



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA



UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA

Escuela Politécnica Superior de Gandia

Biorremediación de un suelo contaminado por pesticidas
agrícolas.

Trabajo Fin de Grado

Grado en Ciencias Ambientales

AUTOR/A: Blasco Lara, Erik

Tutor/a: Llinares Palacios, Josep Vicent

Cotutor/a externo: Saldamando Benjumea, Clara Ines

CURSO ACADÉMICO: 2023/2024

Índice

1.	Introducción	4
1.1.	Antecedentes.....	4
1.2.	Biorremediación	5
1.3.	El cultivo del maíz	5
1.4.	Plagas que afectan al cultivo del maíz	7
1.5.	Plaguicida Plethora 320 SC	8
1.6.	Climatología de la zona de estudio	8
1.7.	Tipo de suelo	9
2.	Objetivo.....	11
3.	Material y métodos	11
3.1.	La metodología	11
3.2.	Materiales Utilizados	12
3.3.	Procedimiento seguido:.....	14
4.	Resultados y discusión	23
3.1.	Resultados de los valores medidos en la cosecha de las plantas y observaciones.....	23
3.2.	Resultados de los análisis de suelo realizados	26
3.3.	Discusión.....	28
4.	Conclusiones	39
5.	Bibliografía	40
6.	Anexos.....	42
	Anexo I. Relación del trabajo con los objetivos de Desarrollo Sostenible de la Agenda 2030.....	42

Resumen

Alrededor de todo el planeta encontramos que los suelos están contaminados debido a la actividad humana, ya sea por la industria, la agricultura, la minería o por cualquiera de los muchos usos que los humanos hacemos de este medio. De forma natural los suelos también se pueden encontrar contaminados, pero la naturaleza siempre tiene sus métodos para lidiar con ello, lo que no supone un problema. En este trabajo nos centramos en una técnica, que sirva para devolver los suelos a su origen de una forma que sea inocua para el medio ambiente. La técnica llamada biorremediación se basa en el uso de microorganismos los cuales pueden existir en el suelo o se pueden cultivar e inocularlos en un suelo que se haya contaminado. Existen diversas técnicas para este fin, en el estudio utilizaremos dos técnicas una a base de bacterias llamada "Bacteriorremediación" y otra en base de hongos llamada "Micorremediación".

Palabras clave

Biorremediación · Bacteriorremediación · Micorremediación · Suelo · Pesticida

Abstract

Throughout the planet, we find that soils are contaminated due to human activities, whether it be from industry, agriculture, mining, or other uses that humans impose on this medium. Naturally, soils can also become contaminated, but nature always has its methods for dealing with this, which does not pose a problem. In this work, we focus on a technique that aims to restore soils to their original state in an environmentally harmless manner. The technique, known as bioremediation, is based on the use of microorganisms that either exist in the soil or can be cultured and inoculated into contaminated soil. Various techniques exist for this purpose; in this study, we will use two techniques: one based on bacteria called "bacterioremediation" and another based on fungi called "mycoremediation."

Keywords

Bioremediation · Bacterioremediation · Mycoremediation · Soil · Pesticide

Abreviaturas

C ₁	Concentración 1
C ₁ STA	Concentración 1 Sin Tratamiento A
C ₁ STB	Concentración 1 Sin Tratamiento B
C ₁ TBA	Concentración 1 Tratamiento Bacteriano A
C ₁ TBB	Concentración 1 Tratamiento Bacteriano B
C ₁ TFA	Concentración 1 Tratamiento Fúngico A
C ₁ TFB	Concentración 1 Tratamiento Fúngico B
C ₂	Concentración 2
C ₂ STA	Concentración 2 Sin Tratamiento A
C ₂ STB	Concentración 2 Sin Tratamiento B
C ₂ TBA	Concentración 2 Tratamiento Bacteriano A
C ₂ TBB	Concentración 2 Tratamiento Bacteriano B
C ₂ TFA	Concentración 2 Tratamiento Fúngico A
C ₂ TFB	Concentración 2 Tratamiento Fúngico B

1. Introducción

1.1. Antecedentes

Los plaguicidas son utilizados a nivel mundial, para enfrentar los problemas de las plagas en la agricultura. Gracias a ellos la agricultura ha prosperado aumentando la cantidad de producto recolectado por hectárea de cultivo. Sin embargo, esto no es gratuito puesto que aumentar de forma artificial la cantidad de kg en las cosechas implica el uso de dichos compuestos químicos, no solo plaguicidas, sino que también dependemos de fertilizantes y fungicidas entre otros. Esto supone algunos problemas sobre la matriz del cultivo, es decir el suelo y la naturaleza que vive en él formando complejos ecosistemas. También los pesticidas son responsables de contaminar los acuíferos, el aire y directamente a algunas especies de animales que viven en estos medios. Según algunos historiadores el uso de pesticidas data de hace 4500 años, cuando los sumerios utilizaban azufre para controlar algunas plagas que se comían sus cosechas. Pero los problemas comienzan a surgir con la intensificación de los cultivos y el uso descontrolado de los agroquímicos. Los componentes tóxicos de un plaguicida pueden ser dispersados a través del aire y del agua, pero pueden llegar también al suelo y aquí moverse por escorrentía, lixiviación o lavado (Campos, 2018).

En la actualidad los suelos contaminados por plaguicidas en la unión europea suponen el 83%, debido a la intensificación agrícola que se ha vivido en Europa desde los años 60 (Silva et al., 2019). Es por ello de vital importancia investigar alternativas al uso de estos componentes y también tan importante utilizar herramientas eficientes para tratar de eliminar estos componentes del suelo. Para ello se conoce la biorremediación como una herramienta que además de efectiva es inocua para el medio ambiente, es decir no empeora el estado con su uso. La biorremediación es una tecnología que utiliza microorganismos como bacterias, hongos o algas para biodegradar contaminantes presentes en suelos, agua o aire (Rodríguez-Gonzales et al., 2022).

Lo que motivó a realizar este estudio fue que en el primer semestre de intercambio en la Facultad de Minas de la Universidad Nacional de Colombia con sede en Medellín, tuvimos una materia llamada microbiología y biorremediación de suelos, en esta materia cada grupo asignado tuvo que realizar un estudio para descontaminar suelos contaminados por insecticidas, metales pesados como el Arsénico entre otros contaminantes que pueden estar en el suelo o en el agua, la diferencia fue que en el estudio que realizamos debíamos elegir un de los dos tipos de biorremediación, esto gustó tanto que motivo a realizar el estudio completo para la realización de este trabajo. Entonces descubrimos la importancia de mantener un suelo sano particularmente en Colombia que muchas personas viven directa e indirectamente de los cultivos y de las explotaciones ganaderas. Pero como es obvio toda la humanidad depende de este medio, cada vez más deteriorado, para asegurarse la comida y otros recursos que se obtienen del suelo. Lo ideal sería no tener que recurrir a ningún tipo de cura para el suelo, pero en todas partes hay personas que por desconocimiento o por falta de educación destrozan el medio que nos sirve para alimentarnos a los que vivimos en la actualidad y debemos dejar un suelo sano para las generaciones venideras. Este trabajo es clave para el cumplimiento directa o indirectamente de los objetivos de desarrollo sostenible de las naciones unidas, tales como Agua limpia y saneamiento, acción por el clima, vida de ecosistemas terrestres e indirectamente podrían afectar a hambre cero y vida submarina.

1.2. Biorremediación

La biorremediación son procesos biotecnológicos basados en plantas o microorganismos, que permiten la degradación de químicos tóxicos transformándolos en productos finales útiles o inocuos de una manera respetuosa con el medio ambiente (Joshi et al., 2021), esta puede ser utilizada para la limpieza de aire, agua o suelos contaminados. Consta de distintas técnicas como la Bacteriorremediación, la Micorremediación, la Fitorremediación o la Fitorremediación con algas llamada también alguirremediación. En el presente estudio nos centramos en la Bacteriorremediación y Micorremediación con la ayuda del Maíz como indicador biológico para que nos ayude a la interpretación de los resultados.

1.2.1. Bacteriorremediación

La Bacteriorremediación es la técnica empleada para la biorremediación, en la que se usan bacterias, las cuales pueden eliminar, transformar o reducir la concentración de tóxicos en el medio ambiente, ya sea en agua, en suelos o en el aire, estas pueden ser nativas del suelo o se pueden inocular en el mismo medio contaminado.

1.2.2. Micorremediación

La Micorremediación es una técnica de biorremediación que emplea hongos para descontaminar suelos y aguas, son capaces de eliminar contaminantes como metales pesados, pesticidas, tintes textiles y productos farmacéuticos. Son eficientes en la descomposición de materiales y pueden destruir toxinas en el suelo antes de que entren en la cadena alimentaria. Son un método ecológico y rentable, además producen algunos subproductos de la remediación, como enzimas y hongos comestibles o medicinales. La Micorremediación contribuye a mantener un equilibrio ambiental saludable al reciclar residuos de manera útil (Prasad et al., 2021)

1.3. El cultivo del maíz

El maíz es una planta herbácea de la familia de las *Poaceae* o Gramíneas. Es de porte robusto, fácil desarrollo y producción anual. Pueden aprovecharse para comer 55 de cada 100 gramos de producto fresco. Fuente de nutrientes es hidratos de carbono complejos como almidón y azúcares, fibra, β -carotenos y en menor cantidad proteínas (MITECO, 2024)

Necesidades nutritivas del maíz:

Nitrógeno

A medida que el maíz crece, su necesidad de nitrógeno incrementa notablemente, especialmente en la fase previa a la floración. En este periodo, la absorción de nitrógeno se acelera y, para cuando aparecen las flores femeninas, la planta ya ha absorbido más de la mitad del nitrógeno total requerido durante su ciclo de vida. Los híbridos de maíz de alto rendimiento en grano necesitan alrededor de 30 kilogramos de nitrógeno por tonelada de grano producido.

Fósforo

El fósforo, aunque se presenta en menor cantidad en el maíz en comparación con el nitrógeno y el potasio, desempeña un papel crucial en la nutrición de la planta. Las concentraciones más altas de fósforo se encuentran en los tejidos jóvenes y es vital para el desarrollo de las raíces. En condiciones de cultivo normales, las plantas de maíz extraen aproximadamente 10 kilogramos de fósforo por cada tonelada de grano cosechado.

Potasio

El maíz requiere grandes cantidades de potasio, y la mayor parte de este nutriente es absorbida durante los primeros 30 días de crecimiento de la planta (Deas Flores, 2020).

Resumen necesidades nutritivas del maíz:

ELEMENTO	KG/HA
* Nitrógeno	187
* Fósforo	38
* Potasio	192
* Calcio	38
* Magnesio	44
* Azufre	22
Cobre	0.1
Zinc	0.3
Boro	0.2
Hierro	1.9
Manganeso	0.3
Molibdeno	0.01

Figura 1. Necesidades nutritivas del maíz (Deras Flores, 2020)

El maíz es un cultivo extendido alrededor de todo el mundo es el primer cereal en rendimiento por hectárea y el segundo, después del trigo, en producción total (Golik et al., 2018). En el gráfico de FAO (Figura 2) se muestra los principales productores y los millones de toneladas que estos produjeron en el año 2022.

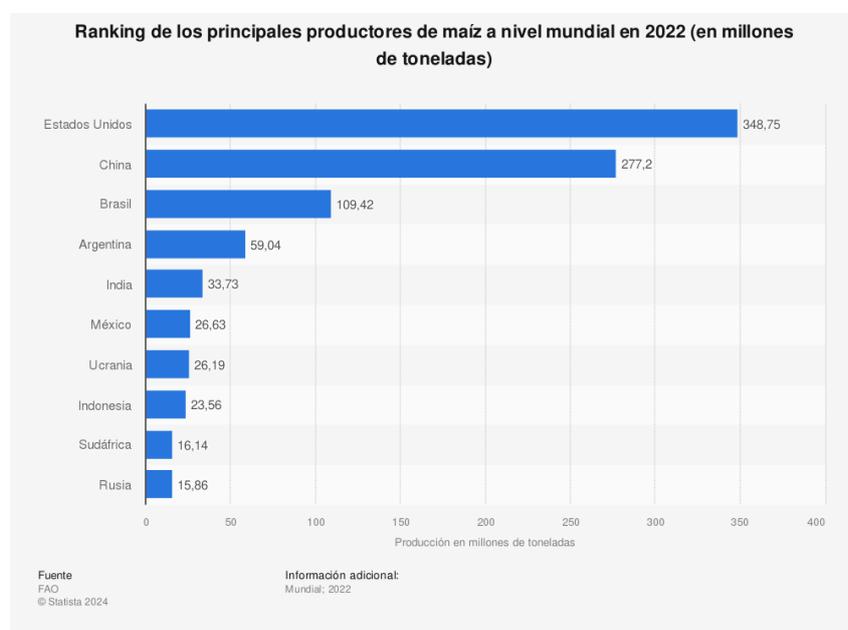


Figura 2. Rankings productores de maíz a nivel mundial en 2022. (FAO 2024)

Como se observa en el gráfico son muchos millones de toneladas las que se producen y es que el maíz tiene un uso muy extendido, desde la alimentación hasta la industria. En la alimentación, se consume como grano entero, maíz dulce, y en productos procesados como harinas y masas para tortillas, tamales y cereales. Es una fuente principal de alimentación animal, proporciona forraje para ganado y aves de corral (Shiferaw et al., 2011). En la industria, se usa para producir biocombustible (etanol) (Moiser et al., 2005), y en la fabricación de productos químicos y bioplásticos. También es empleado en la industria cosmética y farmacéutica, en productos de cuidado personal y suplementos nutricionales.

Las variedades más utilizadas de maíz a nivel mundial son:

Maíz Dentado (*Zea mays indentata*), predominante en EE. UU. para alimentación animal y producción de etanol. Maíz Flint (*Zea mays indurata*), común en América del Sur y Europa, usado para alimentación humana y animal. Maíz Dulce (*Zea mays saccharata* o *Zea mays rugosa*): Consumido como verdura debido a su alto contenido de azúcar. Maíz Harinoso (*Zea mays amylacea*), granos suaves y almidonados, utilizado para hacer harina y masa en América Latina. Maíz Reventón (*Zea mays everta*), utilizado para hacer palomitas de maíz. Maíz Ceroso (*Zea mays ceratina*), contiene almidón ceroso, usado en la industria alimentaria y de papel (Ranum et al. 2014). Pero son muchísimas más y en cada parte del mundo se utilizan unas u otras según la climatología o las necesidades del lugar.

1.4. Plagas que afectan al cultivo del maíz

Debido a la intensificación del cultivo de maíz aparecen diversas plagas que causan significativas pérdidas en la producción. Entre las más comunes y destructivas se encuentran el **gusano cogollero** (*Spodoptera frugiperda*, Ilustración 1) que daña las hojas y tallos, el taladro del maíz (*Busseola fusca*), que perfora los tallos y mazorcas, nematodos parásitos, que atacan las raíces, el pulgón del maíz (*Rhopalosiphum maidis*), que transmite enfermedades virales y la mosca de la espiga (*Atherigona spp.*), cuyas larvas se alimentan de los brotes jóvenes (Ranum et al., 2014). En el estudio nos fijamos en el gusano cogollero (*Spodoptera frugiperda*), es el insecto que más pérdidas produce en el trópico y neotrópico, su control supone cerca del 10% de los costes de producción (Jaramillo et al., 2020).



Ilustración 1. *Spodoptera frugiperda*. (Alyanza Ensyla, 2024)

1.5. Plaguicida Plethora 320 SC

Nos centramos en el plaguicida Plethora 320 SC, utilizado en Colombia para el control del gusano cogollero, que como se ha mencionado en el apartado 1.4 es el causante del 10% de los costes de producción del maíz (Jaramillo et al., 2020). Este está compuesto de dos ingredientes activos **Indoxacarb**, con una concentración de 20g/L, **Novaluron** con una concentración de 80g/L e incluye aditivos c.s.p. El Novaluron es una sustancia persistente en el suelo (Das et al., 2008).

1.6. Climatología de la zona de estudio

La ubicación del estudio es en el bloque 11, en la Facultad de Ciencias Agrarias de la Universidad Nacional de Colombia, en la ciudad de Medellín. Las condiciones climáticas de la ubicación. En Medellín, los veranos son calurosos, los inviernos son cómodos y está mojado y nublado todo el año. Durante el transcurso del año, la temperatura generalmente varía de 16 °C a 26 °C y rara vez baja a menos de 15 °C o sube a más de 27 °C.

Temperatura: La temporada templada dura 3,3 meses, del 30 de abril al 8 de agosto, y la temperatura máxima promedio diaria es más de 26 °C. El mes más cálido del año en Medellín es mayo, con una temperatura máxima promedio de 26 °C y mínima de 18 °C. La temporada fresca dura 3,3 meses, del 4 de octubre al 13 de enero, y la temperatura máxima promedio diaria es menos de 25 °C. El mes más frío del año en Medellín es octubre, con una temperatura mínima promedio de 17 °C y máxima de 25 °C.

Precipitación: Un día lluvioso es un día con una precipitación por lo menos 1 milímetro de lluvia. La probabilidad de días lluviosos en Medellín varía considerablemente durante el año. La temporada más lluviosa dura 8,5 meses, de 25 de marzo a 8 de diciembre, con una probabilidad de más del 69 % de que cierto día será un día lluvioso. El mes con más días lluviosos en Medellín es octubre, con un promedio de 26,3 días con por lo menos 1 milímetro de precipitación. La temporada más seca dura 3,5 meses, del 8 de diciembre al 25 de marzo. El mes con menos días mojados en Medellín es enero, con un promedio de 16,8 días con por lo menos 1 milímetro de precipitación. El mes con más días con solo lluvia en Medellín es octubre, con un promedio de 26,3 días. En base a esta categorización, el tipo más común de precipitación durante el año es solo lluvia, con una probabilidad máxima del 87 % el 7 de noviembre. Lluvia durante todo el año en Medellín. El mes con más lluvia en Medellín es mayo, con un promedio de 267 milímetros de lluvia. El mes con menos lluvia en Medellín es enero, con un promedio de 112 milímetros de lluvia.

Duración del día: duración del día en Medellín no varía considerablemente durante el año, solamente varía 29 minutos de las 12 horas en todo el año. En 2024, el día más corto es el 21 de diciembre, con 11 horas y 46 minutos de luz natural; el día más largo es el 20 de junio, con 12 horas y 29 minutos de luz natural.

Humedad: El nivel de humedad percibido en Medellín, medido por el porcentaje de tiempo en el cual el nivel de comodidad de humedad es bochornoso, opresivo o insoportable, no varía considerablemente durante el año, y permanece prácticamente constante.

Viento: El viento de cierta ubicación depende en gran medida de la topografía local y de otros factores; y la velocidad instantánea y dirección del viento varían más ampliamente que los promedios por hora. La velocidad promedio del viento por hora en Medellín no varía considerablemente durante el año y permanece en un margen de más o menos 0,4 kilómetros por hora de 2,8 kilómetros por hora. (© WeatherSpark.com, 2024).

1.7. Tipo de suelo

Para conocer el tipo de suelo nos ayudamos del atlas de suelos de América Latina y El Caribe de la oficina de publicaciones de la Unión Europea. Donde según la leyenda del atlas el suelo de la zona de Medellín es *ANum*, correspondiente a *Umbric Aluandic Andosols*. Donde la nomenclatura *Umbric* corresponde a Úmbrico; tiene un horizonte superficial oscuro, rico en humus y con una saturación en bases baja y *Aluandic Andosols* corresponde a complejos que derivan de cenizas volcánicas, piedra pómez u otro material volcánico, formando complejos con sustancias orgánicas y aluminio (Gardi et al., 2014). (Ilustración 3)

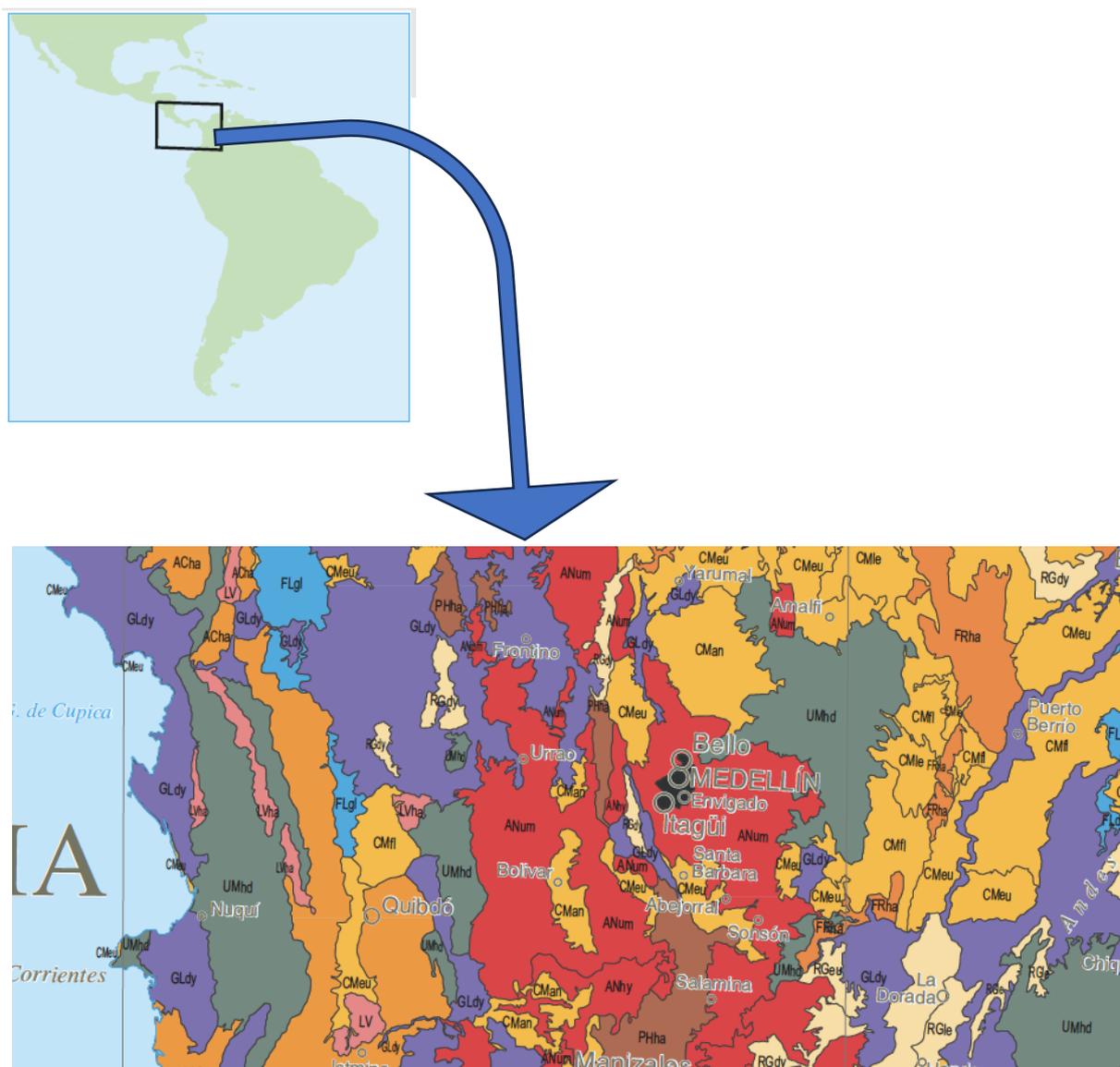


Ilustración 2. Atlas de Suelos de América Latina y El Caribe (Gardi et al., 2014)

Andosols

Suelos jóvenes desarrollados principalmente a partir de materiales con vidrios volcánicos (del japonés **an**, oscuro y **do**, suelo)



Muchos Andosols se derivan de ceniza volcánica, piedras pómez u otro material volcánico. La meteorización rápida de los vidrios da lugar a la formación de minerales con bajo grado de ordenamiento, como alófanos e imogolitas (Silandic Andosols) o de complejos de sustancias orgánicas con aluminio (Aluandic Andosols). Ambos tienen óxidos de hierro como la ferrihidrita. Los Andosols aparecen en regiones volcánicas en todo el mundo; sin embargo, los Aluandic Andosols también pueden desarrollarse en otros materiales ricos en silicatos bajo meteorización ácida, en climas húmedos y perhúmedos.

Izquierda: Silandic Andosol de Chile. La meteorización rápida de los vidrios volcánicos bajo condiciones de alto pH resulta en la formación de alófanos e imogolitas. (PS)

Abajo: paisaje de Aluandic Andosols. Las principales actividades agrícolas comprenden la producción de avena y maíz. San Lorenzo, Departamento de San Marcos, Guatemala. (HTV)
Soil Taxonomy clasifica la mayoría de estos suelos como Andisols.



Ilustración 3. Tipo de suelo. (Gardi et al., 2014)

2. Objetivo

El objetivo principal de este trabajo es tratar de estudiar una técnica, que sea eficaz, para descontaminar un suelo afectado por pesticidas. Para ello hemos supuesto dos casos, el primero es que, por una mala gestión y/o manipulación de pesticidas se haya vertido accidentalmente al suelo una cantidad considerable del mismo por unidad de superficie, para ello preparamos unas muestras y las contaminamos con una cantidad muy elevada del dicho pesticida. Por otro lado, hemos supuesto una acumulación a lo largo de muchas aplicaciones del pesticida en el cultivo de maíz, esta concentración será 4 veces inferior a la que hemos supuesto en la inicial. La **técnica propuesta** se basa en la **biorremediación** de un suelo. Para ello utilizaremos dos variantes de esta técnica, una a base de hongos, llamada "**Micorremediación**" y otra técnica a base de bacterias llamada "**Bacteriorremediación**", al mismo tiempo se sembraron unas plantas de maíz las cuales servirán de indicador biológico a la respuesta de cada medio contaminado. ¿Por qué es necesaria esta técnica? Pues cerca del 98% de los insecticidas y el 95% de los herbicidas utilizados en la agricultura no llegan a la planta y son dispersados en el suelo (Campos, 2018). Por todo ello con el paso del tiempo cada vez se den más casos de suelos contaminados por la presencia de estos componentes tóxicos.

Otro objetivo es poner en práctica otros estudios similares realizados por distintos autores, en los que se ha demostrado la eficacia de la eliminación de componentes tóxicos como hidrocarburos, metales pesados, pesticidas con la ayuda de microorganismos como bacterias y hongos.

3. Material y métodos

3.1. La metodología

La Metodología empleada para realizar el estudio fue realizado en condiciones de invernadero en la Universidad Nacional de Colombia, sede Medellín. Se realizó en esta ubicación debido a que me encontraba en intercambio académico el último curso del grado en Ciencias Ambientales de la UPV. La ubicación es en la ciudad de Medellín en el Campus del Volador con coordenadas $6^{\circ}15'44''N$ $75^{\circ}34'37''O$.

Para el estudio se prepararon 12 macetas, en 6 de ellas se aplicó una concentración C_1 y de las 6 macetas correspondientes a C_1 2 se inocularon con hongos, 2 con bacterias y 2 no se les realizó ningún tratamiento, estas dos últimas son las de control. Otras 6 macetas fueron contaminadas con la concentración C_2 y de igual manera que las anteriores 2 se inocularon con hongos, otras 2 con bacterias y otras 2 son las de control.

La manera de analizar los resultados es mediante un bioindicador, este serán las plantas de maíz que se cosecharán al final del estudio. De ellos se recopilarán las variables de altura, ancho, peso aéreo, peso de la raíz, n° de hojas y también algunas observaciones como el color de las hojas o el desarrollo de la planta. Mas tarde también se realizaron los análisis de suelo, pero estos se realizaron en la UPV Campus de Gandia. Se hicieron los análisis de pH, Conductividad eléctrica y Color. A partir de toda esta información se obtuvieron una serie de resultados que se contrastarán con las conclusiones del estudio.

3.2. Materiales Utilizados

- a. **1Kg** de Semillas de Maíz Tipo V-305 de la empresa COLSEMILLAS S.A.S. (Ilustración 4).



Ilustración 4. Semillas Utilizadas.

- b. **150 cm³** de Pesticida Plethora 320 SC cuyos ingredientes activos son (Ilustración 5):

- **Indoxacarb 20g/Litro** methyl (S)-N-[7-chloro-2,3,4a,5-tetrahydro-4a-(methoxycarbonyl) indeno [1,2-e][1,3,4]oxadiazin-2-ylcarbonyl]-4'-(trifluoromethoxy) carbanilate, de formulación a 20 °C.
- **Novaluron 80g/Litro:** 1-[3-chloro-4-(1,1,2-trifluoro-2-trifluoro-methoxyethoxy), phenyl] -3-(2,6- difluorobenzoyl) urea, de formulación a 20 °C.
- **Aditivos:** c.s.p. 1 Litro.

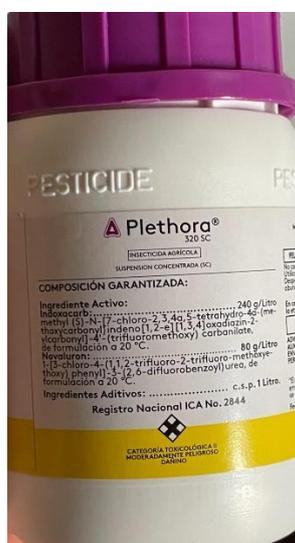


Ilustración 5. Pesticida utilizado

- Plethora 320 SC es un insecticida de combinación de dos ingredientes activos Indoxacarb y Novaluron de acción complementaria asegurando el control de lepidópteros. En Colombia se usa en los cultivos de Tomate, Patata, Arroz, Maíz, Soya, Café y Alubias. En el caso estudiado lo aplicaremos sobre un cultivo de maíz. Actúa por ingestión y contacto, los insectos detienen su actividad al dejar de alimentarse entre 1 y 4 horas y la muerte es entre las 24-60 horas después de la aplicación.

- c. **12 macetas** comunes de jardinería.
- d. **12 platos**, en el caso 12 fiambreras de aluminio.
- e. **1 cuenco** plástico.
- f. **1 regla** de 30 cm.
- g. **pH metro**
- h. **Conductímetro**
- i. **Material** laboratorio edafología
- j. **1 balanza** común de cocina.
- k. **8 sacos de Tierra** de una tienda de jardinería de aproximadamente 3 Kg cada una.
- l. **Agua potable** cantidades para regar las macetas según las condiciones climatológicas.
- m. **Solución Bacteriana Bacilmix SL** de la empresa BioFertilizar de las siguientes características.

- Bacterias en suspensión acuosa con esporas y células de *Bacillus subtilis* (cepa B-030) y *Bacillus amyloliquefasciens* (cepa B-050). Contiene una concentración mínima garantizada de 1×10^9 UFC por mililitro. Cultivado en medios estériles por lo que están libres de fitopatógenos. (Ilustración 6 y 7)

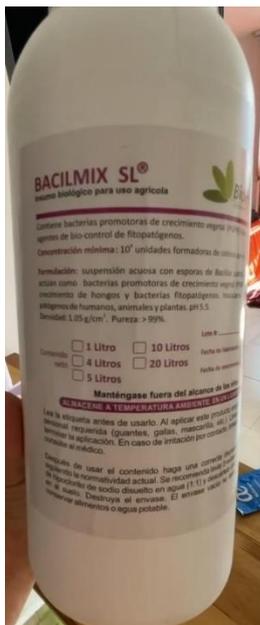


Ilustración 6. Envase BacilMix

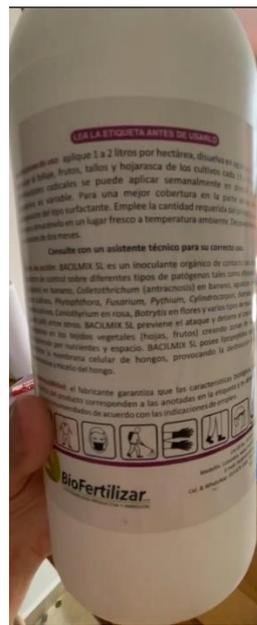


Ilustración 7. Envase BacilMix

- n. **Micorrizas Mycorfos** de la empresa BioFertilizar S.A.S. de las siguientes características:
- Hongos micorrizo-arbusculares de los géneros *Glomus*, *Acaulospora*, *Scutellospora*, *Entrophospora*. Concentración 500 esporas por Gramo de inóculo. Raíces finas colonizadas 70%, humedad <20%, pH <5,5-6, Densidad 0,7 g/mL. Sustrato suelo y arena desinfectados , libres de patógenos de humanos, plantas y animales. (Ilustración 8)



Ilustración 8. Etiqueta Micorrizas

3.3. Procedimiento seguido:

- 3.3.1. **Siembra:** Se sembraron en una maceta grande una cantidad de 20-30 semillas, de manera que germinen plantas de sobra para seleccionar las más aptas para el estudio, estas seleccionadas se trasplantarán posteriormente a las macetas del estudio.
- 3.3.2. **Contaminación del suelo:** Contaminamos el suelo con distintas concentraciones, la primera concentración C_1 corresponde a la multiplicación por 4 veces la concentración que se utiliza en una aplicación del pesticida una vez sobre un cultivo de maíz según la **etiqueta del fabricante** (Ilustración 9) por lo que la concentración en el suelo sería la correspondiente a la acumulación de 4 tratamientos.

Recomendaciones de uso:

CULTIVO	OBJETIVO BIOLÓGICO	DOSIS	P.R.	P.C.
Tomate	Gusano cogollero (Tuta absoluta)	0.3 L/ha	4 horas	7 días
Papa	Polilla Guatemalteca Polilla Guatemalteca	0.4 L/ha	4 horas	7 días
Arroz	Gusano Cogollero (Spodoptera frugiperda)	0.25 L/ha para niveles de infestación de 3 larvas/m ² 0.30 L/ha para niveles de infestación de 4 a 5 larvas/m ²	4 horas	7 días
	Barrenador del tallo (Diatraea saccharalis)	0.35 cuando se presenten infestaciones entre 1 a 3 tallos por m ² con corazón muerto 0.40 L/ha cuando se presenten infestaciones entre 3 a 5 tallos por m ² con corazón muerto	12 horas	7 días
Maíz	Gusano Cogollero (Spodoptera frugiperda)	0.25 L/ha Con daños iniciales de la plaga entre 3 y 8% de incidencia 0.30 L/ha Con daños de la plaga entre 8 y 12% de incidencia	4 horas	7 días
Soya	Gusano Cogollero (Spodoptera frugiperda)	Aplicar 0.25 L cuando se presenten entre 1 a 4 larvas/m ² Aplicar 0.30 L cuando se presenten entre 5 a 8 larvas/m ²	4 horas	7 días
Café	Broca (Hypothenemus hampei)	0.3 L/ha	12 Horas	7 días
Frijol	Pasador de la vaina (Epinotia aporema)	0.3 L/ha	4 horas	7 días

Ilustración 9. Dosis recomendada fabricante Plethora 320 SC

La contaminación del suelo corresponde a los siguientes cálculos de concentración:

- i. Cálculo del volumen de suelo en el recipiente de mezcla para los casos C₁ y C₂, en el caso se mezcló en un cuenco (Ilustración 10)



Ilustración 10. Cuenco mezcla tierra-pesticida

ii. Se mide el volumen del cuenco

$$V = \pi \cdot r^2 \cdot h = \pi \cdot 20^2 \cdot 10 = 12.566 \text{ cm}^3 = 12,56 \text{ Litros de suelo}$$

Donde:

- V es el volumen de la maceta.
- π constante.
- r es el radio de la base de la maceta.
- h es la altura de la maceta.

iii. Se calcula la concentración máxima que indica el fabricante;

Dosis máxima del fabricante $0,3 \text{ L/ha}$

La dosis se debe mezclar según la ficha del fabricante en volúmenes de agua entre 140 a 200L/ ha (Ilustración 11).

Maíz: Aplicar cuando las plantas de maíz se encuentren en estados vegetativos entre el V2 a V6 y presenten daños por alimentación pequeños, causados por el gusano cogollero en instares L1 a L3. Aplicar con volúmenes de agua entre 140 a 200 L/ ha.

Ilustración 11. Como realizar la mezcla de Plethora 320 SC según el fabricante.

Entonces:

$200 \text{ L H}_2\text{O/ha} = 0,3 \text{ L Plethora /ha}$ $\frac{0,3 \text{ L Plethora}}{200 \text{ L H}_2\text{O}} = 0,015 \text{ L Plethora/ 1 L H}_2\text{O}$; Lo que es igual a $1,5 \text{ cm}^3$ de Plethora por cada Litro de agua limpia.

Como se había explicado anteriormente el estudio se realiza suponiendo un vertido accidental sobre el suelo, por lo que se vierte la concentración total sobre el suelo, una sola concentración para C_1 y 4 veces más para C_2 .

- a. Multiplicamos la dosis de mezcla Agua-Plethora por el volumen de suelo que queremos contaminar; Para C_1 .

$1,5 \text{ cm}^3$ de mezcla x $12,56 \text{ L}$ de suelo para $C_1 = 18,84 \text{ cm}^3$ de Plethora 320 SC para C_1

- b. En el caso de C_2 seguimos los mismos cálculos, pero en este caso:

$$V = \pi \cdot r^2 \cdot h = \pi \cdot 20^2 \cdot 12,5 = 15.707 \text{ cm}^3 = 15,7 \text{ Litros de suelo}$$

- c. Multiplicamos la dosis por 4 para realizar el estudio en dos dosis distintas:

$1,5 \text{ cm}^3$ de mezcla x $15,7 \text{ L}$ de suelo para $C_2 \times 4 = 94,2 \text{ cm}^3$ de Plethora 320 SC para C_2

En resumen, tenemos que verter en el cuenco para la mezcla Suelo-Contaminante C_1 18,84 cm³ de Plethora 320 SC y para la mezcla Suelo-Contaminante C_2 94,2 cm³ de Plethora 320 SC. (Ilustración 12 y 13 respectivamente para C_1 y C_2)



Ilustración 13



Ilustración 12

3.3.3. Ahora se procede a rellenar las macetas con sus correspondientes concentraciones. En total son 12 macetas correspondiendo a la siguiente **tabla 1**. Y Se ve el resultado en la ilustración 14.

Concentración 1 (C_1)	
C_1 STA	Concentración 1 Sin Tratamiento A
C_1 STB	Concentración 1 Sin Tratamiento B
C_1 TBA	Concentración 1 Tratamiento Bacteriano A
C_1 TBB	Concentración 1 Tratamiento Bacteriano B
C_1 TFA	Concentración 1 Tratamiento Fúngico A
C_1 TFB	Concentración 1 Tratamiento Fúngico B
Concentración 2 (C_2)	
C_2 STA	Concentración 2 Sin Tratamiento A
C_2 STB	Concentración 2 Sin Tratamiento B
C_2 TBA	Concentración 2 Tratamiento Bacteriano A
C_2 TBB	Concentración 2 Tratamiento Bacteriano B
C_2 TFA	Concentración 2 Tratamiento Fúngico A
C_2 TFB	Concentración 2 Tratamiento Fúngico B

Tabla 1. Leyenda Tratamientos Realizados



Ilustración 14. Inicio del experimento.

- 3.3.4. El siguiente paso es el trasplante de las plantas de maíz como antes se mencionó se seleccionan las mejores después de una germinación en otra maceta de unas 20-30 semillas quedando el estudio como se ve en la Ilustración 15.



Ilustración 15. Trasplante de las plantas

3.3.5. Los siguientes meses se realiza un seguimiento hasta el momento de aplicar los tratamientos correspondientes. Ilustraciones siguientes 16 y 17:



Ilustración. 16 07/03/2024



Ilustración 17. 11/04/2024

3.3.6. El siguiente paso fue la inoculación de bacterias y hongos en sus correspondientes macetas, es decir, en las que no son de control, por el mismo orden que en la tabla 1, se inocularon C₁TBA, C₁TBB, C₁TFA, C₁TFB, C₂TBA, C₂TBB, C₂TFA y C₂TFB.

La especie de bacterias utilizada para el tratamiento fueron *Bacillus subtilis* (cepa B-030) y *Bacillus Amylolyquefasciens* (cepa B-050). Se contactó con la ingeniera encargada en la empresa BioFertilizar S.A.S con tal de informarme de la dosis, ya que la ficha del producto no especifica el uso en biorremediación, pero se me informó que no sería en ningún caso toxico para las plantas, entonces repartí todo el litro de producto entre las cuatro macetas inoculadas con bacterias: C₁TBA, C₁TBB y C₂TBA, C₂TBB.

Por otra parte, también se hizo el mismo día la inoculación con hongos para ello se pesó una cantidad igual para cada una de las plantas, se retiró parte del suelo de las macetas y este se substituyó por las correspondientes micorrizas y se rellenó de nuevo con el suelo retirado, primeramente. Ilustración 18. Las macetas inoculadas con micorrizas fueron respectivamente: C₁TFA, C₁TFB, C₂TFA y C₂TFB.



Ilustración 18. Peso Micorrizas

3.3.7. Esperaremos hasta el paso final el cual será la cosecha a finales de mayo, pero seguiremos haciendo el seguimiento hasta el día de la cosecha. Ilustración 19,20,21 y 22.



Ilustración 19. 22/04



Ilustración 20. 29/04



Ilustración 22. 8/05



Ilustración 21. 16/05

3.3.8. Cosecha y toma de muestras.

Para realizar el último paso se tomaron medidas de las variables físicas de las plantas, así como muestras de suelo con tal de averiguar las características de este en cada caso y analizar las posibles variaciones.

Para la toma de muestras se tomaron las medidas de Altura de la planta, ancho de la planta, peso de la raíz peso de la parte aérea una toma de tierra por cada maceta y observación visual de algunos detalles, como color, si llegó a tener frutos o flor y el número de hojas, que comentaré en el apartado de resultados y discusión.

Debido a problemas en la Universidad Nacional de Colombia, que estaban en unas largas jornadas de huelga, se tuvieron que realizar el análisis del suelo en la UPV – Campus de Gandia, por ello el traslado de muestras y la conservación se hizo más complicado de lo que debería haber sido.

3.3.9. Análisis de suelo

Como ya se ha comentado el análisis del suelo se realizó en Gandia, en el laboratorio de Edafología de la UPV – Campus de Gandia. Se realizaron los análisis de pH en agua, pH en Cloruro de Potasio (KCl), Conductividad eléctrica y color.

Los métodos empleados fueron:

- i. **pH del suelo en Agua:** se analizó mediante el método potenciométrico donde se utiliza un electrodo sensitivo de los iones H^+ presentes en una disolución. Primero se pesaron 10 gramos de suelo y se añadieron 25 mL de agua destilada y se agita durante 5 minutos con el agitador magnético. Después se sumerge el electrodo en cada una de las muestras para obtener los valores de pH. Y estos se anotan.
- ii. **pH del suelo en KCl:** Se repite el mismo procedimiento, pero esta vez en vez de agua destilada utilizamos una disolución de KCl 1 M.
- iii. **Conductividad eléctrica:** se pesan 10 gramos de suelo secado al aire se coloca cada muestra en un frasco, se añaden 50 mL de agua destilada y se tapa. Se agita durante media hora y se deja reposar unos minutos. Se sumerge el electrodo del conductímetro en cada uno de los frascos y se anotan los valores.

4. Resultados y discusión

3.1. Resultados de los valores medidos en la cosecha de las plantas y observaciones.

3.1.1. Datos:

Muestra		Altura (cm)	Ancho (cm)	Biomasa Aéreo (g)	Biomasa Raíz (g)	N.º Hojas	Color	Fruto/Flor/N
1	C ₁ STA	54,2	65,4	12	4	7	Amarillento	Flor
2	C ₁ STB	41,5	60,3	6	5	5	Amarillento	No
3	C ₁ TBA	62,3	78,6	10	9	6	Verde claro - Falta Nutrientes	Flor
4	C ₁ TBB	60	82,4	10	8	6	Verde claro - Falta Nutrientes	Fruto
5	C ₁ TFA	40,8	79,7	11	6	5	Verde sano	Flor
6	C ₁ TFB	68,4	75,1	20	10	7	Verde sano	Fruto
7	C ₂ STA	40,1	39,3	4	3	3	Verde claro - Falta Nutrientes	No
8	C ₂ STB	57,3	71,5	9	4	7	Amarillento - Falta Nutrientes	Flor
9	C ₂ TBA	44,2	72,3	11	7	5	Verde sano	Flor
10	C ₂ TBB	40,6	28,8	9	7	4	Verde sano - Amarillento	Fruto
11	C ₂ TFA	44,2	79,4	17	7	6	Verde sano	Fruto
12	C ₂ TFB	88,9	90,1	24	10	8	Amarillento	Flor

Tabla 2. Resumen de los resultados de la cosecha de las plantas

3.1.2. Figuras.

A continuación, se muestran los resultados de la tabla 2 de forma gráfica en las Figuras 3, 4, 5, 6 y 7.

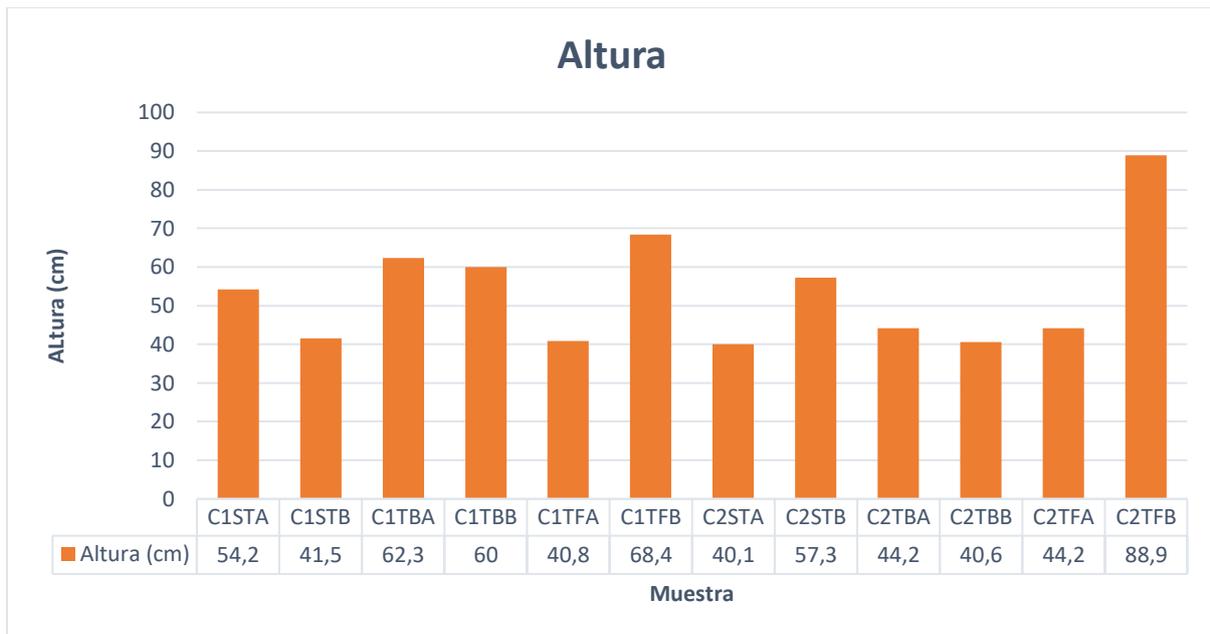


Figura 3. Altura de las muestras

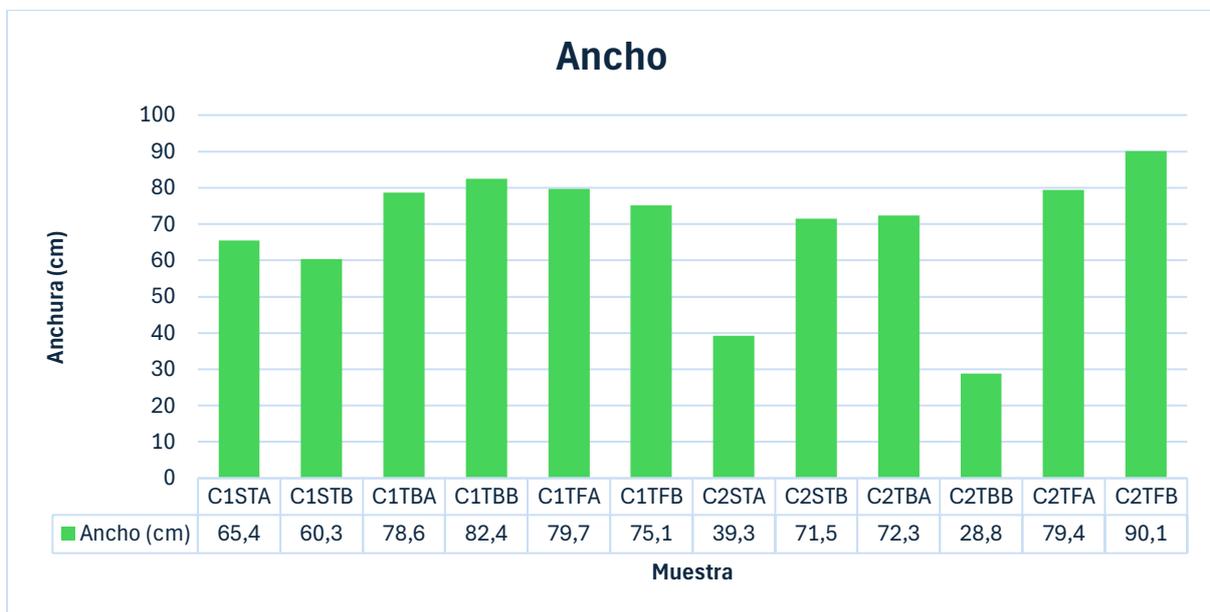


Figura 4. Anchura de las muestras

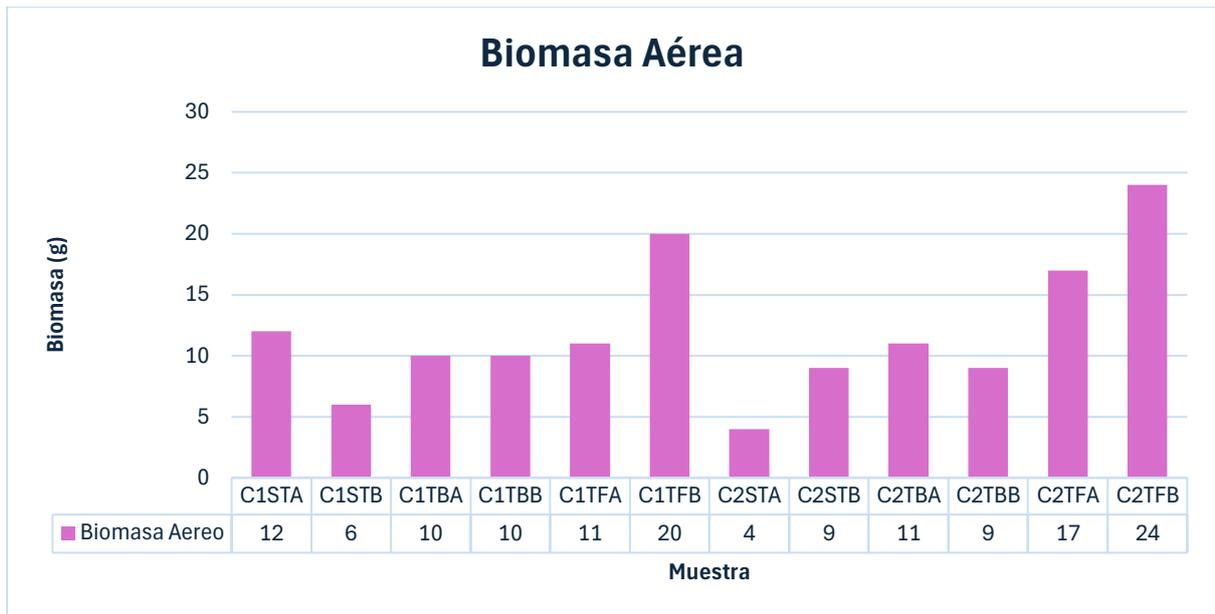


Figura 5. Biomasa aérea de las muestras

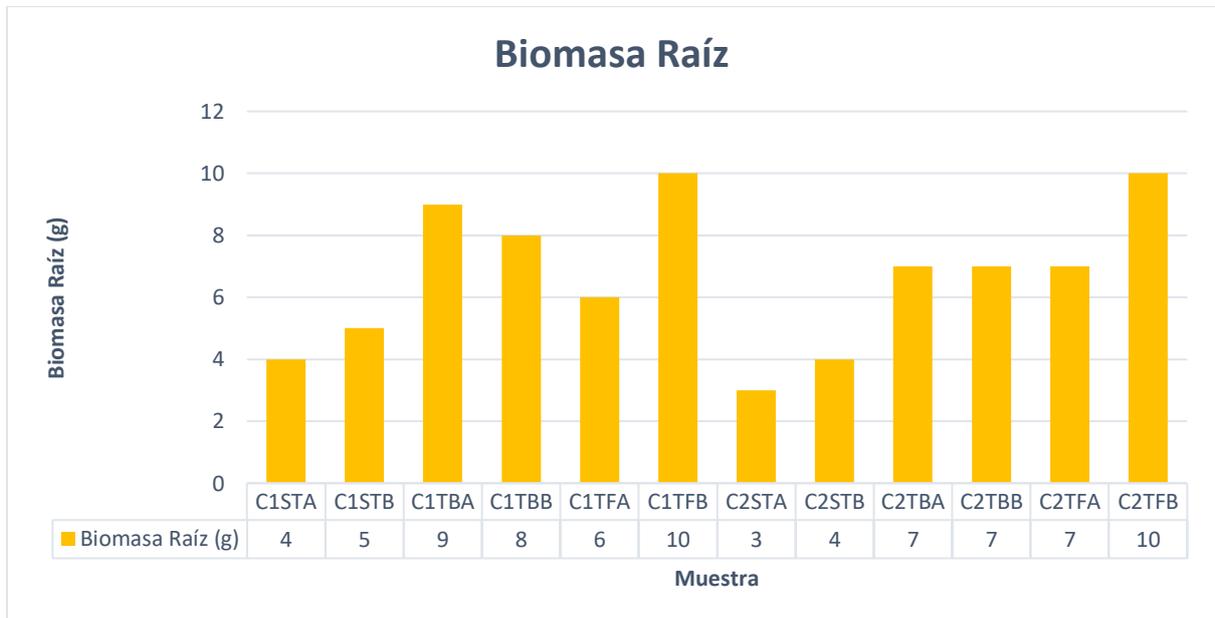


Figura 6. Biomasa Raíz

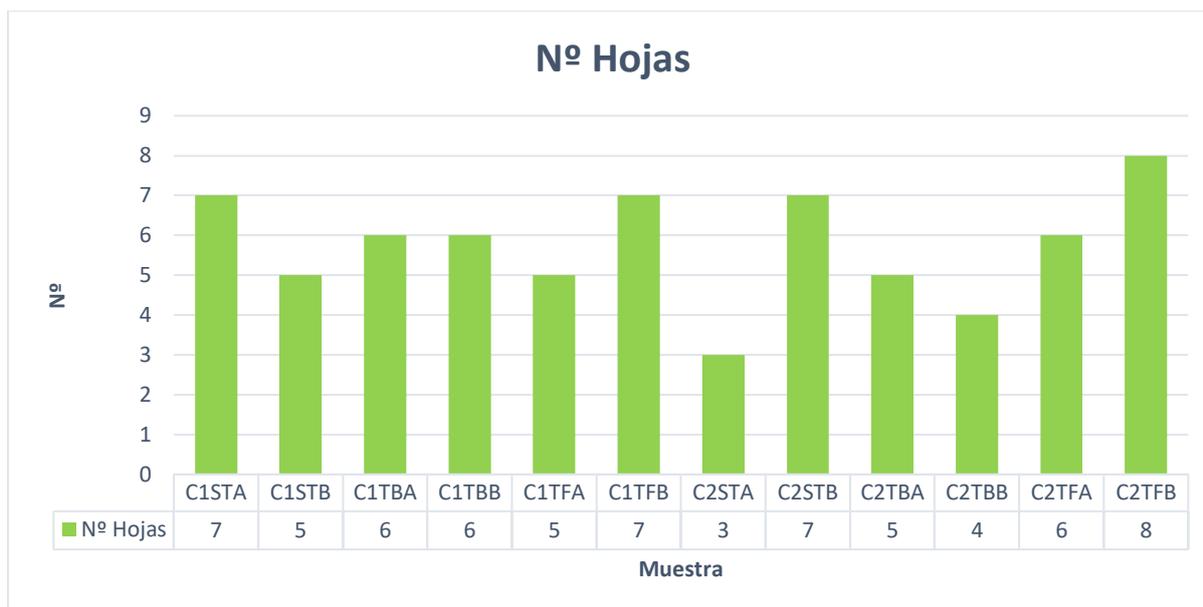


Figura 7. N.º de Hojas

3.2. Resultados de los análisis de suelo realizados

En este caso la leyenda de las muestras varía ya que hay 3 muestras de control C_0T_0 , C_1T_0 , C_2T_0 respectivamente Concentración 0 Tiempo inicial, Concentración 1 Tiempo inicial, Concentración 2 Tiempo inicial. Estas muestras se recopilaban con la finalidad de realizar los análisis sin que las plantas o los microorganismos inoculados afecten en sus valores, para tener más puntos de comparación.

3.2.1. Datos:

Muestra		Masa muestra (g)	pH en agua	pH en KCl	CE ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	Color	Color en Húmedo
1	T_0C_0	105,5	6,00	5,95	147,2	5YR 4/1 Gris Oscuro	5YR 3/1 Gris Muy Oscuro
2	T_0C_1	89,7	6,30	6,24	152,4		
3	T_0C_2	62,4	6,10	6,02	106,5		
4	C ₁ STA	74,09	5,87	5,92	110		
5	C ₁ STB	78,44	6,20	6,13	98,8		
6	C ₁ TBA	42,07	6,10	6,05	119,3		
7	C ₁ TBB	69,6	5,95	6,09	126,3		
8	C ₁ TFA	79,8	5,90	5,75	102,6		
9	C ₁ TFB	50,3	5,95	5,86	77,1		
10	C ₂ STA	44,4	6,00	6,17	111,8		
11	C ₂ STB	27,3	5,80	5,74	190,2		
12	C ₂ TBA	59,5	5,97	5,8	150,9		
13	C ₂ TBB	59,6	5,87	5,78	173,9		
14	C ₂ TFA	75,5	5,83	5,83	103,9		
15	C ₂ TFB	88,8	5,71	5,75	103,5		

Tabla 3. Datos análisis del suelo

3.2.2. Gráficos análisis suelo:

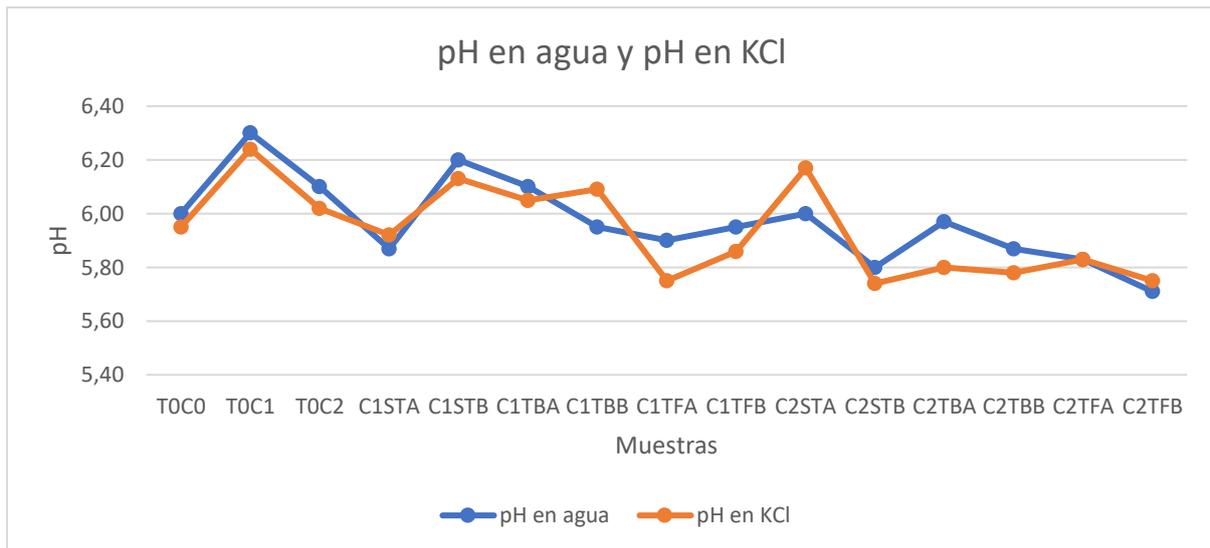


Figura 8. Valores de pH

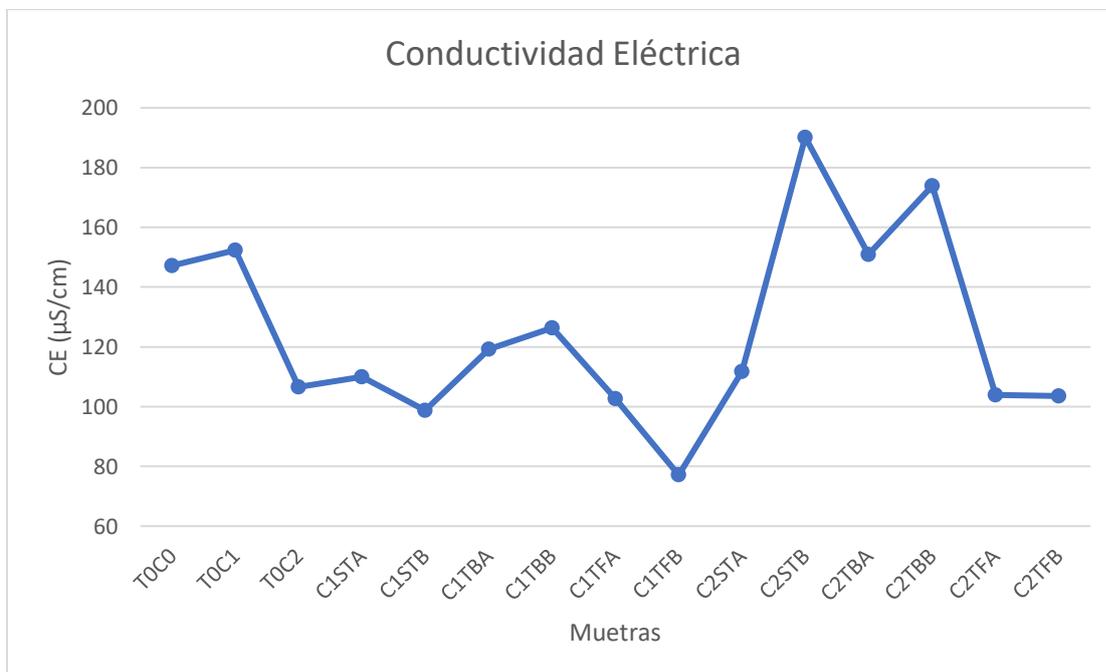


Figura 9. Valores conductividad eléctrica (CE)

3.3. Discusión

3.3.1. En primer lugar, vamos a discutir los resultados de los valores medidos en la cosecha del maíz.

- En cuanto a las muestras C_1STA y C_1STB se observan los resultados son similares en cuanto a la alineación de las variables, es decir distintos valores en la biomasa, en la altura y anchura y numero de hojas, pero gráficamente siguen tendencias lineales. Como es normal las plantas se desarrollan de forma distinta según la genética y las condiciones ambientales, en este caso las condiciones ambientales son las mismas para todas, entonces las variaciones entre una planta y otra pueden deberse a la genética. Pero si nos fijamos en el gráfico siguen una tendencia similar en cuanto a las variables observadas. Las observaciones de color también coinciden se observa en estas muestras en ambos casos color amarillo indicador de falta de nutrientes Ilustración 23 y 24. Si existen diferencias en cuanto a la floración puesto que la muestra A si tiene flor y la B no. Estas plantas estaban contaminadas con la Concentración C_1 .



Ilustración 24. C_1STA



Ilustración 23. C_1STB

- A continuación, seguimos observando el resultado de las plantas C_1TBA y C_1TBB , correspondientes a concentración 1 con tratamiento bacteriano A y B. Comparando con el caso anterior ambas muestras tienen valores superiores de todas las variables es decir unos valores más positivos, mayor biomasa (excepto la biomasa del tratamiento bacteriano A es inferior al de Sin tratamiento A), mayor altura y anchura, en cuanto a las hojas los valores no varían demasiado, sino que son similares. Si comparamos entre las dos muestras C_1TBA y C_1TBB observamos que ambas tienen valores similares entre ellos y gráficamente también son similares. En cuanto al color ambos muestran color similar, categorizado como verde claro,

con falta nutrientes. Y la fructificación C_1TBB si tiene una flor muy desarrollada que se observa el fruto y la C_1TBA muestra una pequeña flor recién saliendo. Ilustración 25 y 26.



Ilustración 26. C_1TBA



Ilustración 25. C_1TBB

- Por último, para comparar los resultados de concentración C_1 nos falta observar el C_1TFA y C_1TFB nuevamente la biomasa de la parte aérea muestra una mejora considerable en cuanto a los otros dos grupos de muestras (C_1STA, C_1STB y C_1TBA, C_1TBB), siendo los que más peso lograron reunir, destacando los 80 gramos de la muestra C_1TFB , esta última muestra también es la que mayor biomasa tenía comparando con los dos grupos de muestras anteriores. Y la A tiene flor y la B tiene fructificación.



Ilustración 28. C1TFA



Ilustración 27. C1TFB

- Comparamos los grupos C₂STA y C₂STB, primero se observa que el C₂STA es el que menos éxito ha tenido de todas las muestras, en la Ilustración 30 se ve claramente, esta carece de flor y de fruto y sus colores no muestran un estado saludable, sin embargo al C₂STB le fue mejor como ya se comentó anteriormente a las plantas les pueden afectar mucho los factores ambientales, pero la genética es quien les acompaña en su proceso de formación y desarrollo, en este caso si alcanzo a tener flor, pero sus colores de nuevo muestran la carencia de nutrientes o que le está afectando negativamente la concentración de pesticida (Ilustración 29).



Ilustración 30. C₂STA



Ilustración 29. C₂STB

- Nos fijamos ahora en los grupos tratados con bacterias C₂TBA y C₂TBB estos dos grupos destaca que de todos los observados hasta el momento, presentan una mejoría en su estado de salud por el color que presentan, respectivamente un color verde sano y un color verde amarillo el segundo caso, pero ambos presentan muy buen aspecto de salud en el caso de C₂TBA tiene una flor bien desarrollada (Ilustración 32) y en el caso de C₂TBB presenta un fruto (Ilustración 31). Hay que destacar que en el caso de C₂TBB existe una gran biomasa si tenemos en cuenta las variables de altura y anchura, pues estas no son muy altas a comparación con otras que son más altas y tienen una menor biomasa.



Ilustración 32. C₂TBA



Ilustración 31. C₂TBB

- Por último, nos queda comparar C₂TFA y C₂TFB, estas dos fueron inoculadas con hongos. Hay que destacar que las dos tienen en promedio una biomasa aérea muy elevada, estando por encima de 17 gramos C₂TFA y por encima de 24 gramos C₂TFB. Destacan la altura de C₂TFB siendo la más alta de todas las muestras con 88,9 cm la anchura de esta que es de 90,1 cm y la anchura de C₂TFA que alcanza casi los 80 cm y también destacar el verde sano que presenta C₂TFA y el verde un poco más claro de C₂TFB ambas muestran unas plantas sanas. Ambas alcanzaron a la producción de fruto C₂TFA y floración C₂TFB. Ilustración 33 y 34.



Ilustración 34. C₂TFA



Ilustración 33. C₂TFB

- En resumen, de los resultados observados lo más destacado en las observaciones y mediciones es:
 - Las plantas que mejor salud presenta son todas aquellas muestras que fueron tratadas por hongos siendo C₁TFA, C₁TFB, C₂TFA y C₂TFB, siendo aquellas que mejor color presentaban, y en promedio las que más biomasa alcanzaron en la suma de biomasa aérea y biomasa radicular. También por el color de sus hojas se observan que son las más sanas, las que menos falta de nutrientes tuvieron. Y finalmente todas ellas lograron tener o bien fruto o bien flor sin excepción.
 - Las plantas que alcanzaron mayor altura en promedio fueron las que se les hizo el tratamiento de Micorremediación seguidas de las tratadas por Bacteriorremediación. Figura 11.

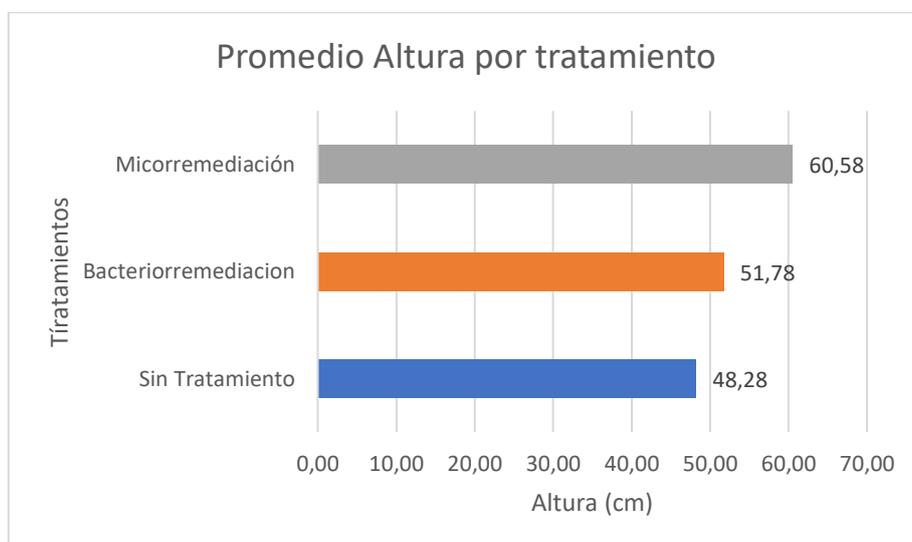


Figura 10. Promedio de Altura por Tratamiento

- Por otra parte, las plantas que alcanzaron mayor desarrollo en cuanto a diámetro fueron también las tratadas con la Micorremediación, de nuevo seguidas por las tratadas por bacteriorremediación. Figura 12.

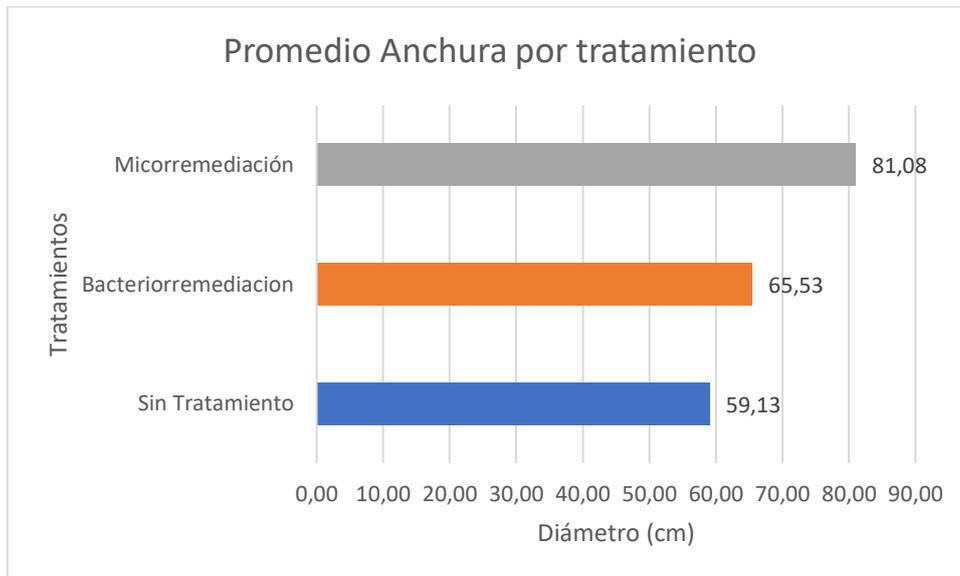


Figura 11. Promedio anchura por tratamiento

- Nos fijamos en la biomasa aérea, también ganan las plantas inoculadas por hongos seguidas de las plantas inoculadas por bacterias, esta vez destaca mucho la diferencia de la biomasa aérea conseguida por el tratamiento con hongos. Figura 13.

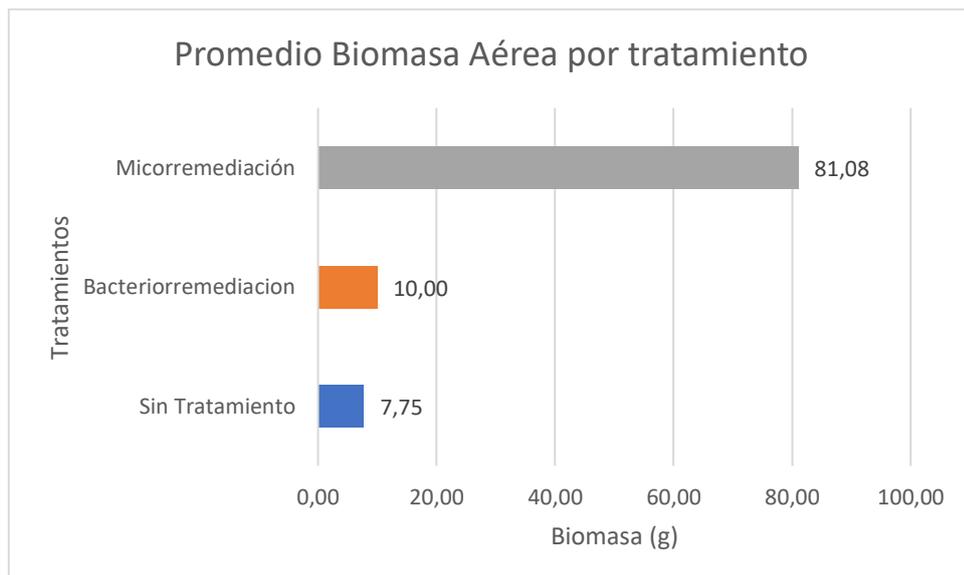


Figura 12. Promedio Biomasa aérea por tratamiento

- En la biomasa radicular nos fijamos que de nuevo obtienen mejores resultados los inoculados con hongos, pero en esta ocasión no es la diferencia muy grande con respecto a las que se trataron con bacterias. Figura 14.

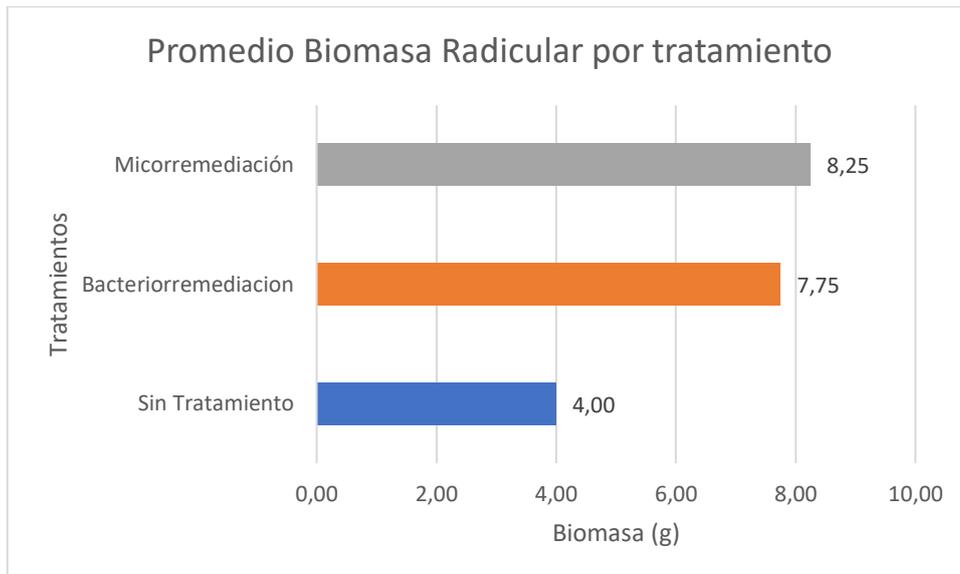


Figura 13. Promedio de biomasa radicular por tratamiento

- En cuanto al número de hojas si se observa una tendencia distinta, de nuevo es mayor en la inoculación por hongos, pero esta vez la inoculación por bacterias no queda en el segundo lugar, si no en el tercero. Pero esta observación creo que cabe despreciarla, puesto que solo se tomaron en cuenta las hojas verdes, como había pasado tanto tiempo muchas hojas se iban secando con el paso del tiempo. Figura 15.

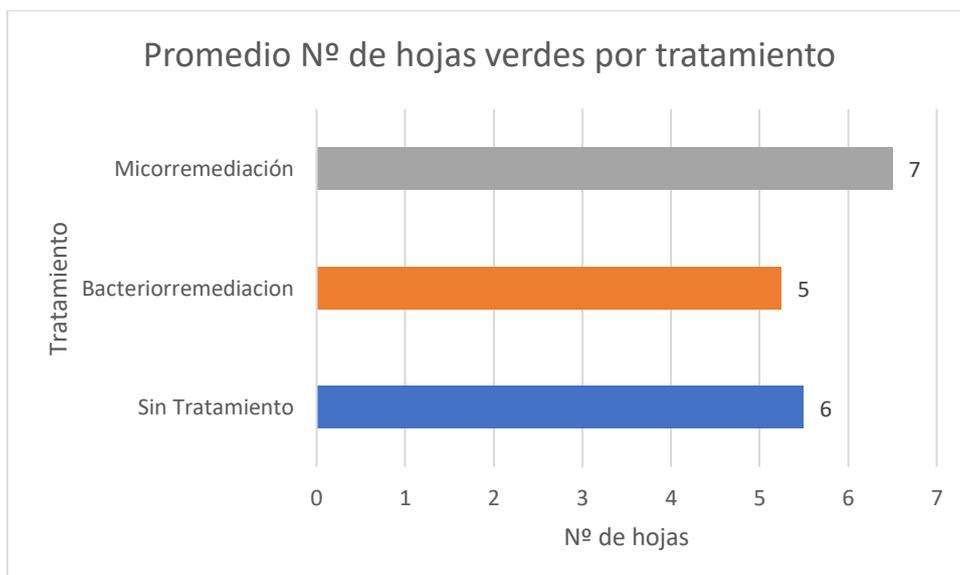


Figura 14. Promedio de N.º de hojas por tratamiento

3.3.2. En segundo lugar, vamos a discutir los resultados del análisis edafológico.

- Se observa en cuanto al pH que la muestra T₀C₁ con el pH en agua fue de 6 y en ClK fue de 5,95 que fue del suelo original sin contaminar. Según aumenta la concentración de pesticida en el suelo este fue oscilando, siendo T₀C₀ más ácido que T₀C₁ y este menos ácido que T₀C₂. Después si observamos entre C₁STA y C₁STB estos tienen una variación de menos de un punto, C₁TBA y C₁TBB no varían mucho a penas unas centésimas y entre C₁TFA y C₁TFB se muestran valores similares entre las dos muestras, pero si hay que comentar que es más elevado que las 4 muestras anteriores, pero más ácido que los de control. Por otra parte, en cuanto a las muestras con concentración C₂ tenemos pH por lo general más ácidos, pero más estables, no varían mucho entre las distintas muestras. Estos oscilan desde pH 6 hasta pH 5,7 siendo los más elevados los sin tratamiento, estando en mitad el tratamiento bacteriano y siendo el más ácido el que está tratado con hongos. Figura 16.

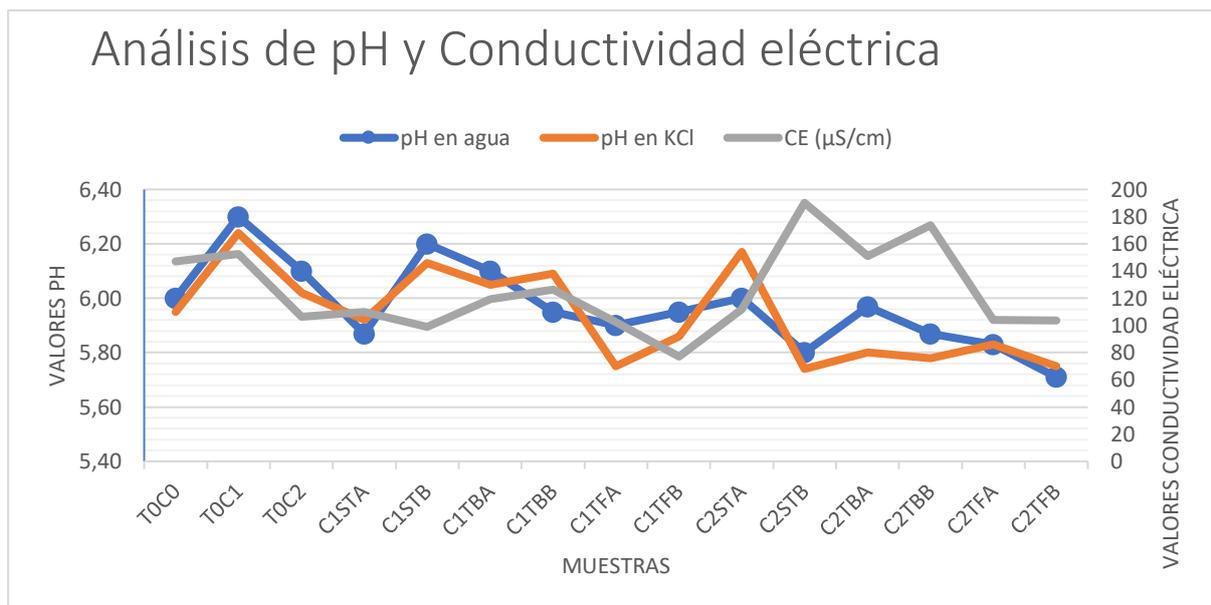


Figura 15. Resumen análisis pH y CE

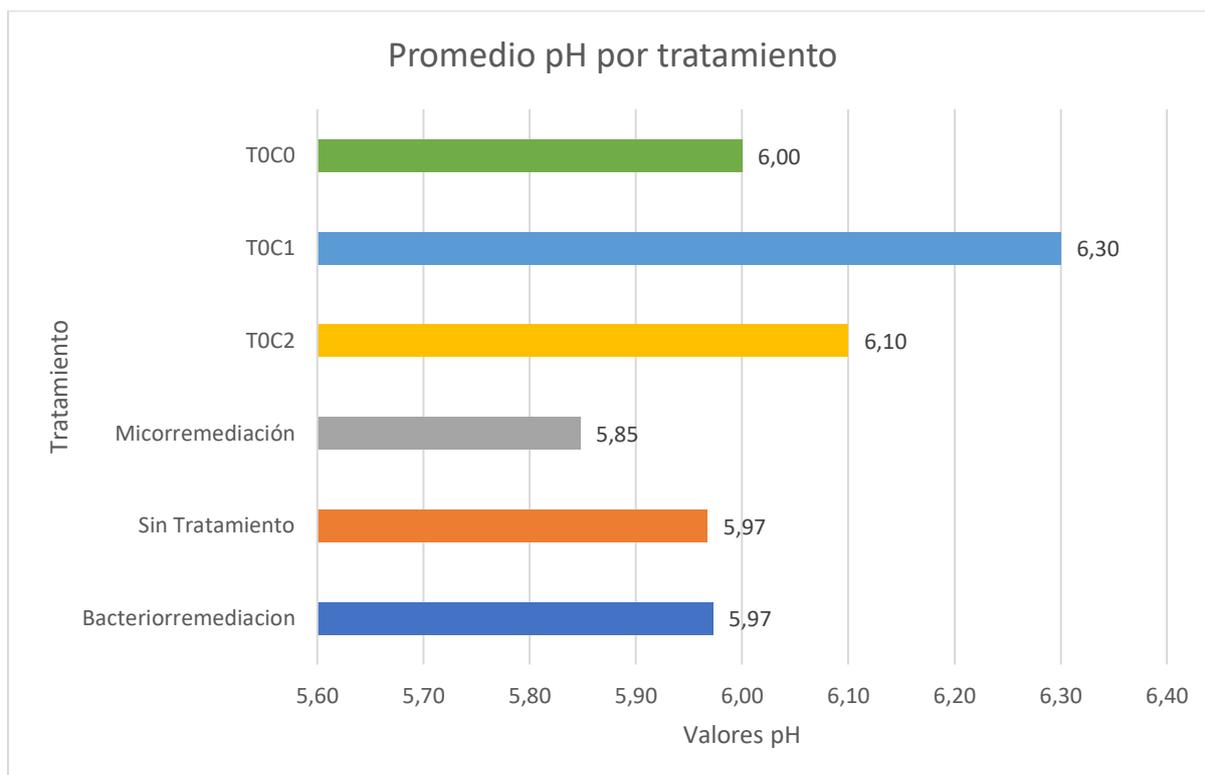


Figura 16. Promedio pH por tratamiento

En la Figura 17 se observa que según que tratamiento el pH cambia según que tratamiento, siendo más ácido el tratamiento de Microrremediación, seguido del tratamiento de Bacteriorremediación y que es igual al que no tiene tratamiento ninguno, y siendo los más básicos respectivamente los suelos contaminados T_0C_1 , T_0C_2 sin tratamiento. El suelo original sin tratamientos ni contaminante tiene un pH de 6.

- En cuanto a la conductividad eléctrica nos fijaremos en los valores promedios por tratamiento. Figura 18.

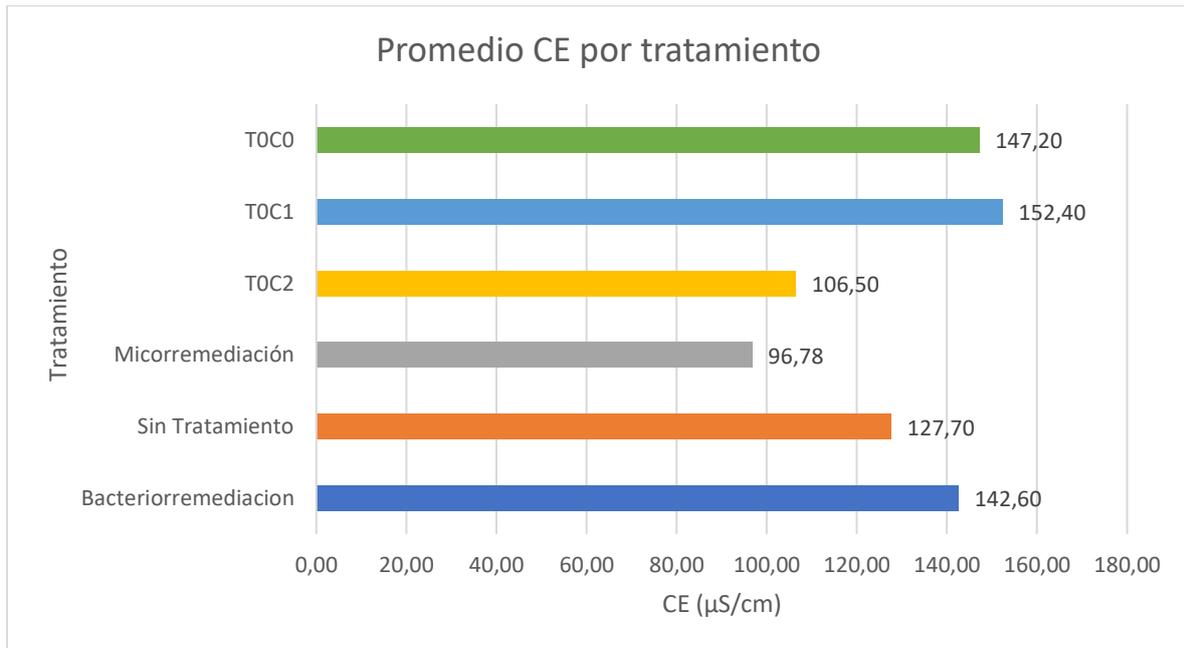


Figura 17. Promedio CE por tratamiento

Se observan mayores valores de conductividad en cuanto a los tratamientos con bacterias frente al tratamiento con hongos que este es el que en promedio tiene menos conductividad, desde 142 $\mu\text{S}/\text{cm}$ hasta 97 $\mu\text{S}/\text{cm}$ respectivamente. Es decir que el tratamiento con hongos dejó unos niveles menores de sales en el suelo y el tratamiento con hongos aumentó la presencia de sales o la disponibilidad de estas.

4. Conclusiones

4.1. Efectividad de los tratamientos.

Entre los dos tratamientos el de Micorremediación y Bacteriorremediación se interpreta que el más efectivo y el que mejores resultados obtuvo fue el tratamiento de Micorremediación. Si analizamos los promedios obtenidos de todas las variables, sean, peso aéreo, peso de las raíces, altura, anchura y nº de hojas en todos los casos obtuvieron los mejores resultados los inoculados por hongos, como se puede observar en las figuras del 9 al 13. Así como también cuando se observa la salud de las plantas, el color y el desarrollo de estas, si han llegado a desarrollar flor o frutos, siempre las inoculadas con micorrizas han sido las que mejor resultado han obtenido. Coincidiendo con otros estudios que afirman que la simbiosis entre las raíces de las plantas y los hongos micorrícicos arbusculares (HMA) pueden mejorar la adquisición de nutrientes de las plantas en suelos con baja fertilidad (Rodriguez y Rodriguez, 2019). La fitorremediación asistida por HMA, tiene capacidad de estas asociaciones para inmovilizar o eliminar contaminantes del suelo (Rajtor y Piotrowska, 2016). Coincidiendo con estos autores se afirma que la Micorremediación fue una solución eficaz, sin poder analizar los restos de pesticidas en el suelo, si se confirma que ayudaron a la planta a la absorción de nutrientes en un medio contaminado.

Seguido del tratamiento de Micorremediación, tenemos el tratamiento de Bacteriorremediación en el que las muestras inoculadas con este también tuvieron sus beneficios, de hecho, son los segundos en cuanto a los mejores resultados. Estos mostraron beneficios en cuanto a la biomasa total (biomasa aérea y biomasa radicular).

Fijándonos en la conductividad eléctrica, la conclusión a la que llegamos es que los hongos lograron las conductividades eléctricas más bajas en comparación a los demás tratamientos, esto se traduce que la presencia de hongos deja un nivel menor de sales solubles en el suelo, esto se interpreta en una mejoría considerable en la salud del suelo, también es indicador que las plantas consumieron más nutrientes en estado soluble del suelo, de nuevo confirmamos que los hongos ayudaron a las plantas a la absorción de nutrientes.

4.2. Alternativas a la biorremediación.

La conclusión que sacamos de este estudio es que la biorremediación es una técnica costosa, que se deben tener en cuenta muchos factores, que no es igual realizarla en condiciones de invernadero con pequeñas porciones de suelo, que, si se tuviera que realizar en el exterior, entonces los costos se multiplicarían y se complicaría mucho más el trabajo. Lo mejor para no depender de estas técnicas sería un uso del suelo responsable sin pesticidas con prácticas agrícolas respetuosas con el medio ambiente y sobre todo concienciar a toda la población sobre la importancia del suelo tanto para los seres humanos como para el resto de los organismos y ecosistemas.

5. Bibliografía

Das, P.; Pal, R.; y Chowdhury, A. (2008). Influence of biotic-abiotic factors on the degradation of novaluron in tropical soil. *J. Environ. Sci. Tech*, 5 (3): 425-42.

Deras Flores H. (2020). Guía técnica: El cultivo del maíz. Editorial: Lic. Marlon Sorto Lic. Nelly Menjívar Ing. Luis Reyes Valientes. <https://repositorio.iica.int/handle/11324/11893>

FAO. (2024). Ranking de los principales productores de maíz a nivel mundial en 2022 (en millones de toneladas) [Gráfica]. Disponible en: <https://es.statista.com/estadisticas/613419/principales-productores-de-maiz-en-el-mundo> [Consulta: 23/07/2024]

Gardi, C.; Angelini, M.; Barceló, S.; Comerma, J.; Cruz Gaistardo, C.; Encina Rojas, A.; Jones, A.; Krasilnikov, P.; Mendoça Santos Brefin, M.L.; Montanarella, L.; Muñiz Ugarte, O.; Schad, P.; Vara Rodríguez, M.I.; Vargas, R. (2014). Atlas de suelos de América Latina y el Caribe. Luxemburgo: Comisión Europea – Oficina de publicaciones de la Unión Europea, L-2995. ISBN 978-92-79-25599-1.

Golik, S.I.; Larran, S.; Gerard G.S. y Fleitas. M.C. (2018). Cereales de verano. La Plata. Universidad Nacional de La Plata. Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales. ISBN: 978-950-34-1658-7. doi: 10.35537/10915/68613

Jaramillo, C.I.; Varón, E.H. y Monje, B. (2020). Economic injury level and action thresholds for *Spodoptera frugiperda* (J.E. Smith) (Lepidoptera: Noctuidae) in maize crops. *Revista Facultad de Agronomía*, 73(1): 9065-9076. doi: 10.15446/rfnam.v73n1.78824

J.Joshi, S.; Deshmukh, A. y Sarma, H. (2021). *Biotechnology for Sustainable Environment*. Aurangabad: Springer Nature Singapore Pte Ltd. ISBN 978-981-16-1954-0

MITECO Kernels on cob, corn. s.f. Disponible en <https://www.mapa.gob.es/es/ministerio/servicios/informacion/maiz%20mazorca_tcm30-102660.pdf> [Consulta: 24 de julio de 2024]

Moiser, N.; Charles, W.; Dale, B.; Elander, R.; Lee, Y.Y.; Holtzapple, M. y Ladisch, M. (2005). Features of promising technologies for pretreatment of lignocellulosic biomass. *Bioresource Technology*, 96 (6): 673–686. doi: 10.1016/j.biortech.2004.06.025

Prasad, R.; Nayak, S.C.; Nath Kharwar, R. y Kishor Dubey, N. (2021). *Mycoremediation and Environmental Sustainability*, Vol 3. Varanasi. Springer Nature Singapore Pte Ltd. ISBN 978-3-030-54422-5.

Rajtor, M. y Piotrowska-Seget, S. (2016). Prospects for arbuscular mycorrhizal fungi (AMF) to assist in phytoremediation of soil hydrocarbon contaminants. *Chemosphere*, 162: 105-116. doi:10.1016/j.chemosphere.2016.07.071

Ramírez Campos, M.A. (2018). El uso de pesticidas en la agricultura y su desorden ambiental. *Revista Enfermería la Vanguardia*. 6(2):40-47. doi: 10.35563/revan.v6i2.210

Ranum, P.; Peña-Rosas, J.P. y Garcia-Gascal, M.N. (2014). Global maize production, utilization, and consumption. *Annals of the New York Academy*, 1312(1): 105-112. doi: 10.1111/nyas.12396

Rodríguez-Gonzales, A.; Zárate-Villarroel, S.G. y Bastida-Codina, A. (2022). Biodiversidad bacteriana presente en suelos. *Revista de Ciencias Ambientales (Trop J Environ Sci)*, 56(1): 178-208. doi: 10.15359/rca.56-1.9

Rodrigues, K.M. y Rodrigues, B.F.(2019). Arbuscular Mycorrhizae: Natural Ecological Engineers for Agro-Ecosystem Sustainability. En: New and Future Developments in Microbial Biotechnology and Bioengineering. Taleigao Plateau: Department of Botany, Goa University, pp. 165-175

Shiferaw, B.; Prasanna, B.M.; Hellin, J. y Bänziger M. (2011). Crops that feed the world 6. Past successes and future challenges to the role played by maize in global food security, Food Security 3(3): 307-327. doi: 10.1007/s12571-011-0140-5

Silva, V.; Hans G.J., M.; Zomer, P.; Tienstra, M.; Ritsem, C.J. y Geissen, V. (2019). Pesticide residues in European agricultural soils - A hidden reality unfolded. Science of the Total Environment, 653: 1532-1545. doi: 10.1016/j.scitotenv.2018.10.441

WeatherSpark.com. El clima y el tiempo promedio en todo el año en Medellín. (2024). Disponible en: < <https://es.weatherspark.com/y/22535/Clima-promedio-en-Medell%C3%ADn-Colombia-durante-todo-el-a%C3%B1o>> [Consulta: 23/07/2024]

6. Anexos

Anexo I. Relación del trabajo con los objetivos de Desarrollo Sostenible de la Agenda 2030.

Anexo al Trabajo de Fin de Grado

Relación del trabajo con los Objetivos de Desarrollo Sostenible de la Agenda 2030

Grado de relación del trabajo con los objetivos de desarrollo sostenible (ODS)

Objetivos de Desarrollo Sostenible	Alto	Medio	Bajo	No existe
ODS 1. Fin de la pobreza			✓	
ODS 2. Hambre cero	✓			
ODS 3. Salud y bienestar	✓			
ODS 4. Educación de calidad				✓
ODS 5. Igualdad de género				✓
ODS 6. Agua limpia y saneamiento	✓			
ODS 7. Energía asequible i no contaminante				✓
ODS 8. Trabajo decente i crecimiento económico			✓	
ODS 9. Industria, innovación e infraestructuras		✓		
ODS 10. Reducción de les desigualdades			✓	
ODS 11. Ciudades i comunidades sostenibles			✓	
ODS 12. Producción i consumo responsables		✓		
ODS 13. Acción por el clima	✓			
ODS 14. Vida submarina		✓		
ODS 15. Vida de ecosistemas terrestres	✓			
ODS 16. Pau, justicia i instituciones sólidas				✓
ODS 17. Alianzas para lograr los objetivos				✓

Descripción de la alineación del TFG con los ODS con un grado de relación mayor.

ODS 2. Hambre cero. Se relaciona en un grado alto con hambre cero, porque el suelo es un recurso limitado, si agotamos este recurso que es la matriz de la producción de alimentos a escala mundial, se generaría más hambre, ya que el recurso sería acaparado por los más poderosos dejando a mucha gente sin poder producir alimentos.

ODS 3. Salud y bienestar. Relacionarlo con este ODS es importante en un grado alto, ya que el suelo es el medio que nos proporciona comida, un suelo con residuos tóxicos conllevaría una peor alimentación y por ello un empeoramiento de la salud. Si hablamos de la bioacumulación de residuos tóxicos el suelo se podría considerar el primer elemento de la cadena trófica, por lo que si se acumulan en los organismos componentes tóxicos puede llevar a un empeoramiento de la salud.

ODS 6. Agua limpia y Saneamiento. Es de vital importancia relacionar este trabajo con Agua limpia y saneamiento, ya que el agua se acumula en muchas ocasiones en acuíferos posteriormente esta agua se conducirá a las instalaciones para consumo humano y animales, si la matriz de almacenamiento de dicha agua, es decir, el suelo se encuentra con contaminantes, de por si el agua va a incorporar estos contaminantes, por lo que ya no se consideraría agua limpia.

ODS 9. Industria, innovación e infraestructuras. La técnica utilizada en el estudio quizás llegue a ser una técnica innovadora para lidiar con los problemas creados por la industria, el sector agrícola o minería entre otros, cuando haya ocurrido un accidente que haya contaminado un suelo o para recuperar viejos vertederos, campos de cultivo o instalaciones mineras que en algún momento hayan sido afectadas por situaciones de contaminación.

ODS 10. Producción y consumo responsables. Aquí vamos a hablar de que este tipo de técnicas como las del estudio, no serían necesarias si hubiese una producción y un consumo con responsabilidad, ya que, si aprovechamos los recursos extraídos del suelo o simplemente los utilizáramos de una manera responsable, reduciríamos la necesidad de realizar biorremediaciones. En resumen, un consumo responsable llevaría a que no tengamos que depender de estas técnicas.

ODS 13. Acción por el clima. Se relaciona con la acción por el clima, porque cuando un suelo está sano, en él crecen todo tipo de plantas que son absorbedores de CO₂, unos de los principales causantes del cambio climático. Si un suelo queda árido por la presencia de contaminantes este no va a retener productos del carbono existentes en la atmosfera, es por ello que, si remediamos suelos contaminados, indirectamente estamos creando un almacén de gases GEI en el suelo.

ODS 14. Vida submarina. Los suelos son responsables de almacenar el agua que está en la capa debajo de la superficie (capa freática), si estos se ven contaminados, las aguas subterráneas van a estar contaminadas por el mismo tipo de tóxicos. Si estos no son eliminados, por escorrentía pueden acabar en un río y más tarde en el mar, afectando negativamente a la vida submarina. Eliminar los tóxicos en el suelo es sinónimo de una saludable vida en los ecosistemas marinos.

ODS 15. Ecosistemas terrestres. Los ecosistemas terrestres, como su propio nombre indica son aquellos que viven en la tierra, la base de todos ellos es el suelo, por lo que si existe un suelo contaminado estos ecosistemas se van a ver afectados negativamente. Es por ello, que remediar suelos contaminados, es la base para lograr unos ecosistemas terrestres sanos y que puedan desarrollarse de forma correcta a lo largo del tiempo.