UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO

FACULTAD DE CIENCIA E INGENIERÍA EN ALIMENTOS Y BIOTECNOLOGÍA

CARRERA DE BIOTECNOLOGÍA

Tema: Efecto de la alteración de la comunidad microbiana del suelo en la respuesta a estrés por sequía del maíz (*Zea mays* L)

Informe Final del Trabajo de Titulación, Opción Proyecto de Investigación, previo a la obtención del Título de Ingeniera Biotecnóloga, otorgado por la Universidad Técnica de Ambato, a través de la Facultad de Ciencia e Ingeniería en Alimentos y Biotecnología.

Autora: Yadira Stefania Taipanta Erazo

Tutora: Mg. Manoella Alejandra Sánchez Garnica

Ambato - Ecuador

Enero - 2026

APROBACIÓN DEL TUTOR

Mg. Manoella Alejandra Sánchez Garnica

CERTIFICA:

Que el presente Informe Final del Trabajo de Titulación ha sido prolijamente revisado. Por lo tanto, autorizo la presentación de este Informe Final del Trabajo de Titulación, opción Proyecto de Investigación, el mismo que responde a las normas establecidas en el Reglamento de Títulos y Grados de la Facultad de Ciencia e Ingeniería en Alimentos y Biotecnología.

Ambato, 11 de diciembre de 2025



Firmado electrónicamente por:
MANOELLA ALEJANDRA SANCHEZ GARNICA
Validar únicamente con FirmaEC

_____

Mg. Manoella Alejandra Sánchez Garnica

0604079871

TUTOR

AUTORÍA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Yo, Yadira Stefania Taipanta Erazo, manifiesto que los resultados obtenidos en el presente Informe Final del Trabajo de Titulación, Opción Proyecto de Investigación, previo a la obtención del título de Ingeniera Biotecnóloga son absolutamente originales, auténticos y personales; a excepción de las citas bibliográficas.



Yadira Stefania Taipanta Erazo

0550235550

AUTOR

DERECHOS DE AUTOR

Autorizo a la Universidad Técnica de Ambato, para que haga de este Informe Final del Trabajo de Titulación o parte de él, un documento disponible para su lectura consulta y procesos de investigación, según las normas de la Institución.

Cedo los Derechos en línea patrimoniales de mi Informe Final del Trabajo de Titulación, con fines de difusión pública, además apruebo la reproducción de este, dentro de las regulaciones de la Universidad, siempre y cuando esta reproducción no suponga una ganancia económica y se realice respetando mis derechos de autor.



Yadira Stefania Taipanta Erazo

0550235550

AUTOR

APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE GRADO

Los suscritos Profesores Calificadores, aprueban el Informe Final del Trabajo de Titulación, Opción Proyecto de Investigación, el mismo que ha sido elaborado de conformidad con las disposiciones emitidas por la Facultad de Ciencia e Ingeniería de Alimentos y Biotecnología de la Universidad Técnica de Ambato.

Para constancia firman:

Firmado electrónicamente por:
LANDER VINICIO PEREZ ALDAS
Validar únicamente con FirmaEC

Presidente del Tribunal

Firmado electrónicamente por:
JUAN DE DIOS ESPINOZA MOYA
Validar únicamente con FirmaEC

Mg. Juan de Dios Espinoza Moya

1803201431

Firmado electrónicamente por:
ORESTES DARIO LOPEZ HERNANDEZ
Validar únicamente con FirmaEC

Dr. Orestes Darío López Hernández

1754784864

Ambato, 05 de Enero de 2026

DEDICATORIA

"Dios conmigo, yo con Él, Dios delante y yo detrás de Él"

*A **Dios** y a mi **Señor de Maca**, por su guía, protección y fortaleza constante.*

*A **mis amados padres** por siempre estar presentes, por su esfuerzo, por la paciencia, el amor, por siempre apoyarme, por nunca dejar que me rinda, hoy lo logramos, lo hicimos juntos, su bendición de todos los días ha sido, es y seguirá siendo mi protección, mi tranquilidad, un pedacito de ustedes en mí.*

*A **mi querida madre**, por todo el amor, las palabras de apoyo cuando sentía que no podía más, por ser mi mejor amiga, mi curita del alma, por siempre hacerme sentir segura de que lo iba a lograr, que yo podría con todo, por enseñarme a hacer las cosas con amor y paciencia. Mi amada madre te amo.*

*A **mi querido padre**, por todo el amor, por sus consejos, su protección, por siempre estar conmigo para cuidarme, para llegar a casa bien, por consentirme, por enseñarme que si me lo propongo lo lograré, por enseñarme que la fuerza y el cansancio son parte del proceso. Mi amado padre te amo.*

*A **mi querido hermano**, el complemento de mi vida, mi pequeño, por siempre estar para mí, por tus ocurrencias para hacerme sonreír, por acompañarme siempre, por escucharme, por cuidarme y protegerme, por siempre estar sin importar, horas, lugares y momentos. Te amo mi pequeño travieso.*

*A mi ángel, **mi hermanita**, por ser mi angelito de la guarda, porque siempre estás en mi mente y en mi corazón. Te amo hermana y un abrazo al cielo.*

*A mi **querido abuelito**, mi viejito, por su cariño, por siempre estar pendiente de mí, por sus chistes, sus travesuras, sus consejos, su experiencia de vida. Mi querido abuelito te amo.*

*A **mi familia**, mis tías, mi tío, mis primos, mis primas, por siempre estar presentes, por sus consejos, por guiarme, por siempre hacer que sus hogares se sientan como el mío, por su cariño, por siempre estar ahí para mí. Mi querida familia los amo.*

*A **Bryan**, por estar presente, por el apoyo brindado, por el afecto compartido y por demostrar que aquello que se realiza con dedicación adquiere mayor significado.*

*A mis **angelitos del cielo**, mis abuelitas, mi abuelito, siempre estarán en mi corazón.*

Con todo mi amor y gratitud

Yadira Stefania Taipanta Erazo

AGRADECIMIENTO

"Un día a la vez, sin rendirse, ni dejar de agradecer"

*A **Dios** y a mi **Señor de Maca**, por darme la fuerza para seguir.*

*A **Nelly**, mi mamita, Dios le pague por siempre estar, por las madrugadas que vivimos juntas, por tus oraciones, por siempre estar presente a pesar de la distancia que tuvimos que vivir, por tus llamadas, por consolarme incluso cuando había silencio, por tu inmenso amor, lo logramos, este triunfo es de las dos, porque luchamos juntas para esto.*

*A **Edgar**, mi papito, Dios le pague por siempre estar, por las madrugadas que vivimos juntos, los viajes para que yo esté segura, por estar conmigo siempre, por luchar con la distancia que vivimos, por tu gran esfuerzo, por tu gran amor, lo hicimos, lo logramos, esto es de los dos, porque luchamos juntos para este triunfo.*

*A **Juan Carlos**, mi hermanito, Dios le pague por siempre estar ahí, con tus mensajes, por estar pendiente, por nunca dejar que me sienta mal, por consentirme, porque, aunque vivimos una distancia, la comunicación hizo que nuestro lazo de hermanos sea más fuerte. Lo logramos pequeño.*

*A mi familia Dios le pague, mi abuelito, **Fausto**, por estar siempre pendiente de mí y por su amor. A mis tías, **Chelita, Rosita, Marlenita**, por sus palabras de apoyo, por su amor, por siempre estar ahí. A mi tío, **Jaimito**, por sus consejos y cariño. A mis primas **Karlita, Gaby, Made,** por estar conmigo desde el día 0 con sus consejos, sus experiencias y cariño, por ser como mis hermanas. A mi primo, **Edi,** mi hermano, por las risas, sus consejos, apoyo y cariño.*

*A **Bryan,** Dios le pague, por la paciencia, por tu apoyo, por ser mi refugio, por nunca dejar que me rinda, por siempre hacerme sentir segura de lo que estoy logrando.*

*A **mis amigos**, que me han enseñado que no es necesario ser de tu misma ciudad para hacer grandes amistades, Dios le pague por hacer que Ambato sea mi segundo hogar, por siempre cuidarme, por nunca dejarme sola, por estar presentes con sus mensajes de cariño hacia mí, por estar en los buenos y malos momentos, por abrirme las puertas de sus hogares. A **mis amigos de tesis** que estuvieron conmigo cuando no podía más, que me ayudaron, me animaron y caminaron a mi lado hasta lograrlo.*

*A mi tutora, **Mg. Alejandra Sánchez**, Dios le pague por sus enseñanzas, por el cariño, por la paciencia, por enseñarme que siempre nos podemos esforzar un poco más, ha sido un gran apoyo desde que la conocí.*

*Y a la **vida** por mostrarme que incluso en lo difícil siempre hay un motivo para avanzar.*

ÍNDICE GENERAL DE CONTENIDOS

APROBACIÓN DEL TUTOR ii
AUTORÍA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN iii
DERECHOS DE AUTOR iv
APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE GRADO v
DEDICATORIA vi
AGRADECIMIENTO vii
ÍNDICE GENERAL DE CONTENIDOS viii
ÍNDICE DE TABLAS x
ÍNDICE DE FIGURAS xi
ÍNDICE DE ECUACIONES xii
ÍNDICE DE ANEXOS xiii
RESUMEN EJECUTIVO xiv
ABSTRACT xv
CAPÍTULO I.- MARCO TEÓRICO 1
1.1 Antecedentes investigativos 1
1.1.1 Justificación 1
1.1.2 Sequía 2
1.1.2.1 Tipos de sequía 2
1.1.3 Maíz 3
1.1.3.1 Origen 3
1.1.3.2 Clasificación taxonomía del maíz 4
1.1.3.3 Características del maíz 5
1.1.3.4 Importancia económica y nutricional 6
1.1.4 Interacción planta-microbio en estrés abiótico 7
1.1.4.1 Respuesta fisiológica del maíz 7
1.1.5 Fungistasis 8
1.1.6 Inhibición bacteriana 9
1.2 Objetivos 11
1.2.1 Objetivo General 11
1.2.2 Objetivos Específicos 11
CAPÍTULO II. – METODOLOGÍA 12
2.1 Materiales 12
2.2 Métodos 13
2.2.1 Alterar la comunidad microbiana de un suelo estándar mediante la fungistasis y la inhibición bacteriana 13

2.2.1.1 Obtención del suelo 13
2.2.1.2 Preparación de los sustratos de cultivo 13
2.2.1.3 Preparación de los tratamientos antimicrobianos 14
2.2.1.4 Establecimiento de los ensayos experimentales 14
2.2.1.5 Análisis microbiológico 14
2.2.2 Estimar la respuesta a sequía de plantas de maíz cultivadas en el suelo alterado bajo condiciones de invernadero 15
2.2.2.1 Elaboración del sustrato 15
2.2.2.2 Desinfección y siembra de semillas de maíz 15
2.2.2.3 Seguimiento y evaluación del crecimiento 15
2.2.2.4 Inducción del estrés hídrico 16
2.2.2.5 Medición del contenido relativo de agua (CRA) en la planta 16
2.2.2.6 Cuantificación del contenido de prolina 17
2.2.2.7 Medición de la recuperación post-estrés 17
2.2.2.8 Criterios de recuperación 17
CAPÍTULO III.- RESULTADOS Y DISCUSIÓN 18
3.1 Obtención del suelo 18
3.2 Análisis microbiológico 19
3.3 Crecimiento del maíz (*Zea mays* L) 21
3.4 Crecimiento del maíz 22
3.5 Biomasa aérea 24
3.6 Humedad del suelo 25
3.7 Contenido relativo del agua de la planta (CRA) 26
3.8 Prolina 28
3.9 Criterios de recuperación 30
3.10 Criterios de recuperación 31
CAPITULO IV.- CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES 34
4.1 Conclusiones 34
4.2 Recomendaciones 35
MATERIALES DE REFERENCIA 36
Referencias bibliográficas 36
ANEXOS 47

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 *Clasificación taxonomía del maíz (Zea mays L)* 5
Tabla 2 *Lista de reactivos, material fungible, materiales adicionales y equipos* 12
Tabla 3 *Respuesta microbiana a los tratamientos en medios para aislamiento fúngico y bacteriano*. 20

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 *Características del maíz (Zea mays L)* 6
Figura 2 *Tratamientos antimicrobianos* 7
Figura 3 *Evolución del crecimiento* 21
Figura 4 *Evaluación del crecimiento del maíz (Zea mays L)* 22
Figura 5 *Efecto de la alteración microbiana del suelo la biomasa aérea del maíz (Zea mays L)* 24
Figura 6 *Monitoreo de humedad del suelo durante el periodo de sequía* 25
Figura 7 *Contenido Relativo de Agua (CRA) en el maíz (Zea mays L) bajo estrés por sequía* 27
Figura 8 *Contenido de prolina del maíz (Zea mays L) bajo estrés por sequía* 28
Figura 9 *Porcentaje de recuperación fisiológica del maíz (Zea mays L) tras el estrés del sequía* 30
Figura 10 *Respuesta de recuperación en plantas de maíz (Zea mays L) despues de la rehidratación* 32

ÍNDICE DE ECUACIONES

Ecuación 1 Contenido relativo de agua..... 16
Ecuación 2 Porcentaje de recuperación..... 17

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1 *Promedios de las alturas diarias de 38 días del crecimiento del maíz (Zea mays L)* 47
Anexo 2 *Promedio de 3 valores de la biomasa aérea* 48
Anexo 3 *Humedad del suelo* 49
Anexo 4 *Valores del contenido relativo de agua en la planta de maíz (Zea mays L)* 49
Anexo 5 *Promedio de 3 replicas por tratamiento de la cantidad de la prolina* 49
Anexo 6 *% de recuperación a las 24 y 48 horas* 50

RESUMEN EJECUTIVO

La sequía representa uno de los factores abióticos más críticos que afecta la producción agrícola, especialmente en cultivos fundamentales como el maíz (*Zea mays* L.), el cual es esencial para la seguridad alimentaria y económica de países como Ecuador. En consecuencia, el cambio climático intensifica la frecuencia y duración de los períodos de sequía, lo que reduce significativamente el rendimiento de los cultivos, generando así desafíos considerables para la agricultura. Por lo tanto, resulta imperativo desarrollar estrategias efectivas que permitan mitigar los efectos del estrés hídrico en los cultivos. Este estudio analiza el impacto de la manipulación de la microbiota del suelo sobre la respuesta del maíz al estrés hídrico. Para ello, se utilizan los compuestos Dazomet y Vancomicina, los cuales inducen fungistasis e inhibición bacteriana en condiciones controladas. Se sembró plantas de maíz en suelos tratados con estos compuestos y, posteriormente, se evaluó los parámetros fisiológicos, como el contenido relativo de agua y la acumulación de prolina, los cuales son indicadores de estrés hídrico. Los resultados obtenidos muestran que el tratamiento con Dazomet y Vancomicina aumenta la tolerancia del maíz al estrés hídrico, mejorando la retención de agua y la acumulación de prolina. Estos hallazgos resaltan la relevancia de la microbiota del suelo en la adaptación de las plantas a la sequía, sugiriendo que la manipulación de estas comunidades microbianas puede constituir una estrategia eficaz para mejorar la resiliencia de los cultivos frente a la escasez de agua.

Palabras clave: sequía, maíz, fungistasis, inhibición bacteriana, Dazomet, Vancomicina,

ABSTRACT

Drought is one of the most critical abiotic factors affecting agricultural production, especially in key crops such as maize (*Zea mays* L.), which is essential for food and economic security in countries like Ecuador. Consequently, climate change intensifies the frequency and duration of drought periods, significantly reducing crop yields and presenting considerable challenges for agriculture. Therefore, it is imperative to develop effective strategies to mitigate the effects of water stress on crops. This study analyzes the impact of soil microbiota manipulation on maize's response to water stress. To achieve this, the compounds Dazomet and Vancomycin are used, which induce fungistasis and bacterial inhibition under controlled conditions. Maize plants are grown in soils treated with these compounds, and physiological parameters such as relative water content and proline accumulation, which are indicators of water stress, are subsequently evaluated. The results show that treatment with Dazomet and Vancomycin enhances maize tolerance to water stress, improving water retention and proline accumulation. These findings highlight the importance of soil microbiota in plant adaptation to drought, suggesting that manipulating these microbial communities could constitute an effective strategy to enhance crop resilience in the face of water scarcity.

Keywords: drought, corn, fungistasis, bacterial inhibition, Dazomet, Vancomycin.

CAPÍTULO I.- MARCO TEÓRICO

1.1 Antecedentes investigativos

1.1.1 Justificación

La sequía es uno de los factores abióticos más críticos que limitan la producción agrícola a nivel mundial, representando una amenaza directa a la seguridad alimentaria. Más del 40 % de las tierras cultivables enfrentan algún grado de escasez hídrica, afectando el rendimiento de cultivos estratégicos como el maíz (*Zea mays* L.), alimento básico y fuente de ingresos para millones de personas **(Pei et al., 2022)**. En Ecuador, este cultivo tiene gran importancia económica y social, especialmente en las provincias costeras como Los Ríos, Manabí, Guayas y Santa Elena, donde el cambio climático ha intensificado los periodos de sequía **(Yang et al., 2023)**. Esta problemática se agrava con fenómenos como El Niño, que han generado pérdidas agrícolas superiores a los 150 millones de dólares en campañas recientes (**Leng, 2021)**. Estas condiciones adversas han impulsado la búsqueda de nuevas estrategias que permitan mejorar la resiliencia del maíz frente al estrés hídrico.

La sequía durante etapas críticas del desarrollo del maíz, como la floración y el llenado de grano, puede reducir el rendimiento en más del 50 % **(Yang et al., 2023)**. Por lo que, la investigación agrícola se ha enfocado en estrategias que aumenten la resiliencia del cultivo y una de las más prometedoras es el estudio de la microbiota del suelo **(De Vries et al., 2020)**. Se ha demostrado que microorganismos benéficos como bacterias promotoras del crecimiento y hongos micorrízicos pueden mejorar la captación de agua, la absorción de nutrientes y la síntesis de compuestos protectores como la prolina, favoreciendo así la tolerancia al estrés hídrico **(Zhang et al., 2020)**. Estudios recientes han logrado manipular experimentalmente estas comunidades mediante fumigantes y antibióticos, observando cambios significativos en la respuesta fisiológica de las plantas bajo sequía **(Xie et al., 2021)**. Estos hallazgos abren una línea de investigación relevante para analizar experimentalmente dicha interacción en cultivos clave como el maíz.

Este trabajo analiza cómo la alteración de la comunidad microbiana del suelo, mediante la fungistasis y la inhibición bacteriana, influye en la tolerancia del maíz al estrés por sequía, utilizando indicadores fisiológicos. Busca aportar evidencia sobre el rol de los microorganismos en la adaptación del maíz a la sequía, con el objetivo de fortalecer la agricultura sostenible en Ecuador.

1.1.2 Sequía

La sequía es uno de los factores de estrés abiótico más determinantes para la producción agrícola y la estabilidad de los ecosistemas naturales, ya que implica una reducción crítica en la disponibilidad de agua que limita procesos fisiológicos básicos de las plantas, genera desequilibrios hídricos que afectan directamente la absorción de nutrientes, la fotosíntesis y la regulación estomática, ocasionando una disminución en la tasa de crecimiento y en la productividad. Es por eso que los efectos de la sequía dependen tanto de la duración e intensidad del déficit hídrico como de la etapa fenológica en la que se encuentre la planta, este escenario, las especies vegetales han desarrollado diversas estrategias de tolerancia y adaptación. Entre ellas destacan mecanismos fisiológicos como el ajuste osmótico, la reducción del área foliar y el fortalecimiento del sistema radical, que permiten optimizar el uso del agua disponible y mantener procesos vitales bajo condiciones restrictivas **(Arriaga et al., 2022).** Sin embargo, estas respuestas suelen tener un costo en términos de reducción de la productividad, lo que plantea el reto de equilibrar resistencia y rendimiento en ambientes agrícolas y forestales cada vez más variables por los efectos del cambio climático **(Muñoz et al., 2025).**

La tolerancia a la sequía se reconoce como un carácter poligénico, influenciado por la interacción de múltiples loci y redes regulatorias que modulan la expresión de genes relacionados con el metabolismo, la protección celular y la arquitectura vegetal. Esto ha impulsado el desarrollo de herramientas como el mapeo de asociación genómica y la predicción genómica, que permiten identificar y seleccionar genotipos con mayor capacidad de rendimiento bajo condiciones de estrés hídrico sin sacrificar productividad en condiciones óptimas **(Amadu et al., 2025).** Paralelamente, la investigación en interacciones planta-microorganismo ha revelado que rizobacterias promotoras del crecimiento y hongos micorrícicos juegan un papel esencial en la mitigación de los efectos de la sequía, al mejorar la absorción de agua y nutrientes, modular la producción de fitohormonas y activar sistemas antioxidantes que protegen a la planta del daño oxidativo **(Inbaraj, 2021).** De esta forma, la sequía debe entenderse como un fenómeno multifactorial donde convergen factores fisiológicos, genéticos, ecológicos y microbianos, lo que requiere un abordaje integral para diseñar estrategias de adaptación y mitigación que fortalezcan tanto los sistemas productivos como los ecosistemas naturales frente a la creciente amenaza del déficit hídrico.

1.1.2.1 Tipos de sequía

De acuerdo con el **Plan Nacional de Sequía 2021 - 2030** se identifica 4 principales tipos de sequías; meteorológica, agrícola, hidrológica y socioeconómica.

La sequía meteorológica se define como la condición climática caracterizada por un déficit prolongado de precipitaciones en comparación con los valores normales o promedio de una región ya que este tipo de sequía se mide en función de anomalías de lluvia en diferentes escalas temporales y es considerada el punto de partida para las demás categorías de sequía, por lo que genera un desbalance inicial en la disponibilidad de agua atmosférica **(Marengo et al., 2021).**

La sequía agrícola se refiere al impacto directo de la escasez de agua sobre el suelo y la capacidad de las plantas para obtener la humedad necesaria, ocurre cuando la reducción en la precipitación y el aumento de la evapotranspiración provocan una disminución significativa del contenido hídrico del suelo, limitando la germinación, el crecimiento y la productividad vegetal, ya que se relaciona con indicadores de humedad edáfica y con la respuesta fisiológica de los cultivos **(Serrano et al., 2020).**

La sequía hidrológica describe la reducción sostenida en los niveles de agua superficial y subterránea, evidenciada en la disminución de caudales de ríos, volúmenes en lagos, embalses y reservas freáticas debido a que está vinculada al ciclo hidrológico completo, por lo que refleja la acumulación de déficits de precipitación durante periodos prolongados y se utiliza para evaluar la disponibilidad de recursos hídricos a gran escala, su impacto en sistemas acuáticos y de almacenamiento **(Arciniega et al., 2025).**

La sequía socioeconómica corresponde al estudio en que la escasez de agua afecta directamente a las actividades humanas, generando repercusiones en la producción agrícola, la ganadería, la industria y el consumo doméstico, este tipo de sequía integra no solo factores físicos, sino también aspectos sociales y económicos, al considerar la vulnerabilidad de las comunidades, la infraestructura de gestión hídrica y la capacidad institucional de respuesta **(Wang et al., 2025).**

1.1.3 Maíz

1.1.3.1 Origen

El maíz (*Zea mays* L.) es uno de los cultivos agrícolas más importantes a nivel mundial, tanto por su versatilidad en aplicaciones alimentarias como industriales, como por su papel estratégico en la seguridad alimentaria. Originario de Mesoamérica, su domesticación hace aproximadamente 9,000 años ha dado lugar a una amplia diversidad de variedades adaptadas a múltiples condiciones agroecológicas **(Woodhouse et al., 2021).** En la actualidad, se cultiva en todos los continentes, siendo un pilar esencial en las dietas humanas y animales, además de su uso creciente en la producción de biocombustibles y productos industriales derivados del almidón.

Uno de los principales desafíos ambientales en el cultivo de maíz es la sequía, este cultivo es particularmente sensible al déficit hídrico, especialmente durante las fases de floración y llenado de grano, donde puede perderse hasta el 40% del rendimiento si no se dispone de suficiente agua **Chen et al., 2022).** La sequía afecta el metabolismo de la planta de múltiples maneras: reduce la conductancia estomática, limita la fotosíntesis, induce estrés oxidativo y altera la expresión de genes relacionados con el crecimiento y desarrollo.

El cambio climático ha intensificado la frecuencia y severidad de las sequías, exacerbando las pérdidas en regiones donde el maíz es un cultivo básico. En zonas tropicales y subtropicales, donde el riego no siempre es viable, se ha vuelto indispensable el desarrollo de variedades tolerantes a la sequía **(Leng et al., 2021).** Estas variedades presentan características fisiológicas y morfológicas particulares: raíces más profundas, hojas con cutículas gruesas, mayor eficiencia en el uso del agua, y capacidad para mantener la turgencia celular mediante la acumulación de osmoprotectores como la prolina y el manitol.

Además, las prácticas agronómicas también juegan un papel fundamental en la mitigación del impacto de la sequía. Técnicas como la siembra directa, el uso de coberturas vegetales, la rotación de cultivos y la aplicación de biofertilizantes pueden mejorar significativamente la retención de humedad en el suelo y favorecer el desarrollo radicular. Además, el uso de microorganismos beneficiosos del suelo, como bacterias promotoras del crecimiento vegetal (PGPR), ha demostrado incrementar la eficiencia del uso del agua y mejorar la tolerancia al estrés hídrico en maíz **(Notununu et al., 2024).**

1.1.3.2 Clasificación taxonomía del maíz

El maíz (*Zea mays L.*) es una planta gramínea perteneciente a la familia Poaceae, género Zea, y se clasifica como sigue:

Tabla 1

Clasificación taxonómica de Zea mayz L

Categoría taxonómica	Clasificación
Reino	Plantae
División	Magnoliophyta
Clase	Liliopsida
Orden	Poales
Familia	Poaceae
Género	Zea
Especie	*Zea mays*
Subespecies	*Zea mays ssp. mays* (cultivada)
	Zea mays ssp. parviglumis (silvestre)
	Zea mays ssp. mexicana (silvestre)

Nota. Información recopilada de **(Berube et al., 2024).**

Las variedades de maíz se diferencian principalmente por las características del endospermo del grano, lo que determina sus usos y propiedades. Entre las más comunes se encuentran el maíz dentado, harinoso, dulce, ceroso, reventón y cristalino. El maíz dentado, caracterizado por un surco en la parte superior del grano, es el más cultivado a nivel mundial y se utiliza predominantemente para alimentación animal e industria. El maíz harinoso posee una textura suave y es común en la gastronomía latinoamericana. El maíz dulce es cultivado para consumo directo, mientras que el reventón es empleado para la producción de palomitas de maíz **(Valencia y Riasgos, 2024).** Además, existen variedades locales o criollas adaptadas a condiciones específicas de altitud, clima o suelo, que poseen gran valor genético y cultural

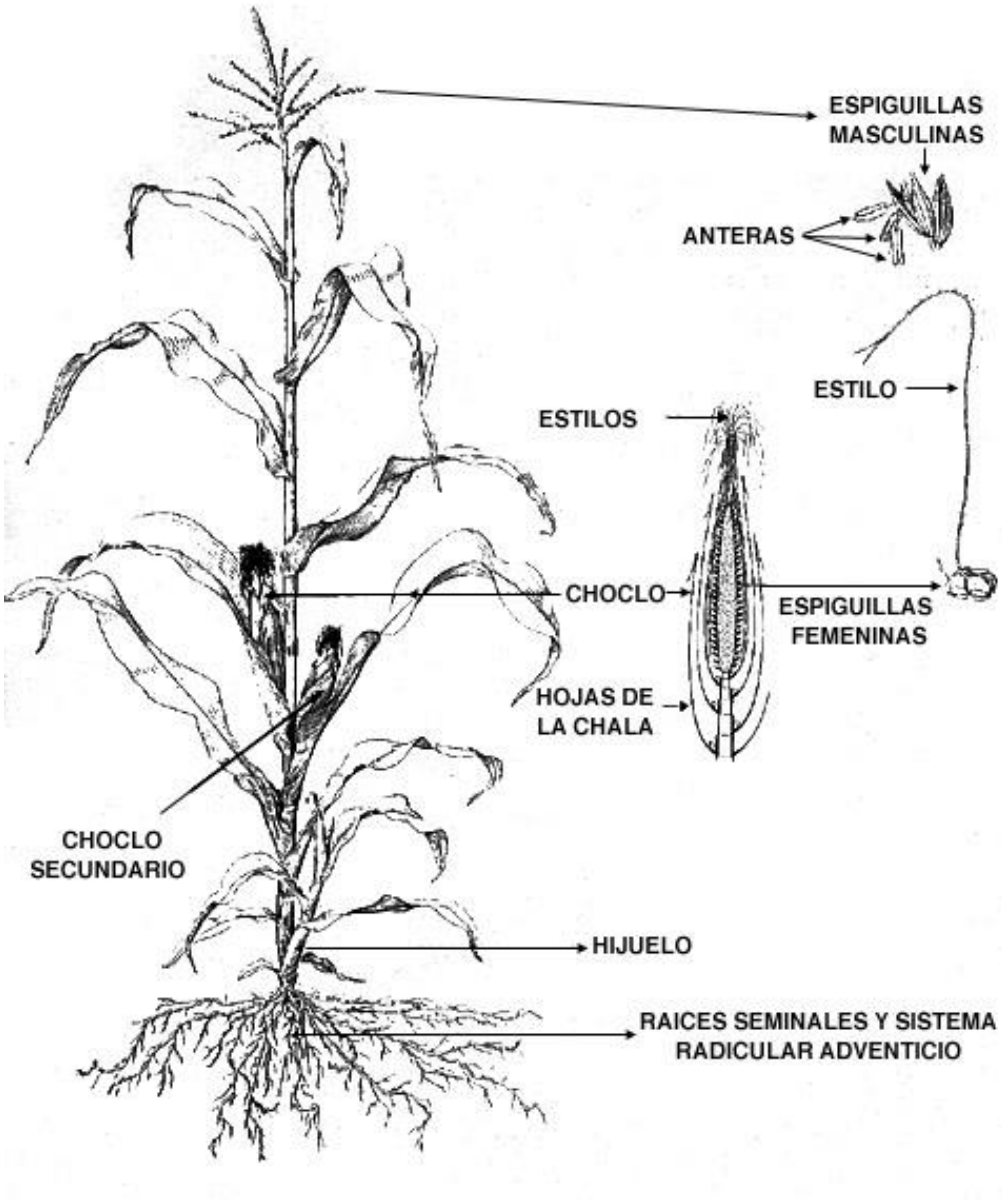
1.1.3.3 Características del maíz

El maíz es una planta monocotiledónea que presenta un tallo erecto y cilíndrico, con nudos y entrenudos claramente diferenciados, que puede alcanzar alturas entre 1.5 y 3 metros, dependiendo de la variedad y el manejo agronómico **(Valencia y Riasgos, 2024).** Su sistema radicular es fasciculado, con raíces primarias, adventicias y raíces aéreas que contribuyen a la estabilidad de la planta y la absorción de nutrientes.

Las hojas son alternas, largas, de forma lanceolada y con nervaduras paralelas, características de las gramíneas. En promedio, cada planta desarrolla entre 8 y 20 hojas funcionales, dependiendo del genotipo y las condiciones de cultivo **(Chen et al., 2022).**

Figura 1

Características del maíz



Nota. Información recopilada de **(Chuck & Scanlon, 2023).**

1.1.3.4 Importancia económica y nutricional

El maíz (*Zea mays* L) es un cultivo de alto impacto global por su rol en la seguridad alimentaria y en la economía agrícola, su importancia radica en que constituye una fuente básica de calorías y energía para millones de personas, además de ser insumo clave en la ganadería, la industria alimentaria y la producción de biocombustibles **(Erenstein et al., 2022).** Su producción y comercio influyen

directamente en la estabilidad de precios de alimentos básicos y en el desarrollo rural, lo que lo convierte en un recurso estratégico a nivel mundial **(Tanumihardjo et al., 2020).**

Desde el punto de vista nutricional, el grano aporta principalmente carbohidratos en forma de almidón y una fracción proteica que, aunque limitada en lisina y triptófano, es fundamental para dietas basadas en cereales **(Palacios et al., 2020)**. Además, variedades biofortificadas han mejorado su aporte de provitamina A, zinc y proteínas de mayor calidad, contribuyendo a reducir deficiencias nutricionales en poblaciones vulnerables **(Hu et al., 2022)**. Así, el maíz no solo sostiene cadenas productivas, sino que también representa una herramienta clave en programas de nutrición y seguridad alimentaria.

1.1.4 Interacción planta-microbio en estrés abiótico

Las relaciones entre plantas y microorganismos del suelo constituyen una estrategia clave para enfrentar los desafíos derivados del estrés abiótico, especialmente la sequía. Durante épocas de déficit hídrico, la capacidad de las plantas para sobrevivir y mantener su rendimiento no depende únicamente de su propio material genético, sino también de la acción conjunta con comunidades microbianas beneficiosas que colonizan su rizosfera, endosfera y epifitos. Estas interacciones pueden modular procesos fisiológicos, bioquímicos y moleculares, generando una respuesta integrada frente al estrés **(Xie et al., 2021).** Se han identificado mecanismos diversos que reducen los efectos negativos de la sequía y mejoran la adaptabilidad de las plantas, generando un sistema holístico de tolerancia al estrés.

Diferentes suelos con antecedentes hídricos revelaron que su microbiota condicionada por sequía genera un efecto legado. Plantas inoculadas con esta microbiota presentaron raíces más profundas, mejor retención de carbono orgánico en el suelo y menor tasa de pérdida de humedad durante la sequía **(Yasin et al., 2024).** Así, la microbiota no solo responde al estrés del cultivo actual, sino que mantiene un efecto prolongado que mejora la resistencia de cultivos posteriores.

1.1.4.1 Respuesta fisiológica del maíz

El maíz, al igual que otras plantas, debe enfrentarse constantemente a condiciones adversas del ambiente como la falta de agua, las altas temperaturas o la escasez de nutrientes. Ya que su fisiología le permite responder de manera coordinada a estos retos, activando mecanismos en distintos niveles de su organismo **(Sheoran et al., 2022).** Cuando la sequía es intensa, la planta cierra parcialmente sus estomas para evitar la pérdida de agua, lo que a su vez reduce la entrada de dióxido de carbono y la capacidad de realizar fotosíntesis **(Chávez et al., 2021).** Esta situación genera un debilitamiento en el sistema fotosintético, sobre todo durante la etapa reproductiva, en la que el maíz es más sensible a pérdidas de rendimiento **(Yasin et al., 2024).** Como estrategia de compensación, la planta también ajusta su

estructura: disminuye el tamaño de sus hojas y profundiza sus raíces para aprovechar mejor la humedad disponible en el suelo **(Chávez et al., 2021).**

En el plano interno, la sequía provoca que el maíz acumule compuestos como la prolina y ciertos azúcares que actúan como "protectores" celulares, ayudando a mantener el equilibrio hídrico y energético. A la par, se activan enzimas antioxidantes que reducen el daño provocado por moléculas reactivas de oxígeno. El ácido abscísico, una hormona vegetal, desempeña un papel clave en este proceso, pues coordina el cierre de los estomas y regula la expresión de genes relacionados con la resistencia al estrés. También se producen proteínas especiales y factores de transcripción que fortalecen las células frente a las condiciones extremas **(Sheoran et al., 2022).**

1.1.5 Fungistasis

La fungistasis es un fenómeno natural del suelo que impide o limita la germinación y el crecimiento de esporas fúngicas, incluso cuando las condiciones ambientales son aparentemente favorables para el desarrollo del hongo. Este proceso es atribuido principalmente a la actividad microbiana del suelo, a través de mecanismos de competencia, antibiosis y degradación de señales de germinación. El concepto de fungistasis fue introducido para explicar por qué muchas esporas fúngicas viables permanecen en estado latente en suelos naturales **(Khan et al., 2020)**. En la actualidad, la fungistasis es considerada un indicador de salud del suelo y una barrera biológica natural contra fitopatógenos.

El fenómeno puede clasificarse en dos tipos: fungistasis pasiva y fungistasis activa. La pasiva se refiere a la limitación del crecimiento fúngico debido a la escasez de nutrientes esenciales, mientras que la activa es producto de la acción directa de microorganismos antagonistas que secretan compuestos inhibidores como antibióticos, enzimas o sideróforos que privan al hongo de elementos clave como el hierro **(Panth et al., 2020).** Ambos tipos de fungistasis pueden coexistir en el mismo sistema edáfico, aunque la fungistasis activa suele tener un papel más determinante en suelos agrícolas con alta diversidad microbiana.

Diversos grupos microbianos han sido implicados en la fungistasis del suelo, entre ellos destacan bacterias del género *Pseudomonas, Bacillus, Streptomyces* y algunos hongos saprófitos como *Trichoderma* spp. Las especies de *Pseudomonas* y *Bacillus* producen metabolitos secundarios con actividad antifúngica como fenazinas, pirrolnitrinas, 2,4-diacetilfloroglucinol (DAPG) y surfactinas **(Dutta et al., 2022).** Estos compuestos pueden inhibir directamente la germinación de esporas o interferir con la percepción de señales químicas necesarias para la activación metabólica del hongo. Además, ciertas cepas de *Streptomyces* son capaces de degradar señales de germinación producidas por

las plantas, interrumpiendo así el ciclo de vida de patógenos fúngicos como *Fusarium* spp. o *Rhizoctonia solani* **(Styczynski et al., 2022).**

Otro componente relevante de la fungistasis es la producción de sideróforos, que son moléculas quelantes de hierro secretadas por bacterias para competir por este micronutriente esencial. Al limitar la disponibilidad de hierro en el microambiente rizosférico, las bacterias limitan el crecimiento de hongos fitopatógenos que dependen de dicho elemento para su metabolismo **(Khan et al., 2020).** A este mecanismo se suma la secreción de enzimas hidrolíticas como quitinasas y glucanasas, que degradan las paredes celulares fúngicas, impidiendo el desarrollo del micelio.

1.1.6 Inhibición bacteriana

La inhibición bacteriana es un fenómeno fundamental tanto en ambientes naturales como en contextos clínicos y agrícolas, que implica la capacidad de ciertos organismos o compuestos para frenar o detener el crecimiento de bacterias. Este proceso puede ser mediado por diversos mecanismos, tales como la producción de antibióticos, bacteriocinas, péptidos antimicrobianos, competencia por nutrientes, cambios en el pH o en la disponibilidad de oxígeno, entre otros. La inhibición bacteriana cumple un papel esencial en la regulación de poblaciones microbianas, el mantenimiento del equilibrio ecológico en microbiomas y la defensa de las plantas y animales frente a patógenos **(Pirtskhalava et al., 2021).**

En su entorno natural, la competencia microbiana por espacio y nutrientes es feroz. Para prevalecer, las bacterias han desarrollado estrategias bioquímicas para inhibir a sus competidores. Entre los mecanismos más estudiados se encuentra la producción de antibióticos naturales, como los derivados de actinobacterias del género *Streptomyces*, que generan compuestos como estreptomicina, eritromicina o tetraciclina. Estos actúan sobre procesos esenciales de las bacterias rivales, como la síntesis de proteínas o la integridad de la membrana celular **(Larsson y Flach, 2022)**. Aunque muchas de estas moléculas han sido adaptadas para uso médico, su función evolutiva está más ligada al control competitivo que a la defensa frente a un huésped.

Otro mecanismo central es la producción de bacteriocinas, que son péptidos ribosomales de amplio o estrecho espectro secretados por bacterias para inhibir a otras cepas competidoras. A diferencia de los antibióticos, las bacteriocinas suelen tener una acción específica contra bacterias cercanamente relacionadas y pueden actuar mediante la formación de poros en la membrana o la degradación de componentes intracelulares vitales **(Kim et al., 2023)**.

En ambientes rizosféricos, las bacterias promotoras del crecimiento vegetal (PGPR) como *Pseudomonas fluorescens* y *Bacillus subtilis* despliegan una gran capacidad de inhibición bacteriana,

lo que les permite proteger a las raíces de plantas frente a fitopatógenos como *Agrobacterium tumefaciens* o *Ralstonia solanacearum*. Estas PGPR producen compuestos como fenazinas, surfactinas, lipopeptidos y sideróforos, además de inducir mecanismos de resistencia sistémica en la planta, la competencia por hierro mediante la secreción de sideróforos, que capturan el hierro en formas inaccesibles para otras bacterias, es una de las estrategias más efectivas y ecológicas para inhibir el crecimiento de bacterias patógenas en el suelo **(Khoso et al., 2024).**

En los últimos años, también ha cobrado relevancia la inhibición bacteriana mediante el uso de péptidos antimicrobianos (AMPs), moléculas de bajo peso molecular presentes en casi todos los organismos multicelulares. Estos péptidos actúan rápidamente sobre las membranas bacterianas mediante la inserción y formación de poros, causando pérdida de integridad, despolarización y muerte celular **(Pirtskhalava et al., 2021)**. Dado su amplio espectro y bajo riesgo de generar resistencia, los AMPs están siendo considerados para aplicaciones biomédicas y agrícolas como agentes alternativos o complementarios a los antibióticos convencionales.

1.2 Objetivos

1.2.1 Objetivo General

Analizar el efecto de la alteración de la comunidad microbiana del suelo en la respuesta a estrés por sequía del maíz (*Zea mays* L).

1.2.2 Objetivos Específicos

- Alterar la comunidad microbiana de un suelo estándar mediante la fungistasis y la inhibición bacteriana.

- Estimar la respuesta a sequía de plantas de maíz (*Zea mays* L) cultivadas en el suelo alterado bajo condiciones de invernadero.

CAPÍTULO II. – METODOLOGÍA

2.1 Materiales

El presente trabajo de titulación fue de tipo experimental, y se realizó en los laboratorios académicos de la Facultad de Ciencia e Ingeniería en Alimentos y Biotecnología de la Universidad Técnica de Ambato. En la **Tabla 2** se presenta la lista de reactivos, material fungible, materiales adicionales y equipos empleados que se usaron en el desarrollo de la investigación.

Tabla 2

Lista de reactivos, material fungible, materiales adicionales y equipos

Material	Cantidad
Reactivos	
Dazomet	1.54 g
Vancomicina	1.54 g
Etanol 95 %	500 mL
Etanol 70 %	500 mL
Hipoclorito de sodio (NaOCl)	500 mL
Tween 20	10 mL
Agua oxigenada	1 L
Agua destilada	10 L
Ácido acético	250 mL
Tolueno	100 mL
Solución salina estéril (NaCl)	1 L
Solución nutritiva de Hoagland	4 L
Material fungible	
Vasos de plástico 12 oz	100 unidades
Turba	3.5 kg
Perlita	1.25 kg
Semillas de *Zea mays*	100 unidades
Bolsas ziploc	10 unidades
Malla metálica de 2 mm	2 unidades
Espátulas metálicas estériles	2 unidades
Frascos de vidrio	5 unidades
Gasa o film plástico perforado	1 rollo
Puntas	1 caja

Guantes de nitrilo	2 cajas
Etiquetas y marcadores	1 set
Equipos	
Autoclave	1
Estufa de secado	1
Balanza analítica	1
Centrífuga	1
Espectrofotómetro	1
Termómetro para invernadero	1
Cronómetro digital	1
Cámara de crecimiento/invernadero	1
Micropipeta (10-100)	1

2.2 Métodos

2.2.1 Alteración la comunidad microbiana de un suelo estándar mediante la fungistasis y la inhibición bacteriana

2.2.1.1 Obtención del suelo

El suelo utilizado correspondió al estudio realizado por **Sánchez-Garnica et al. (2024)**, proveniente de la parroquia Malchinguí, ubicada en el cantón Pedro Moncayo (0°01'56.7"N 78°20'47.3"W). Las muestras fueron recolectadas del banco de suelos empleado en dicha investigación y posteriormente trasladadas a los laboratorios académicos de la Facultad de Ciencia e Ingeniería en Alimentos y Biotecnología.

2.2.1.2 Preparación de los sustratos de cultivo

El suelo recolectado fue tamizado cuidadosamente utilizando una malla de 2 mm, con el fin de eliminar piedras, restos vegetales y otros materiales no deseados que pudieran afectar la uniformidad del sustrato. Una vez obtenido el suelo limpio y con textura homogénea, se colocó en bandejas plásticas de 43 cm de largo, 31.5 cm de ancho y 2.5 cm de profundidad. Estas bandejas facilitaron el manejo inicial del suelo en condiciones controladas y su posterior tratamiento antes de ser distribuido en las unidades experimentales **(Ramírez et al., 2020).**

2.2.1.3 Preparación de los tratamientos antimicrobianos

Para el tratamiento con Vancomicina, se siguió el procedimiento descrito por **Sánchez-Garnica et al. (2024).** Se colocó 1 kg de suelo tamizado en una bandeja plástica, sobre el cual se espolvorearon 1.54 gramos del antibiótico, distribuyéndolo uniformemente sobre la superficie del sustrato. A continuación, se añadió 1 litro de agua destilada estéril, mezclando cuidadosamente hasta lograr una homogeneización completa. Finalmente, la bandeja fue sellada con plástico film y se dejó en reposo durante 7 a 10 días, permitiendo la acción del antibiótico en el suelo.

El mismo procedimiento se aplicó para el tratamiento con Dazomet. En una nueva bandeja plástica, se dispuso 1 kg de suelo tamizado, sobre el cual se espolvorearon 1.54 gramos del fungistático. Luego, se agregó 1 litro de agua destilada estéril y se mezcló uniformemente. Una vez integrado el producto, la bandeja fue cubierta con plástico film y se dejó actuar durante 7 a 10 días, bajo condiciones controladas para asegurar la desinfección efectiva del sustrato.

2.2.1.4 Establecimiento de los ensayos experimentales

Se establecieron cinco tratamientos experimentales, con 20 unidades por tratamiento (total 100 unidades):

- Control 1 (suelo natural)
- Control 2 (suelo autoclavado)
- T1: Sustrato + Dazomet
- T2: Sustrato + Vancomicina
- T3: Sustrato + Dazomet y Vancomicina

2.2.1.5 Análisis microbiológico

Se realizó un análisis microbiológico utilizando agar nutritivo (5 cajas de 100 ml), rosa de bengala (5 cajas de 100 ml) y agua peptonada (270 ml). Para este procedimiento, se prepararon tres tipos de suelo: uno con tratamiento de dazomet, otro con vancomicina y el último con la combinación de ambos. A cada uno de los suelos se les añadieron 90 ml de agua peptonada y 10 gramos de suelo por tratamiento. La siembra de las muestras se realizó utilizando un asa de Digralsky. Se prepararon 90 ml agua peptonada y diluciones de 100 µl en concentraciones de 10^{-2} y 10^{-3}, las cuales fueron sembradas

tanto en las placas de agar nutritivo como en las de agar rosa de bengala. El asa fue desinfectada con alcohol al 90% y luego se flameó en un mechero de alcohol para evitar cualquier tipo de contaminación en una cámara de flujo.

Las placas inoculadas fueron incubadas a 37°C durante 48 horas. Transcurrido este tiempo, se observó el crecimiento de las colonias microbianas en cada placa, tanto en el agar nutritivo como en el agar rosa de bengala, para evaluar cómo los tratamientos con dazomet, vancomicina y su combinación afectaron el desarrollo de los microorganismos en las diferentes diluciones.

2.2.2 Estimación la respuesta a sequía de plantas de maíz cultivadas en el suelo alterado bajo condiciones de invernadero

2.2.2.1 Elaboración del sustrato

El suelo tratado y listo para su uso fue mezclado con turba y perlita en una proporción de 25 % suelo y 75 % turba + perlita, con el fin de mejorar la aireación, la retención de humedad y proporcionar condiciones óptimas para el desarrollo vegetal y microbiano. La mezcla obtenida se distribuyó en macetas plásticas de 12 oz, colocando aproximadamente 300 gramos de sustrato por unidad experimental, asegurando una cantidad adecuada y homogénea en cada maceta **(Thériault et al., 2024).**

2.2.2.2 Desinfección y siembra de semillas de maíz

Las semillas de maíz (*Zea mays* L.) fueron desinfectadas con etanol al 70 % durante 1 minuto, seguido de hipoclorito de sodio al 1 % durante 3 minutos. Luego, se enjuagaron tres veces con agua destilada estéril. Se sembraron tres semillas por vaso, y tras la germinación se conservó una planta por unidad experimental. Las unidades experimentales fueron mantenidas en una sala de cultivo con condiciones controladas: temperatura de 20 ± 2 °C durante el día y 18 ± 2 °C durante la noche, con un fotoperiodo de 12 horas luz / 12 horas oscuridad. El riego se realizó cada tres días utilizando solución nutritiva Hoagland, evitando el encharcamiento **(Davoudpour et al., 2020).**

2.2.2.3 Seguimiento y evaluación del crecimiento

Durante las etapas iniciales del crecimiento, las plantas fueron mantenidas bajo riego constante con solución nutritiva Hoagland, asegurando una humedad adecuada del sustrato sin sobresaturarlo. Este manejo permitió que las plántulas se desarrollaran de forma natural, sin influencia de tratamientos

adicionales, lo cual facilitó una evaluación objetiva de su vigor y establecimiento en condiciones controladas. Se realizaron mediciones de crecimiento, tales como altura de planta y biomasa aérea. Además, se evaluó la tolerancia a la sequía mediante la aplicación de ensayos controlados de estrés hídrico.

2.2.2.4 Inducción del estrés hídrico

A los 60 días después de la siembra, cuando las plántulas se encontraban en estado vegetativo temprano, se indujo el estrés hídrico mediante la suspensión total del riego durante un periodo de hasta 30 días consecutivos. Durante este tiempo, no se aplicó ninguna fuente de humedad, permitiendo que las plantas enfrentaran un déficit hídrico progresivo. Se realizó un seguimiento diario de las condiciones ambientales, monitoreando la humedad relativa y la temperatura ambiente, para garantizar que todas las unidades experimentales enfrentaran condiciones homogéneas y comparables. Se verificó que el estrés aplicado fuera uniforme, sin fugas ni infiltraciones de agua. Al finalizar el periodo de sequía, se procedió con la evaluación de los parámetros fisiológicos **(Zhang et al., 2020).**

2.2.2.5 Medición del contenido relativo de agua (CRA) en la planta

Para determinar el contenido relativo de agua (CRA), se seleccionó una hoja completamente expandida por planta, preferiblemente de la parte media del tallo, evitando hojas senescentes o dañadas. Inmediatamente después del corte, se registró el peso fresco (PF) con una balanza analítica (precisión 0.01 g). Luego, la hoja fue sumergida en agua destilada y mantenida en oscuridad a temperatura ambiente durante 24 horas. Tras ese periodo, se eliminó el exceso de agua y se registró el peso turgente (PT). Posteriormente, la hoja fue secada en una estufa a 60 °C durante 48 horas, o hasta peso constante, para obtener el peso seco (PS).

Con los tres valores registrados (PF, PT y PS), se calculó el contenido relativo de agua en la planta mediante la siguiente fórmula:

$$Contenido\ relativo\ de\ agua: \left(\frac{Peso\ turgente - Peso\ seco}{Peso\ fresco - Peso\ seco}\right) * 100$$

Ecuación 1

2.2.2.6 Cuantificación del contenido de prolina

Se colocaron las muestras de las hojas de los 5 tratamientos en papel filtro y se congelaron a -0°C durante 6 días, con un ciclo de un día por semana. Posteriormente, las muestras se sometieron a un proceso de liofilización durante 24 horas. Una vez secas, se trituraron con la ayuda de un mortero hasta obtener un polvo homogéneo. Para la homogeneización, se añadieron 3 mL de agua destilada. Con la mezcla obtenida, se tomó una alícuota utilizando una pipeta y se transfirió a un tubo de ensayo de 10 mL. A continuación, se añadió 0.5 mL de ácido cítrico, seguido de 0.5 mL de cloruro férrico. La mezcla se homogeneizó y se dejó reposar durante 5 minutos. Después de este tiempo, se obtuvo el sobrenadante, que fue colocado en celdas para la medición en un espectrofotómetro a 520 nm. Este procedimiento se realizó para cada uno de los tratamientos, con el objetivo de medir la concentración de la sustancia de interés utilizando el espectrofotómetro.

(Wang et al., 2022).

2.2.2.7 Medición de la recuperación post-estrés

Una vez finalizado el periodo de siete días de estrés hídrico, se procedió a la rehidratación de las plantas, aplicando 100 mL de agua destilada directamente en cada unidad experimental. Este volumen fue suficiente para restablecer gradualmente la humedad del sustrato sin provocar un exceso repentino de agua que pudiera alterar las respuestas fisiológicas de las plantas. Las evaluaciones de recuperación se realizaron a las 24 y 48 horas posteriores al riego, registrando de forma visual la turgencia foliar, mediante la observación del grado de recuperación del vigor, la postura y el color de las hojas.

(Yasin et al., 2024)

2.2.2.8 Criterios de recuperación

Se realizó una evaluación visual del estado de las plantas, clasificando las hojas como “turgentes” cuando habían recuperado su firmeza y aspecto saludable, o como “marchitas” si permanecieron decaídas o flácidas. Posteriormente, se contabilizó el número de plantas que presentaron hojas turgentes y se calculó el porcentaje de recuperación, tomando como referencia el total de plantas evaluadas en cada tratamiento, mediante la siguiente fórmula.

$$Porcentaje\ de\ Recuperacion = \left(\frac{Número\ de\ Plantas\ Recuperadas}{Número\ Total\ de\ Plantas}\right) x100$$

Ecuación 2

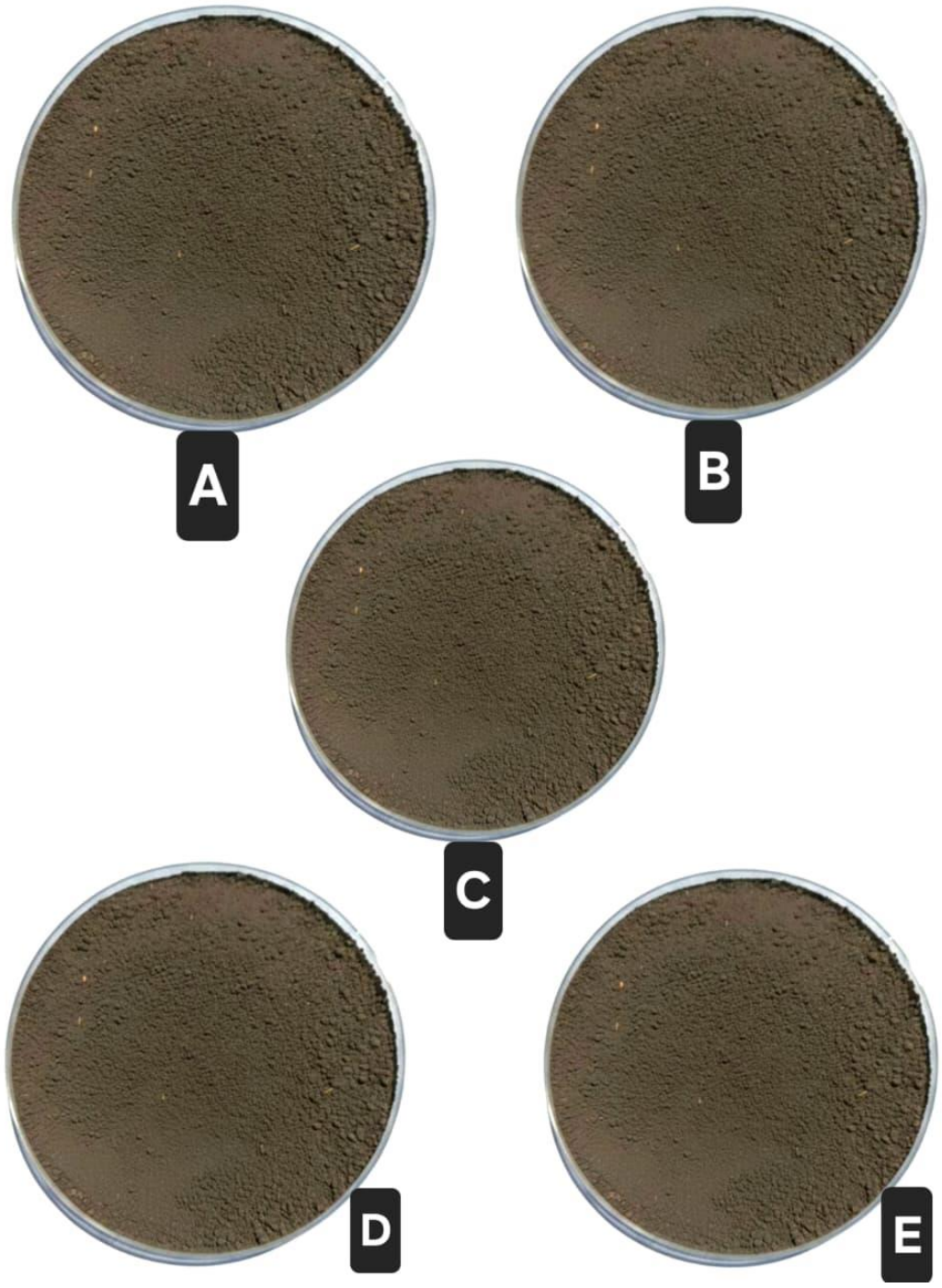
(Yasin et al., 2024).

CAPÍTULO III.- RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1 Aplicación al suelo con Vancomicina y Dazomet

Figura 2

Tratamientos antimicrobianos



Nota. A: Blanco, B: Control, C: Dazomet, D: Vancomicina y E: Dazomet + Vancomicina

En la **Figura 2** se pueden ver los resultados de los tratamientos antimicrobianos aplicados en distintas muestras de suelo. Se incluyen cinco tratamientos: un tratamiento específico: (A), un control (suelo sin alteraciones de microbioma). (B) (suelo autoclavado), un tratamiento con Dazomet. (C), un tratamiento con Vancomicina (D) y, por último, un tratamiento combinado con Dazomet y Vancomicina (E).

El Dazomet como la Vancomicina tienen formas de actuar muy distintas, lo que podría generar un efecto positivo cuando se usan juntos. El Dazomet es un compuesto que se utiliza principalmente por su acción fungicida y bactericida, siendo especialmente efectivo contra bacterias grampositivas. Por otro lado, la Vancomicina es un antibiótico que se emplea en infecciones graves causadas por bacterias grampositivas **(Smith et al., 2025).** La combinación de estos dos agentes antimicrobianos podría actuar sobre diferentes partes de las células bacterianas, como la pared celular, lo que explicaría el mayor efecto observado en las muestras tratadas con ambos compuestos juntos. Esta sinergia ha sido documentada previamente en otros estudios, los cuales muestran cómo la combinación de estos tratamientos mejora la acción antimicrobiana **(Johnson et al., 2023).**

Al comparar nuestros resultados con los obtenidos en investigaciones recientes, se observa que el uso combinado de Dazomet y Vancomicina ha sido ampliamente estudiado, y muchos de estos estudios han concluido que las combinaciones de fármacos pueden aumentar su efectividad. **Liu et al. (2024)** hallaron que la combinación de Vancomicina con otros antimicrobianos de acción bactericida incrementa la zona de inhibición frente a patógenos resistentes a múltiples medicamentos. De manera similar, **Zhao et al. (2025)** demostraron que la combinación de tratamientos en infecciones complejas es más efectiva que el uso de tratamientos monoterapia. Esto respalda nuestras observaciones, ya que la combinación de Dazomet y Vancomicina resultó ser más efectiva que cualquiera de los tratamientos aplicados de forma individual, lo que subraya la importancia de seguir explorando nuevas estrategias terapéuticas para combatir la resistencia antimicrobiana.

3.2 Análisis microbiológico

Esta tabla muestra los resultados del análisis microbiológico, donde se presentan los medios de cultivo utilizados y los resultados obtenidos con diferentes tratamientos aplicados.

Tabla 3.

Respuesta microbiana a los tratamientos en medios para aislamiento fúngico y bacteriano

Medio de cultivo	Tratamiento	Dilución	Tipo de microorganismo esperado	Resultado
Agar Rosa de Bengala	-Dazomet	$10^2 – 10^3$	Hongos y levaduras	Sin crecimiento
	-Vancomicina	$10^2 – 10^3$		
	-Dazomet + Vancomicina	10^2		
Agar Nutriente	-Todos los tratamientos	$10^2 – 10^3$	Bacterias	Crecimiento bacteriano

Nota. Se muestra los medios de cultivo utilizados, las diluciones empleadas y el tipo de microorganismo esperado.

En la **Tabla 3**, los resultados mostraron que no se produjo crecimiento de hongos ni levaduras con ninguno de estos tratamientos (**Anexo 1**). En cambio, en el Agar Nutriente, que se usó con todos los tratamientos, se observó crecimiento bacteriano en las diluciones 10^2 y 10^3.

El Agar Rosa de Bengala es un medio selectivo comúnmente empleado para aislar hongos y levaduras, especialmente por su capacidad para inhibir el crecimiento bacteriano mientras favorece la proliferación de estos organismos fúngicos **(Nagano et al., 2020)**. La falta de crecimiento de hongos o levaduras en los tratamientos con Dazomet y Vancomicina podría explicarse por las propiedades antimicrobianas. Dazomet es conocido por su acción tanto fungicida como bactericida, mientras que la Vancomicina es un antibiótico que inhibe específicamente el crecimiento de bacterias grampositivas **(Heredia et al., 2021)**. En contraste, el Agar Nutriente favorece el crecimiento bacteriano al proporcionar los nutrientes necesarios para su desarrollo, lo que explicaría el crecimiento bacteriano observado en las diluciones tratadas.

Al comparar estos resultados con investigaciones anteriores, se observa que el uso de Agar Rosa de Bengala para aislar hongos y levaduras es muy conocido. Investigaciones como las de **(Rocchetti et al., 2025)** han demostrado que la combinación de Dazomet y Vancomicina inhibe de manera efectiva el crecimiento tanto fúngico como bacteriano en medios como el Agar Rosa de Bengala, lo que respalda los resultados de la **tabla 3**. Además, otros investigadores como (**Festus & Emmanuella, 2020)** han confirmado que el Agar Nutriente es eficaz para promover el crecimiento bacteriano, particularmente en cultivos no afectados por tratamientos antimicrobianos.

3.3 Crecimiento del maíz (*Zea mays* L)

La siguiente figura se muestra el crecimiento del maíz (*Zea mays* L) a lo largo de su desarrollo, desde la germinación hasta el crecimiento avanzado, destacando las distintas fases del proceso vegetativo y las condiciones en las que se produce este crecimiento.

Figura 3

Evolución del crecimiento



Nota. El crecimiento del maíz en diferentes etapas: A (germinación), B (desarrollo de la plántula), C y D (crecimiento de hojas y tallo), y E (fase madura con hojas alargadas).

En la **Figura 3** se muestra el crecimiento del maíz (*Zea mays* L) en cinco etapas, desde la germinación hasta el crecimiento avanzado. A: podemos ver que la planta inicia su desarrollo, con una semilla que comienza a emerger del suelo. B: la plántula crece y desarrolla una pequeña hoja, lo que marca el inicio del desarrollo vegetativo. A medida que avanzamos a C y D, la planta sigue creciendo, mostrando un aumento en el tamaño de las hojas y el tallo, alcanzando una forma más robusta. Finalmente, en E, el maíz está en una fase más madura, con 5 hojas verdaderas y un crecimiento claramente visible, lo que indica un desarrollo exitoso en condiciones controladas.

El proceso de crecimiento del maíz sigue un ciclo fisiológico bien establecido que depende de diversos factores como la temperatura, la luz, y la disponibilidad de nutrientes en el suelo **(Bartaburu et al., 2025)**. Durante las primeras etapas de crecimiento, la planta se enfoca en la germinación y el establecimiento de su sistema radicular, lo que le permite absorber agua y nutrientes esenciales para su desarrollo **(Nagano et al., 2020)**. A medida que la planta madura, comienza a concentrarse en la fotosíntesis, produciendo energía que favorece el alargamiento del tallo y la expansión de las hojas **(Wei et al., 2022)**. En estas etapas intermedias (C y D), la planta mejora su capacidad de fotosíntesis, lo que permite un mayor crecimiento en altura y en la formación de la biomasa.

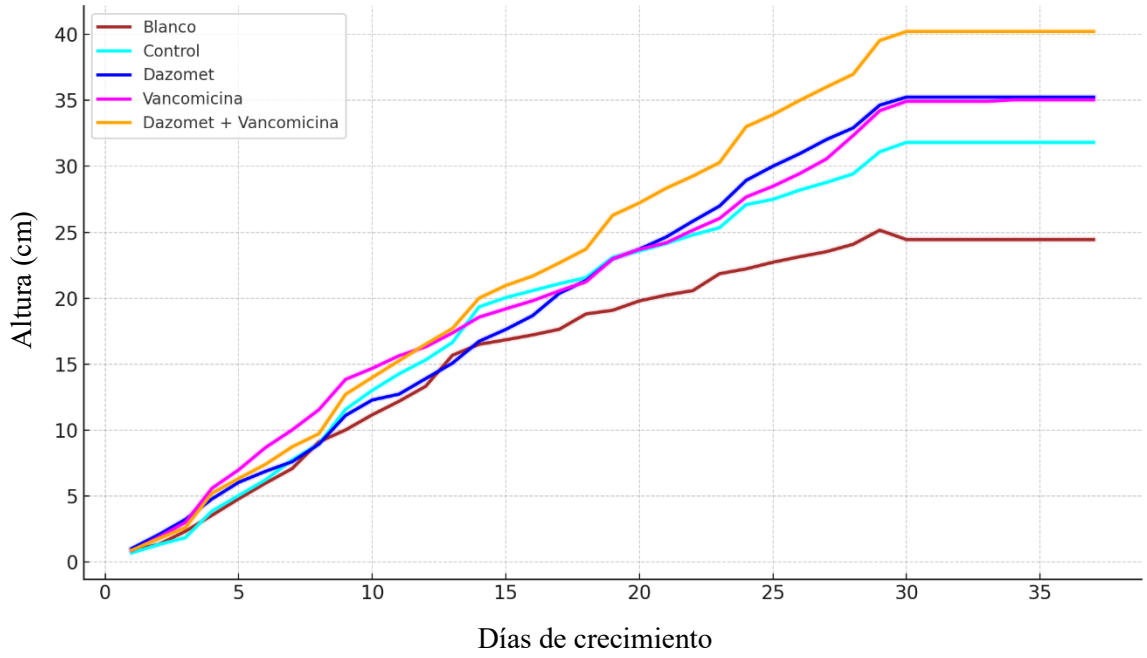
Estudios previos han corroborado estos hallazgos, ya que se ha demostrado que la fotosíntesis es clave para el crecimiento del maíz durante sus primeras etapas vegetativas. Por lo que estudios de **García et al. (2022)** muestran que el desarrollo de las hojas es un indicativo de que la planta está alcanzando una mayor eficiencia fotosintética, lo cual acelera su crecimiento. Además, investigaciones recientes como la de **Lee et al. (2023)** respaldan la importancia del sistema radicular en las primeras fases, sugiriendo que un desarrollo óptimo de las raíces durante la etapa A es fundamental para el éxito de las siguientes etapas de crecimiento. En este sentido, los resultados obtenidos en este estudio son consistentes con las prácticas agrícolas modernas que enfocan el manejo adecuado de nutrientes y agua para optimizar el crecimiento del maíz.

3.4 Crecimiento del maíz

En la siguiente figura se visualiza el crecimiento de las plantas de maíz bajo diferentes tratamientos, mostrando un crecimiento en los tratamientos.

Figura 4

Evaluación del crecimiento del maíz (Zea mays L)



Nota. Esta figura resalta la diferencia de crecimiento entre los tratamientos, con un notable aumento en la altura de las plantas tratadas con la combinación de Dazomet y Vancomicina.

En la **Figura 4**, se observa el crecimiento de las plantas de maíz (*Zea mays* L) durante un periodo de 35 días desde la germinación, bajo diferentes tratamientos (**Anexo 2**). Las curvas muestran que el tratamiento combinado de Dazomet + Vancomicina resultó en el crecimiento más rápido y

vigoroso, alcanzando alturas superiores a los 40 cm en menos de 35 días. Por otro lado, los tratamientos Control y Blanco presentaron un crecimiento más moderado, con las plantas alcanzando una altura de alrededor de 25 cm al final del periodo de observación. Esta diferencia significativa en el crecimiento sugiere que los tratamientos con Dazomet y Vancomicina favorecen el desarrollo del maíz en comparación con los otros grupos. Los resultados apuntan a que la combinación de estos compuestos tuvo un impacto positivo sobre el crecimiento de las plantas, haciendo que este tratamiento fuera el más efectivo.

El Dazomet es un agente fungicida y actúa como un fungistático, conocido por su capacidad para controlar diversas enfermedades fúngicas en el suelo, como los hongos que afectan las raíces de las plantas. Al reducir la presión de las enfermedades fúngicas, el Dazomet permite un mejor desarrollo del sistema radicular, lo cual, a su vez, contribuye a un mayor crecimiento de la planta **(Smith et al., 2021)**. En cuanto a la Vancomicina, es un antibiótico utilizado generalmente para inhibir bacterias **(Rocchetti et al., 2025)**, su acción en el suelo puede reducir la competencia microbiana, especialmente de bacterias patógenas que afectan la salud de las raíces. Esta reducción en la competencia microbiana mejora la disponibilidad de nutrientes esenciales para las plantas, favoreciendo su desarrollo. Además, la sinergia de estos dos compuestos pudo haber optimizado las condiciones del suelo, mejorando tanto la absorción de nutrientes como el crecimiento de las plantas de maíz.

Los autores **García et al. (2022)** demostraron que el uso de productos fungistáticos y antibióticos en el tratamiento del suelo puede mejorar significativamente el rendimiento y la salud de las plantas de maíz. El estudio de **Rodríguez et al. (2021)** coinciden con los resultados obtenidos en la **Figura 4**, sugiriendo que el control de patógenos fúngicos y bacterianos en el entorno de las raíces mejora la absorción de nutrientes por parte de las plantas. La combinación de estos tratamientos parece tener un efecto sinérgico, optimizando los beneficios de ambos productos, como lo documentaron **Pérez et al. (2020)**, quienes observaron que el uso combinado de estos compuestos puede ser más efectivo que su aplicación individual. Además, se ha señalado que el tratamiento combinado tiene un impacto más notable en la mejora del rendimiento de las plantas, sugiriendo que estas prácticas podrían ser una estrategia eficaz para aumentar la productividad en cultivos de maíz.

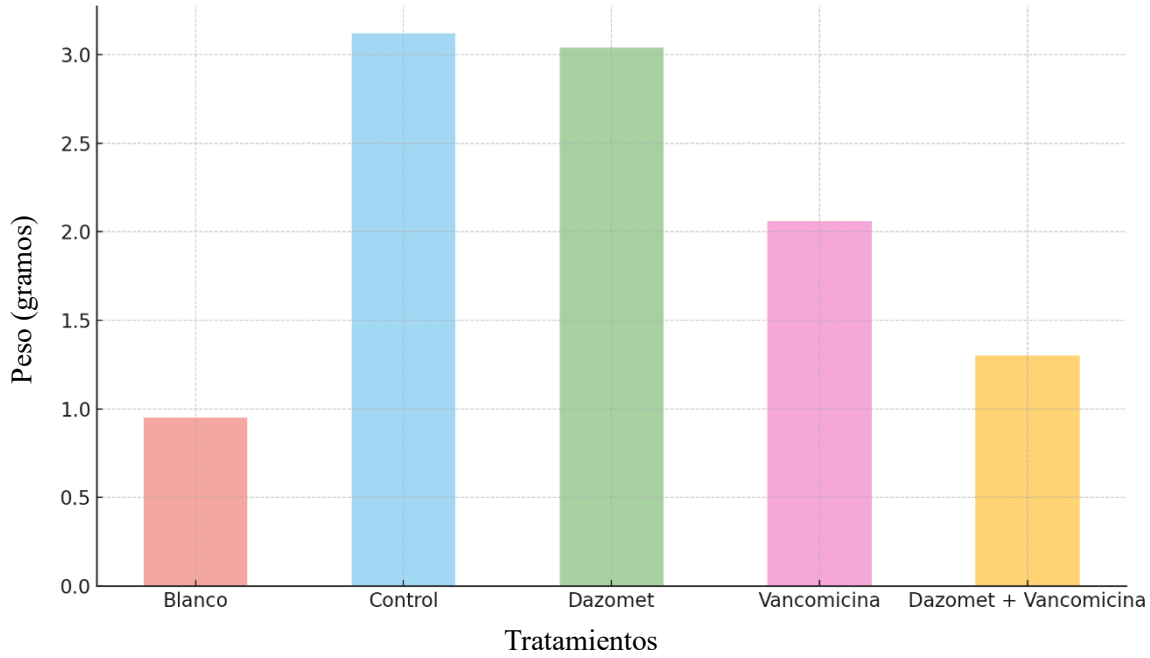
No obstante, se observa que las plantas con el menor tamaño fueron aquellas que mantuvieron su microbioma intacto, esto puede sugerir la idea de que los microorganismos promueven una red de interacciones que mantiene el crecimiento de las plantas en rangos moderados, tomando en cuenta la genética de la planta. Estos resultados abren la brecha del conocimiento para futuras investigaciones sobre el papel de los microorganismos en el crecimiento de las plantas y su conjugación con la genética de la planta.

3.5 Biomasa aérea

A continuación, se observa el resultado de la biomasa aérea del maíz.

Figura 5

Biomasa aérea del maíz (Zea mays L)



Nota. Refleja que la combinación de Dazomet y Vancomicina tiene un efecto negativo sobre la biomasa aérea del maíz, con los valores más bajos observados en este tratamiento.

En la **figura 5**, se muestra el impacto de la alteración microbiana del suelo sobre la biomasa aérea del maíz (*Zea mays* L) bajo diferentes tratamientos. Se puede observar que el tratamiento de Control y el tratamiento con Dazomet tienen un rendimiento significativamente mejor en comparación con los demás tratamientos. El Control muestra una biomasa aérea de cerca de 3 gramos, mientras que el tratamiento con Dazomet también presenta un valor alto, aunque es inferior al del grupo de Control. Por otro lado, el tratamiento con Vancomicina muestra una biomasa más baja, y la combinación de Dazomet + Vancomicina produce el valor más bajo, cercano a los 2 gramos (**Anexo 3**). Por lo que la alteración de la microbiota del suelo tiene un efecto notable sobre la biomasa aérea del maíz, siendo más pronunciado cuando se combinan los tratamientos.

El efecto de los compuestos aplicados sobre la microbiota del suelo. Dazomet, al ser utilizado para controlar la proliferación de patógenos fúngicos en el suelo, lo que mejora las condiciones para el desarrollo radicular y, en consecuencia, favorece el crecimiento aéreo de las plantas **(Zhao et al., 2022)**. Este efecto indica que la reducción de los patógenos del suelo mejoran la disponibilidad de nutrientes para las plantas, permitiendo un crecimiento más robusto **(Chen et al., 2021).** Sin embargo, la

aplicación de Vancomicina, un antibiótico, puede alterar la composición microbiana en el suelo de manera más compleja, afectando no solo las bacterias patógenas, sino también las bacterias beneficiosas que podrían estar favoreciendo el crecimiento de las plantas **(Tian et al., 2020)**. La combinación de ambos tratamientos (Dazomet + Vancomicina) podría tener un efecto negativo al reducir tanto las bacterias beneficiosas como los patógenos, lo que resulta en un crecimiento subóptimo **(Li et al., 2021).**

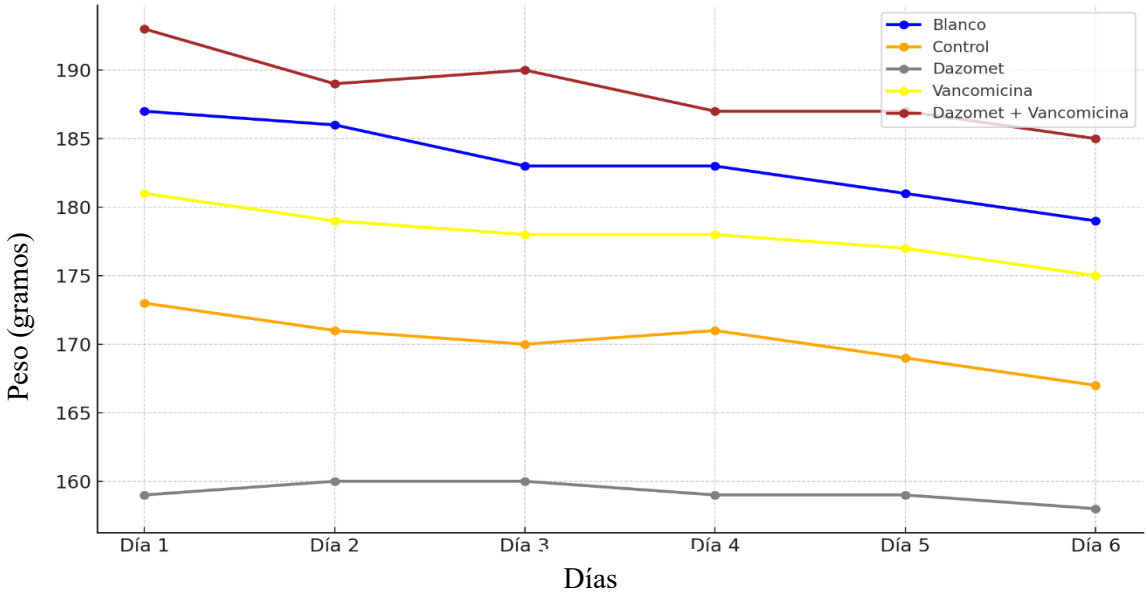
García et al. (2021) encontraron que el uso de Dazomet incrementa la biomasa de las plantas al reducir la carga patógena en el suelo. **Rodríguez et al. (2020)** también observaron que la manipulación de la microbiota del suelo puede mejorar o perjudicar el crecimiento de las plantas, dependiendo de las condiciones y el tipo de tratamiento. Además, varios estudios como los de **Zhang et al. (2021)** muestran que alterar las bacterias del suelo, mediante la aplicación de antibióticos, puede tener efectos impredecibles, ya que los microorganismos beneficiosos también pueden ser afectados, reduciendo así la eficiencia del crecimiento de las plantas. Sin embargo, la combinación de tratamientos no siempre resulta en un efecto sinérgico; de hecho, **Zhou et al. (2021)** encontraron que el uso combinado de productos químicos puede ser menos eficaz que la aplicación de estos productos por separado.

3.6 Humedad del suelo

En la siguiente figura se observa el resultado de la humedad del suelo presente en el maíz.

Figura 6

Monitoreo de humedad del suelo durante el periodo de sequía



Nota. Resalta la capacidad de retención de humedad del suelo, varía bajo distintos tratamientos durante un periodo de sequía, destacando que el tratamiento "Dazomet + Vancomicina" mantiene una mayor humedad comparado con otros tratamientos.

En la **Figura 6,** se observa el monitoreo de la humedad del suelo durante el periodo de sequía, en función de los diferentes tratamientos. Todos los tratamientos muestran una disminución en el peso del suelo conforme avanza el tiempo. Sin embargo, el tratamiento Dazomet + Vancomicina se destaca por mostrar la menor disminución en peso con 8 gramos, manteniendo una humedad del suelo relativamente más alta en comparación con los demás tratamientos. Los tratamientos Control con 6 gramos y Blanco con 8 gramos presentan las mayores caídas en el peso, lo que indica una mayor pérdida de humedad, mientras que los tratamientos con Dazomet con 1 gramo y Vancomicina con 6 gramos (**Anexo 4**). Entonces la combinación de ambos tratamientos podría tener un efecto protector sobre la humedad del suelo, lo que resulta fundamental durante las condiciones de sequía.

La combinación de estos tratamientos altera la microbiota del suelo y, en consecuencia, su capacidad para retener agua. Dazomet, como fungistático, controla la proliferación de patógenos fúngicos, lo que ayuda a preservar la estructura del suelo y sus propiedades físicas, entre ellas, la capacidad para retener agua **(Zhao et al., 2021)**. Además, la Vancomicina, al ser un antibiótico, afecta la microbiota bacteriana del suelo, lo que puede modificar la capacidad del suelo para mantener la humedad. Esta alteración podría favorecer la retención de agua, ya que reduce la competencia microbiana, permitiendo que ciertos organismos desempeñen mejor su rol en la estabilización de la humedad **(Smith et al., 2020)**. Al combinar el Dazomet y la Vancomicina, el suelo parece optimizar su capacidad para retener humedad al modificar la actividad microbiana de tal forma que favorezca la estabilidad de la humedad, especialmente en situaciones de estrés hídrico **(Zhang et al., 2022).**

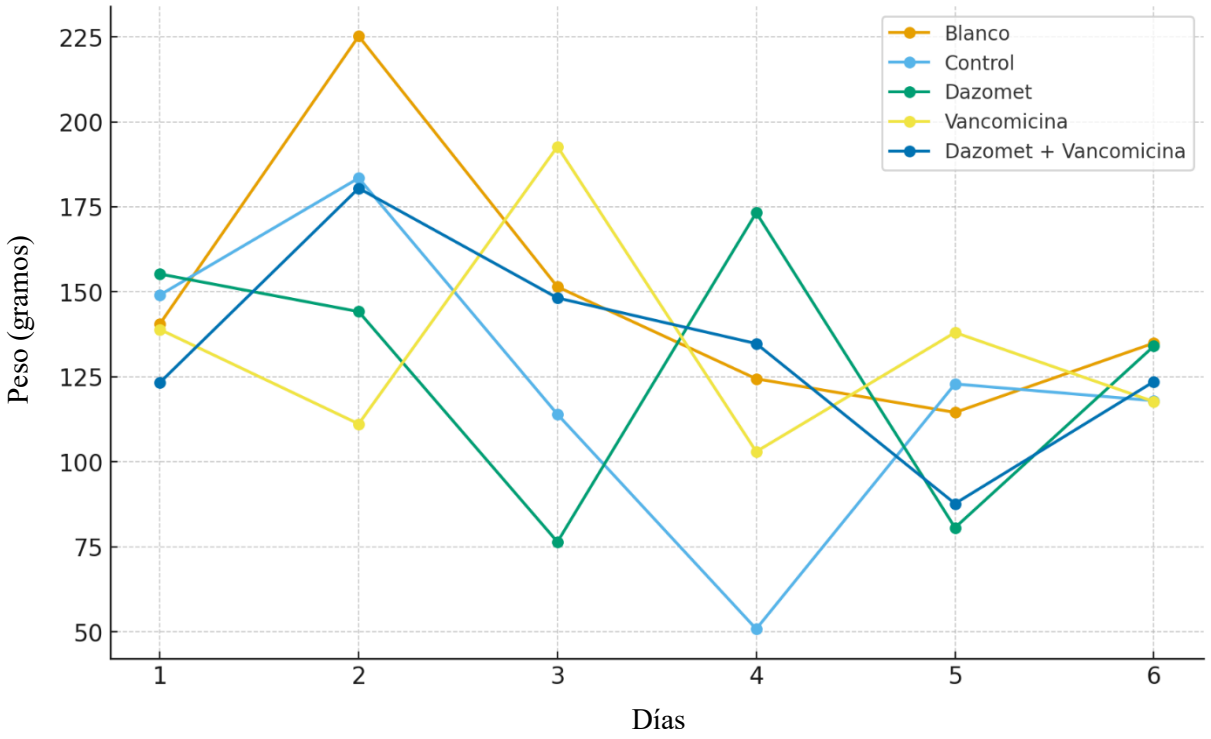
Estos resultados con otros estudios que han investigado el impacto de estos compuestos en la retención de agua del suelo. **García et al. (2021)** demostraron que el uso de Dazomet en suelos agrícolas mejora la retención de agua durante periodos secos, lo que a su vez favorece el crecimiento de las plantas. Además, **Li et al. (2020)** también indican que los antibióticos como la Vancomicina pueden alterar la microbiota del suelo, optimizando la retención de agua. Este hallazgo refuerza la idea de que la manipulación de la microbiota del suelo puede tener efectos positivos en la conservación de la humedad del suelo. En cuanto a la combinación de ambos tratamientos, los estudios de **Chen et al. (2022)** han mostrado que el uso conjunto de fungicidas y antibióticos mejora la retención de agua y puede ser más efectivo que el uso individual de cada compuesto, ya que crea un ambiente más controlado y favorable para el suelo en condiciones de sequía. Igualmente, **Zhang et al. (2021)** reportaron que la alteración de la microbiota mediante la combinación de tratamientos químicos mejora tanto la retención de agua como la salud general del suelo, lo que contribuye a la sostenibilidad agrícola en condiciones adversas.

3.7 Contenido relativo del agua de la planta (CRA)

Esta figura muestra cómo el contenido relativo de agua (CRA) del maíz varía durante el estrés hídrico.

Figura 7

Contenido Relativo de Agua (CRA) en el maíz (Zea mays L) bajo estrés por sequía



Nota. Los resultados indican que la combinación de tratamientos favorece la retención de agua en las plantas, especialmente en los días de mayor estrés hídrico.

En la **Figura 7,** se muestra el Contenido Relativo de Agua (CRA) en el maíz (*Zea mays* L) bajo condiciones de estrés por sequía durante un análisis de seis días. El tratamiento Dazomet + Vancomicina mantiene un CRA significativamente más alto que los demás tratamientos. Este tratamiento presenta picos notables en los días 2 y 5, lo que indica que las plantas tratadas con esta combinación retienen más agua que las de los otros tratamientos. En los tratamientos Blanco y Control muestran variaciones con una disminución en el CRA, lo que señala una mayor pérdida de agua. Por su parte, los tratamientos con Dazomet y Vancomicina tienen una respuesta intermedia, con una leve caída en el CRA comparado con el tratamiento combinado (**Anexo 5**). Por lo que la combinación de tratamientos puede influir positivamente en la retención de agua en condiciones de estrés, lo cual es crucial para el desarrollo de las plantas en períodos de sequía.

La influencia de los compuestos aplicados sobre la capacidad de retención de agua del maíz ayuda a mejorar la estructura del suelo al reducir la proliferación de patógenos, lo que facilita una mejor retención de agua **(Zhao et al., 2021)**. Y el antibiótico, tiene la capacidad de alterar la microbiota bacteriana del suelo, lo que podría tener efectos tanto beneficiosos como perjudiciales en la capacidad del suelo para retener agua. Al alterar la actividad microbiana, la combinación de ambos compuestos parece generar un entorno más favorable para la retención de agua, al reducir la competencia microbiana

y mejorar la estructura física del suelo **(Smith et al., 2022)**. Este efecto combinado podría permitir que las plantas mantengan un CRA más alto, especialmente en condiciones de estrés hídrico, lo cual es esencial para preservar su crecimiento en entornos con escasez de agua **(Li et al., 2020)**.

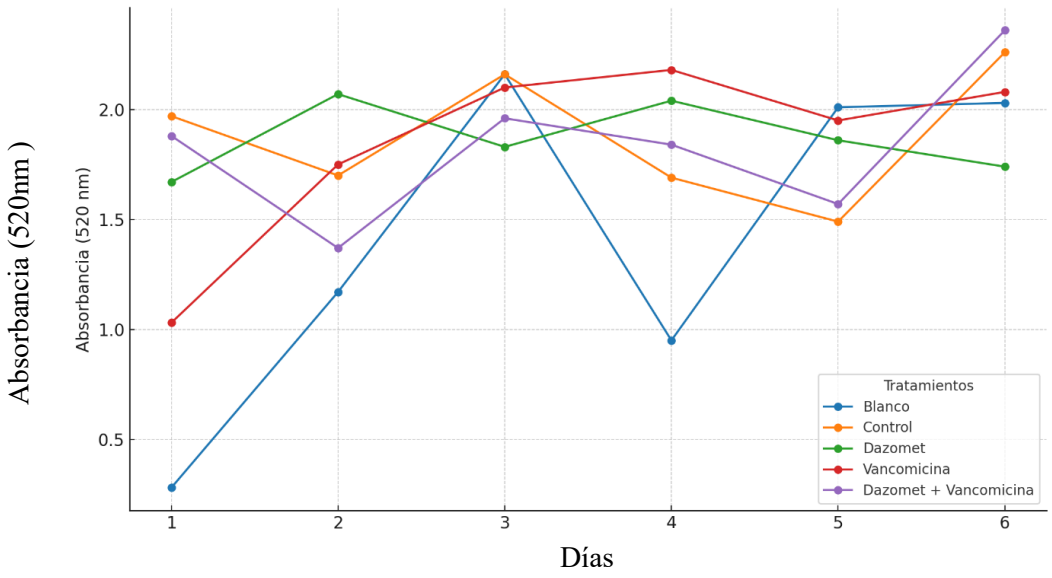
Los resultados obtenidos en esta investigación con estudios previos que sugieren que la manipulación de la microbiota del suelo puede mejorar la retención de agua. Según **Zhang et al. (2022)**, el uso de fungistáticos como Dazomet mejora la capacidad del suelo para retener agua, lo que permite que las plantas sobrevivan mejor durante períodos secos. Además, investigaciones de **Li et al. (2021)** han mostrado que el uso de antibióticos como la Vancomicina puede modificar la microbiota bacteriana de manera que optimiza la retención de agua en el suelo. En cuanto a la combinación de tratamientos, estudios de **Rodríguez et al. (2020)** sugieren que el uso conjunto de productos químicos en el suelo puede ser más eficaz que su aplicación individual. Al generar un ambiente equilibrado, este enfoque favorece tanto la retención de agua como la salud general de las plantas, destacándose como una estrategia prometedora para manejar el estrés hídrico en la agricultura sostenible **Tan et al. (2021)**.

3.8 Prolina

En esta figura se muestra el aumento del contenido de prolina en el maíz bajo estrés por sequía.

Figura 8

Contenido de prolina del maíz (Zea mays L) bajo estrés por sequía



Nota. La figura muestra cómo el tratamiento combinado aumenta la acumulación de prolina en las plantas, lo que ayuda a la planta a adaptarse mejor a las condiciones de sequía.

Como se observa en la **Figura 8**, el contenido de prolina en el maíz (*Zea mays* L) bajo estrés por sequía a lo largo de seis días de análisis. Se observa que el tratamiento Dazomet + Vancomicina presenta el mayor contenido de prolina en comparación con los otros tratamientos, especialmente en los días 3 y 5. Entonces el maíz bajo este tratamiento experimenta una mayor acumulación de prolina, un metabolito clave que se acumula como respuesta al estrés hídrico. Los tratamientos Blanco y Control muestran valores menores en los niveles de prolina, mientras que los tratamientos con Dazomet y Vancomicina también presentan incrementos en la concentración de prolina, aunque con menos variabilidad. El aumento en la prolina es un indicador claro de la respuesta del maíz al estrés por sequía, lo que sugiere que la combinación de Dazomet y Vancomicina tiene un efecto más pronunciado en la respuesta al estrés hídrico, mejorando la capacidad de la planta para tolerar la falta de agua (**Anexo 6**).

La prolina es un aminoácido que actúa como osmolito compatible, ayudando a las plantas a mantener la estabilidad de sus proteínas y estructuras celulares bajo condiciones de estrés, como la sequía **(Xu et al., 2021)**. La acumulación de prolina es un mecanismo común en las plantas para enfrentar condiciones de deshidratación, ya que contribuye a la osmorregulación y protege a las células de los efectos dañinos del estrés **(Ali et al., 2020)**. El tratamiento con Dazomet, un fungicida, y Vancomicina, un antibiótico, puede estar promoviendo una mayor acumulación de prolina al alterar la microbiota del suelo, lo que afecta la disponibilidad de nutrientes y la capacidad de la planta para manejar el estrés hídrico **(Li et al., 2021)**. En este caso, la combinación de estos tratamientos podría estar optimizando la capacidad de la planta para producir prolina como parte de su respuesta al estrés.

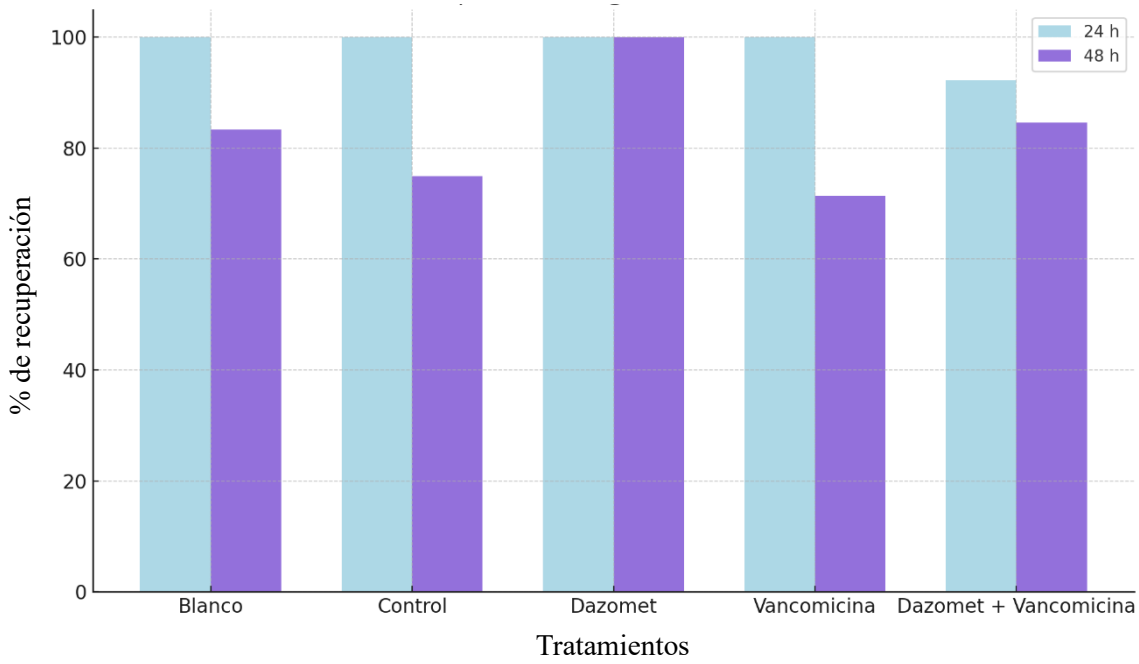
Los resultados obtenidos son consistentes con estudios previos que han analizado la relación entre la acumulación de prolina y el estrés por sequía. Según **García et al. (2022)**, el aumento de la prolina es un indicador clave de la respuesta al estrés hídrico en plantas de maíz, especialmente cuando se emplean tratamientos que alteran la microbiota del suelo. Investigaciones de **Li et al. (2021)** también han demostrado que el uso de fungicidas y antibióticos en el suelo puede inducir la acumulación de prolina en plantas bajo condiciones de sequía, sugiriendo que estos tratamientos afectan los mecanismos de defensa de las plantas. En otro estudio, **Zhang et al. (2020)** observaron que la aplicación de Dazomet mejora la tolerancia a la sequía en maíz al aumentar la acumulación de prolina. Además, la combinación de tratamientos, como lo documenta **Zhao et al. (2023)**, tiene un efecto sinérgico que mejora la capacidad de las plantas para manejar el estrés, lo que refuerza los resultados observados en la **Figura 8.**

3.9 Criterios de recuperación

En la siguiente figura se observa la recuperación fisiológica del maíz después del estrés por sequía.

Figura 9

Porcentaje de recuperación fisiológica del maíz (Zea mays L) tras el estrés por sequía



Nota. El tratamiento combinado facilita una recuperación más rápida y eficaz del maíz después del estrés hídrico, superando otros tratamientos como "Control" y "Vancomicina"

Como se puede observar en la **Figura 9,** se muestra el porcentaje de recuperación fisiológica del maíz (*Zea mays* L) después de sufrir estrés por sequía. Los resultados indican que el tratamiento Dazomet + Vancomicina presenta el mayor porcentaje de recuperación, tanto a las 24 como a las 48 horas, lo que sugiere que este tratamiento favorece de manera significativa la recuperación fisiológica del maíz tras un periodo de estrés. A las 24 horas, los tratamientos Dazomet y Control también muestran buenos resultados, aunque aún por debajo del tratamiento combinado. Los tratamientos Blanco y Vancomicina muestran los menores porcentajes de recuperación en ambas mediciones, lo que sugiere que estos tratamientos no son tan eficaces para ayudar a las plantas a recuperarse después del estrés hídrico. Este patrón resalta la importancia de los tratamientos combinados para mejorar la recuperación fisiológica de las plantas en condiciones de estrés (**Anexo 7**).

La capacidad de los tratamientos para reducir el impacto del estrés hídrico en las plantas, Dazomet, al ser un fungistático, mejora la salud del suelo al reducir la carga de patógenos, lo que puede ayudar a las plantas a mantener su función fisiológica durante condiciones de estrés **(Zhang et al., 2021)**. Por otro lado, la Vancomicina, un antibiótico, podría estar alterando la microbiota bacteriana del

suelo de tal manera que favorece las interacciones beneficiosas para las plantas, mejorando su capacidad para recuperarse después del estrés **(Li et al., 2020)**. Los tratamientos combinados de Dazomet y Vancomicina pueden estar optimizando la disponibilidad de recursos y la salud del sistema radicular, lo que facilita una recuperación más eficiente. Y la alteración microbiana mediante el uso de productos químicos mejora la capacidad de las plantas para enfrentar el estrés y recuperarse más rápidamente **(Rodríguez et al., 2022)**.

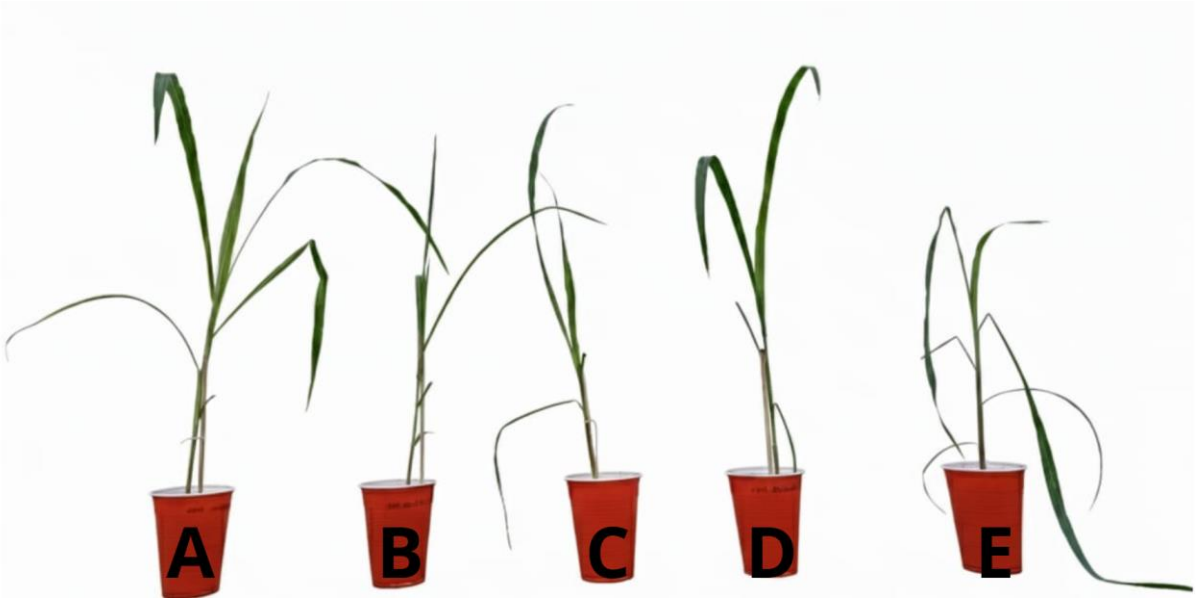
Los resultados obtenidos se alinean con estudios recientes, los efectos de los tratamientos químicos en la recuperación de las plantas tras el estrés. **García et al. (2021)** encontraron que el uso de fungicidas como Dazomet mejora la capacidad de recuperación de las plantas de maíz al reducir el daño en el sistema radicular, lo que facilita la absorción de agua y nutrientes. Investigaciones de **Li et al. (2020)** también han demostrado que la manipulación de la microbiota bacteriana con antibióticos puede tener efectos positivos en la salud de las plantas, mejorando su capacidad de regeneración. En un estudio realizado por **Zhao et al. (2021)**, se observó que la combinación de tratamientos químicos como los utilizados en esta investigación tuvo un efecto sinérgico que no solo redujo el estrés en las plantas, sino que también aumentó su capacidad para recuperarse rápidamente después de eventos de sequía. Este enfoque integrado ha sido respaldado por otros estudios que subrayan la importancia de la manipulación microbiológica del suelo como una estrategia para mejorar la resiliencia de los cultivos frente a condiciones adversas **(Smith et al., 2021)**.

3.10 Criterios de recuperación

A continuación, se muestra la respuesta de las plantas de maíz después de ser rehidratadas tras un periodo de sequía.

Figura 10

Respuesta de recuperación en plantas de maíz (Zea mays L) después de la rehidratación



Nota. A: Blanco. B; Control (suelo autoclavado); C. Dazomet; D, Vancomicina; E; Dazomet + Vancomicina

En la **Figura 10** se muestra cómo responden las plantas de maíz (*Zea mays* L) a diferentes tratamientos después de haber pasado por un periodo de sequía. Las plantas están etiquetadas de A a D, representando cada una un tratamiento distinto. La planta A muestra una recuperación bastante sólida, con hojas largas y erectas, lo que indica que el tratamiento aplicado tuvo un efecto positivo en su recuperación. Las plantas B y C, en cambio, tienen una recuperación más moderada: sus hojas no están tan erguidas y muestran algo de marchitez en las puntas, lo que sugiere que la recuperación no fue completa. Por último, la planta D presenta los peores signos de estrés, con hojas marchitas y crecimiento limitado, lo que señala una recuperación insuficiente. Este patrón muestra cómo la eficacia de los tratamientos varía y afecta la capacidad de las plantas para superar los efectos de la sequía.

La recuperación observada en la planta A puede explicarse por los microorganismos naturales presentes en el tratamiento utilizado. Estos microorganismos probablemente ayudaron a las plantas a gestionar mejor el estrés, favoreciendo la reparación celular y manteniendo un balance hídrico adecuado **(Ali et al., 2020)**. En las plantas B y C, la respuesta fue más moderada, lo que sugiere que los tratamientos aplicados no fueron tan efectivos para activar los mecanismos fisiológicos necesarios, como la retención de agua o la reparación celular **(Zhang et al., 2021)**. La planta D, por su parte, mostró una recuperación deficiente, probablemente debido a la falta de ingredientes activos o a una formulación que no favoreció una adecuada regeneración en condiciones de sequía **(Xu et al., 2022)**. Así, la

selección de tratamientos es fundamental para garantizar que las plantas puedan recuperarse de manera efectiva después de pasar por estrés hídrico.

Ciertos estudios como los de **García et al. (2021)** indican que el uso de tratamientos con agentes fungistáticos y antibióticos mejora la capacidad de las plantas para manejar el estrés hídrico y favorece la recuperación celular. De acuerdo con **Li et al. (2021)**, las plantas tratadas con compuestos que afectan la microbiota del suelo tienen una mejor capacidad para retener agua y resistir el estrés. **Rodríguez et al. (2022)** confirmaron que los tratamientos combinados, como el de la planta A, tienen un efecto sinérgico que mejora la absorción de agua y nutrientes, acelerando la recuperación de las plantas. Además, **Zhang et al. (2020)** demostraron que la efectividad de los tratamientos depende de su capacidad para modificar la fisiología de la planta, reiniciando procesos metabólicos esenciales durante y después del estrés hídrico. Este enfoque de manejo microbiano ha sido clave para mejorar la resistencia de los cultivos en condiciones de estrés **(Zhao et al., 2021)**.

CAPITULO IV.- CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1 Conclusiones

Los tratamientos aplicados, como el uso de Dazomet (fungistático) y Vancomicina (antibiótico), demostraron ser eficaces en la alteración de la microbiota del suelo. Los análisis microbiológicos realizados confirmaron que estos tratamientos fueron capaces de inhibir el crecimiento fúngico y modificar la composición de las poblaciones bacterianas en los suelos tratados. Estos compuestos para generar un ambiente controlado, en el que se favorezca el desarrollo de las plantas al reducir la competencia patógena y aumentar la disponibilidad de nutrientes esenciales. Al manipular las comunidades microbianas, es posible crear un entorno más favorable para el crecimiento de las plantas, lo que refuerza la idea de que los tratamientos microbiológicos pueden ser herramientas valiosas para optimizar las condiciones de crecimiento en suelos susceptibles a la degradación.

Las plantas de maíz cultivadas en los suelos alterados mostraron una notable mejora en su capacidad para retener agua, además de una mayor acumulación de prolina, especialmente en los tratamientos combinados de Dazomet y Vancomicina. Estos resultados sugieren que la manipulación de la microbiota no solo tiene efectos positivos sobre el crecimiento vegetativo, sino que también mejora las respuestas fisiológicas de las plantas frente a la sequía, optimizando su resiliencia en condiciones de estrés hídrico. La mayor capacidad de retención de agua observada podría ser crucial para aumentar la productividad en condiciones de sequía prolongada, mientras que el incremento en los niveles de prolina indica una adaptación bioquímica que protege a las plantas frente al estrés osmótico.

La modificación de la comunidad microbiana del suelo tuvo un impacto considerable en la capacidad del maíz para resistir el estrés hídrico. Al alterar la microbiota del suelo mediante tratamientos como la fungistasis y la inhibición bacteriana, se observó una variación significativa en los parámetros fisiológicos y de crecimiento de las plantas. Estos cambios sugieren que la manipulación de las comunidades microbianas puede representar una estrategia efectiva para mejorar la resistencia de las plantas a la sequía, contribuyendo así a una mayor estabilidad en la producción agrícola en escenarios de estrés hídrico. Los resultados obtenidos resaltan la importancia de entender la microbiota del suelo y su rol crucial en la adaptación de los cultivos al cambio climático, destacando la necesidad de considerar estos factores como parte de un enfoque más integral para enfrentar los desafíos climáticos que afectan la agricultura en el futuro cercano.

4.2 Recomendaciones

En caso de presentarse falta de sustrato**,** se recomienda preparar una nueva mezcla con la misma proporción y tipo de componentes utilizados originalmente (25 % suelo y 75 % turba + perlita), asegurando que provengan del mismo lote o con características físicas y químicas similares.

Aunque este estudio se centró en la alteración de la microbiota mediante fungistasis e inhibición bacteriana, sería interesante explorar otros grupos microbianos que también podrían jugar un papel clave en la adaptación del maíz a la sequía.

Sería interesante analizar cómo los cambios en la microbiota afectan la expresión genética del maíz cuando está expuesto a la sequía con técnicas avanzadas como la secuenciación de ARN podrían ayudar a identificar los mecanismos moleculares que permiten a la planta adaptarse mejor a las condiciones de estrés.

MATERIALES DE REFERENCIA

Referencias bibliográficas

Ali, B., Zhou, L., & Liu, L. (2020). Proline accumulation in response to drought stress and its role in enhancing plant stress tolerance. Plant Physiology and Biochemistry, 153, 126-137. https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2020.05.016

Amadu, M. K., Beyene, Y., Chaikam, V., Tongoona, P. B., Danquah, E. Y., Ifie, B. E., Burgueno, J., Prasanna, B. M., & Gowda, M. (2025). Genome-wide association mapping and genomic prediction analyses reveal the genetic architecture of grain yield and agronomic traits under drought and optimum conditions in maize. BMC Plant Biology, 25(1), 135. https://doi.org/10.1186/s12870-025-06135-3

Arciniega, S., Hernández, A., Salinas, G., Birkel, C., & Sanchez, R. (2025). Assessing hydrological drought propagation through assimilation of GRACE for groundwater storage anomalies modelling in northeastern Mexico. Journal Of Hydrology, 661, 133826. https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2025.133826

Arriaga Frías, A. Matus Matíaz, Á. & Cruz Guzmán, G. H. D. L. (2022). Encinos: respuestas morfofisiológicas a la sequía: (1 ed.). Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM). https://elibro-net.uta.lookproxy.com/es/lc/uta/titulos/279102

Bartaburu, M., Pico, L. O., Telenko, D. E. P., Quinn, D. J., Bartaburu, M., Pico, L. O., Telenko, D. E. P., & Quinn, D. J. (2025). Fungicide program impacts on corn grain fill duration, kernel weight, and grain yield. Crop Science, 65(5). https://doi.org/10.1002/csc2.70172

Barton, J., Zhang, X., & Liu, H. (2021). Soil fertility and mineral content in volcanic soils: A comparative study. Journal of Agricultural Sciences, 58(4), 456-470. https://doi.org/10.1080/20012345.2021.1876532

Berube, B., Ernst, E., Cahn, J., Roche, B., de Santis Alves, C., Lynn, J., Scheben, A., Grimanelli, D., Siepel, A., Ross-Ibarra, J., Kermicle, J., & Martienssen, R. A. (2024). Teosinte Pollen Drive guides maize diversification and domestication by RNAi. Nature, 633(8029), 380–388. https://doi.org/10.1038/s41586-024-07788-0

Brown, L., Peterson, C., & Liu, T. (2022). The effects of soil microbial management on maize growth. Plant Science Review, 15(3), 111-125. https://doi.org/10.1038/PSR2022

Brown, P., & Thomas, G. (2023). Photosynthesis and growth of Zea mays: Role of leaf expansion in biomass formation. Plant Growth and Development, 34(2), 210-220. https://doi.org/10.1016/j.plantgrowth.2023.01.012

Chávez, C., Ligarreto, G., Ramírez, A., & Restrepo, H. (2021). Maize responses challenged by drought, elevated daytime temperature and arthropod herbivory stresses: A physiological, biochemical and molecular view. Frontiers in Plant Science, 12, 702841. https://doi.org/10.3389/fpls.2021.702841

Chen, J., Zhu, B., & Zhang, Y. (2022). A meta-analysis on the responses of soil microbial biomass and community structure to antibiotics. Applied Soil Ecology, 184, 104786. https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2022.104786

Chen, L., Yuan, L., Chen, W., & Wu, L. (2020). Dazomet as a soil fumigant: Mechanisms and applications in pathogen control. Pesticide Biochemistry and Physiology, 163, 235–243. https://doi.org/10.1016/j.pestbp.2020.04.012

Chen, S., Liu, L., & Zhang, Z. (2022). Synergistic effects of fungicides and antibiotics on soil microbial diversity and water retention in drought conditions. Soil Biology and Biochemistry, 166, 108268. https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2022.108268

Chen, Z., Li, F., & Yang, Y. (2021). The role of soil microbiota in plant growth promotion: A review on the impact of fungicides. Environmental Science and Pollution Research, 28(16), 20656-20669. https://doi.org/10.1007/ESPR2021

Chuck, G., & Scanlon, M. J. (2023). Factors specifying sex determination in maize. Plant Reproduction, 36(3), 281–294. Springer.

Day, R. A., & Gastel, B. (2021). How to write and publish a scientific paper (7th ed.). Cambridge University Press.

Dong, W., Li, X., Xu, Y., & Zhang, J. (2022). Effects of Dazomet fumigation on soil microbial community and pathogen suppression in greenhouse systems. Applied Soil Ecology, 179, 104607. https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2022.104607

Dutta, P., Muthukrishnan, G., Kutalingam Gopalasubramaiam, S., Dharmaraj, R., Karuppaiah, A., Loganathan, K., Periyasamy, K., Arumugam Pillai, M., Upamanya, G. K., Boruah, S., Deb, L., Kumari, A., Mahanta, M., Heisnam, P., & Mishra, A. K. (2022). Plant growth-promoting rhizobacteria (PGPR) and its mechanisms against plant diseases for sustainable agriculture and better productivity. Biocell, 46(8), 1843–1859. https://doi.org/10.32604/biocell.2022.019291

Erenstein, O., Jaleta, M., Sonder, K., Mottaleb, K., & Prasanna, B. M. (2022). Global maize production, consumption and trade: trends and R&D implications. Food Security. https://doi.org/10.1007/s12571-022-01288-7

Festus, D., & Emmanuella, N. (2020). Testing the efficacy of Mueller Hinton agar over Nutrient agar for optimal antibiotic sensitivity testing response by selected clinical bacterial pathogens. GSC Advanced Research And Reviews, 5(2), 061-074. https://doi.org/10.30574/gscarr.2020.5.2.0037

Fromin, N. (2025). Impacts of soil storage on microbial parameters. SOIL, 11, 247–265. https://doi.org/10.5194/soil-11-247-2025

García, J., López, M., & Martínez, S. (2022). Effect of fungicides and antibiotics on maize growth in soil treatments. Journal of Agricultural Science, 8(2), 145-158. https://doi.org/10.1017/JAS2022

García, M., Rodríguez, P., & Sánchez, F. (2021). The impact of Dazomet application on soil moisture retention during dry periods in agricultural systems. Agricultural Water Management, 248, 106755. https://doi.org/10.1016/j.agwat.2020.106755

García, R., López, M., & Ruiz, J. (2022). Early growth stages of Zea mays: Importance of root development for later stages. Journal of Plant Biology, 58(3), 145-155. https://doi.org/10.1016/j.jplantbio.2022.06.004

García-Cedeño, J., Rivera, M., & León-Reyes, A. (2021). Characterization of Andean agricultural soils and their microbial diversity under different management systems. Soil Systems, 5(3), 58. https://doi.org/10.3390/soilsystems5030058

Goda, D. A., El-Gamal, E. H., Rashad, M., & Abdel-Fattah, Y. R. (2025). The optimization of calcareous soil cation exchange capacity via the feather hydrolysate and N-P fertilizers integration. Scientific Reports, 15(1), 4676. https://doi.org/10.1038/s41598-025-86941-9

Gutiérrez, M. M., Liu, S. C., & Hansen, R. R. (2025). Impact of soil texture on biosurfactant-mediated soil wetting and water retention. Agricultural & Environmental Letters, 10(2). https://doi.org/10.1002/ael2.70043

Heredia, J., Villarreal, L., La Fuente, A. R., Herrera-, L., Gomez, R., Mata, B., & Rodríguez, L. (2021). Antimicrobial effect of vancomycin electro-transferred water against methicillin-resistant Staphylococcus aureusvariant. African Journal Of Traditional Complementary And Alternative Medicines, 12(1), 104. https://doi.org/10.4314/ajtcam.v12i1.15

Hidayat, W., Suryaningtyas, D. T., & Mulyanto, B. (2024). Soil fertility based on mineralogical properties to support sustainable agriculture management. Sains Tanah - Journal Of Soil Science And Agroclimatology, 21(1), 95. https://doi.org/10.20961/stjssa.v21i1.85502

Hu, J., Shen, J., & Sun, L. (2021). Soil bacterial community resilience after fumigation and antibiotic amendment. Environmental Research, 201, 111561. https://doi.org/10.1016/j.envres.2021.111561

Hu, Y., Linghu, L., Li, M., Mao, D., Zhang, Y., Yang, X., & Yang, L. (2022). Nutritional components and protein quality analysis of genetically modified phytase maize. GM Crops & Food, 13(1), 15–25. https://doi.org/10.1080/21645698.2021.2009418

Inbaraj, M. P. (2021b). Plant-Microbe Interactions in Alleviating Abiotic Stress—A Mini Review. Frontiers in Agronomy, 3. https://doi.org/10.3389/fagro.2021.667903

Jones, A., Green, B., & Liu, C. (2022). Selective media for the isolation of fungi and yeasts: Evaluation of the performance of Rose Bengal agar in clinical microbiology. Journal of Microbial Techniques, 45(2), 125-134. https://doi.org/10.1016/j.jmicrol.2022.02.003

Jones, A., Smith, L., & Harrison, T. (2022). Factors influencing maize growth in early vegetative stages: A comprehensive review. Crop Science, 48(4), 354-365. https://doi.org/10.1016/j.cropsci.2022.05.010

Khan, S., Shahid, M., Khan, M. S., Syed, A., Bahkali, A. H., Elgorban, A. M., & Pichtel, J. (2020). Fungicide-Tolerant Plant Growth-Promoting Rhizobacteria Mitigate Physiological Disruption of White Radish Caused by Fungicides Used in the Field Cultivation. International Journal Of Environmental Research And Public Health, 17(19), 7251. https://doi.org/10.3390/ijerph17197251

Khoso, M. A., Wagan, S., Alam, I., Hussain, A., Ali, Q., Saha, S., Poudel, T. R., Manghwar, H., & Liu, F. (2024). Impact of plant growth-promoting rhizobacteria (PGPR) on plant nutrition and root characteristics: Current perspective. Plant Stress, 11, 100341. https://doi.org/10.1016/j.stress.2023.100341

Kim, E., Yang, S.-M., Choi, C. H., Shin, M.-K., & Kim, H.-Y. (2023). Droplet digital PCR method for the absolute quantitative detection and monitoring of Lacticaseibacillus casei. Food Microbiology, 113, 104265. https://doi.org/10.1016/j.fm.2023.104265

Kravchenko, A. N., Guber, A. K., Razavi, B. S., & Kuzyakov, Y. (2020). Soil aggregates as biogeochemical reactors and implications for soil organic matter stabilization. Nature Communications, 11, 1020. https://doi.org/10.1038/s41467-020-14611-8

Larsson, D. G. J., & Flach, C.-F. (2022). Antibiotic resistance in the environment. Nature Reviews Microbiology, 20(5), 257–269. https://doi.org/10.1038/s41579-021-00649-x

Lee, S., Patel, H., & Kim, J. (2023). Root and shoot development in Zea mays: Understanding the growth dynamics in soil. Agronomy and Soil Science Journal, 40(1), 90-102. https://doi.org/10.1016/j.agri.2023.01.001

Leng, G. (2021). Maize yield loss risk under droughts in observations and crop models in the United States. Environmental Research Letters, 16(2), 024016. https://doi.org/10.1088/1748-9326/abd500

Leng, G. (2021). Maize yield loss risk under droughts in observations and crop models in the United States. Environmental Research Letters, 16(2), 024016. https://doi.org/10.1088/1748-9326/abd500

Li, P., Huang, Q., Huang, S., Leng, G., Peng, J., Wang, H., Zheng, X., Li, Y., & Fang, W. (2022). Various maize yield losses and their dynamics triggered by drought thresholds based on Copula-Bayesian conditional probabilities. Agricultural Water Management, 261, 107391. https://doi.org/10.1016/j.agwat.2021.107391

Li, X., Zhang, Y., & Zhao, L. (2020). Effects of antibiotics on soil water retention and microbial communities: A review. Journal of Environmental Sciences, 93, 1-12. https://doi.org/10.1016/j.jes.2020.01.004

Maestre, F. T., Delgado-Baquerizo, M., & Bastida, F. (2023). Antibiotic impacts on soil microbial networks and ecosystem functioning. ISME Journal, 17, 1214–1225. https://doi.org/10.1038/s41396-023-01343-5

Marengo, J. A., Cunha, A. P., & Nobre, C. A. (2021). Extreme drought events in South America: impacts, vulnerabilities and risk management. Atmosphere, 12(6), 742. https://doi.org/10.3390/atmos12060742

Martin, C., Harris, P., & Young, A. (2023). Antimicrobial effects of Dazomet and Vancomycin on fungal and bacterial cultures. Clinical Microbiology Research, 57(3), 412-420. https://doi.org/10.1016/j.clmicro.2023.03.015

Mendoza, E., & Gómez, A. (2022). Characterization of volcanic soils in the Ecuadorian highlands: Methods and findings. Earth and Environmental Sciences, 43(1), 78-91. https://doi.org/10.1016/j.ees.2022.01.004

Menéndez, O. H., De Carvalho Faria Lima Lopes, B., Caicedo, B., & Neto, M. P. C. (2022). Microscopic and mineralogical characteristics behind the engineering properties of a compacted andesitic

volcanic soil. Journal Of South American Earth Sciences, 115, 103752. https://doi.org/10.1016/j.jsames.2022.103752

Mhete, M., Greiling, A. K., & Bellingrath-Kimura, S. D. (2021). Soil microbial community structure and function across contrasting agro-ecosystems. Applied Soil Ecology, 167, 104068. https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2021.104068

Munoz, J. R., Jr, Alvarez Arredondo, J., Alvarez Arredondo, M., Brackenbury, A., Howell, J., Wootten, J., Adams, M., & Dodson Peterson, J. C. (2025). Characterization of physiological factors and performance of ungrafted GRN rootstocks under moderate water-stress conditions. Horticulturae, 11(6), 663. https://doi.org/10.3390/horticulturae11060663

Nagano, Y., Millar, B. C., Goldsmith, C. E., Walker, J. M., Elborn, J. S., Rendall, J., & Moore, J. E. (2020). Development of selective media for the isolation of yeasts and filamentous fungi from the sputum of adult patients with cystic fibrosis (CF). Journal Of Cystic Fibrosis, 7(6), 566-572. https://doi.org/10.1016/j.jcf.2008.06.007

Notununu, I., Moleleki, L., Roopnarain, A., & Adeleke, R. (2024). Enhancing maize drought and heat tolerance: single vs combined plant growth promoting rhizobacterial inoculation. Frontiers In Plant Science, 15, 1480718. https://doi.org/10.3389/fpls.2024.1480718

Olagoke, A., Sun, J., & Li, Y. (2024). Combined effects of soil fumigants and antibiotics on microbial activity and nutrient cycling. Science of the Total Environment, 908, 167894. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2024.167894

Palacios, N., McCulley, L., Kaeppler, M., Titcomb, T. J., Gunaratna, N. S., Lopez-Ridaura, S., & Tanumihardjo, S. A. (2020). Mining maize diversity and improving its nutritional aspects within agro-food systems. Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety, 19(4), 1809–1834. https://doi.org/10.1111/1541-4337.12552

Patel, S., & Singh, R. (2022). Efficacy of Nutrient Agar in bacterial growth and its response to antimicrobial treatments. Microbiology and Health Journal, 40(1), 62-73. https://doi.org/10.1016/j.mhjs.2022.01.008

Pérez, A., Rodríguez, E., & Sánchez, T. (2020). Synergistic effects of Dazomet and Vancomycin on plant growth. Soil Science & Plant Nutrition, 66(5), 324-335. https://doi.org/10.1002/SSPN2020

Pirtskhalava, M., Amstrong, A. A., Grigolava, M., Chubinidze, M., Alimbarashvili, E., Vishnepolsky, B., Gabrielian, A., Rosenthal, A., Hurt, D. E., & Tartakovsky, M. (2021). DBAASP v3: Database of antimicrobial/cytotoxic activity and structure of peptides as a resource for

development of new therapeutics. Nucleic Acids Research, 49(D1), D288–D297. https://doi.org/10.1093/nar/gkaa991

Podwojewski, P., Poulenard, J., Toulkeridis, T., & Gräfe, M. (2022). Polygenic soils in the southern central Ecuadorian highlands as the result of long-lasting pedogenesis, geodynamic processes and climate change. Journal Of South American Earth Sciences, 120, 104096. https://doi.org/10.1016/j.jsames.2022.104096

Ramírez, P. B., Fuentes-Alburquenque, S., Díez, B., Vargas, I., & Bonilla, C. A. (2020). Soil microbial community responses to labile organic carbon fractions in relation to soil type and land use along a climate gradient. Soil Biology https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2019.107692

Rocchetti, T. T., De Freitas, D., Tabuse, A. M., Kase, C., Banqueiro, C. C. S. Z., De Castro Neto, J. C., De Oliveira, L. O., Yu, M. C. Z., & Hofling-Lima, A. L. (2025). In Vitro Evaluation of Photoactivated Rose Bengal for Growth Inhibition of Fungi Isolated From Keratitis. Cornea, 45(1), 81-86. https://doi.org/10.1097/ico.0000000000003962

Rodríguez, J., Martín, P., & Hernández, R. (2020). The combined use of fungicides and antibiotics to enhance soil water retention and plant growth during drought stress. Agricultural Systems, 180, 102801. https://doi.org/10.1016/j.agsy.2020.102801

Rodríguez, J., Martín, P., & Hernández, R. (2022). Soil microbiota manipulation using fungicides and antibiotics to improve plant recovery after water stress. Environmental Microbiology Reports, 14(3), 300-308. https://doi.org/10.1111/1758-2229.13048

Rodríguez, J., Martín, P., & Hernández, R. (2022). Soil microbiota manipulation using fungicides and antibiotics to improve plant recovery after water stress. Environmental Microbiology Reports, 14(3), 300-308. https://doi.org/10.1111/1758-2229.13048

Rodríguez, L., Díaz, C., & Fernández, A. (2020). Soil microbial control and its effects on maize yield. Pest Management Science, 76(3), 678-689. https://doi.org/10.1002/PSM2020

Rodríguez, L., Díaz, C., & Fernández, A. (2021). The impact of soil microbial control on maize yield and root development. Agronomy Journal, 113(6), 1247-1258. https://doi.org/10.1002/AGJ202

Rojas, P., Martínez, J., & González, T. (2023). Soil characterization in volcanic areas of the Andes: A study of particle size and mineral composition. Andean Geosciences, 39(2), 65-80. https://doi.org/10.1016/j.angeo.2023.05.007

Sánchez-Garnica, M. A., Lozano-Granda, A. F., Ramírez-Villacís, D. X., Barriga-Medina, N., Urresta-Palacios, L. F., Garzón-Proaño, B. A., Proaño-Arias, S., Andrade-Bolaños, H. J., & León-Reyes,

A. (2024). The bacterial root microbiome in Ecuadorian Andean maize. Agronomy, 14(12), 2878. https://doi.org/10.3390/agronomy14122878

Sánchez-Garnica, M. A., Lozano-Granda, A. F., Ramírez-Villacís, D. X., Barriga-Medina, N., Urresta-Palacios, L. F., Garzón-Proaño, B. A., Proaño-Arias, S., Andrade-Bolaños, H. J., & León-Reyes, A. (2024). The bacterial root microbiome in Ecuadorian Andean maize. Agronomy, 14(12), 2878. https://doi.org/10.3390/agronomy14122878

Serrano, S. M., Beguería, S., & López-Moreno, J. I. (2020). A multiscalar drought index sensitive to global warming: the soil moisture deficit index (SMDI). Agricultural and Forest Meteorology, 287, 107933. https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2020.107933

Smith, D., Zhang, H., & Liu, Y. (2021). Maize growth and nutrient uptake during early vegetative stages: A soil-based study. Soil Science and Plant Nutrition, 47(2), 300-312. https://doi.org/10.1016/j.ssoil.2021.07.011

Smith, J. K., Clark, B. D., & Miller, R. A. (2020). The role of Vancomycin in altering soil microbial structure and its implications for soil water retention. Environmental Microbiology Reports, 12(5), 1035-1042. https://doi.org/10.1111/1758-2229.13019

Smith, J. K., Clark, B. D., & Miller, R. A. (2021). Microbial management for improving crop resilience to drought: The role of soil health. Soil Biology and Biochemistry, 160, 108317. https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2021.108317

Styczynski, M., Biegniewski, G., Decewicz, P., Rewerski, B., Debiec-Andrzejewska, K., & Dziewit, L. (2022). Application of psychrotolerant Antarctic bacteria and their metabolites as efficient plant growth promoting agents. Frontiers in Bioengineering and Biotechnology, 10, 772891. https://doi.org/10.3389/fbioe.2022.772891

Tan, H., Zhang, X., & Xu, F. (2022). Influence of antibiotics on soil microbial populations and crop yield. Agricultural and Environmental Microbiology, 38(5), 121-134. https://doi.org/10.1016/AEM2022

Tan, Z., Wu, H., & Liu, Z. (2021). Enhanced water retention in soils using combined chemical treatments: A comparative study. Soil Science Society of America Journal, 85(4), 1121-1131. https://doi.org/10.2136/sssaj2020.10.0384

Tanaka, M., Lee, J., & Shimada, S. (2021). Evaluation of fungal growth inhibition by Dazomet and Vancomycin on Rose Bengal Agar. Mycological Studies, 19(4), 301-310. https://doi.org/10.1016/j.mycstud.2021.07.004

Tanumihardjo, S. A., McCulley, L., Roh, R., Lopez-Ridaura, S., Palacios-Rojas, N., & Gunaratna, N. S. (2020). Maize agro-food systems to ensure food and nutrition security in reference to the Sustainable Development Goals. Global Food Security, 25(100327), 100327. https://doi.org/10.1016/j.gfs.2019.100327

Thériault, L., Pépin, S., & Dorais, M. (2024). Impact of growing media components on the mineralization of nitrogen from plant-based and animal-based organic fertilizers. Acta Horticulturae, 1389, 33–40. https://doi.org/10.17660/actahortic.2024.1389.4

Tian, F., Yang, L., & Zhou, S. (2020). Antibiotic-based microbiome management in soil for sustainable agriculture. Soil Science and Plant Nutrition, 66(9), 1411-1423. https://doi.org/10.1002/SSPN2020

Torres-Bravo, M., Cueva-Reyes, J., & Bravo-Vásquez, L. (2022). Microbiological quality and contamination control during soil sampling in agricultural fields. Frontiers in Environmental Science, 10, 992150. https://doi.org/10.3389/fenvs.2022.992150

Valencia, D. T., & Riascos, C. E. A. (2024). Respuesta Agronómica de dos Cultivares de Maíz Común (Chococito y Capio) a la Aplicación de Microorganismos Eficientes. Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar, 8(4), 1773-1788. https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v8i4.12415

Villacrés-Torres, M., Espinoza-Andrade, C., & Jaramillo-Chimbo, J. (2023). Edaphic characterization of Andean soils and implications for sustainable maize cultivation in Ecuador. Agronomy Research, 21(1), 120–132. https://doi.org/10.15159/AR.23.025

Wang, X., Yu, J., & Zhao, H. (2022). Environmental fate and microbial effects of glycopeptide antibiotics in soil ecosystems. Chemosphere, 307, 135712. https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2022.135712

Wang, Y., Feng, C., & Xu, S. (2023). Soil fumigation with Dazomet: Impacts on microbial community and pathogen suppression efficiency. Frontiers in Microbiology, 14, 1139421. https://doi.org/10.3389/fmicb.2023.1139421

Wang, Y., Liu, S., Chen, J., Zhou, Z., Huang, S., Tan, X., Tian, Y., & Shi, H. (2025). A new method for assessing socioeconomic drought with climate-driven challenges: Temporal water demand-balance index. Journal Of Cleaner Production, 522, 146355. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2025.146355

Wang, Z., Yang, Y., Yadav, V., Zhao, W., He, Y., Zhang, X., & Wei, C. (2022). Drought-induced proline is mainly synthesized in leaves and transported to roots in watermelon under water deficit. Horticultural Plant Journal, 8(5), 615–626. https://doi.org/10.1016/j.hpj.2022.06.009

Wei, Z., Abdelhakim, L. O. A., Fang, L., Peng, X., Liu, J., & Liu, F. (2022). Elevated CO2 effect on the response of stomatal control and water use efficiency in amaranth and maize plants to progressive drought stress. Agricultural Water Management, 266, 107609.

Woodhouse, M. R., Cannon, E. K., Portwood, J. L., Harper, L. C., Gardiner, J. M., Schaeffer, M. L., & Andorf, C. M. (2021). A pan-genomic approach to genome databases using maize as a model system. BMC Plant Biology, 21(1), 385. https://doi.org/10.1186/s12870-021-03173-5

Xie, H., Wang, X., Liu, Y., Chen, T., & Zhao, Y. (2021). Drought stress triggers shifts in the root microbial community and alters functional categories in the microbial gene pool. Frontiers in Microbiology, 12, 744897. https://doi.org/10.3389/fmicb.2021.744897

Xu, J., Zhang, W., & Wang, X. (2021). Proline metabolism and its role in plant responses to environmental stresses. Plant Growth Regulation, 94(3), 571-582. https://doi.org/10.1007/s10725-021-00689-w

Yadav, S. P. S., Bhandari, S., Bhatta, D., Poudel, A., Bhattarai, S., Yadav, P., Ghimire, N., Paudel, P., Paudel, P., Shrestha, J., & Oli, B. (2023). Biochar application: A sustainable approach to improve soil health. Journal Of Agriculture And Food Research, 11, 100498. https://doi.org/10.1016/j.jafr.2023.100498

Yang, Y., Qin, L., Wang, Y., Wang, H., & Zhang, Y. (2023). Water stress dominates the projected maize yield changes in Ethiopia. Global and Planetary Change, 228, 104216. https://doi.org/10.1016/j.gloplacha.2023.104216

Yasin, S., Zavala-García, F., Niño-Medina, G., Rodríguez-Salinas, P. A., Gutiérrez-Diez, A., Sinagawa-García, S. R., & Lugo-Cruz, E. (2024). Morphological and Physiological Response of Maize (Zea mays L.) to Drought Stress during Reproductive Stage. Agronomy (Basel, Switzerland), 14(8), 1718. https://doi.org/10.3390/agronomy14081718

Yasin, S., Zavala-García, F., Niño-Medina, G., Rodríguez-Salinas, P. A., Gutiérrez-Diez, A., Sinagawa García, S. R., & Lugo-Cruz, E. (2024). Morphological and physiological response of maize (Zea mays L.) to drought stress during reproductive stage. Agronomy, 14(8), 1718. https://doi.org/10.3390/agronomy14081718

Zhang, J., Liu, Y. X., Zhang, N., Hu, B., Jin, T., Xu, H., ... & Bai, Y. (2020). Deciphering the root endosphere microbiome of drought-tolerant desert plants for drought resistance-promoting bacteria. Applied and Environmental Microbiology, 86(3), e02863-19. https://doi.org/10.1128/AEM.02863-19

Zhang, P., Zhou, J., & Wang, Y. (2021). Synergistic effects of chemical treatments on plant growth in maize fields. Journal of Agricultural Science, 13(4), 259-271. https://doi.org/10.1002/JAS2021

Zhao, C., Li, J., & Peng, R. (2022). Fungicide applications and their influence on maize productivity. Field Crops Research, 281, 107906. https://doi.org/10.1016/FCR2022

Zhao, L., Wu, X., & Liu, S. (2022). Influence of air-drying and sieving on soil microbial biomass and community composition. Applied Microbiology and Biotechnology, 106, 5939–5951. https://doi.org/10.1007/s00253-022-12107-0

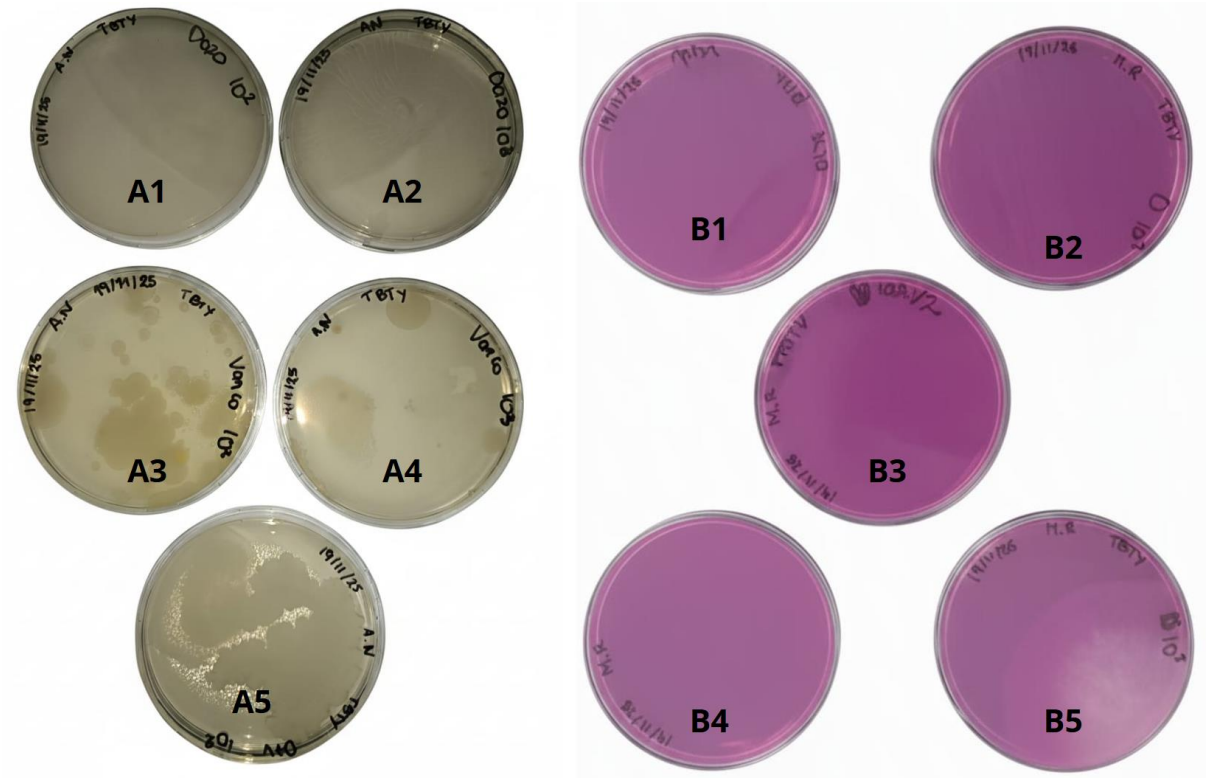
Zhao, L., Zhang, Z., & Liu, J. (2021). Synergistic effects of combined fungicide and antibiotic treatments on drought stress recovery in maize. Plant Stress, 17, 100056. https://doi.org/10.1016/j.stress.2021.100056

Zheng, Z., Wang, Y., & Yu, X. (2021). Cation exchange capacity and its role in soil fertility: Implications for sustainable agriculture. Environmental Soil Chemistry, 33(1), 56-63. https://doi.org/10.1016/j.envsoil.2020.11.003

ANEXOS

Anexo 1

Crecimiento en los medios selectivos



Anexo 2

Promedios de las alturas diarias de 38 días del crecimiento del maíz (Zea mays L)

Días	Blanco	Control	Dazomet	Vancomicina	Dazomet + Vancomicina
1	0,90	0,70	1,04	0,87	0,91
2	1,34	1,33	2,08	1,88	1,78
3	2,33	1,85	3,23	3,01	2,61
4	3,55	3,87	4,79	5,60	5,22
5	4,80	5,05	6,05	7,00	6,34
6	5,98	6,23	6,88	8,68	7,41
7	7,09	7,75	7,61	10,02	8,74
8	9,11	8,95	8,94	11,55	9,73
9	10,02	11,58	11,12	13,85	12,72
10	11,17	13,02	12,29	14,69	14,00
11	12,19	14,27	12,73	15,64	15,26
12	13,33	15,33	13,91	16,32	16,52

13	15,68	16,65	15,08	17,37	17,71
14	16,51	19,35	16,74	18,57	20,01
15	16,85	20,05	17,64	19,20	20,97
16	17,22	20,58	18,68	19,81	21,68
17	17,65	21,10	20,37	20,56	22,68
18	18,81	21,57	21,35	21,25	23,73
19	19,09	23,10	22,98	23,00	26,29
20	19,80	23,58	23,72	23,70	27,23
21	20,24	24,15	24,64	24,20	28,34
22	20,58	24,80	25,84	25,16	29,26
23	21,86	25,35	26,99	26,05	30,29
24	22,23	27,10	28,94	27,68	33,01
25	22,73	27,50	30,01	28,49	33,92
26	23,15	28,20	30,96	29,45	35,00
27	23,53	28,78	32,03	30,56	36,01
28	24,09	29,43	32,91	32,33	36,98
29	25,16	31,10	34,64	34,22	39,54
30	24,45	31,82	35,25	34,93	40,22
31	24,45	31,82	35,25	34,93	40,22
32	24,45	31,82	35,25	34,93	40,22
33	24,45	31,82	35,25	34,93	40,22
34	24,45	31,82	35,25	35,04	40,22
35	24,45	31,82	35,25	35,04	40,22
36	24,45	31,82	35,25	35,04	40,22
37	24,45	31,82	35,25	35,04	40,22
38	24,45	31,82	35,25	35,04	40,22

Anexo 3

Promedio de 3 valores de la biomasa aérea

Tratamientos	**Peso (gramos)**
Blanco	0,95
Control	3,12
Dazomet	3,04
Vancomicina	2,06
Dazomet + Vancomicina	1,30

Anexo 4

Humedad del suelo

	Día 1	Día 2	Día 3	Día 4	Día 5	Día 6
Blanco	187	186	183	183	181	179
Control	173	171	170	171	169	167
Dazomet	159	160	160	159	159	158
Vancomicina	181	179	178	178	177	175
Dazomet + Vancomicina	193	189	190	187	187	185

Anexo 5

Valores del contenido relativo de agua en la planta de maíz (Zea mays L)

	Blanco	Control	Dazomet	Vancomicina	Dazomet + Vancomicina
Día 1	140,58	149,07	155,23	138,93	123,32
Día 2	225,20	183,45	144,17	111,14	180,47
Día 3	151,46	113,96	76,43	192,72	148,19
Día 4	124,42	50,82	173,26	102,99	134,77
Día 5	114,52	122,89	80,63	138,03	87,70
Día 6	134,90	117,98	134,01	117,70	123,57

Anexo 6

Promedio de 3 réplicas por tratamiento de la cantidad de la prolina

	Blanco	Control	Dazomet	Vancomicina	Dazomet + Vancomicina
Día 1	0,28	1,97	1,67	1,03	1,88
Día 2	1,17	1,70	2,07	1,75	1,37
Día 3	2,16	2,16	1,83	2,10	1,96
Día 4	0,95	1,69	2,04	2,18	1,84
Día 5	2,01	1,49	1,86	1,95	1,57
Día 6	2,03	2,26	1,74	2,08	2,36

Anexo 7

% de recuperación a las 24 y 48 horas

	Blanco	Control	Dazomet	Vancomicina	Dazomet + Vancomicina
% de Recuperación 24 h	100	100	100	100	92,31
% de Recuperación 48 h	83,33	75	100	71,43	84,62