en las hojas, especialmente en las vacuolas.

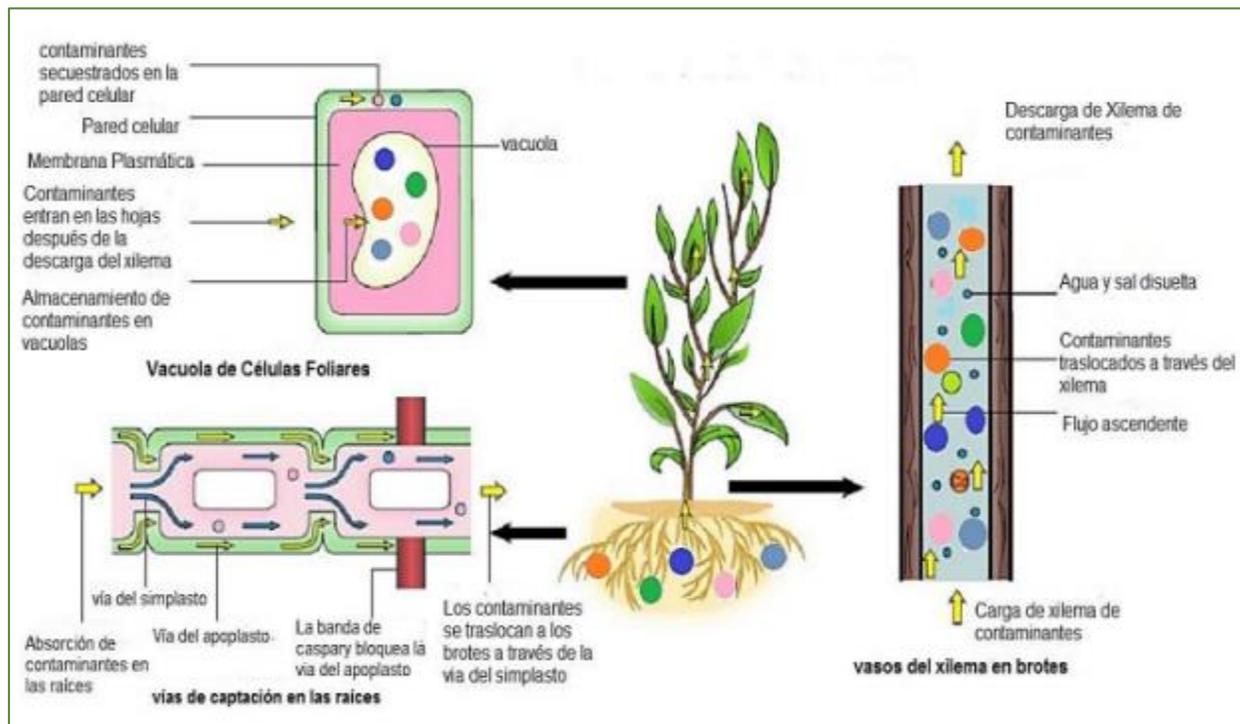


Figura 5. Mecanismo por el cual las plantas absorben y almacenan contaminantes

Fuente Tomada de Madera Sarmiento 2020

5.4.2. Rizofiltración.

La rizofiltración es un método eficaz de fitorremediación que se basa en la utilización de raíces de plantas para absorber y secuestrar contaminantes tóxicos de las superficies de tierras o aguas subterráneas contaminadas, en lugar de suelo, las plantas crecen en cultivos hidropónicos, se sabe que la rizofiltración utiliza el sistema radicular de las plantas para eliminar los

contaminantes del agua, es una ventaja adicional a la capacidad de utilizar plantas tanto acuáticas como terrestres, ya sea *Ex Situ* o *In Situ*.

La descontaminación de las aguas subterráneas se puede efectuar mediante rizofiltración, en este proceso, las plantas cultivadas de forma hidropónica e impulsadas por la energía solar se acondicionan con agua contaminada, luego estas plantas se siembran en el sitio contaminado donde capturan los contaminantes en el agua; cuando las raíces de estas especies de plantas se sobrecargan de contaminantes se proceden a cosecharlas junto con sus raíces (Madera Sarmiento 2020).

5.4.3. Fitoestimulación o Rizodegradación.

Este mecanismo permite la degradación de contaminantes orgánicos en la rizosfera a través de microorganismos rizosféricos, además la fitoestimulación o también llamada rizodegradación implica una interacción continua entre plantas y microorganismos. La degradación describe la descomposición de un compuesto en sus componentes más pequeños o su conversión en un metabolito, siendo la rizodegradación una de las etapas más importantes en el proceso de remediación de contaminantes orgánicos. (Madera Sarmiento 2020).

5.4.4. Fito estabilización.

La fitoestabilización es un proceso en el que se utilizan plantas tolerantes a la contaminación para reducir la movilidad de los contaminantes, reduciendo así el riesgo de más problemas ambientales; las especies de plantas usadas inmovilizan los contaminantes en la rizosfera por: (i) sorción (en las superficies de las raíces), (ii) precipitación (formas menos solubles), (iii) complejación (ligandos orgánicos) y (iv) acumulación de contaminantes en sus tejidos radiculares, en conclusión la fitoestabilización tiene como objetivo inmovilizar contaminantes a nivel de la rizosfera utilizando el sistema de raíces de plantas adaptadas (Madera Sarmiento 2020).

5.4.5. Fitodegradación o fitotransformación.

la fitodegradación es la descomposición de contaminantes orgánicos mediante procesos metabólicos de plantas o enzimas producidas por plantas y no depende de la comunidad microbiana. En esta técnica, la planta promueve dos tipos de procesos metabólicos: internos y externos, involucrando dos tipo de mecanismos para la degradación o descomposición de

contaminantes orgánicos como lo son la actividad enzimática de las plantas y la oxidación fotosintética; en el proceso externo la planta absorbe los contaminantes y los hidroliza en unidades más pequeñas, mientras que en el proceso metabólico interno los contaminantes se utilizan como metabolitos, pueden ser utilizados por las plantas o puede descomponerlos en pequeños fragmentos. (Madera Sarmiento 2020).

5.4.6. Fitovolatilización.

La fitovolatilización es un proceso en el que las plantas absorben los contaminantes del suelo y los liberan en forma volátil a la atmósfera a través de la transpiración; el proceso ocurre cuando las plantas en crecimiento absorben agua y contaminantes orgánicos solubles. La fitovolatilización puede darse en dos formas diferentes: (i) fitovolatilización directa y (ii) fitovolatilización indirecta; la primera es la forma más sutil y mayormente estudiada, como consecuencia de la absorción y translocación de contaminantes por plantas a través del tallo, tronco y las hojas. la fitovolatilización indirecta es el aumento de la afluencia de contaminantes volátiles del subsuelo como resultado de las actividades radiculares de las plantas. (Madera Sarmiento 2020).

5.5. Fases de la fitorremediación.

Una planta acumuladora puede realizar cualquier de los mecanismos de fitorremediación siguiendo tres fases. a) Absorción, b) Excreción, c) Desintoxicación de contaminantes.

a) Absorción: La absorción de contaminantes se realiza a través de las raíces y las hojas mediante las estomas y la cutícula de la epidermis. Esta absorción ocurre en la rizodermis de las raíces jóvenes, que absorben los compuestos por ósmosis dependiendo de factores externos como la temperatura y el pH del suelo. Otros factores importantes que inciden en la penetración del contaminante son su peso molecular e hidrofobicidad que determinan que estas moléculas atraviesen las membranas celulares de la planta. Después de cruzar la membrana, los contaminantes son distribuidos a través de toda la planta. (Amer consultores S.A. de CV. 2020).

b) Excreción. Los contaminantes que se absorben por las raíces se excretan vía hojas (fitovolatilización). Cuando las concentraciones de los contaminantes son elevadas, solo pequeñas fracciones (menos del 5 %) se excretan sin cambios en su estructura química.

c) Desintoxicación de contaminantes. La desintoxicación de los compuestos orgánicos se lleva a cabo por la vía de la mineralización hasta dióxido de carbono en el caso de contaminantes químicos orgánicos que se degradan; para altas concentraciones se utiliza la incineración controlada y se desechan las cenizas en los lugares disponibles para este fin. Las ventajas de la fitorremediación radican en que las plantas absorben los metales pesados y gran variedad de contaminación en sus raíces, evitando la contaminación de aguas subterráneas, mientras que la desventaja radica en que el metal pesado utiliza el ciclo biológico de la planta, por lo tanto, la descontaminación toma tiempo. Las plantas utilizadas en el proceso de fitorremediación pueden tener varias opciones para su disposición final como la incineración o el confinamiento de estas.

Crucíferas: Se tienen reportadas a las coles como las mejores plantas para esta técnica de biorremediación de suelo. El brócoli y repollo, dentro de las coles está catalogadas como las más productoras de gases isotiocianato. Controlando especies de los géneros *Aphanomyces*, *Fusarium*, *Gaumannomyces*, *Phytophthora*, *Pythium*, *Rhizoctonia*, *Sclerotinia*, *Verticillium*, *Globodera*, *Meloidogyne*, *Pratylenchus* y *Tylenchus*. (Amer consultores S.A. de CV. 2020).

Cuadro 7. Especies de plantas utilizadas para la fitorremediación en el país (Amer consultores S.A. de CV. 2023).

NOMBRE CIENTIFICO	NOMBRE COMÚN	FIGURA
<i>Zea Mays</i>	Maíz	

<p><i>Nicotina tabacum</i></p>	<p>Tabaco</p>	
<p><i>Sorghum bicolor L</i></p>	<p>Sorgo</p>	
<p><i>Amaranthus hybridus</i></p>	<p>Amaranto</p>	

Cuadro 8. Especies de Hortalizas utilizadas para la fitorremediación del suelo. (Amer consultores SA de CV. 2023).

Nombre científico	Nombre común	Figura
<i>Brassica Oleracea</i>	Repollo	
<i>Brassica Oleracea L.</i>	Brócoli	

Fuente: Tomado de Amer consultores SA. de C.V. 2023.

VI. METODOLOGÍA.

El presente proyecto se realizó en la Universidad de El Salvador, Facultad de Ciencias Agronómicas, Departamento de Recursos Naturales y Medio Ambiente, Autopista Norte y final 25° Avenida Norte, Ciudad Universitaria, San Salvador, El Salvador, Coordenadas 13°43'06" Norte. 89°12'11" Oeste.

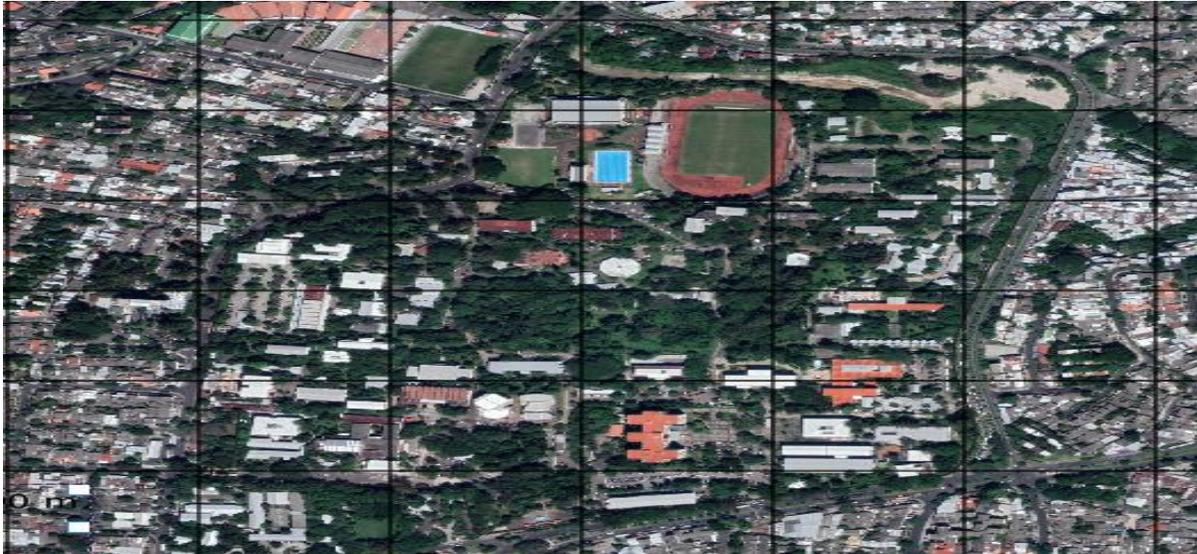


Figura 6. Imagen satelital de la Universidad de El Salvador

Fuente: Tomado de Google Earth

La investigación es de tipo documental se realizó con el apoyo de fuentes de carácter documental, es de carácter bibliográfica a través de consultas de libros, revistas, boletines informativos, tesis, Repositorio de tesis de la UES, Repositorios de revistas indexadas de UES, Biblioteca virtual ESBCO, HINARY, Google Académico.

Se realizó una investigación de tipo bibliográfica para el análisis de las técnicas de Biorremediación del suelo por los mecanismos de Bioinoculación, Bioestimulación, Biofiltros, Biorreactores, Biovento, Biolabranza, Cultivos sólidos y Fitorremediación. Cada investigador ha utilizado diferente Tecnología para la recuperación del suelo según sea la dificultad o proceso natural mediante las bacterias u otros organismos alteran y convierten moléculas orgánicas en otras sustancias como ácidos grasos o CO₂. Se analizan los resultados obtenidos, las ventajas y desventajas que la técnica presenta al momento de la implementación.

VII. RESULTADOS.

7.1. Mecanismos de fitorremediación.

La Fitorremediación es la técnica de biorremediación que emplea la vegetación y sus microorganismos asociados para degradar, extraer y/o inmovilizar los contaminantes de suelos y aguas. Mediante Fito-remediación podemos biorremediar suelos contaminados con compuestos tanto orgánicos como inorgánicos a través de ciertos mecanismos. (Claro Gómez 2021).

Cuadro 9. Mecanismos de fitorremediación.

Procesos	Mecanismos	Contaminantes
<p>Fitoestabilización: Consistente en la inmovilización de determinados compuestos contaminantes del suelo en forma de complejos insolubles, evitando así la disponibilidad en la fase líquida y su posible lixiviación. Para este fin, la planta se dota de un desarrollado sistema radicular a fin de maximizar el proceso.</p>	<p>Complejación: La planta utiliza este mecanismo de complejación en el interior de la célula para detoxificar (amortiguar) los metales, uniendo a ellos ligandos para formar complejos. De esta manera, el metal queda inmerso en una interacción química que le mantiene en equilibrio electrónico (acomplejado), pero que no lo deja fuera del metabolismo, no se ha eliminado del citoplasma de la célula y, por ello, sigue siendo potencialmente tóxico. (Santos Martín 2010).</p>	<p>Orgánicos e inorgánicos</p>
<p>Fitoextracción: Consistente en la extracción de los contaminantes existentes en el medio y su posterior almacenamiento en el tejido de la planta, ya sean tallos, hojas o raíces. Este mecanismo ha sido ampliamente estudiado en metales pesados (6) e incluso en materiales radiactivos como el</p>	<p>Hiperacumulación: La hiperacumulación es la capacidad que tienen algunas plantas para concentrar metales en sus tejidos a niveles muy por encima de los normales sin presentar síntomas de toxicidad. Estas plantas hiperacumuladoras han desarrollado mecanismos internos de tolerancia a la toxicidad por metales. Esta peculiaridad</p>	<p>Inorgánicos</p>

<p>uranio (7)</p>	<p>las hace útiles para el hombre como herramienta en las nuevas tecnologías de fitoremediación. (Llugany y Tolrá 2007)</p>	
<p>Fitovolatilización: Consistente en la absorción y posterior transpiración de los contaminantes a la atmósfera a través del mecanismo transpirativo. Algunos de los contaminantes absorbidos por la planta, y posteriormente transportados a través del xilema hasta la parte aérea de la misma, pueden llegar a evaporarse o volatilizarse hacia la atmósfera.</p> <p>La fitovolatilización se produce a medida que las plantas en crecimiento absorben agua junto con los contaminantes orgánicos solubles. Algunos de los contaminantes pueden llegar hasta las hojas y evaporarse o volatilizarse a la atmósfera.</p>	<p>Volatilización a través de las hojas:</p> <p>Se produce a medida que las plantas en crecimiento absorben agua junto con los contaminantes orgánicos solubles. Algunos de los contaminantes pueden llegar hasta las hojas y evaporarse o volatilizarse a la atmósfera. Los álamos, volatilizan el 90 % del tricloroetileno que absorben (Núñez et al. 2004). Por ejemplo, las raíces de <i>Populus deltoides</i> fueron expuestas a una solución de tricloroetileno (70 mg/L) durante 26 días y el 90 % del tricloroetileno fue volatilizado a través de las hojas. Con la misma planta se ha demostrado que hay volatilización del éter metil terbutílico expuesto en las raíces y encontrado en las hojas (Montiel Rozas 2016).</p>	<p>Orgánicos e inorgánicos</p>
<p>Fitoimmobilización: Consiste en el uso de plantas que inmovilizan o reducen la indisponibilidad de los contaminantes mediante absorción y acumulación en las raíces, por absorción sobre la misma o por formación de compuestos insolubles en la rizosfera.</p>	<p>Acumulación en la rizosfera:</p> <p>La rizosfera es la zona comprendida entre las raíces y el suelo donde se producen un gran número de interacciones entre microorganismos e invertebrados que afectan a los ciclos biogeoquímicos, al crecimiento y a la tolerancia de las plantas frente al estrés</p>	<p>Orgánicos e inorgánicos</p>

	(biótico y abiótico). (Montiel Rozas (2016).	
Fitodegradación: Uso de plantas y microorganismos asociados para degradar contaminantes orgánicos en moléculas más simples. En determinadas ocasiones, los productos de la degradación le sirven a la planta para acelerar su crecimiento, otros casos los contaminantes son biotransformados. (Bonilla Valencia 2013).	Consistente en la transformación de los contaminantes almacenados en los tejidos vegetales hasta compuestos más simples. Algunas variedades de Populus (Álamo) presentan una capacidad innata para degradar compuestos complejos como el éter metil terbutílico y el tricloroetileno hasta compuesto más simples y menos contaminantes	Orgánicos
Rizofiltración: Consistente en la utilización de plantas en medio hidropónico a fin de descontaminar un medio acuoso. Se suelen utilizar para este tipo de técnica, plantas terrestres con una alta tasa de crecimiento y una gran área superficial de raíces, de forma tal que puedan absorber, concentrar y precipitar los contaminantes disueltos.	Uso de raíces para absorber contaminantes del agua.	Orgánicos e inorgánicos

Fuente: Tomado de Delgadillo López 2011.

NOTA: (Las plantas capaces de llevar a cabo estos mecanismos de Fito-remediación, reciben el nombre de plantas Híper-Acumuladoras).

Cuadro 10. Ventajas y desventajas de la Fitorremediación.

Técnica	Ventajas	desventajas
Fitoestabilización	<p>-No necesita de preocupaciones por la eliminación de sustancias peligrosas.</p> <p>-Los tejidos vegetales no intervienen en esta técnica.</p> <p>-No se requiere la eliminación de material o biomasa peligrosa (contaminada). Además, presenta un bajo costo, es altamente eficiente, reduce la erosión del suelo.</p>	<p>Requiere un monitoreo regular para revisar las posibilidades de disipación de los contaminantes.</p>
Fitovolatilización	<p>Incluso en la zona de la raíz compromete la volatilización.</p> <p>-El contaminante es convertido en una sustancia menos tóxica, es un proceso económicamente eficiente, es aplicable para suelos, sedimentos, lodos.</p>	<p>Alta probabilidad de que las sustancias tóxicas transpiradas se precipiten como un líquido a la matriz suelo o los recursos hídricos.</p>
Fitoextracción	<p>-Es bastante económico e incluso se reciclan determinadas sustancias tóxicas.</p> <p>-Biomasa abundante en un corto período de tiempo, presenta menos desperdicio para eliminar, es aplicable para estudios en laboratorio, piloto y estudios en campo.</p>	<p>Una lixiviación excesiva también podría eliminar los elementos esenciales.</p> <p>-Se hace necesario implementar cosechas repetidas para la eliminación completa del contaminante.</p>
Rizofiltración	<p>-El agua subterránea contaminada se puede tratar de manera eficiente.</p> <p>-Es un procedimiento económico y amigable con el medio ambiente. Además, es aplicable para aguas subterráneas y superficiales.</p>	<p>Las plantas deben cosecharse de manera periódica.</p>

Fitodegradación	<p>Los xenobióticos se pueden degradar fácilmente añadiéndoles grupos funcionales.</p> <p>-Desglose enzimático de contaminantes, aplicable al suelo, lodos de sedimentos, aguas subterráneas y aguas superficiales.</p>	Se inclina más por los contaminantes orgánicos que los inorgánicos.
-----------------	---	---

Fuente: Tomado de Madera Sarmiento 2020.

7.2. Biorremediación de los suelos.

La Biorremediación en suelos es empleada para atacar o sustraer agentes contaminantes específicos del suelo, se realiza por medio de degradación o transformación de diferentes compuestos nocivos en otros de menor toxicidad o materia orgánica en descomposición. Estas degradaciones o cambios ocurren usualmente en la naturaleza y una adecuada manipulación de los sistemas biológicos puede aumentar la velocidad de cambio o degradación. (Trujillo Toro y Ramírez Quirama 2012).

7.2.1. Métodos de biorremediación de suelos: Físicoquímicos, Biológicos, Térmicos.

7.3. Técnicas de biorremediación:

1. Atenuación natural, 2. Bioestimulación. 3. Bioaumentación, 4. Fitorremediación.

7.3.1. Atenuación Natural: Consiste en utilizar procesos naturales para contener la propagación de la contaminación procedente de los vertidos químicos y reducir la concentración y la cantidad de los agentes tóxicos en las zonas contaminadas. Los procesos naturales que se invocan para la recuperación son biológicos, como la biodegradación aerobia, anaerobia y co-metabólica, y procesos físicoquímicos como la volatilización, dispersión, dilución, desintegración radioactiva, estabilización química y bioquímica, precipitación y sorción en partículas de materia orgánica y arcillas del suelo. El éxito de cada proceso de atenuación natural dependerá de las características geológicas, hidrológicas y microbiológicas de la zona afectada. La atenuación natural se aplica principalmente para tratar compuestos BTEX (benceno, tolueno, etil benceno y xileno) y más recientemente hidrocarburos clorados. Otros contaminantes que pueden ser potencialmente

eliminados incluyen pesticidas y compuestos inorgánicos. (Claro Gómez 2021).

7.3.2. Bioestimulación: La estimulación de la actividad microbiana natural (bioestimulación) se realiza mediante el control de parámetros como el potencial redox y las condiciones de humedad, y la adición de oxígeno u otros aceptores de electrones (como nitrato o sulfato) y nutrientes tales como el nitrógeno y el fósforo. No obstante, la adición de nitrógeno y fósforo no es estrictamente necesaria porque suele haber elevadas concentraciones de amonio en la mayoría de los suelos contaminados y el reciclado de fósforo entre suelo, agua y bacterias suele ser suficiente para soportar una limitada actividad microbiana. (Posada 2012).

7.3.3. Bioaumentación: La bioestimulación así como la bioaumentación son métodos de bioremediación que implican la circulación de oxígeno a través del suelo contaminado, para mejorar la biodegradación de contaminantes orgánicos o la inmovilización de contaminantes inorgánicos. En muchos trabajos se requiere que ambos métodos sean utilizados de forma simultánea o intercalada, brindando los mejores resultados de degradación de contaminantes, sin embargo, hay situaciones en donde solo uno de ellos es necesario o adecuado para descontaminar el suelo o agua. (Claro Gómez 2021).

7.3.4. Fitorremediación. Es una técnica emergente que utiliza la capacidad de ciertas especies vegetales para sobrevivir en ambientes contaminados con metales pesados y sustancias orgánicas y a la vez extraer, acumular, inmovilizar o transformar estos contaminantes del suelo. Las plantas utilizadas en la fitorrecuperación presentan mecanismos constitutivos y adaptados para tolerar o acumular un elevado contenido de metales en su rizosfera y en sus tejidos. El éxito de este tratamiento está controlado por la selección de las especies vegetales adecuadas para recuperar un suelo determinado, así como de la cuidada selección de enmiendas (materia orgánica, agentes quelantes, cal, etc.) que permitan mejorar las propiedades del suelo y fomenten la supervivencia y el crecimiento de las plantas (Posada 2012).

Cuadro 11. Tecnologías de Biorremediación (Amer consultores S.A. de CV. 2022).

TECNOLOGÍA	APLICABILIDAD
BIOAUMENTACIÓN	Adición de cultivos de bacterias u hongos al sistema contaminado.
BIOFILTROS	Uso de columnas con soportes microbianos para emisiones gaseosas.
BIOESTIMULACIÓN	Estimulación de las poblaciones nativas en suelos y/o agua subterránea (<i>In situ</i> o <i>Ex Situ</i>)
BIORREACTORES	Biodegradación en contenedores o reactores, pueden ser empleados para tratar lodos o líquidos
BIOVENTILIZACION	Adicción de oxígeno a través de suelo agua para estimular la actividad y crecimiento de la microflora nativa.
BIOLABRANZA	Proceso de tratamiento con la aplicación de fertilizantes y arado.
CULTIVOS SÓLIDOS	Tratamiento en fase sólida para suelos contaminados, In Situ o en celdas de tratamiento con adiciones de materias agroindustriales en bajas cantidades.

Cuadro 12. Biorremediadores de suelo desarrollados por Amer consultores S.A de C.V. 2023.

Nombre:	Clasificación / Reacción Fisiológica	Ingrediente Activo	Que Controla
Trichodermas Nativas	Control biológico	Trichodermas ssp	Controla, compuestos xenobióticos hidrocarburos aromáticos policíclicos, metales pesados Fusarium, Rizoctonia, Fortalece los sistemas radiculares

Bacillus Subtilis CEPAVVBS1	Control biológico	Basillus subtilis	Degradación de derivados de petróleo, herbicidas, insecticidas Bacteria que controla Alternaría, Fusarium, xanthomonas, antracnocios, pseudomonas, erwinia, mildihu
Basillus Pumilis	Control biológico	Basillus pumilis	Controla roya, antracnosis y mildiu povoriento.
Micorrizas	Bio fertilizante	Propagulos micorrizicos arbasculares (HMA)	Estimula el sistema radical alojándose en la raíz y solubiliza el fosforo en el suelo
POCHONIA	Nematicidad	Pochonia Chlamysdosporia	Hongo benéfico que controla huevos y adultos de nematodos.
Metarhizum	Insecticidad	Metarhizum anisopliae	Control biológico de insectos del suelo
Bacillus thuringiensis var. Kurstaki, var Aizaway	Control biológico	Bacillus thuringiensis	Control biológico de gusanos, metaboliza materia orgánica
Eficaz	Bio estimulante	Bacterias fotosintéticas, bacterias ácido-lácticas (BAL), levaduras	Bioestimulante y activador microbiano benéfico sustancia a fin a fertilizante para uso de suelo y foliar

Fuente: Tomado de Amer consultores SA. de C.V. 2023.

7.4. Ingredientes de biorremediadores de suelos

7.4.1. *Trichoderma Nativa*:

Es un **hongo filamentoso que pertenece al grupo de los ascomicetos**, en los que la mayoría de las especies no tienen un periodo sexual, simplemente producen esporas asexuales. Este hongo se caracteriza por predominar en los ecosistemas terrestres (suelos agrícolas, pastizales, bosques y desiertos) y acuáticos. Al conocer que es un hongo *Trichoderma* sus propiedades antibióticas tanto para el sustrato como para la planta misma. Es importante recalcar que se han descubierto más de 200 especies de este hongo.



A diferencia de los pesticidas, *Trichoderma* no deja residuos en la tierra y actúa como un habitante natural del suelo (respetando el sabor más natural de cultivos comestibles).

Figura 7. *Trichoderma Nativa*.

Fuente tomado de Chiriboga; Gómez y Garcés 2015.

7.4.2. *Bacillus Subtilis*:

Los *Bacillus subtilis* actúan como promotores del crecimiento de la planta. Son capaces de propagarse por la rizofera que es el entorno en el que influyen las raíces de la planta. Cuando las colonias de *Bacillus Subtilis* crecen más de lo que el cuerpo puede soportar, pueden causar una infección también conocida como envenenamiento por alimento.

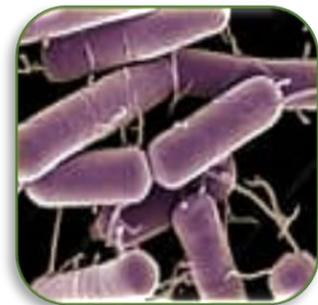


Figura 8. *Bacillus Subtilis*

Fuente: Tomado de Villarreal Delgado y Villa Rodríguez 2018.

7.4.3. POCHONIA:



Pochonia chlamydosporia var. *catenulata* como hongo agente de control biológico de nematodos formadores de agallas del género *Meloidogyne*; El hongo coloniza el rizoplano como saprótrofo hasta que infecta los huevos del nematodo y forma redes de hifas con órganos especializados que penetran la capa vitelina mediante lisis enzimáticas. Es posible cultivarlos en medio artificiales líquidos o sólidos.

Figura 9. *Pochonia*

Fuente: Tomado de Flores Camacho 2008.

7.4.4. Micorrizas:

Las micorrizas requieren un desarrollo planta (raíz)-hongo (micelio) sincronizado, pues las hifas fúngicas solo colonizan raíces jóvenes, excepto en orquídeas, en las que el hongo puede infectar células del tallo.

La planta, en cualquier caso, es quien realmente controla la intensidad de la simbiosis, por el crecimiento de su raíz, pero también por la digestión de la interfase de intercambio, en las endomicorrizas, o por la formación de un singular tipo de raíz. (en el caso de las llamadas ectomicorrizas. La raíz constituye en realidad un nicho ecológico don-de se desarrolla el hongo, que éste aprovecha.



Figura 10. Efecto de la *Micorriza*

Fuente: Tomado de Honrubia 2009

7.4.5. *Metarhizium*:

Es un hongo mitosporico o anamorfo de reproducción asexual, usado ampliamente como entomopatógeno para el control biológico. Tienen la capacidad de parasitar y eliminar un amplio rango de insectos plagas de diversas plantas de importancia agrícola. Es un hongo patogénico de amplio espectro, localizado en el suelo y restos de insectos parasitados. Debido a su potencial como alternativa ecológica, es el sustituto ideal de los agroquímicos usados en el manejo integral de plagas de importancia económica.

La muerte del insecto ocurre a través de la contaminación de toxinas producida por el hongo. El



biocontrolador sintetiza las toxinas, dextruxina, protodextruxina y demetildextruxina de alto nivel de toxicidad para artrópodos y nemátodos. La muerte del insecto ocurre a través de la contaminación de toxinas producida por el hongo. El biocontrolador sintetiza las toxinas dextruxina, protodextruxina y demetildextruxina de alto nivel de toxicidad para artrópodos y nemátodos.

Figura 11. Efecto de control del hongo *Metarhizium*.

Fuente: Tomado de Hernández Saiz, 2022.

7.4.6. *Bacillus pumilis*:

Una gran diversidad de especies del género *Bacillus* han demostrado tener actividad antagónica contra diversos microorganismos fitopatógenos de cultivos agrícolas, tales como maíz, arroz, frutales, entre otros. El estudio de esta capacidad de *Bacillus* se inició por el descubrimiento de la actividad insecticida de las proteínas Cry producidas por *B. thuringiensis*; en la actualidad diversas especies del género *Bacillus* (*B. subtilis*, *B. pumilus*, *B. amyloliquefaciens* y *B. licheniformis*) son ampliamente estudiadas para mitigar la incidencia de enfermedades de importancia agrícola (Raaijmakers y Mazzola, 2012).

Entre las principales vías por las cuales estas cepas evitan el establecimiento y desarrollo de organismos fitopatógenos es a través de diferentes mecanismos, que incluyen A) la excreción de antibióticos, B) sideróforos, C) enzimas líticas, D) toxinas y E) induciendo la resistencia sistémica de la planta (IRS)

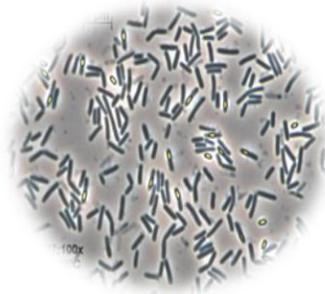


Figura 12. *Bacillus Pumilis*

Fuente: Tomado de Villarreal Delgado y Villa Rodríguez 2018).

7.4.7. *Bacillus thuringiensis* var. *Kurstaki*, var *Aizaway*:

Bacillus thuringiensis es un bacilo gram positivo, deflagelación períttrica, que mide de 3 a 5 μm de largo por 1,2 μm de ancho y que posee la característica de desarrollar esporas de resistencia elipsoidales.

Es microorganismo anaerobio facultativo, quimiorganotrofo y con actividad de catalasa. Poseen la capacidad de fermentar glucosa, fructosa, trealosa, maltosa y ribosa, y de hidrolizar gelatina, almidón, glucógeno, esculina y N-acetil-glucosamina. Sin embargo, la característica principal de *B. thuringiensis* es que durante el proceso de esporulación produce una inclusión parasporal formada por uno o más cuerpos cristalinos de naturaleza proteica que son tóxicos para distintos invertebrados, especialmente larvas de insectos. Estas proteínas se llaman Cry (del inglés, Crystal) y constituyen la base del insecticida biológico más difundido a nivel mundial.

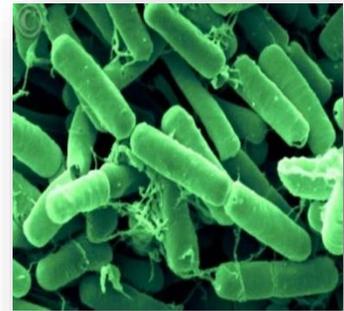


Figura 13. *Bacillus thuringiensis*

Fuente: Tomado de Sauka y Benintende 2008.

7.4.8. Eficaz:

Es un producto microbiológico que contiene una mezcla balanceada de bacterias ácido lácticas, bacterias fototróficas y levaduras actinomicetos, en un medio con un PH de 3.8 para obtener el conjunto el beneficio de cada microorganismo. EFICAZ no afecta al ambiente ni a la salud de las personas y animales que se encuentran en contacto con él, ayuda a mejorar la asimilación de nutrientes a las plantas. Los microorganismos eficientes, como inoculante microbiano, restablecen el equilibrio microbiológico del suelo, mejorando sus condiciones fisicoquímicas, Incrementando la producción de los cultivos y su protección; además conserva los recursos naturales, generando una agricultura sostenible. (Amer consultores SA de CV. 2022).

7.5. Ingredientes que contiene el producto “Eficaz” que actúa como bioestimulante son:

Producto	Ingredientes
 <p data-bbox="186 1314 771 1419">Figura 14. Producto Eficaz (bioestimulante y activador microbiano para uso en suelo como un foliar).</p>	<p data-bbox="820 978 1430 1178"><i>Lactobacillus plantarum</i>, <i>Lactobacillus caseii</i>, <i>Lactobacillus fermentum</i>, <i>Lactobacillus delbruekii</i>, <i>Saccharomyces cerevisiae</i>, <i>Rhodopseudomonas palustre</i>.</p>

7.5.1. Beneficios de eficaz.

- Reducción de los gases tóxicos, incluyendo H₂S,
- mercaptanos, etc.
- Reducción de bacterias, levaduras, hongos y protozoos
- patógenos.
- Reducción en los niveles detectables de metales pesados y tóxicos cadmio (Cd), cromo (Cr), mercurio, (Hg), arsénico (As), cobre (Cu), plomo (Pb) y níquel (Ni).

7.5.2. Acciones de eficaz.

- Reconstruye la actividad microbiana del suelo.
- Mejora la asimilación de los nutrientes del suelo reduciendo el uso de los fertilizantes.
- Incrementa el rendimiento y la calidad de los cultivos.
- Ayuda a corregir trastornos nutricionales y fisiológicos en los cultivos.
- Reducen la infestación por plagas y el uso de pesticidas para su control
- Mejoran la calidad total de la tierra incrementando la capacidad de retención de agua y la resistencia a la erosión
- Incrementa la población de microorganismos benéficos en la tierra y ayuda al control de patógenos por exclusión competitiva

7.5.3. Bacterias fotosintéticas, Bacterias ácido lácticas (BAL), Levadura:

Los microorganismos eficientes o ME. (Efficient Microorganism) han mostrado efectos beneficiosos para el tratamiento de aguas negras, reducción de malos olores, en la producción de alimentos libres de agroquímicos, el manejo de desechos sólidos y líquidos generados por la producción agropecuaria, la industria de procesamiento de alimentos, fábrica de papel mataderos y municipalidades, entre otros. (Morocho, y Leiva Mora 2001).

Los microorganismos eficientes como inoculante microbiano, restablecen el equilibrio microbiológico del suelo, mejorando sus condiciones fisicoquímicas, incrementando la producción de los cultivos y su protección; además conserva los recursos naturales, generando una agricultura sostenible (Amer Consultores SA. de CV. 2022).

a) Bacterias fotosintéticas: Son un grupo de microorganismos representados fundamentalmente por las especies *Rhodospseudomonas palustris* y *Rhodobacter sphaeroides*, microorganismos autótrofos facultativos. Este grupo utiliza como fuente de carbono moléculas orgánicas producidas por los exudados de las raíces de las plantas y como fuente de energía utilizan la luz solar y la energía calórica del suelo.

R. palustris es una bacteria fototrófica facultativa clasificada como una bacteria púrpura no de azufre. Esta especie es capaz de producir aminoácidos, ácidos orgánicos, hormonas, vitaminas y azúcares donde todos ellos pueden ser utilizados por microorganismos heterótrofos para su crecimiento. Por otra parte, *R. sphaeroides* es una bacteria fotosintética facultativa y Gram

negativa. Las células de *R. sphaeroides* pueden vivir tanto en agua dulce como en agua de mar, y formar una película rosada en la superficie de los estanques. Además de la actividad fotosintética. Muestra gran diversidad metabólica que incluye litotrofismo, respiración aeróbica y anaeróbica, la fijación de nitrógeno clorofila y vitamina B12.

b) Bacterias ácido lácticas (BAL): Son microorganismos que tienen diversas aplicaciones, siendo una de las principales la fermentación de alimentos como la leche, carne y vegetales para obtener productos como el yogur, quesos, encurtidos, embutidos, ensilados, bebidas y cervezas, entre otros. Son cocos o bacilos Gram positivos, no esporulados, no móviles, anaeróbicos, microaerofílicos o aerotolerantes; oxidasa, catalasa y benzidina negativas, carecen de citocromos, no reducen el nitrato a nitrito y producen ácido láctico como el único o principal producto de la fermentación de carbohidratos

Este grupo de bacterias incluye géneros como *Lactobacillus* (*L. plantarum*, *L. casei*) *Bifidobacterium*, *Lactococcus*, *Streptococcus* (*Slactis*) y *Pediococcus*, que pueden ser aisladas a partir de alimentos fermentados, masas ácidas, bebidas, plantas y tractos respiratorio, intestinal y vaginal de animales homeotérmicos entre otros. (Morocho y Leiva Mora 2001).

c) Levaduras: Las levaduras son un grupo microbiano presente en la preparación de los ME (Microorganismos Eficientes) capaces de utilizar diversas fuentes de carbono (glucosa, sacarosa, fructosa, galactosa, maltosa, suero hidrolizado y alcohol) y de energía. Varias especies del género *Saccharomyces* conforman esta comunidad microbiana, aunque prevalece las especies *Saccharomyces cerevisiae* y *Candida utilis*. Estos microorganismos requieren como fuente de nitrógeno el amoníaco, la urea o sales de amonio y mezcla de aminoácidos. No son capaces de asimilar nitratos ni nitritos.

Otros nutrientes requeridos por estos microorganismos es el fósforo que se puede administrar en forma de ácido fosfórico, magnesio (sulfato de magnesio), el calcio, el hierro, el cobre, el zinc, vitaminas del complejo B. Las levaduras sintetizan sustancias antimicrobianas a partir de azúcares y de aminoácidos secretados por bacterias fotosintéticas. Producen hormonas y enzimas que pueden ser utilizadas por las BAL (bacterias ácido-Lácticas). Como parte de su metabolismo fermentativo producen etanol el cual en elevadas concentraciones puede tener actividad antifúngica. (Morocho y Leiva Mora 2001).

Cuadro 13. Fungicidas Orgánicos disponibles por Amer consultores S.A de CV.

Fungicida					
Nombre del producto	Clasificación/ reacción fisiológica	Ingrediente activo	Categoría	Objetivos que controla	Dosis / Mz
Reactivador Fisiológico	Elicitor	Yodo libre + Ácido Acetil Salicílico Ácido Cítrico	Verde	Hongos bacterias y virus + inductor de fitoalexinas	0.5 lts / Mz
Cuperton	Fungicidad- Bactericida	Sulfato de cobre penta hidratado	Verde	Hongo y bacterias	0.25 lts / mz
Trichodermas Nativas	Control Biológico	Trichodermas Sp	Verde	Controla Hongos	500 lts / mz
Bacillus subtilis CEPAVVBS1	Control Biológico	Bacillus subtilis	Verde	Controla hongo del suelo y follaje	1.5 lts / mz
Bacillus Pumilis	Control biológico	Bacillus pumilis	Verde	Controla roya, antracnosis y Mildiu polvoriento	1.5 lts / mz

Fuente: Tomado de Amer consultores SA. de C.V. 2022.

Cuadro 14. Insecticidas Orgánicos disponibles por Amer consultores S.A de CV.

Insecticidas					
Nombre del producto	Clasificación/ reacción fisiológica	Ingrediente activo	Categoría	Objetivo que controla	Dosis / Mz
Canelineen	Inductor de autodefensa e insecticida	Extracto de canela (Cinnamomum zeylanicum) + Extracto de Neen	Verde	Inductor de autodefensas en cultivos susceptibles de ataques de oídio y otros hongos. Gran respeto por insectos beneficiosos, Posee también un efecto repelente que altera el olor de la planta confundiendo al insecto. Controla, mosca blanca, ácaros y trips.	0.5 lts / mz
Extracto de Neem	Insecticida		Verde	Controla insectos	0.5 lts / mz
Flori Epacina	Nematicida e insecticida		Verde	Insecticida Nematicida, para hortalizas, frutales y café	1.5 lts / mz
Jabón Potásico Balsámico	Insecticida bio estimulante	Aciete saponificado	Verde	Controla trips, mosca blanca, pulgones.	1.5 lts / mz

Nombre del producto	Clasificación/ reacción fisiológica	Ingrediente activo	Categoría	Objetivo que controla	Dosis / Mz
Metarhizum	Insecticida	Metarhizum Anisopliae	Verde	Control biológico de insectos del suelo.	500 grs por 100 litros de aguas
POCHONIA	Nematicida	Pochonia chlamydsosporia	Verde	Hongos benéficos que controla huevos y adultos de nematodos	0.5 lts / mz
Bauveria	Insecticida	Bauveria Bassiana	Verde	Control Biológico de insectos del follaje de las plantas, mosca blanca, trips, ácaros	500 grs por 100 litros de agua
Bacillus thuringiensis var. Kurstaki, var. Aizaway	Insecticida	Bacillus thuringiensis	Verde	Control Biológico de Gusanos	1.5 lts / mz

Fuente: Tomado de Amer consultores SA. de C.V. 2022.

Cuadro 15. Acondicionadores del Suelo disponibles por Amer consultores S.A de CV.

Acondicionadores de suelo					
Nombre del producto	Clasificación/ reacción fisiológica	Ingrediente activo	Categoría	Objetivo que controla	Dosis / Mz
Enmienda mineral más Fosfitos	Elicitor + Fertilizante	Minerales Primarios y Secundarios + Ácido Fosforoso	Verde	Inductor de fitoalexinas + mineralización de suelo.	3 qq / mz
SILK	Acondicionador de suelo	Silicato de potasio	Verde	Regula Ph de Suelo, mejora el intercambio catiónico, conductividad Eléctrica y Solubiliza los minerales fijados en el suelo. Aporta Sílice y potasio asimilable	1 lts / mz diluida en 2 barriles de agua
EFICAZ	Bio estimulante	Bacterias Fotosintéticas, Acido lácticas, levaduras	Verde	Bioestimulante y activador microbiano benéfico sustancia a fin a fertilizante para uso de suelo foliar.	1 lts / mz
Carbono Organico Al 35%	Acondicionador de suelo	Carbono Orgánico al 35%, Potasio soluble 11% Relación Carbono nitrógeno 35:1	Verde	Es acondicionador de las reacciones bioquímicas y físicas del suelo aporta CO2 orgánico mejora la estructura de suelo, Capacidad de intercambio de bases.	16 lts / mz

BIO-ESFERAS	Fertilizantes macro granulados para intensificar colores de flores	Bochashi + microelementos	Verde	Es un fertilizante orgánico para intensificar los colores de las flores a base de Bocashi y sales minerales	1 esfera cada 3 meses por maceta
BIO CARBON ACTIVADO	Acondicionador de suelo		Verde	Con capacidad de absorber CO2 emitido por el suelo favorece crecimiento de microorganismos	25 lts / mz
Bocashi inicio	Fertilizante orgánico	Nitrógeno Fosforo Potasio + Em	Verde	Fertilizante solido fermentado balanceado con fosforo, y elementos menores boro, calcio que permiten mayor desarrollo radicular de las plantas.	Hortalizas 3 onzas por plantas
Bocashi desarrollo	Fertilizante orgánico	Nitrógeno Fosforo Potasio + Em	Verde	Fertilizante solido fermentado balanceado con Nitrógeno Fosforo, Potasio más fitohormonas y elementos menores que permiten mayor desarrollo de las plantas.	Hortalizas 3 onzas por planta

Fuente: Tomado de Amer consultores SA. de C.V. 2022.

Cuadro 16. Estimulante Orgánico y Biofertilizante disponibles por Amer consultores S.A de CV.

Estimulante orgánico					
Nombre del producto	Clasificación/ reacción fisiológica	Ingrediente activo	Categoría	Objetivo que controla	Dosis / Mz
Amino plus	Estimulante foliar	Aminoácidos orgánicos	Verde	Reduce estrés en la planta, estimula desarrollo de brotes nuevos Fijación de flores y frutos	1 lts / mz
Multimineral orgánico	Estimulante foliar	Minerales	Verde	Proporciona 12 minerales radicales importante para el buen desarrollo de las plantas	1.5 lts / mz
Ácidos húmicos	Bio estimulante	Hidrolisis de leonardita	Verde	Favorece el desarrollo radicular y bioestimulante vía foliar	1.5 lts / mz
Solución Nutritiva inicio 5-20-10 + Em	Fertilizante orgánico	Nitrógeno, fosforo, potasio + Em	Verde	Solución nutritiva orgánica para plantaciones recién sembradas para estimular su desarrollo. Solución Balanceada a base de residuos y cosechas y sales minerales	1 lts por barril de agua suministrada al sistema de riego

Solución Nutritiva Desarrollo 10-10-10+ Em	Fertilizante orgánico	Nitrógeno, fosforo, potasio + Em	Verde	Solución nutritiva orgánica para plantaciones en desarrollo.	1 lts por barril de agua suministrada al sistema de riego
Solución Nutritiva Cosecha 5-10-25 + Em	Fertilizante orgánico	Nitrógeno, fosforo, potasio + Em	Verde	Solución nutritiva orgánica para plantaciones adultas y sostener buenas cosechas	1 lts por barril de agua suministrada al sistema de riego
BOCASHI	Fertilizante orgánico	Nitrógeno, fosforo, potasio + Em	Verde	Fertilizante solido fermentados a partir de residuos orgánicos aporta nutrientes	1 lts por barril de agua suministrada al sistema de riego
BOCASHI JARDIN	Fertilizante orgánico	Nitrógeno, fosforo, potasio + Em	Verde	Fertilizante solido fermentado balanceado con elementos menores zinc, boro, molibdeno, magnesio, cobre, calcio, que permiten mantener mayores floraciones de las plantas ornamentales.	1.5 lbs por metro cuadrado de jardín

Fuente: Tomado de Amer consultores SA. de C.V. 2022.

Cuadro 17. biofertilizante orgánico, disponible por Amer consultores S.A de CV.

Biofertilizantes					
Nombre del producto	Clasificación/ reacción fisiológica	Ingrediente activo	Categoría	Objetivo que controla	Dosis / Mz
Micorrizas	Bio fertilizante	Propágulos Micorrizas Arbasculares (HMA)	Verde	Estimula El sistema Radical Alojándose en la raíz y solubiliza el fosforo en el suelo	150 grs / libra de semillas 150 grs 2 libras de sustratos.

Fuente: Tomado de Amer consultores SA. de CV. 2022.

Cuadro 18. Sustrato orgánico para bandejas de Hortalizas y Flores, disponibles por Amer consultores S.A de CV.

Inductores a resistencia y floración					
Nombre del producto	Clasificación/ reacción fisiológica	Ingrediente activo	Categoría	Objetivo que controla	Dosis / Mz
Fuerza	Elicitor y Bio Estimulante	Ácido Salicílico.	Verde	Es un indicador de autodefensas en los cultivos protege a la planta de una infección secundaria por patógenos biotróficos.	0.5 lts / mz

RAICES	Bioestimulante radicular	Ácido + Boro + Fosforo soluble + IBA Ácido indol Butírico.	Verde	Estimula el desarrollo vegetativo de primordios de crecimiento, florales y desarrollo de frutos.	1 lts / mz
Stimulus	Bioestimulante de crecimiento	Boro + Zinc + MO + Ga 7 Ácido gibérelico.	Verde	Estimulante de desarrollo vegetativo de primordios de crecimiento, Florales y desarrollo de frutos.	1 lts / mz
Sustratos orgánicos para bandejas de hortalizas y flores					
Nombre del producto	Clasificación/ reacción fisiológica	Ingrediente activo	Categoría	Objetivo que controla	Dosis / Mz
Sustratos para plantines	Sustrato para desarrollo de plantines	Fibra de coco + Fibra de café + Biocarbón Trichodermas + EM.	Verde	Sustrato especializado para el desarrollo de plantines inoculados con trichodermas para evitar hongos y reforzado con biocarbón y elementos menores.	2 lbs por bandeja
Tierra preparada	Tierra preparada para fortalecimiento de jardines, macetas	A base de residuos orgánicos más tierra fértil	Verde	Ideal para el fortalecimiento de macetas y jardines	3 lbs / metro cuadrado de jardín

Fuente: Tomado de Amer consultores SA. de C.V. 2022.

Cuadro 19. Productos orgánicos disponible por El Surco S.A de CV.

Nombre del producto	Beneficios	Momento de aplicación	Cultivo	Dosis aspersora de 20 litros	Dosis en fertirriego por manzana
MYCOGEL PROBIOTICO	<ul style="list-style-type: none"> • Realiza una asociación beneficiosa con las raíces de las plantas. • Mayor absorción de agua y nutrientes. • Solubilización de fósforo. • Estimulación de crecimiento en condiciones de estrés (sequía, salinidad, suelos pobres, y pH extremos). 	<p>Por trasplante germinación del cultivo a repetir 7 a 10 días una según dosis.</p> <p>2 semanas después de la aplicación, se puede utilizar un fungicida si se necesitara.</p> <p>No es compatible con Bacillus.</p> <p>Ph 4-9</p>	<p>Por trasplante:</p> <p>Tomate Chile Pepino Repollo Lechuga Brócoli Sandía Melón Otros y frutales</p>	<p>30 cc aplicar 50 cc de la solución por planta</p>	<p>700 cc</p>
NITROCODE AZ+ PROBIOTICO	<ul style="list-style-type: none"> • Produce fitohormonas naturales que estimulan el crecimiento vegetal y la germinación. • Ayuda a activar las defensas naturales de la planta y actúa como barrera frente a microorganismos patógenos. • Fija de forma biológica Nitrógeno en la rizosfera, ayudando a reducir el consumo de fertilizantes. 	<p>Primera aplicación DDT y repetir cada 21 días (3 aplicaciones)</p>	<p>Tomate Chile Pepino Repollo Lechuga brócoli Repollo Sandía Melón Otro y frutales</p>	<p>300 cc Aplicar 50 cc de la solución por planta.</p>	<p>700 cc</p>

Nombre del producto	Beneficios	Momento de aplicación	Cultivo	Dosis aspersora de 20 litros	Dosis en fertirriego por manzana
<p>PREBIOTA MAX</p> <p>PREBIÓTICO</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Regenerador del microbioma del suelo. • Aporta moléculas prebióticas que logran mejorar la instalación y desarrollo de microorganismos positivos del suelo. • Proporcionan al cultivo y al suelo metabolitos secundarios procedentes de fermentación bacteriana que tienen una acción directa e inmediata. • Provee al suelo ácidos fúlvicos y húmicos mejorando la estructura, aireación y la fertilidad, además de actuar como fuente de alimento para los microorganismos. 	<p>Primera aplicación al momento del trasplante y repetir a los 25 días</p> <p>Aplicar con Rhyzo</p>	<p>Tomate</p> <p>Chile</p> <p>Pepino</p> <p>Repollo</p> <p>Lechuga</p> <p>Br+ocoli</p> <p>Sandía</p> <p>Melón</p> <p>Otros y frutales</p>	<p>Vía drench 280 cc y aplicar 50 cc de la solución por planta</p>	<p>7 litros</p>

Nombre del producto	Beneficios	Momento de aplicación	Cultivo	Dosis aspersora de 20 litros	Dosis en fertirriego por manzana
XTERDER ROW PREBIÓTICO	<ul style="list-style-type: none"> • Promueve el desarrollo de microorganismos positivos del suelo. • Logra preparar al cultivo para la época de la lluvia, estrés por altas temperaturas, heladas y sequías. • Incrementa la producción y el rendimiento. 	Primera aplicación 15 días después de establecido el cultivo (2 a 3 aplicaciones por ciclo)	Cultivos extensivos (Arroz, Frijol, Maíz, Sorgo y otros)	280 cc y aplicación pulverizada a suelo y cultivos o vía drench	2.1 a 4 Litros, pulverizados
RHYZO Bioestimulante	<ul style="list-style-type: none"> • Activa el enraizamiento en las fases críticas del cultivo. • Asegura un desarrollo homogéneo y óptimo del cultivo desde la etapa inicial. • Reduce el estrés del trasplante, salida de la etapa de invernadero, post encharcamiento, debido a sus componentes estimulantes 	Primera aplicación al momento del trasplante o a los 6 días de germinado y repetir la dosis a los 12 DDT o siembra del cultivo NOTA: aplicar en combinación con Bombardier.	Tomate Chile Pepino Repollo Sandía Melón Otros y frutales.	En drench 15 g a 35 g por bomba 1 a 2 copas de 30 cc por bomba Aplicar de la solución 50 cc por planta 1 copa de 30 cc = 20 g	0.35 – 0.5 kilos

Nombre del producto	Beneficios	Momento de aplicación	Cultivo	Dosis aspersora de 20 litros	Dosis en fertirriego por manzana
<p>BOMBARDIER</p> <p>Bioestimulante</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Rápida respuesta en situaciones de estrés estimula el desarrollo vegetativo y productivo equilibrado de los cultivos. • Aporta un conjunto de moléculas bioestimulante como aminoácidos, péptidos, fitohormonas naturales y metabolitos secundarios. • Obtención por fermentación bacteriana, procesos naturales que dota de un componente extra de beneficios al cultivo. • Efecto complejante de elementos bloqueados en el suelo por bajas temperaturas o pH extremos. • Potencia la eficiencia de tratamientos de nutrición, agroquímicos. 	<p>Primera aplicación al establecimiento del cultivo y repetir cada 8 días</p> <p>Desarrollo vegetativo y todas las etapas según la necesidad (3 a 4 aplicaciones).</p> <p>NOTA: este producto aplicarlo en combinación con RHYZO</p>	<p>Tomate</p> <p>Chile</p> <p>Pepino</p> <p>Repollo</p> <p>Lechuga</p> <p>Brócoli</p> <p>Sandía</p> <p>Melón</p> <p>Otros y frutales</p>	<p>vía foliar 2-3 cc/ L de agua</p> <p>2 copas de 25 cc por bomba</p> <p>En drench 160 cc y de la solución 50 cc por planta</p>	<p>4 litros</p>

Nombre del producto	Beneficios	Momento de aplicación	Cultivo	Dosis aspersora de 20 litros	Dosis en fertirriego por manzana
RHINö High Tech Bioestimulante	<ul style="list-style-type: none"> • Mejora la brotación, la formación y elongación de los frutos. • Alarga el Raquis en cultivos con Racimos, aumenta el número de frutos por ramo y su uniformidad. • Complementa la estimulación de la planta en periodos de estrés. • Actúa mejorando el desarrollo vegetativo y productivo de los cultivos. 	Primera aplicación a los 21 DDT del cultivo y repetir cada 21 días (3 aplicaciones)	Tomate Chile Pepino Repollo Sandía Melón Otros y frutales	Foliar 0.5 – 1 cc/L de agua	
BIOALGAX Bioestimulante	<ul style="list-style-type: none"> • Estimula de forma equilibrada al cultivo incrementando su actividad y fotosintética. • Ayuda a la planta a sobrellevar situaciones de estrés. • Mejora la resistencia de las plantas. • Aporta macro y micronutrientes • Maximiza el rendimiento y calidad de las cosechas. • Potencia la acción de los fitosanitarios 	Aplicar desde el establecimiento del cultivo y repetir cada 15 días	Tomate Chile Pepino Repollo Sandía Melón Otros y frutales	Foliar: 2 – 4 cc/ Litro de agua	1.5 – 2.5 Litros

Nombre del producto	Beneficios	Momento de aplicación	Cultivo	Dosis aspersora de 20 litros	Dosis en fertirriego por manzana
<p>CAOS XT</p> <p>Bioestimulante y corrector de carencias</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Calcio y Boro 100% biodisponible, asimilable y móvil por toda la planta. • Dota de mayor consistencia y dureza a los frutos • Previene y corrige deficiencias y fisiopatías de Calcio en todo tipo de cultivos • Aumenta la vida pos-cosecha de los frutos 	<p>Primera aplicación a los 15 DDT, repetir cada 15 días</p>	<p>Tomate Chile Pepino Repollo Sandía Melón Otros y frutales</p>	<p>Foliar 1-3 cc/Litro de agua</p> <p>De 2 a 3 copas por bomba.</p>	<p>2 – 4 litros</p>
<p>MOLIBORO</p> <p>CORRECTOR DE CARENCIAS</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Mejora la floración en calidad y cantidad de polen. • Favorece el cuajado y la formación de los frutos, evitando la aparición de frutos deformes. • Minimiza la caída de flores o frutos por la acción combinada de sus componentes. 	<p>A partir de los 10 días de establecido el cultivo y puede utilizarse en todas las etapas del cultivo en intervalos de 15 días</p>	<p>Tomate Chile Pepino Repollo Sandía Melón Otros frutales</p>	<p>Foliar: 1.5 a 2.5 gramos por litro de agua.</p> <p>1 ¼ a 2 copas por bomba</p> <p>Aplicación via foliar</p> <p>1 copa de 30 cc = 25</p>	<p>1 – 2 kilos</p>

Nombre del producto	Beneficios	Momento de aplicación	Cultivo	Dosis aspersora de 20 litros	Dosis en fertirriego por manzana
<p>GREENCROP</p> <p>Corrector de carencias</p>	<ul style="list-style-type: none"> • La formulación esta complejada con ácidos orgánicos por lo que es absorbido y asimilado rápidamente por el cultivo. • Previene y corrige la clorosis causada por deficiencias de manganeso. • Incrementa la capacidad fotosintética favoreciendo la síntesis. • Ayuda a prevenir enfermedades producidas por virus y fitoplasma 	<p>A partir de los 15 días de establecido el cultivo y puede utilizarse en todas las etapas del cultivo intervalos de 15 días.</p>	<p>Tomate Chile Pepino Repollo Sandía Melón Otros y Frutales</p>	<p>Foliar 0.5 a 1.5 gramos por litro de agua</p>	<p>1 -2.5 kilos</p>
<p>CUPRAL GL</p> <p>CORRECTOR DE CARENCIAS</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Al estar doblemente complejado con dos ácidos orgánicos evitando su bloqueo en el suelo y facilitamos su absorción foliar y radicular. • Potencia la síntesis de lignina endureciendo las paredes celulares de los tejidos vegetales, favoreciendo el sistema de autodefensa de la planta. 	<p>A partir del establecimiento del cultivo, en la etapa de fructificación y maduración.</p> <p>No aplicar en la etapa de floración.</p>	<p>Tomate Chile Pepino Repollo Sandía Melón Otros y frutales.</p>	<p>Foliar: 2.0 – 3.0 cc/Litros de agua</p> <p>De 1 ½ a 2 copas por bomba</p>	<p>0-6 – 0-9 Litros</p>

Nombre del producto	Beneficios	Momento de aplicación	Cultivo	Dosis aspersora de 20 litros	Dosis en fertirriego por manzana
T – 90 PRIME NEMATICIDA	<ul style="list-style-type: none"> Incrementa las defensas naturales de la planta. Mantienen limpias y sin daños las raíces del cultivo. Previene la infestación de hongos y bacterias vía raíz. Plantas sanas y productivas al tener una mayor absorción de agua y nutrientes. 	<p>A partir del establecimiento del cultivo, (al momento de la germinación) Repetir ak día 20 y 40 días después de la primera aplicación, de acuerdo con el cultivo establecido.</p> <p>Utilizar pH entre 5-7.</p>	<p>Tomate Chile Pepino Repollo Sandia Melón Otros y frutales.</p>	<p>Al suelo: 100 cc (4 copas de 25)</p> <p>Aplicar de la solución 50 cc por planta en drench</p> <p>Recomendar con prebiota Max o Extender Row.</p>	<p>2.5 – 3.0 Litros</p>
PRIMING RED ACARICIDA	<ul style="list-style-type: none"> Estrés en infestaciones bajas, alternas con otras soluciones biológicas. Estrés en infestaciones mediante, mezclar con productos de contacto. Regresar con aplicaciones del producto solo después del control. No mezclar con productos a base de azufre y cobre. 	<p>Preventivo en intervalos de 10 a 14 días.</p> <p>Con alta necesidad en intervalos de 7 a 10 días.</p>	<p>Tomate Chile Berenjena Melón Cítricos Rosas y otros.</p>	<p>Vía foliar 2 a 4 cc por litro de agua</p> <p>Aplicar realizando buena cobertura</p> <p>Aplicar con pH de 5 a 7.</p>	
COPPER PRO FUNGICIDA	<ul style="list-style-type: none"> Estrés en infestaciones bajas, alternar con biológicos Estrés en infestaciones medianas, mezclar con productos de contacto. 	<p>Preventivo en intervalos de 7 a 12 días.</p> <p>Con alta necesidades en intervalos de 5 a 7 días.</p>	<p>Tomate Chile Berenjena Melón Cítricos Rosas Frutales y otros.</p>	<p>Vía foliar 2 a 4 cc por litro de agua</p> <p>Aplicar realizando buena cobertura.</p>	

Nombre del producto	Beneficios	Momento de aplicación	Cultivo	Dosis aspersora de 20 litros	Dosis en fertirriego por manzana
INDUCTOR PRIME FUNGICIDA	<ul style="list-style-type: none"> • Estrés en infestaciones bajas, alternar con biológicos. • Estrés en infestaciones medianas, mezclar con productos de contacto. • Regresar con aplicaciones del producto solo después del control. • No mezclar con productos a base de azufre y cobre. 	Tomate Chile Berenjena Melón Cítricos Rosas Frutales y otros.	Vía foliar: 2 a 4 cc por litro de agua. Aplicar realizando buena cobertura. Aplicar con pH de 5 a 7.		

Fuente: Tomado de El Surco SA. de C.V. 2023.

VIII. ANÁLISIS DE RESULTADOS.

Para la implementación de la biorremediación debemos tener en cuenta la técnica o tecnología a aplicar, dependiendo de la calidad del suelo como este se encuentra en sus diferentes niveles de contaminación. Su recuperación requiere información acerca del lugar. De esta forma permite al investigador tomar una mejor decisión, con respecto al tipo de mecanismo que puede implementarse en sitio contaminado para mejorar su capacidad productiva y restablecer el equilibrio del suelo. Tenemos que tomar en cuenta también el costo de cada una de las tecnologías como también los tratamientos, con esto se busca ofrecerle al agricultor un tratamiento accesible de bajo costo, que se ajuste a su economía.

El principio básico de la biodegradación consiste en aumentar la cantidad de microorganismos presentes en el suelo, mejorando la velocidad de degradación natural de los hidrocarburos que contaminan las áreas agrícolas productivas, pueden utilizarse como una alternativa para el tratamiento de suelos contaminados por derrame de petróleo o cualquier otro tipo de producto derivado de este como pueden ser pinturas, aerosoles, aceites, solventes, asfalto, combustibles, plásticos, ente otros, una mezclas de residuos con la capa superficial de suelo (materia orgánica en forma de humus) y abonos naturales para los procesos de tratamiento de lodos por medio de la tecnología de atenuación natural para la descontaminación de hidrocarburos, hidrocarburos aromáticos, hidrocarburos policíclicos (HAP's), benceno, tolueno, etil benceno, xileno (BETEX), y degradación de metales pesados mercurio (Hg), cadmio (Cd), plomo (Pb), cromo (Cr), arsénico (As), cobalto (Co), cobre (Cu), manganeso (Mn), plata (Ag), bario (Ba), selenio (Se) y zinc (Zn).

La utilización de plantas como una alternativa para la fitorremediación de los suelos es sin duda una de las mejores propuestas que se puede implementar en campo. Ya que esta brinda al agricultor la recuperación de los suelos que están siendo afectados por niveles altos de toxicidad que puede ser por acumulación de metales pesados, hidrocarburos policíclicos u otro producto que influya en la capacidad productiva de este, generando una baja producción en los cultivos agrícolas. aparte de ser una tecnología eficiente es también una las propuestas más económicas, está al alcance de cualquier productor por su amplia variedad y disponibilidad de plantas presentes.

Son tecnologías de bajo costo, que pueden implementarse, cabe recalcar que las tecnologías tienen sus ventajas y desventajas. Cada agricultor tiene que estar consciente que el uso de estas tecnologías dependiendo de su uso implementación o combinación de productos agroecológicos ira generando un costo económico el cual cada uno tiene que ajustarse a su presupuesto económico, Su efecto de recuperación es lento hay que tomar en cuenta este factor muy importante a la hora de esperar cambios positivos en la zona contaminada, por lo cual los resultados en sus parcelas agroecológicas se comenzaran a notar a largo plazo.

Es necesario tener en cuenta que cuando se utilizan los procesos de biorremediación del suelo, siempre vamos a utilizar más de una tecnología para acelerar el proceso de degradación, inmovilización, volatilización y recuperación del área afectada. Al tener la combinación de los demás mecanismos estamos garantizado la descomposición de los compuestos tóxicos a compuestos menos dañinos la para el Ambiente y salud humana.

IX. CONCLUSIONES.

1. La implementación de los mecanismos o tecnologías de biorremediación de los suelos ayuda a la reducción de los compuestos tóxicos como hidrocarburos clorados, plaguicidas, herbicidas, aldehídos, formaldehidos, nitrosaminas, etc. Presentes en suelo de esta manera a través de los procesos de degradación estos metabolizan las sustancias degradándolas en un material menos tóxicos al Medio Ambiente.
2. La utilización de microorganismos eficientes como inoculantes microbianos restable el equilibrio microbiológico del suelo, para mejorar sus condiciones fisicoquímicas incrementando la producción y su protección.
3. Con la revisión bibliográfica se intenta demostrar que la fitorremediación puede utilizarse como una alternativa eficiente a las técnicas clásicas de descontaminación o atenuación de los compuestos xenobióticos, porque puede ser utilizada como una tecnología de biorremediación por su potencial en la degradación, translocación, almacenaje y volatilización de los diferentes compuestos químicos.
4. La comparación de las técnicas o mecanismos de biorremediación que se han investigado dan resultados positivos en la implementación de cada una de las técnicas como lo son la bioestimulación, bioamumentación, lanfarning, fitorremediación, fitodegradación, que se han utilizado para cada uno de sus proyectos de investigación dando como resultado una buena alternativa para la reducción de costos y la recuperación de los suelos contaminados.

IX. BIBLIOGRAFÍA.

- Benavides Mendoza, A. 2021. Bioestimulantes agrícolas importancia y definiciones (En línea) Coahuila, México. Consultado: 21 de enero del 2023. Disponible en:
https://www.researchgate.net/publication/354423869_Bioestimulantes_agricolas_importancia_y_definicion
- Bonilla Valencia, SM. 2013. Estudio para el tratamiento de biorremediación de suelos contaminados con plomo, utilizando el método de biorremediación. Quito, Ecuador. Consultado: el 5 de noviembre del 2022. Disponible en:
<https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/4400/6/UPS-ST000985.pdf>
- Brutti, L; Beltrán, M; Garcia de Salamone, I. 2018. Biorremediación de los Recursos Naturales. (En línea). Buenos Aires, Argentina. Consultado: 4 enero del 2023. Disponible en:
https://inta.gob.ar/sites/default/files/libro_biorremediacion_de_los_recursos_naturales_1.pdf
- El surco SA de CV. 2023. Kimatec Group – Biotecnología. (En línea). Santa Tecla, El Salvador. Consultado 12 de octubre del 2023. Disponible en: <https://elsurco.com.sv/sucursales>
- Claro Gómez, D. 2021. Fitorremediación de suelos contaminados con pesticidas. (En Línea). Sevilla, España. Consultado: el 10 de noviembre del 2022. Disponible en:
https://www.researchgate.net/publication/230900886_Fitorremediacion_de_suelos_contaminados_con_pesticidas
- Costa Ruiz, K; Nuñez Gastelúm, J; Delgado Ríos, M; Martínez, A. (2019). Biorremediación: Actualidad de conceptos y aplicaciones. (En línea). Ciudad Juárez, México. Consultado: 30 de octubre del 2022. Disponible en:
https://www.researchgate.net/publication/330090699_BIORREMEDIACION_ACTUALIDAD_DE_CONCEPTOS_Y_APLICACIONES_BIOREMEDIATION_CURRENT_CONCEPTS_AND_APPLICATIONS

- Chiriboga, PH; Gómez, BG; Garcés K. 2015. *Thichoderma spp* para el control biológico de enfermedades. (En línea). Paraguay. Consultado: el 15 de julio del 2023 Disponible en: <https://repositorio.iica.int/bitstream/handle/11324/2647/BVE17038725e.pdf;jsessionid=7F18B9C6A82D04672B0CB5B3799D1ADA?>
- Delgadillo López, AE; González Ramírez, CA; Prieto Gracia, F; Villagómez Ibarra, JR; Acevedo Sandoval, O. 2011. Fitorremediación: una alternativa para eliminar la contaminación. (En línea). Hidalgo, México. Consultado: 9 de noviembre del 2022. Disponible en: <https://www.scielo.org.mx/pdf/tsa/v14n2/v14n2a2.pdf>
- Díez Rojo, MÁ. 2010. Bases agronómicas para la utilización de restos agrarios en biodesinfección de suelos. (En línea). Madrid, España. Consultado: 14 de julio del 2023 Disponible en: https://oa.upm.es/4153/1/MIGUEL_ANGEL_DIEZ_ROJO.pdf
- Flores Camacho, R; Atkins, SD; Manzanilla López, RH; Cid del Prado Vera, I; Garza, AM. 2008. Caracterización de Aislamiento Mexicanos de *Pochonia Chlamydosporia var. Chlamydosporia* (Goddard) Gams y Zare para el control Biológico de *Nacobbus aberrans* (Thorne) Thorne y Allen. (En línea). Texcoco, México. Consultado: 16 de julio del 2023. Disponible en: https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S018533092008000200001
- García Astillero, A. 2019. Impacto ambiental del petróleo y el gas natural. (En línea). Bogotá, Colombia. Consultado: 2 de febrero del 2023. Disponible en: <https://www.ecologiaverde.com/impacto-ambiental-del-petroleo-y-el-gas-natural-1658.html>
- Honrubia, M. 2009. La micorriza: una relación planta-hongo que dura más de 400 millones de años. (En línea). Murcia, España. Consultado: el 30 de diciembre 2022. Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/41026058_Las_micorrizas_una_relacion_planta-hongo_que_dura_mas_de_400_millones_de_anos

Hernández Saiz, AI. 2022. Análisis de la dinámica de los microtúbulos en el hongo entomopatógeno *Metarhizum brunneum*. (En línea). Baja California, México. Consultado el 16 de julio del 2023. Disponible en:

https://cicese.repositorioinstitucional.mx/jspui/bitstream/1007/3701/1/tesis_Alejandra%20Irene%20Hern%C3%A1ndez%20Saiz_01%20abril%202022.pdf.

López Martínez, S; Gallegos Martínez, ME; Pérez Flores, LJ; Gutiérrez Rojas, M. 2005. Mecanismos de fitorremediación de suelos contaminados con moléculas orgánicas xenobióticas (En línea). Iztapalapa, México. Consultado: el 12 de noviembre del 2022. Disponible en: https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0188-49992005000200091

Llugany, M; Tolrá, R; Poschnrieder, C; Barceló, J. 2007. Hiperacumulación de metales ¿Una ventaja para la planta y para el hombre? (En línea). Alicante España. Consultado: el 10 noviembre del 2022. Disponible en: <https://www.redalyc.org/pdf/540/54016302.pdf>

Madera Sarmiento, CA. 2020. Fitorremediación: Técnica aplicada a la recuperación de suelos contaminados por plaguicidas. (En línea). Córdoba, Colombia. Consultado: 1 de febrero del 2023. Disponible en:

https://repositorio.unicordoba.edu.co/xmlui/bitstream/handle/ucordoba/3906/Madera_Sarmiento_Carlos_Andres.pdf?sequence=1

Moliterni Merlo, E. 2015. Biorremediación acelerada de suelos contaminados con hidrocarburos tipo diésel (En línea). Castilla, España. Consultado: 30 de octubre del 2022. Disponible en: <https://ruidera.uclm.es/items/5087d0e3-71dd-456b-9235-6cfee4266a87>

Montenegro Gómez, SP; Pulido, SY; Calderón Vallejo, LF. 2019. Prácticas de biorremediación en suelos y agua. (en línea). Bogotá, Colombia. Consultado: el 20 de enero del 2023. Disponible en:

https://www.researchgate.net/publication/341199431_Practicas_de_biorremediacion_en_suelos_y_aguas

- Montiel Rozas, MM. (2016). Efectos de la rizosfera y de las enmiendas orgánicas en la Fito recuperación de suelos contaminados con elementos traza. (En Línea). Sevilla, España. Consultado: el 10 noviembre del 2022. Disponible en: https://www.bing.com/search?pglt=41&q=Efectos_rizosfera_enmiendas_2017_tesis.pdf.&cvid=6f6d547c74e34c3092d4eb3b24424f4d&gs_lcrp=EgZjaHJvbWUyBggAEEUYOdIBCDI4NzFqMGoxqAIAsAIA&FORM=ANNTA1&PC=HCTS
- Morocho, MT; Leiva Mora, M. 2001. Microorganismos eficientes, propiedades y aplicaciones agrícolas. (En línea). Riobamba, Ecuador. Consultado: 12 de diciembre del 2022. Disponible en: <http://www.scielo.sld.cu/pdf/cag/v46n2/0253-5785-cag-46-02-93.pdf>
- Posada, R.H. 2012. Procesos de biorremediación (En línea). Bogotá, Colombia. Consultado: 16 de enero del 2023. Disponible en: <https://1library.co/article/bioaumentaci%C3%B3n-modulo-proceso-de-biorremediacion-pdf.zxxne7vz>
- Rivera, C. 2021. Contaminación con pesticidas, una amenaza latente que está matando a nuestros suelos y a nuestros agricultores. (En línea). Madrid, España. Consultado en 4 de julio 2022. Disponible en <https://diariolahuella.com/contaminacion-con-pesticidas-una-amenaza-latente-que-esta-matando-a-nuestros-suelos-y-a-nuestros-agricultores/>
- Santos Martín, JL. 2010. Los Micronutrientes. Fisiología Vegetal. (En línea). Madrid, España. Consultado: el 10 de noviembre del 2022. Disponible en: <https://www.exa.unne.edu.ar/biologia/fisiologia.vegetal/Micronutrientes.pdf>
- Sauka, DH; Benintende GB. 2008. *Bacillus thuringiensis*: generalidades, Un acercamiento a su empleo en el biocontrol de insectos lepidópteros que son plagas agrícolas. (En línea). Buenos aires, Argentina. Consultado: el 25 enero del 2023. Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/262549904_Bacillus_thuringiensis_generalidad_es_Un_acercamiento_a_su_empleo_en_el_biocontrol_de_insectos_lepidopteros_que_son_plagas_agricolas

- Thalasso, F; Pineda, Olmedo, R. 2002. Biofiltración: tratamiento biológico de aire contaminado. (En Línea). México. Consultado: 16 de enero 2023. Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/228594656_Biofiltracion_tratamiento_biologico_de_aire_contaminado
- Trujillo, Toro, MA; Ramírez Quirama, JF. 2012. Biorremediación de suelos contaminados con hidrocarburos en Colombia. (En línea). Medellín, Colombia. Consultado: 6 de enero de 2023. Disponible en: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=5344956>
- Varjani, SJ; Agarwal, AK; Gnansounou, E; Gutunathan, B. 2018. Bioremediation: Applications for Environmental Protection and Management. (En línea). Gujarat, India Consultado: 20 de octubre del 2022. Disponible en: <https://link.springer.com/book/10.1007/978-3-030-35691-0>
- Velasco, J. A; Sepúlveda, T. L. V. 2003. El composteo: una alternativa tecnológica para la biorremediación de suelos en México. Gaceta Ecológica, (66), 41-53.
- Villarreal Delgado, MF; Villa Rodríguez, ED; Cira Chávez, LA; Estrada Alvarado, MI; Parra Cota, FI; Santos Villalobos, S. 2018. El género *Bacillus* como agente de control biológico y sus implicaciones en la bioseguridad agrícola. (En línea). Sonora, México. Consultado: el 21 de enero del 2023. Disponible en: https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S018533092018000100095

XI. ANEXOS.

Anexo 1. Programa fitosanitario para la producción de chile dulce y jalapeño.

Día	Fecha	Producto	Ingredientes activos	Dosis 16 lts	Dosis lt / kg/ Mz	Área de aplicación	Objetivo
-30		Siembra maicillo + Bocashi	Inicio de biorremediación de suelo.		25 libras	Al suelo	Controlar hongos bacterias y plagas de suelo
		Siembra en bandejas	Eficaz + trichodermas + micorrizas				
-15		Incorporación de maicillo + repollo + Eficaz	Microorganismos eficientes, incorporación de maicillo.	8 copas	2 litro	Al suelo	Biodesinfección controlar hongos, bacterias y plagas de suelo.
-8		Trichoderma + Paecilomyces lilanus + Metarizum.	Trichoderma harzianum	4 copas	1 kilo	Al suelo	Phytium, Rhizoctonia, Fusarium, Phytophthora,
		Eficaz.	Microorganismos eficientes	5 copas	1 litro	Al suelo	Bioestimulante y activador microbiano benéfico
-3		Trichoderma +	Trichoderma	4 copas	1 kilo	Al suelo	Phytium, Rhizoctonia,

		Paecilomyces lilanus + Metarizum	harzianum + Paecilomyces + Metarizum				Fusarium, Phytophthora, y nematodos.
0	Siembra	Bacillus subtilis + Paecilomyces	Bacillus subtilis	3 copas	1 litro	Al suelo	Phytium, Rhizoctonia, Fusarium, Phytophthora, bacterias.
		Canelineen	Cinnamomun Zeylanicum + Neem	2 copas	0.5 litro	Foliar	Trips, ácaros, mosca blanca, pulgones
7		Reactivador fisiologico	Lodo libre, Ácido Salicílico, Ácido cítrico	2 copas	0.5 litro	Foliar	Bacterias, botritis, Tizones, Antracnosis, virus
		Canelineen	Cinnamomum Zeylanicum + Neem	2 copas	0.5 litros	Foliar	Trips, ácaros, mosca blanca, pulgones
10		Beauveria	Beauveria bassiana	3 copas	1 litro	foliar	Trips, ácaros, mosca blanca.
		Reactivador fisiológico	Lodo libre, Ácido Salicílico, Ácido cítrico	3 copas	1 litro	Foliar	Bacterias, botritis, Tizones, Antracnosis, virus.
14		Bacillus subtilis	Bacillus subtilis	3 copas	1 litro	Foliar	Bacterias, botritis, Tizones, Antracnosis.

		Canelineen	Cinnamomun Zeylanicum + Neem	2 copas	0.5 litro	Foliar	Trips, ácaros, mosca blanca, pulgones.
		Eficaz + paecilomyces + Metarizum	Microorganismos eficientes	5 copas	1 litro	Al suelo	Phytium, Rhizoctonia, Fusarium, Phytophthora, bacterias.
18		Trichoderma + Metarizum.	Trichoderma harzianum.	3 copas	500 gr	Foliar	Botritis, Alternaria + Mildiu.
		Bacillus TVKA + canelineen	Bacillus thuringiensis var. Kurstaki y Aizawai.	3 copas	1 litro	Foliar	Larvas.
24		CUPERTRON	Sulfato de cobre Penta hidratado	1 copa	250 cc	Foliar	Bacterias, botritis, Tizones, Antracnosis.
		Canelineen	Cinnamomum Zeylanicum + Neem	2 copas	0.5 litro	Foliar	Trips, ácaros, mosca blanca, pulgones.
		Eficaz + paecilomyces lilacinus	Microorganismos eficientes	5 copas	1 litro	Al Suelo	Phytium, Rhizoctonia, Fusarium, Phytophthora, bacterias.

30	Trichodermas	Trichoderma harzianum	3 copas	300 gr	Foliar	Botritis, Alternaria.
	Bacillus TVKA + Bauberia	Bacillus thuringiensis var. Kurstaki y Aizawai.	3 copas	1 litro	Foliar	Larvas.
35	Bacillus subtillis + canelineen	Bacillus subtillis	3 copas	1 litro	Foliar.	Bacterias, botritis, Tizones, Antracnosis.
39	Beauveria + Metarizum	Beauveria bassiana + Metarizum	3 copas	1 litro	Foliar	Trips, ácaros, mosca blanca.
	Canelineen	Cinnamomum Zeylanicum + Neem	2 copas	0.5 litro	Foliar	Trips, ácaros, mosca blanca, pulgones.
	Bacillus subtilis	Bacillus subtilis	3 copas	1 litro	Foliar	Bacterias, botritis, Tizones, Antracnosis.
46	Reactivador fisiológico	Lodo libre, Ácido Salicílico, Ácido cítrico	2 copas	0.5 litro	Foliar	Bacterias, botritis, Tizones, Antracnosis, virus.
	Canelineen	Cinnamomum Zeylanicum + Neem	2 copas	0.5 litro	Foliar	Trips, ácaros, mosca blanca, pulgones.

53		Beauveria + Metarizum	Beauveria bassiana	3 copas	1 litro	Foliar	Trips, ácaros, mosca blanca.
		Bacillus subtilis	Bacillus subtilis	3 copas	1 litro	Foliar	Bacterias, botritis, Tizones, Antracnosis.
60		Beauveria + Metarizum	Beauveria bassiana + Metarizum	3 copas	1 litro	Foliar	Trips, ácaros, mosca blanca.
		Canelineen	Cinnamomum Zeylanicum + Neem	2 copas	0.5 litro	Foliar	Trips, ácaros, mosca blanca, pulgones.
63		Bacillus subtilis	Bacillus subtilis	3 copas	1 litro	Foliar	Bacterias, botritis, Tizones, Antracnosis.
73		Reactivador fisiológico	Lodo libre, Ácido Salicílico, Ácido cítrico	2 copas	0.5 litro	Foliar	Bacterias, botritis, Tizones, Antracnosis, virus.
		Canelineen	Cinnamomum Zeylanicum + Neem	2 copas	0.5 litro	Foliar	Trips, ácaros, mosca blanca, pulgones.
80		Beauveria + Metarizum	Beauveria bassiana + Metarizum	3 copas	1 litro	Foliar	Trips, ácaros, mosca blanca.

		Bacillus subtilis	Bacillus subtilis	3 copas	1 litro	Foliar	Bacterias, botritis, Tizones, Antracnosis.
87		Trichodermas	Trichodermas harzianum	3 copas	300gr	Foliar	Bortritis, Alternaria.
		Bacillus TVKA	Bacillus thuringiensis var. Kurstaki y Aizawaai	3 copas	1 litro	Foliar	Larvas
91		Bacillus Subtilis	Bacillus Subtilis	3 copas	1 litro	Foliar	Bacterias, botritis, Tizones, Antracnosis.

Fuente: Tomado de Amer consultores SA. de C.V. 2022.



Anexo 2. Limpieza de surcos



Anexo 3. Incorporación de Bocashi



Anexo 4. Plantas de sorgo



Anexo 5. Preparación de los surcos



Anexo 6. Incorporación de plantas de sorgo



Anexo 7. Aplicación de eficaz

Anexo 8. Programa fitosanitario para la producción de Tomate orgánico en invernadero.

Día	Fecha	Producto	Ingrediente Activo	Dosis 16 lts	Dosis lt/kg/mz	Área de aplicación	Objetivo
-30		Siembra maicillo	Inicio de biorremediación de suelos				Controlar hongos, bacterias y plagas de suelo.
-15		Eficaz	Microorganismos eficientes, incorporación de maicillo.	8 copas	2 litro	Al suelo	Biodesinfección, controlar hongos, bacterias y plagas de suelo.
-3		Trichoderma	Trichoderma harzianum	4 copas	1 kilo	Al suelo	Phytium, Rhizoctonia, Fusarium, Phytophthora.
		Eficaz	Microorganismos Eficientes	5 copas	1 litro	Al suelo	Bioestimulante y activador microbiano benéfico.
0		Eficaz	Bacillus subtilis	3 copas	1 litro	Al suelo	Phytium, Rhizoctonia, Fusarium, Phytophthora, bacterias.
		Canelineen	Cinnamomum Zeylanicum + Neem	2 copas	0.5 litro	Foliar	Trips, ácaros, mosca blanca, pulgones.

7	Bacillus subtilis	Bacillus subtilis	2 copas	0.5 litro	Al suelo	Bacterias, botritis, Tizones, Antracnosis, virus.
	Canelineen	Cinnamomum Zeylanicum + Neem	2 copas	0.5 litro	Foliar	Trips, ácaros, mosca blanca, pulgones.
10	Beauveria	Beauveria bassiana	3 copas	1 litro	Foliar	Trips, ácaros, mosca blanca.
	Basillus pumilis	Basillus pumilis	3 copas	1 litro	Foliar	Roya, Tizones, Mildiu.
14	Basillus subtilis	Basillus subtilis	3 copas	1 litro	Foliar	Bacterias, botritis, Tizones, Antracnosis.
	Canelineen	Cinnamomum Zeylanicum + Neem	3 copas	1 litro	Foliar	Trips, ácaros, mosca blanca, pulgones.
18	Trichodermas	Trichoderma harzianum	3 copas	500 gr	Foliar	Botritis, Alternaria.
	Bacillus TVKA	Bacillus thuringiensis var. Kurstaki y Aizawai.	3 copas	1 litro	Foliar	Larvas

24	CUPERTRON	Sulfato de cobre penta hidratado	1 copa	250 cc	Foliar	Bacterias, botritis, Tizones, Antracnosis.
	Canelineen	Cinnamomum Zeylanicum + Neem	2 copas	0.5 litro	Foliar	Trips, ácaros, mosca blanca, pulgones.
	Eficaz	Microorganismos eficientes	5 copas	1 litro	Al suelo	Phytium, Rhizoctonia, Fusarium, Phytophthora, bacterias.
30	Trichodermas	Trichoderma harzianum	3 copas	300 gr	Foliar	Botritis, Alternaria
	Bacillus TVKA	Bacillus thuringiensis var. Kurstaki y Aizawai.	3 copas	1 litro	Foliar	Larvas
35	Basillus subtilis	Basillus subtilis	3 copas	1 litro	Foliar	Bacterias, botritis, Tizones, Antracnosis.
39	Bauveria	Bauveria Bassiana	3 copas	1 litro	foliar	Trips, ácaros, mosca blanca.
	Canelineen	Cinnamomum Zeylanicum + Neem	2 copas	0.5 litro	Foliar	Trips, ácaros, mosca blanca, pulgones.

		Basillus subtilis	Basillus subtilis	3 copas	1 litro	Foliar	Bacterias, botritis, Tizones, Antracnosis.
46		Reactivador Fisiológico	Lodo libre, Ácido Salicilico, Ácido citrico.	2 copas	0.5 litro	Foliar	Bacterias, botritis, Tizones, Antracnosis, virus.
		Canelineen	Cinnamomum Zeylanicum + Neem	2 copas	0.5 litro	Foliar	Trips, ácaros, mosca blanca, pulgones.
53		Bauveria	Bauveria Bassiana	3 copas	1 litro	foliar	Trips, ácaros, mosca blanca.
		Basillus subtilis	Basillus subtilis	3 copas	1 litro	Foliar	Bacterias, botritis, Tizones, Antracnosis.
60		Bauveria	Bauveria Bassiana	3 copas	1 litro	foliar	Trips, ácaros, mosca blanca.
		Canelineen	Cinnamomum Zeylanicum + Neem	2 copas	0.5 litro	Foliar	Trips, ácaros, mosca blanca, pulgones.
63		Basillus subtilis	Basillus subtilis	3 copas	1 litro	Foliar	Bacterias, botritis, Tizones, Antracnosis.
73		Reactivador Fisiológico	Lodo libre, Ácido Salicilico, Ácido citrico.	2 copas	0.5 litro	Foliar	Bacterias, botritis, Tizones, Antracnosis, virus.

		Canelineen	Cinnamomum Zeylanicum + Neem	2 copas	0.5 litro	Foliar	Trips, ácaros, mosca blanca, pulgones.
80		Bauveria	Bauveria Bassiana	3 copas	1 litro	foliar	Trips, ácaros, mosca blanca.
		Basillus subtilis	Basillus subtilis	3 copas	1 litro	Foliar	Bacterias, botritis, Tizones, Antracnosis.
87		Trichodermas	Trichoderma harzianum	3 copas	500 gr	Foliar	Botritis, Alternaria.
		Bacillus TVKA	Bacillus thuringiensis var. Kurstaki y Aizawai.	3 copas	1 litro	Foliar	Larvas
91		Basillus subtilis	Basillus subtilis	3 copas	1 litro	Foliar	Bacterias, botritis, Tizones, Antracnosis.
94		Bauveria	Bauveria Bassiana	3 copas	1 litro	foliar	Trips, ácaros, mosca blanca.
		Canelineen	Cinnamomum Zeylanicum + Neem	2 copas	0.5 litro	Foliar	Trips, ácaros, mosca blanca, pulgones.

98		Reactivador Fisiológico	Lodo libre, Ácido Salicilico, Ácido citrico.	2 copas	0.5 litro	Foliar	Bacterias, botritis, Tizones, Antracnosis, virus.
106		Bacillus TVKA	Bacillus thuringiensis var. Kurstaki y Aizawai.	3 copas	1 litro	Foliar	Larvas
		Canelineen	Cinnamomum Zeylanicum + Neem	2 copas	0.5 litro	Foliar	Trips, ácaros, mosca blanca, pulgones.

Fuente: Tomado de Amer consultores SA. de C.V. 2022.



Anexo 9. Preparación de las camas de siembra bajo invernadero



Anexo 10. Conteo de Frutos y monitores de plagas



Anexo 11. Aplicación de Eficaz para estimulación de frutos



Anexo 12. Producción de cultivo de tomate bajo invernadero