



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE BABAHOYO
FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS
CARRERA DE INGENIERÍA AGRONÓMICA



TRABAJO DE TITULACIÓN

Componente práctico en el Examen de Grado de carácter
Complejivo, presentado al H. Consejo Directivo de la Facultad,
como requisito previo para obtener el título de:

INGENIERO AGRÓNOMO

TEMA:

Uso de ozono para desinfección de suelos en el cultivo de banano
(*Musa x paradisiaca*) en el Ecuador.

AUTOR:

Luis Enrique Avilés Morán

TUTOR:

Ing. Agr. Carlos Castro Arteaga

Babahoyo – Los Ríos –Ecuador

2022

RESUMEN

A través de este documento se ha mostrado valiosa información sobre nuevas estrategias que mejoraron el manejo agronómico del sector bananero como solución ante un problema de la proliferación de enfermedades ocasionadas por organismos fitopatógenos del suelo. Han surgido alternativas ecológicas que han sido empleadas para la correcta desinfección de suelos agrícolas. El ozono es un producto que no deja residuo, ya que en el momento en que se aplica inmediatamente se convierte en oxígeno y evita la contaminación de la atmósfera. El efecto del ozono sobre la actividad microbiana es selectivo, es decir, disminuye las poblaciones de fitoparásitos o fitopatógenos, pero al mismo tiempo favorece el incremento de los saprófagos y a los organismos antagonistas. Al aplicar ozono, se ha logrado conseguir un desarrollo más lento del hongo y una esporulación más retardada. En este trabajo de investigación se emplearon técnicas de investigación de carácter exploratorio y explicativo. Se obtuvieron como resultados que la utilización de este tipo de agua ozonizada contribuye de manera positiva al cultivo, agua de calidad y libre de microorganismos patógenos. Cuando se aplican concentraciones de ozono inferior a 2 ppm se logra aportar agua libre de microorganismos patógenos, permite que las plantas crezcan en un ambiente favorable y estéril para el cultivo. Al término de este documento se concluyó que la desinfección de suelos, si bien es cierto, es una labor agrícola que comúnmente no se realiza en las bananeras del Ecuador, sin embargo, es muy aconsejable implementarla porque sus resultados se ven reflejados en la etapa de la cosecha, realizándose siempre con las dosificaciones adecuadas ya que el exceso o el déficit del mismo podría ocasionar diferentes problemas en la actividad microbiana del suelo.

PALABRAS CLAVE: Banano, Microorganismos, Ozono, Patógenos, Suelo

SUMMARY

Through this document, valuable information is condensed on new strategies to improve the agronomic management of the banana sector to solve a problem of the proliferation of diseases caused by phytopathogenic organisms in the soil. Ecological alternatives have emerged that are used for the correct disinfection of agricultural soils. Ozone is a product that does not leave a residue, since when it is applied it immediately turns into oxygen and prevents contamination of the atmosphere. The effect of ozone on microbial activity is selective, that is, it decreases the populations of phytoparasites or phytopathogens, but at the same time it favors the increase of saprophagous and antagonistic organisms. By applying ozone, it is possible to achieve a slower development of the fungus and a more delayed sporulation. It was obtained as results that the use of this type of ozonized water contributes positively to the crop, quality water, free of pathogenic microorganisms, but lacking in disinfectant capacity in the soil. When ozone concentrations of less than 2 ppm are applied, it is possible to provide water free of pathogenic microorganisms, allowing plants to grow in a favorable and sterile environment for cultivation. At the end of this document it is concluded that the disinfection of soils, although it is true, is an agricultural task that is not commonly carried out in the banana plantations of Ecuador, however it is highly advisable to implement it because its results are reflected in the stage of the harvest, always carrying out the appropriate dosages since its excess or deficit could cause different problems in the microbial activity of the soil.

KEY WORDS: Banana, Microorganisms, Ozone, Pathogens, Soil

ÍNDICE

RESUMEN.....	i
SUMMARY	ii
INTRODUCCIÓN.....	1
CAPÍTULO I	2
MARCO METODOLÓGICO.....	2
1.1 Planteamiento del problema.....	2
1.2 Justificación	3
1.3 Objetivos	3
1.4.1 Objetivo General.....	3
1.4.2 Objetivos Específicos	3
1.4 Líneas de investigación	4
1.5 Fundamentación teórica	4
1.5.1 Origen del cultivo de banano.....	4
1.5.2 Taxonomía del cultivo de banano.....	4
1.5.3 Descripción botánica del banano.....	5
1.5.4 Variedades de banano cultivadas en Ecuador	5
1.5.5 Principales países productores de banano	7
1.5.6 Microorganismos patógenos del suelo	7
1.5.7 Ozono	7
1.5.8 Reacción de microorganismo ante la aplicación del ozono	8
1.5.9 Formas de generar ozono	9
1.5.10 Ventajas del ozono en el suelo	9
1.5.11 Mecanismo de acción del ozono en el suelo	10
CAPÍTULO II	12
RESULTADOS DE LA INVESTIGACIÓN	12
2.1 Métodos de investigación	12

2.2 Resultados	13
2.3 Discusión de los resultados	14
2.4 Conclusiones	15
2.5 Recomendaciones	15
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	16

INTRODUCCIÓN

En la actualidad se busca viabilizar las actividades agrícolas hacia la reducción de los agroquímicos y el tamaño de las áreas destinadas a la agricultura, sin afectar la cantidad y calidad de la producción de alimentos, impulsó a los investigadores a idear alternativas que hagan más eficiente la producción utilizando menos cantidades de productos agrícolas.

El ozono, potente desinfectante, es una herramienta muy útil para la desinfección de suelos agrícolas, así como en el agua de riego, tanto en las etapas finales de depuración como en la desinfección de aguas de pozos, embalses o depósitos de agua. También puede descomponer muchos compuestos químicos nocivos. La presencia de patógenos del suelo es uno de los principales factores que limitan la producción agrícola relacionada con prácticas de monocultivo o cultivos anteriores en el sistema agrícola.

El ozono (O₃) tiene una función bactericida, que vuelve a su estado original (en forma de oxígeno) después de un corto período de tiempo como lo es 25 minutos. De esta forma, una vez finalizado el proceso, nos aseguramos de que no queden residuos químicos no deseados dentro del suelo. Las principales aplicaciones del ozono (O₃) son la desinfección y desodorización del ambiente, siendo también muy utilizado en el tratamiento y desinfección de aguas dentro de un sistema de riego. Con estas aplicaciones eliminamos los microorganismos patógenos de importancia económica en el cultivo.

A lo largo de este trabajo investigativo se mostrará información sobre una innovadora herramienta que se está utilizando para mejorar la desinfección de suelos agrícolas. A pesar de ser una alternativa tecnológica reciente, se ha podido demostrar la eficacia de sus resultados en el cultivo de banano.

CAPÍTULO I

MARCO METODOLÓGICO

1.1 Planteamiento del problema

La protección del medio ambiente es una preocupación primordial debido al mal manejo de los recursos naturales. A partir de allí surgieron problemas de impacto ambiental, considerando la agricultura como uno de los principales factores, debido al uso indiscriminado de agroquímicos, ya sean fertilizantes o pesticidas.

En el Ecuador las pérdidas económicas por patógenos del suelo afectan la viabilidad de los cultivos y la diversidad de los sistemas agrícolas. La forma habitual de arreglar esto es utilizando productos químicos sintéticos que sean eficaces para el control de patógenos del suelo, sin embargo, el costo de producción se eleva al igual que el desgaste del suelo.

Actualmente, la ciencia en agricultura orgánica ecológica ha promovido estándares agroambientales para ofertar soluciones efectivas debido a los efectos negativos que han afectado a la tierra y al agroecosistema en general. El uso indiscriminado y descontrolado de fertilizantes químicos, a largo plazo empobrece los suelos agrícolas, afectando de forma negativa a las plantas y microorganismos edáficos.

Conociendo la problemática, se han reconocido diferentes técnicas empleadas para la correcta desinfección de suelos agrícolas. El ozono es un producto que no deja residuo, ya que en el momento en que se aplica inmediatamente se convierte en oxígeno y evita la contaminación de la atmósfera. En cuanto a la toxicidad de quien lo emplea, existen unas indicaciones de uso sencillas para evitar algún accidente. Es por ello que nace la necesidad de buscar información sobre esta interesante alternativa de solución que pueda ser aplicada sobre los suelos agrícolas con alto nivel de infestación en el Ecuador.

1.2 Justificación

El efecto del ozono sobre la actividad microbiana es selectivo, es decir, disminuye las poblaciones de fitoparásitos o fitopatógenos, pero al mismo tiempo favorece el incremento de los saprófagos y a los organismos antagonistas. Al aplicar ozono, se logra conseguir un desarrollo más lento del hongo y una esporulación más retardada, es decir, se puede controlar a estos microorganismos, aunque la infección no se erradique por completo. Es importante mencionar que al tener un efecto oxidante “bastante intenso”, el ozono puede acabar con plagas y enfermedades del suelo.

El desarrollo de este proyecto no solo beneficia a quienes están produciendo alimentos en campos donde el suelo está contaminado con microorganismos patógenos, sino que también beneficia enormemente a los estudiantes, docentes e incluso al público agrónomo interesado en conocer sobre la aplicación del ozono en suelos infestados por microorganismos patógenos.

A través de esto se corregirían problemas relacionados con la baja productividad y producción de las cosechas debido a la gran cantidad de patógenos del suelo que impiden en correcto desarrollo productivo de las plantas.

1.3 Objetivos

1.4.1 Objetivo General

Determinar los efectos del uso de ozono para desinfección de suelos destinados al cultivo de banano.

1.4.2 Objetivos Específicos

- Describir los beneficios que ofrece el uso de ozono para desinfección de suelos agrícolas.
- Detallar la importancia del ozono como un potente desinfectante para de suelos agrícolas infestados de microorganismos patógenos.

1.4 Líneas de investigación

Esta investigación forma parte del dominio de recursos agropecuarios con enfoque en el subdominio de desarrollo agropecuario, agroindustrial sostenible y sustentable tomando como referencia el estrato Agricultura sostenible y sustentable.

1.5 Fundamentación teórica

1.5.1 Origen del cultivo de banano

La domesticación más temprana de bananos (*Musa spp.*) fue de individuos partenocárpicos (sin semillas) naturales de *Musa banksii* en Nueva Guinea. Los humanos forrajeros en esta área comenzaron la domesticación a fines del Pleistoceno utilizando métodos de trasplante y cultivo temprano. Los bananos fueron introducidos en América del Sur por marineros portugueses que trajeron los frutos de África Occidental en el siglo XVI. Los cultivares de banano del sudeste asiático, así como el abacá cultivado para fibras, también fueron introducidos en Nueva España (América del Norte y Central) por los españoles de Filipinas, a través de los galeones de Manila (Aguayo *et al.* 2017).

1.5.2 Taxonomía del cultivo de banano

El género *Musa* fue clasificado por Carl Linnaeus en 1753. El nombre puede derivarse de Antonius Musa, médico del emperador Augusto, o Linnaeus puede haber adaptado la palabra árabe para banana, mauz. *Musa* es el género tipo de la familia Musaceae. El sistema APG III asigna Musaceae al orden Zingiberales, parte del clado de las plantas con flores monocotiledóneas. Unas 70 especies de *Musa* fueron reconocidas por la Lista de Verificación Mundial de Familias de Plantas Seleccionadas. Los nombres científicos aceptados para la mayoría de los grupos de bananos cultivados son *Musa acuminata* Colla y *Musa balbisiana* Colla para las especies ancestrales, y *Musa x paradisiaca* L. para el híbrido *M. acuminata* x *M. balbisiana* (Aguayo 2018).

1.5.3 Descripción botánica del banano

La planta de banano es la planta herbácea con flores más grande. Todas las partes aéreas de una planta de banano crecen a partir de una estructura generalmente llamada "cormo". Las plantas son normalmente altas y bastante robustas con una apariencia de árbol, pero lo que parece ser un tronco es en realidad un "tallo falso" o pseudotallo.

Los bananos crecen en una amplia variedad de suelos, siempre que el suelo tenga al menos 60 centímetros (2,0 pies) de profundidad, tenga buen drenaje y no esté compactado. Las hojas de las plantas de banano se componen de un "tallo" (pecíolo) y una lámina (lámina). La base del pecíolo se ensancha para formar una vaina; las vainas apretadas forman el pseudotallo, que es todo lo que sostiene a la planta (Aravena 2020).

La inflorescencia contiene muchas brácteas (a veces denominadas incorrectamente pétalos) entre las hileras de flores. Las flores femeninas (que pueden convertirse en frutos) aparecen en hileras más arriba en el tallo (más cerca de las hojas) de las hileras de flores masculinas. El ovario es inferior, lo que significa que los pequeños pétalos y otras partes de la flor aparecen en la punta del ovario (Aucapeña 2021).

1.5.4 Variedades de banano cultivadas en Ecuador

Según Balón y Donoso (2016) describieron que en el Ecuador se cultivan las siguientes variedades de banana que se muestran a continuación.

- **Gros Michel**

Una de las primeras variedades cultivadas para exportación que aún se produce en Colombia y Ecuador, aunque está siendo reemplazada por 'Cavendish'. Se caracteriza por ser una planta grande y vigorosa, con racimos simétricos y densos. Fruto de gran tamaño, con forma de botella y maduración muy homogénea. Las vainas son de color verde intenso en la parte superior y rosadas en la parte inferior.

- **Cavendish**

En el comercio mundial en 2009, los cultivares más importantes con diferencia pertenecían al grupo triploide AAA de *Musa acuminata*, comúnmente conocido como banano del grupo Cavendish. Representaron la mayoría de las exportaciones de banano, a pesar de que solo comenzaron a existir en 1836. Los cultivares Dwarf Cavendish y Grand Nain (Chiquita Banana) ganaron popularidad en la década de 1950 después de que el cultivar anterior producido en masa, Gros Michel (también un cultivar del grupo AAA), se volviera comercialmente inviable debido al mal de Panamá, causado por el hongo *Fusarium oxysporum* que ataca las raíces de la planta de banano. Los cultivares Cavendish son resistentes a la enfermedad de Panamá, pero en 2013 se temía que el hongo Sigatoka Negra a su vez hiciera inviables los bananos Cavendish.

Sub-variedades de Cavendish

- **'Gran Enano o Cavendish Gigante'**

Fruto más grande, de mayor peso y cilíndrico, aunque más corto y curvo que los del clon 'Robusta'. Planta de porte bajo, pseudotallo grueso y sistema foliar amplio.

- **Lacatán**

Se considera como un tipo primitivo de 'Cavendish' a partir del cual todos los demás cultivares se originaron por mutación. Los principales países productores son Brasil y Camerún. Los frutos son similares a 'Valery'. Planta alta y vigorosa, similar a 'Gros Michel'.

- **Robusta**

Exportado principalmente desde Costa de Marfil. También llamada 'Poyo', esta variedad se desarrolló a partir de 'Cavendish'. Fruta más corta con un sabor muy dulce.

- **Valéry**

Grandes frutos, pero menos cilíndricos que los de 'Gros Michel'. Sabor dulce y consistente. El nombre está registrado como una marca.

1.5.5 Principales países productores de banano

Los principales países productores de banano incluyen Ecuador, Costa Rica y Honduras. Los plátanos también se cultivan en partes de América del Norte, incluidos México, Hawái y el Caribe. África oriental también se ha convertido en una región productora de banano (Aguayo *et al.* 2017).

1.5.6 Microorganismos patógenos del suelo

Los patógenos de plantas transmitidos por el suelo causan grandes pérdidas en la producción agrícola a nivel mundial. Estos patógenos causan enfermedades como pudrición de raíces y marchitamiento que tienen un costo directo para el crecimiento y la supervivencia de las plantas, y reducen la eficiencia del agua y la absorción de los nutrientes (Bataller *et al.* 2005).

En los suelos donde se cultiva banano se tiene que enfrentar constantemente a patógenos, organismos vivos que causan diversas enfermedades a las plantas. Los patógenos son parásitos; es decir, dependen de un huésped para sobrevivir y reproducir. Los patógenos transmitidos por el suelo prefieren vivir dentro del suelo, causando enfermedades en las raíces. Estas criaturas no solo dañarán una planta, sino que incluso pueden afectar la microbiota benéfica del suelo mismo (Benites 2015).

1.5.7 Ozono

El cambio climático, el crecimiento de la población y la inminente escasez de recursos naturales hacen necesario cambiar los patrones tradicionales de producción agrícola y reemplazarlos por sistemas de producción más sostenibles.

Se sabe que el ozono es el oxidante más poderoso que existe. Además, su eficacia como agente viricida, fungicida bactericida y germicida también ha

sido demostrada en diversos estudios. En la agricultura, se ha demostrado que el ozono brinda beneficios adicionales, tanto para las plantas como para los productores, tales como: un crecimiento más fuerte de las plantas, tiempos de maduración más breves, mayor rendimiento y sabor y menos propensión a las enfermedades (Bucio *et al.*2016).

El ozono (O₃) es 120 veces más fuerte que el cloro, lo que lo convierte en el desinfectante más eficaz del mundo. El O₃ es un gas inestable formado por la conversión de moléculas de oxígeno, liberado en la naturaleza por la energía generada por los rayos solares y en el laboratorio por el ozono (Benites 2015).

Debido a su alto grado de propiedades oxidantes y desinfectantes, el ozono se ha utilizado recientemente para tratar el aire, el agua y los olores. La aplicación de O₃ es bastante factible ya que inactiva y elimina virus, bacterias, algas, esporas y protozoos; a su vez, puede descomponer detergentes, insecticidas, herbicidas, neutralizar completamente la urea, el amoníaco, el nitrito, entre otras sustancias. Frente al agua, aumenta su claridad, elimina colores, olores y permite que se filtre (Elbehri2015).

El ozono (O₃) es el desinfectante más fuerte disponible en el mercado y también es muy efectivo para destruir bacterias, virus y olores. Tiene una vida media muy corta en el agua y suelo, y se descompone en oxígeno diatómico simple u oxida otros compuestos (Galindo 2006).

1.5.8 Reacción de microorganismo ante la aplicación del ozono

La aplicación de ozono gaseoso al suelo permite la esterilización y el efecto biológico del ozono en fase gaseosa sobre el genoma del ADN de bacterias y virus. La reacción de los componentes del suelo con el ozono. Causa cambios complicados y rápidos en los procesos físicos, químicos y propiedades biológicas (Ponce 2010).

1.5.9 Formas de generar ozono

Según Vincés (2020) existen 3 métodos por los que se puede generar el ozono para ser aplicado en la agricultura, sin embargo solo uno es el más efectivo. Los principales métodos para generar ozono son los siguientes:

- **Electrólisis:** Electrólisis del ácido sulfúrico. Bajo rendimiento y no se usa comúnmente.
- **Generación fotoquímica:** Por reacción de oxígeno con luz ultravioleta. Este proceso no se utiliza en la industria debido a la baja eficiencia de generación de ozono y al alto consumo de energía.
- **Descarga de alto voltaje:** la técnica de plasma frío es el método más utilizado. El oxígeno que pasa a través de un campo eléctrico produce varias sustancias químicas que, excitadas o no, se combinan para formar ozono

El ozono es un potente oxidante y se ha implementado en varios procesos. Los resultados han sido reportados en la efectividad del ozono en la eliminación de diferentes patógenos incluyendo bacterias, virus y protozoos. El ozono es a menudo utilizado para desinfectar agua potable y aguas residuales debido a sus propiedades oxidantes. El ozono también se ha aplicado con éxito en la prevención de moho en maíz almacenado. Se ha informado que el ozono es capaz de difundirse a través de membranas bacterianas y reaccionan con biomoléculas citoplasmáticas como el ADN y, por lo tanto, el daño al ADN causa la muerte celular. Sin embargo, a pesar de esta alta actividad desinfectante, el ozono no es muy utilizado debido a su baja solubilidad en agua (Valdés *et al.* 2012).

1.5.10 Ventajas del ozono en el suelo

El uso del ozono como método de desinfección tiene la ventaja de que no produce contaminantes en comparación con otros métodos de desinfección, porque su descomposición sólo produce oxígeno.

Las microburbujas de ozono (OMB) se pueden utilizar como método de desinfección contra fitopatógenos en soluciones de cultivo hidropónico, y la durabilidad de la desinfección la actividad del agua tratada con OMB aumenta concomitantemente con el aumento de la concentración inicial de ozono disuelto y la solubilidad del O₃ es mayor a menor temperatura del agua (Hidalgo y Oliva 2019).

Se ha incrementado la aplicación de ozono gaseoso, especialmente en la industria de la alimentación, ya que permite la eliminación o inactivación de microorganismos. Además, el uso del ozono gaseoso se ha mostrado prometedor como método para reducir los pesticidas contenidos en suelos (Galindo 2006).

La aplicación de agua ozonizada es relativamente novedosa en la agricultura y se ha utilizado en cultivos dirigidos al suelo para lograr la desinfección del sustrato y aumentar la concentración de oxígeno en la solución nutritiva. El ozono es inestable en soluciones acuosas, por lo que se descompone rápidamente en oxígeno molecular y radicales HO, lo que provoca un aumento de la concentración de oxígeno disuelto en la solución nutritiva (Massuh 2018).

1.5.11 Mecanismo de acción del ozono en el suelo

El riego con sistema de agua ozonizada consiste básicamente en llevar más oxígeno a las raíces de las plantas, libre de virus, bacterias, hongos, algas, esporas y cualquier otro microorganismo, por lo que se logra un crecimiento mucho más rápido de lo habitual, con más viveza y fuerza, así como más productividad (Goncálvez 2018).

En el caso de virus y bacterias, así como de protozoos e insectos. El ozono actúa mediante la oxidación catalítica de proteínas y liposacáridos destruyendo su estructura. El ozono oxida las membranas bacterianas, debilitando las paredes celulares y causando daño celular y la consiguiente muerte de la célula (Osorio 2020).

Las moléculas de oxígeno se rompen, produciendo fragmentos de oxígeno que se unen a otras moléculas de oxígeno para producir ozono, O₃. En otro proceso de formación de ozono, el oxígeno flota hacia arriba en la atmósfera y a su vez se convierte en ozono por acción del sol (Garcés 2020).

El ozono se puede crear artificialmente por descarga de corona; aire u O₂ que pasa a través de un campo eléctrico de alto voltaje. En este caso, la molécula de oxígeno estable se descompone y se divide en dos radicales de oxígeno que reaccionan entre sí para formar ozono. La formación de Ozono producido por descargas eléctricas en un gas se basa en la falta de homogeneidad de la corona descarga en el aire y en el oxígeno (Valdés *et al.* 2012).

La acción de desinfección del ozono se produce por oxidación. Una vez formado el ozono, se destruye o descomponen las membranas celulares de los microorganismos y en ese momento se inactiva el ozono pasando de (ozono) O₃ a (oxígeno) O₂. Este proceso es caracterizado por ser muy rápido. Se ha demostrado que solo es necesario 0,2 ppm de ozono por 4 minutos para eliminar una extensa cantidad de microorganismos en el suelo (Elbehri2015).

CAPÍTULO II

RESULTADOS DE LA INVESTIGACIÓN

Este material basado en componentes prácticos se creará con la recopilación de todo tipo de información a través de la investigación en diversas fuentes bibliográficas como tesis, artículos científicos, libros y literatura disponible en plataformas digitales.

Cabe señalar que toda la información obtenida se desarrollará mediante técnicas de análisis, síntesis y síntesis, con el objetivo de establecer información específica de este proyecto, cuya temática es “Uso de ozono para desinfección de suelos en el cultivo de banano (*Musa x paradisiaca*) en el Ecuador.” Por lo tanto, enfatiza su importancia y base general para el consentimiento académico y social del lector.

2.1 Métodos de investigación

Se utilizarán dos técnicas de investigación para desarrollar este trabajo de investigación, son el descubrimiento y la interpretación. Este tipo de descubrimiento se basa en encontrar documentos bibliográficos que ya existen y nos enfocamos en estudiar su contenido para entender un tema en particular. Por otra parte, la investigación exploratoria permite familiarizarnos con la temática que se ha seleccionado principalmente cuando estamos hablando de temas poco conocidos, por lo tanto, es indispensable el uso de un correcto manejo que proveen las fuentes de información.

A diferencia de la técnica anterior, la técnica de investigación explicativa establece una relación entre dos variables sujeto, es decir, dependiente e independiente o causa y efecto, para logra comprender de qué forma influye la una de la otra que existe la una sobre la otra a través de recopilación de información que logre verificar la validez de ambas variables.

2.2 Resultados

Como resultados se obtuvo que la utilización de este tipo de agua ozonizada contribuye de manera positiva al cultivo, agua de calidad y libre de microorganismos patógenos. Cuando se aplican concentraciones de ozono inferior a 2 ppm, sea por medio de riego por goteo, así como nebulización o micro-aspersión, se logra aportar agua libre de microorganismos patógenos, permite que las plantas crezcan en un ambiente favorable y estéril para el cultivo. Sin embargo, estas condiciones son de muy corta duración, por lo que es necesario regar con este sistema de forma casi continua, lo que evitará la entrada de microorganismos infecciosos (Rivera y Lamilla 2014).

Los estudios realizados en bananeras del Litoral costero del Ecuador, han dado como resultados que la esterilización con ozono no produce resistencias por su modo de acción y además permite desinfectar la totalidad del suelo o sustrato tratado. Sin embargo, dentro del tratamiento también se obtuvieron resultados más eficaces al inocular al menos una especie de microorganismos beneficiosos para repoblar este espacio vacío y así evitar la entrada de patógenos oportunistas (Vásquez *et al.* 2019).

Dentro de estos mismos estudios se ha evidenciado que la utilización de ozono no contamina el suelo o sustrato tratado y no deja residuos nocivos. Por el contrario, dado que su producto de descomposición es el oxígeno, el uso del ozono favorece el desarrollo radicular y el crecimiento vegetativo (Vásquez *et al.* 2019).

Finalmente, los resultados obtenidos mostraron que el nivel de esterilización por ozono fue del 90% para los hongos fitopatógenos probados. Además, la población de bacterias patógenas y nematodos disminuyó en un gran porcentaje tras el uso del ozono, con un 50% menos de mortalidad tras el primer uso. Durante la segunda aplicación se mantuvo una reducción del 50% por lo que se explica que, en cada aplicación, el nivel de mortalidad se reduce a la mitad de la población residual (Osorio 2020).

2.3 Discusión de los resultados

Con lo mostrado en los resultados se queda claro entonces que el uso del ozono para desinfección de suelo en el cultivo de banano si es efectivo siempre y cuando se lo aplique de forma correcta en campo, pues podría generar daños en la plantación coincidiendo con lo expresado por Goncálvez (2018) que un excesivo uso de ozono durante la época de desarrollo vegetativo de las musáceas podría reducir el crecimiento y rendimiento de las plantas, por lo tanto, la técnica a implementar esta estrategia de desinfección va a depender del cultivo elegido y de las condiciones en las que ocurre la aplicación .

Se pone en discusión el hecho de que este agente desinfectante no perdure por mucho tiempo en el suelo ya que tiene una vida media muy corta, y se descompone en oxígeno diatómico simple. Concuerta con lo anunciado por Valdés *et al.* (2012) quien pudo esclarecer que el ozono debe generarse en el sitio donde va a ser aplicado ya que el almacenamiento no es posible aparte de que es un gas altamente inestable y corrosivo.

Existe una controversia en cuanto a la eficacia de este compuesto ante la eliminación de microorganismos patógenos pues, según lo mencionado por Galvis *et al.* (2011) señalan que el ozono elimina virus, bacterias, algas, esporas y protozoos lo que contradice lo expresado por Vásquez *et al.*(2019) que en dosis bajas el ozono llega a inactivar el tránsito microbiano benéfico o incluso los puede llegar a eliminar ya que el ozono no es selectivo para unos cuantos grupos de microorganismo, de igual forma pueden ser ineficientes contra virus, esporas y quistes si no es aplicado de forma correcta. Por lo tanto, hay que tomar en cuenta que la ozonización del agua llega a tener efectos positivos o negativos en el cultivo de banano dependiendo de las condiciones específicas en que se lo aplica.

2.4 Conclusiones

Se concluye que son varios los beneficios de la aplicación del ozono para desinfectar los suelos en cultivos de banano eliminando microorganismos patógenos en cantidades elevadas. La desinfección de suelos es una labor agrícola que comúnmente no se realiza en las bananeras del Ecuador por lo que el uso de agua de riego ozonizada ofrece muy buenos resultados que se ven reflejados en la etapa de la cosecha.

El ozono es un potente agente desinfectante que aplicado en las dosis adecuadas y con el método correspondiente para cada etapa del cultivo, otorga resultados favorables que se traduce en rentabilidad económica para el productor. La importancia del ozono en suelos bananeros es realmente significativa tomando en consideración su poder desinfectante para de suelos agrícolas infestados de microorganismos patógenos.

2.5 Recomendaciones

Realizar nuevos estudios de la aplicación del ozono para analizar costos a fin reconocer la rentabilidad del producto en manos de los pequeños productores bananeros.

Aplicar las dosificaciones adecuadas de ozono ya que el exceso o el déficit del mismo podrían ocasionar diferentes problemas en la actividad microbiana del suelo.

Capacitar a los productores bananeros sobre la importancia de la desinfección del suelo para proteger a las plantas del ataque de microorganismos patógenos ya que de esa forma se evitaría de forma oportuna la proliferación de muchas enfermedades ocasionadas por estos agentes perjudiciales.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Aguayo, E. 2018. Evaluación del efecto del ozono sobre las características morfo-químicas del fruto de banano. 1–85. Disponible en: <http://repositorio.ucsg.edu.ec/bitstream/3317/10208/1/T-UCSG-PRE-TEC-AGRO-133.pdf>
- Aguayo, E., Gómez, P.y Artés, F. 2017. Tratamientos químicos desinfectantes de hortalizas de IV gama: ozono, agua electrolizada y ácido peracético. *Agrociencia Uruguay*, 21(1), 7–14.
- Aravena, E. 2020. Talca, Chile 2020. Variedades del banano <https://www.proecuador.gob.ec/banano-y-platano-en-chile/>
- Aucapeña S. 2021. Alternativa ecológica para el manejo de la cochinilla (*Pseudococcidae* sp .) en el cultivo de banano (*Musa paradisiaca* AAA), Cañar. In Tesis de pregrado. Disponible en: <https://cia.uagraria.edu.ec/Archivos/AUCAPEÑA SALVATIERRA GABRIEL ALBERTO.pdf>
- Balón, H., y Donoso, M. 2016. Con Mención en Gestión Empresarial Agropecuaria. 67. Disponible en: <http://repositorio.ucsg.edu.ec/bitstream/3317/5498/1/T-UCSG-PRE-TEC-AGRO-75.pdf>
- Bataller, M., Véliz, E., Fernández, L., Hernández, C., Fernández, I., Alvarez, C., y Sánchez, E. 2005. Determinación de Parámetros de Diseño Y Desinfección con Ozono de un Efluente Municipal. (Spanish). *Revista CENIC Ciencias Químicas*, 36, 1.
- Benites, J. 2015. Universidad privada anterior orrego facultad de ingeniería.
- Bucio, C., Díaz Serrano, F., Martínez, O., y Torres, J. 2016. Effect of ozone on soil microbial populations and growth of strawberry plants. *Terra*

Latinoamericana, 34(2), 229–237.

Elbehri. 2015. Sostenibilidad Del Banano En El Ecuador.

Galindo, L. 2006. Ozonoterapia, una opción para el sector agropecuario. REDVET. Revista Electrónica de Veterinaria, VII(10), 1–16. Disponible en: <https://www.redalyc.org/pdf/636/63617167005.pdf>

Galvis, C., Aponte, M., Echeverry, I., González, M., y Cardona, Z.,. 2011. Evaluación del funcionamiento de un Generador de Ozono a escala piloto en la desinfección de agua para consumo humano. Ingeniería Y Competitividad, 7(1), 65–72. Disponible en: <https://doi.org/10.25100/iyc.v7i1.2527>

Garcés, R. 2020. Universidad de Guayaquil carrera Ingeniería Agronómica aclimatación en vivero.

Goncálvez, J. 2018. Evaluación de la influencia del ozono sobre la concentración de nutrientes del suelo en el cultivo de banano del cantón Alfredo Baquerizo Moreno, provincia del Guayas.

Hidalgo, Á., y Oliva, R. 2019. Control Del Nivel De Daño De La Sigatoka Negra En Banano Influence of the Type of Irrigation With Ozonized Water in the Control of the Damage Level of the Black Sigatoka in Banana. 20(1), 39–46.

Massuh, R. 2018. Evaluación del efecto del ozono sobre la incidencia de la enfermedad de la mancha anular en condiciones de invernadero. 1–46. Disponible en: <http://repositorio.ucsg.edu.ec/bitstream/3317/10331/1/T-UCSG-PRE-TEC-AGRO-137.pdf>

Osorio, A. 2020. Estudio de factibilidad para la introducción de tecnología de esterilización con ozono para medios agrícolas por parte de una empresa de la ciudad de Bogotá. Repositorio Institucional Universidad Santo Tomas

Colombia. Disponible en: <https://repository.usta.edu.co/handle/11634/29774>

Ponce, M. 2010. Un nuevo método para desinfectar el agua: ozono. *Hypatia*, 7, 6 ST-Un nuevo método para desinfectar el agua.

Rivera, P., y David, J. 2014. Determinación de la dosis optima de ozono en ppm para el manejo de Sigatoka Negra (*Mycosphaerella fijiensis*) en una plantación de banano procedente de meristema. 92.

Valdés, R., Pozo, E., Cárdenas, M., Jimenez, L., Pérez, C., y Rodríguez, R. 2012. Efecto del ozono sobre el vigor de semillas de Garbanzo (*Cicer arietinum* L.). *Centro Agrícola*, 39(4), 21–26. Disponible en: http://cagricola.uclv.edu.cu/descargas/pdf/V39-Numero_4/cag054121878.pdf

Vásquez, W., Racines, M., Moncayo, P., Viera, W., y Seraquive, M. 2019. Calidad del fruto y poscosecha pérdidas del banano orgánico (*Musa acuminata*) en el Ecuador. *Enfoque UTE*, 10(4), 57–66. Disponible en: <https://doi.org/10.29019/enfoque.v10n4.545>

Vinces, R. 2020. Facultad de ciencias agropecuarias carrera de ingeniería agronómica. Universidad Técnica de Machala, 1–34.