



REPÚBLICA DEL ECUADOR

UNIVERSIDAD ESTATAL DE MILAGRO

**VICERRECTORADO DE INVESTIGACIÓN Y POSGRADO
FACULTAD DE POSGRADOS**

**INFORME DE INVESTIGACIÓN
PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE:**

MAGÍSTER EN BIOTECNOLOGÍA

TEMA:

“Desarrollo de plántulas banano (*Musa* spp. AAA) en respuesta a la fertilización biológica en etapa de vivero”

Autora:

Gonzalez Tiban Andrea Doria

Tutor:

Ing. José Francisco Falconi Novillo, Mgs

Milagro, 2024

DERECHOS DE AUTOR

Sr. Dr.

Fabrizio Guevara Viejó

RECTOR DE LA UNIVERSIDAD ESTATAL DE MILAGRO

Presente.

Yo, **Gonzalez Tiban Andrea Doria**, en calidad de autora y titular de los derechos morales y patrimoniales de este informe de investigación, mediante el presente documento, libre y voluntariamente cedo los derechos de Autor de este proyecto de desarrollo, que fue realizado como requisito previo para la obtención de mi Grado de Magíster en Biotecnología, como aporte a la Línea de Investigación **Innovación tecnológica en procesos de producción agropecuaria** de conformidad con el Art. 114 del Código Orgánico de la Economía Social de los Conocimientos, Creatividad e Innovación, concedo a favor de la Universidad Estatal de Milagro una licencia gratuita, intransferible y no exclusiva para el uso no comercial de la obra, con fines estrictamente académicos. Conservo a mi favor todos los derechos de autor sobre la obra, establecidos en la normativa citada. Así mismo, autorizo a la Universidad Estatal de Milagro para que realice la digitalización y publicación de este Proyecto de Investigación en el repositorio virtual, de conformidad a lo dispuesto en el Art. 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior.

La autora declara que la obra objeto de la presente autorización es original en su forma de expresión y no infringe el derecho de autor de terceros, asumiendo la responsabilidad por cualquier reclamación que pudiera presentarse por esta causa y liberando a la Universidad de toda responsabilidad.

Milagro, 7 de agosto del 2024



Firmado electrónicamente por:
ANDREA DORIA
GONZALEZ TIBAN

Gonzalez Tiban Andrea Doria
C.I.: 1203984248
Autora

APROBACIÓN DEL DIRECTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Trabajo de Titulación

Yo, **Ing. José Francisco Falconi Novillo, Mgs**, en mi calidad de Director del Trabajo de Titulación, elaborado por **Gonzalez Tiban Andrea Doria** cuyo tema es **“Desarrollo de plántulas banano (*Musa spp. AAA*) en respuesta a la fertilización biológica en etapa de vivero.”**, que aporta a la Línea de Investigación [**línea de investigación**], previo a la obtención del Grado de **Magíster en Biotecnología**, Trabajo de titulación que consiste en una propuesta innovadora que contiene, como mínimo, una investigación exploratoria y diagnóstica, base conceptual, conclusiones y fuentes de consulta, considero que el mismo reúne los requisitos y méritos necesarios para ser sometido a la evaluación por parte del tribunal calificador que se designe, por lo que lo **APRUEBO**, a fin de que el trabajo sea habilitado para continuar con el proceso de titulación de la alternativa de Informe de Investigación de la Universidad Estatal de Milagro.

Milagro, 7 de agosto del 2024



Firmado electrónicamente por:
**JOSE FRANCISCO
FALCONI NOVILLO**

Ing. José Francisco Falconi Novillo, Mgs

C.I.: 0924505266

Director del Trabajo de Titulación

VICERRECTORADO DE INVESTIGACIÓN Y POSGRADO
FACULTAD DE POSGRADO
CERTIFICACIÓN DE LA DEFENSA

El TRIBUNAL CALIFICADOR previo a la obtención del título de **MAGÍSTER EN BIOTECNOLOGÍA**, presentado por **ING. GONZALEZ TIBAN ANDREA DORIA**, otorga al presente proyecto de investigación denominado "DESARROLLO DE PLÁNTULAS BANANO (MUSA SPP. AAA) EN RESPUESTA A LA FERTILIZACIÓN BIOLÓGICA EN ETAPA DE VIVERO", las siguientes calificaciones:

TRABAJO ESCRITO	58.00
SUSTENTACIÓN	40.00
PROMEDIO	98.00
EQUIVALENTE	Excelente



Mgs ROMERO VASQUEZ KATHERINE LISSETTE
PRESIDENTE/A DEL TRIBUNAL



Msc SARANGO ORTEGA YESSENIA BEATRIZ
VOCAL



MARTINEZ VALENZUELA GUSTAVO ELIAS
SECRETARIO/A DEL TRIBUNAL

DEDICATORIA

Con amor infinito, dedico este trabajo de investigación a mis hijos, Clissdary Burbano González y Daltito Cadena González. Su inspiración y alegría son mi motor para alcanzar mis metas académicas y profesionales. Que este logro sea un testimonio de mi amor y dedicación hacia ustedes.

Gonzalez Tiban Andrea Doria

AGRADECIMIENTOS

Quiero expresar mi más profundo agradecimiento a mis padres, Manuel Andrés González Navas y Tani Tiban Job, por su amor incondicional, constante apoyo que han hecho posible cada paso en mi camino académico y profesional.

A mi compañero de vida el Ph.D. Dalton Cadena Piedrahita por ser mi guía y apoyo incondicional a lo largo de mi formación académica y profesional. Su sabiduría, paciencia y aliento han sido fundamentales para mi crecimiento profesional y personal.

Agradezco de manera especial a mi Tutor, el Ing. José Francisco Falconí Novillo, Mgs, y a la coordinadora, Ing. Ana Ruíz Morocho, por su invaluable orientación y colaboración durante el desarrollo de este trabajo de investigación.

Asimismo, agradezco a mi compañera, Liliana Romero Blanco, por su compromiso al ser parte integral de mi equipo de trabajo, contribuyendo de manera significativa al logro obtenido.

Gonzalez Tiban Andrea Doria

RESUMEN

La presente investigación tuvo como objetivo evaluar el desarrollo de plántulas de banano (*Musa* spp. AAA) en respuesta a la fertilización biológica en etapa de vivero. La investigación se llevó a cabo en la finca "María José", ubicada en el km 7.5 de la vía Babahoyo - Quevedo, en el sector Santa Rita. Se evaluaron cinco tratamientos: T1: Control; T2: *B. subtilis* (1×10^{12} UFC g^{-1}); T3: *T. harzianum* (1×10^{12} UFC g^{-1}); T4: *B. subtilis* (1×10^{12} UFC g^{-1}) + *T. harzianum* (1×10^{12} UFC g^{-1}) y T5: Basfoliar algae® (1.5 L ha^{-1}), bajo un diseño completamente al azar en cuatro repeticiones. Los resultados obtenidos reflejaron que, la aplicación de Basfoliar algae® (T5), produjo plantas con una altura promedio de 51.68 cm a las 20 semanas, siendo el más efectivo junto con *B. subtilis* + *T. harzianum*, que tuvo una altura promedio de 51.30 cm, con crecimiento promedio de 16.95 y 16.60 cm, respectivamente. La emisión foliar de las plántulas de banano fue mayor bajo la aplicación de Basfoliar algae®, con un promedio de 7.03 hojas emitidas por planta entre las semanas 12 y 20, destacando este tratamiento en la promoción del desarrollo foliar en comparación con los demás. Finalmente, los tratamientos de fertilización biológica influyeron notablemente en el desarrollo radicular de las plántulas de banano, destacándose la combinación de *B. subtilis* + *T. harzianum*, que produjo raíces con el mayor peso fresco (383.16 g) y seco (190.71 g), así como la mayor longitud promedio (32.20 cm), mostrando una clara ventaja en comparación con los otros tratamientos.

Palabras clave: *Bacillus subtilis*, crecimiento, emisión foliar, *Trichoderma harzianum*.

ABSTRACT

The objective of this research was to evaluate the development of banana seedlings (*Musa* spp. AAA) in response to biological fertilization in the nursery stage. The investigation was carried out on the “María José” farm, located at km 7.5 of the Babahoyo - Quevedo road, in the Santa Rita sector. Five treatments were evaluated: T1: Control; T2: *B. subtilis* (1×10^{12} CFU g^{-1}); T3: *T. harzianum* (1×10^{12} CFU g^{-1}); T4: *B. subtilis* (1×10^{12} CFU g^{-1}) + *T. harzianum* (1×10^{12} CFU g^{-1}) and T5: Basfoliar algae® (1.5 L ha^{-1}), under a completely randomized design in four repetitions. The results obtained reflected that the application of Basfoliar algae® (T5) produced plants with an average height of 51.68 cm at 20 weeks, being the most effective together with *B. subtilis* + *T. harzianum*, which had an average height of 51.30 cm, with average growth of 16.95 and 16.60 cm, respectively. The foliar emission of banana seedlings was greater under the application of Basfoliar algae®, with an average of 7.03 leaves emitted per plant between weeks 12 and 20, highlighting this treatment in promoting foliar development compared to the others. Finally, the biological fertilization treatments notably influenced the root development of the banana seedlings, highlighting the combination of *B. subtilis* + *T. harzianum*, which produced roots with the highest fresh (383.16 g) and dry (190.71 g) weight. as well as the greatest average length (32.20 cm), showing a clear advantage compared to the other treatments.

Keywords: *Bacillus subtilis*, growth, foliar emission, *Trichoderma harzianum*.

LISTA DE FIGURAS

- Figura 1.** Crecimiento de plantas de banano de la semana 12 a la semana 20 en respuesta a la aplicación fertilización biológica en fase de vivero 36
- Figura 2.** Emisión foliar de plantas de banano de la semana 12 a la semana 20 en respuesta a la aplicación fertilización biológica en fase de vivero 37
- Figura 3.** Supervivencia de plantas de banano desde la semana 12 a la semana 20 de edad en respuesta a la aplicación fertilización biológica en fase de vivero.....38
- Figura 4.** Longitud de la raíz en plantas de banano de 20 semanas de edad en respuesta a la aplicación fertilización biológica en fase de vivero 40

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Operacionalización de las variables utilizadas en la investigación	8
Tabla 2. Esquema del análisis de varianza utilizado en el ensayo	33
Tabla 3. Altura de planta a las 12 y 20 semanas de edad de plántulas de banano en respuesta a la aplicación fertilización biológica en fase de vivero	34
Tabla 4. Número de hojas por planta a las 12 y 20 semanas de edad de plántulas de banano en respuesta a la aplicación fertilización biológica en fase de vivero.....	35
Tabla 5. Peso fresco y seco de la raíz en plantas de banano de 20 semanas de edad en respuesta a la aplicación fertilización biológica en fase de vivero.....	39

LISTA DE ANEXOS

Anexo 1.	Selección de plántulas utilizadas para la evaluación en la investigación.....	50
Anexo 2.	Evaluación de la altura de plantas en la fase de vivero del cultivo de banano	50
Anexo 3.	Resultados del análisis estadístico realizado en Infostat.....	51

ÍNDICE

Derechos de autor	ii
Aprobación del Director del Trabajo de Titulación	iii
Certificación de la defensa	iv
Dedicatoria	v
Agradecimientos.....	vi
Resumen.....	vii
Abstract.....	viii
Lista de figuras	ix
Lista de tablas	x
Lista de anexos	xi
Índice.....	xii
INTRODUCCIÓN	1
CAPÍTULO I: EL PROBLEMA DE LA INVESTIGACIÓN	4
1.1. Planteamiento del problema.....	4
1.2. Delimitación del problema	5
1.3. Formulación del problema	5
1.4. Preguntas de investigación.....	6
1.5. Determinación del tema.....	6
1.6. Objetivo general	6
1.7. Objetivos específicos.....	6
1.8. Hipótesis.....	7
1.8.1. Hipótesis general	7
1.8.2. Hipótesis específicas	7
1.9. Declaración de las variables.....	7
1.9.1. Variable independiente	7
1.9.2. Variables dependientes.....	8

1.9.3.	Variables de control	8
1.10.	Justificación.....	9
1.11.	Alcance y limitaciones	10
CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO REFERENCIAL.....		11
2.1.	Antecedentes.....	11
2.1.1.	Antecedentes históricos	11
2.1.2.	Fertilización biológica.....	13
2.1.3.	Ventajas de la fertilización biológica	14
2.1.3.1.	Mejora de la fertilidad del suelo	14
2.1.3.2.	Promoción del crecimiento de las plantas	14
2.1.3.3.	Reducción del uso de fertilizantes químicos.....	14
2.1.3.4.	Sostenibilidad ambiental.....	15
2.1.3.5.	Ahorro económico	15
2.1.4.	Desventajas de la fertilización biológica.....	15
2.1.4.1.	Eficacia variable	15
2.1.4.2.	Requiere conocimiento técnico	16
2.1.4.3.	Tiempo de respuesta.....	16
2.1.4.4.	Compatibilidad con prácticas agrícolas	16
2.1.4.5.	Disponibilidad y costos iniciales	16
2.1.5.	<i>Bacillus subtilis</i>	17
2.1.6.	<i>Trichoderma harzianum</i>	21
2.1.7.	Vivero de banano.....	25
CAPÍTULO III: DISEÑO METODOLÓGICO		28
3.1.	Tipo y diseño de investigación.....	28
3.2.	Población y la muestra	28
3.2.1.	Características de la población	28
3.2.2.	Delimitación de la población	28

3.2.2.1.	Criterios de inclusión	28
3.2.2.2.	Criterios de exclusión	29
3.2.3.	Tipo de muestra	29
3.2.4.	Tamaño de la muestra	29
3.2.5.	Proceso de selección de la muestra	29
3.3.	Métodos y técnicas	30
3.3.1.	Manejo del experimento.....	30
3.3.2.	Variables evaluadas.....	31
3.3.2.1.	Altura de plántulas (cm).....	31
3.3.2.2.	Crecimiento de plántulas (cm).....	31
3.3.2.3.	Número de hojas por planta	31
3.3.2.4.	Emisión foliar (número de hojas).....	31
3.3.2.5.	Sobrevivencia (%)	32
3.3.2.6.	Longitud radicular (cm).....	32
3.3.2.7.	Peso fresco radicular (g)	32
3.3.2.8.	Peso seco radicular (g).....	32
3.4.	Procesamiento estadístico de la información	33
CAPÍTULO IV: ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS.....		34
4.1.	Interpretación de los resultados.....	34
4.1.1.	Altura de plantas (cm).....	34
4.1.2.	Número de hojas por planta	35
4.1.3.	Crecimiento de plantas	36
4.1.4.	Emisión foliar	36
4.1.5.	Sobrevivencia	37
4.1.6.	Peso fresco y seco de la raíz (g).....	38
4.1.7.	Longitud de la raíz (cm)	39
CAPÍTULO V: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES		41

5.1. Conclusiones.....	41
5.2. Recomendaciones.....	42
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	43
ANEXOS	50

INTRODUCCIÓN

El banano ha sido de gran relevancia para la economía de Ecuador, al punto de que el país llegó a ser el principal exportador mundial de esta fruta. La producción bananera ha ocupado el segundo lugar en importancia económica, después del petróleo. Históricamente, el banano ha sido el principal producto de exportación del país, y actualmente, el sector bananero y su producción dependen significativamente de los precios y las regulaciones internacionales de la fruta. Considerando esto, la obtención de plántulas de banano con buenas características de desarrollo en la etapa de vivero es crucial, ya que sienta las bases para el éxito en el campo definitivo y, en última instancia, para el rendimiento productivo y la rentabilidad de los agricultores. Por tanto, cualquier mejora en las prácticas de vivero puede tener un impacto considerable en la cadena de valor del banano, desde la producción hasta la comercialización internacional (León-Serrano *et al.*, 2020).

A lo largo de los años, la aplicación desmedida de fertilizantes químicos en la agricultura ha generado preocupación debido a los efectos negativos que ha tenido sobre el suelo y los cultivos. Esta práctica ha llevado a la degradación de la estructura del suelo, la disminución de su fertilidad y la acumulación de residuos químicos, lo que representa una amenaza para la sostenibilidad de los sistemas de producción agrícola. Además, se han observado impactos negativos en la calidad del agua y la biodiversidad, lo que resalta la necesidad urgente de explorar alternativas de fertilización que sean menos perjudiciales para el medio ambiente. Este problema no solo afecta a los ecosistemas, sino que también pone en riesgo la salud de las comunidades que dependen del agua y del suelo para su subsistencia (León-Serrano *et al.*, 2020).

En respuesta a estos desafíos, el desarrollo de la agricultura de conservación ha promovido la conciencia sobre la importancia de la conservación del suelo como un recurso agroproductivo vital. Esta nueva perspectiva ha impulsado la búsqueda de prácticas agrícolas que minimicen el impacto negativo en el suelo, al tiempo que no comprometan los niveles de producción de los cultivos. Este enfoque ha despertado un interés creciente en la utilización de microorganismos benéficos como una

alternativa viable y sostenible para la fertilización de los cultivos. Entre los microorganismos benéficos más estudiados se encuentran *Bacillus* spp. y *Trichoderma* spp., los cuales han demostrado ser prometedores debido a su capacidad como agentes de control biológico y bioestimuladores del crecimiento y desarrollo de las plantas (Martínez-Gamiño, Osuna-Ceja, & Espinosa-Ramírez, 2020).

Estos microorganismos pueden promover la disponibilidad y absorción de nutrientes, mejorar la calidad del suelo y aumentar la resistencia de las plantas a enfermedades y estrés abiótico. Las investigaciones han mostrado que *Bacillus* spp. y *Trichoderma* spp. no solo mejoran el crecimiento de las plantas mediante la solubilización de nutrientes y la producción de fitohormonas, sino que también pueden inducir resistencia sistémica en las plantas, fortaleciendo su capacidad para enfrentar condiciones adversas. Estas potencialidades han convertido a *Bacillus* spp. y *Trichoderma* spp. en valiosos aliados en la lucha contra las enfermedades en una amplia gama de cultivos de importancia económica, incluyendo el cultivo de banano (Litzner & Rieß, 2020).

La evaluación del potencial de *Bacillus* spp. y *Trichoderma* spp. como biofertilizantes es de vital importancia para identificar su aplicabilidad en la producción de plántulas de banano. Se requiere investigar en profundidad los efectos de estos microorganismos en el desarrollo de las plántulas, incluyendo aspectos como el crecimiento en altura y diámetro, la emisión foliar, la calidad de las raíces y otros parámetros relevantes. Esto permitirá determinar su eficacia y su capacidad para mejorar el vigor y la salud de las plántulas de banano en la etapa de vivero. En este sentido, es fundamental entender cómo estos tratamientos interactúan con el entorno del vivero y con otros factores de manejo agronómico, para poder desarrollar prácticas de fertilización biológica que sean realmente aplicables y beneficiosas para los agricultores (Torres, 2021).

Teniendo en cuenta la importancia de obtener plántulas vigorosas en el vivero y la necesidad de aplicar técnicas de producción de bajo impacto ambiental, la presente investigación se propone evaluar el desarrollo de plántulas de banano (*Musa* spp. AAA) en respuesta a la fertilización biológica durante la etapa de vivero. Este

estudio busca identificar los tratamientos de biofertilización que estimulen de manera más efectiva el crecimiento de las plántulas, determinar el efecto de estos tratamientos sobre la emisión foliar y el desarrollo radicular, y proporcionar información que pueda ser utilizada para optimizar las prácticas de manejo en vivero. De esta manera, se espera contribuir al desarrollo de una agricultura más sostenible y rentable, que no solo mejore la productividad de los cultivos de banano, sino que también minimice el impacto ambiental de las prácticas agrícolas (Cuadras-Berrelleza et al., 2022).

CAPÍTULO I: EL PROBLEMA DE LA INVESTIGACIÓN

EL PROBLEMA DE LA INVESTIGACIÓN

1.1. Planteamiento del problema

El cultivo del banano (*Musa* spp. AAA) representa una de las principales actividades agrícolas a nivel mundial, debido a su alta demanda en el mercado internacional y su importancia económica en muchos países tropicales. Sin embargo, la producción de plántulas de banano enfrenta diversos desafíos que afectan su crecimiento y desarrollo, especialmente en las etapas tempranas del vivero. Tradicionalmente, se han utilizado fertilizantes químicos para promover el crecimiento de las plántulas; no obstante, el uso excesivo de estos productos puede generar problemas ambientales significativos, tales como la contaminación del suelo y el agua, así como la pérdida de biodiversidad y el deterioro de la salud del ecosistema. Además, la dependencia de fertilizantes químicos incrementa los costos de producción, afectando la rentabilidad de los pequeños y medianos agricultores.

En este contexto, la fertilización biológica emerge como una alternativa sostenible y económica que podría contribuir a mejorar el desarrollo de las plántulas de banano. Los biofertilizantes, tales como *Bacillus subtilis* y *Trichoderma harzianum*, han demostrado en diversas investigaciones su capacidad para promover el crecimiento de las plantas mediante mecanismos como la fijación de nitrógeno, la solubilización de fósforo y la producción de fitohormonas. Además, estos microorganismos pueden inducir resistencia sistémica en las plantas, mejorando su capacidad para enfrentar estrés biótico y abiótico. Sin embargo, la eficacia de estos biofertilizantes puede variar dependiendo de las condiciones específicas de cada cultivo y ambiente, por lo que es crucial realizar estudios específicos que evalúen su desempeño en las plántulas de banano en la etapa de vivero.

A pesar de los beneficios potenciales de la fertilización biológica, existe una falta de investigaciones que aborden de manera integral su impacto en el desarrollo de las plántulas de banano. En particular, es necesario identificar cuáles son los tratamientos de biofertilización más efectivos para estimular el crecimiento en altura y diámetro de las plántulas, así como su capacidad para mejorar la emisión foliar y el desarrollo radicular. Asimismo, es fundamental entender cómo estos

tratamientos interactúan con el entorno del vivero y con otros factores de manejo agronómico, para poder desarrollar prácticas de fertilización biológica que sean realmente aplicables y beneficiosas para los agricultores.

Por lo tanto, la presente investigación apuntó a evaluar el desarrollo de plántulas de banano (*Musa* spp. AAA) en respuesta a la fertilización biológica durante la etapa de vivero. Este estudio busca identificar los tratamientos de biofertilización que estimulen de manera más efectiva el crecimiento de las plántulas, determinar el efecto de estos tratamientos sobre la emisión foliar y el desarrollo radicular, y proporcionar información que pueda ser utilizada para optimizar las prácticas de manejo en vivero. De esta manera, se espera contribuir al desarrollo de una agricultura más sostenible y rentable, que no solo mejore la productividad de los cultivos de banano, sino que también minimice el impacto ambiental de las prácticas agrícolas.

1.2. Delimitación del problema

El crecimiento y desarrollo óptimo de las plántulas de banano (*Musa* spp. AAA) en la fase de vivero es crucial para garantizar una producción eficiente y saludable en etapas posteriores. Sin embargo, uno de los principales desafíos que enfrentan los productores es la identificación de tratamientos de fertilización que no solo estimulen el crecimiento foliar, sino que también mejoren el desarrollo radicular de las plántulas. Los fertilizantes químicos, aunque efectivos, pueden ser costosos y tener efectos negativos en el medio ambiente. En este contexto, la fertilización biológica emerge como una alternativa prometedora, pero se requiere investigación específica para determinar su efectividad en el cultivo de banano. El problema central radica en identificar y evaluar tratamientos de fertilización biológica que optimicen tanto el crecimiento foliar como el desarrollo radicular de las plántulas de banano en vivero.

1.3. Formulación del problema

¿Cuál es el desarrollo de plántulas banano (*Musa* spp. AAA) en respuesta a la fertilización biológica en etapa de vivero?

1.4. Preguntas de investigación

¿Cuál es el tratamiento que estimula el crecimiento de plántulas de banano en fase de vivero?

¿Cuál es la respuesta de la emisión foliar de plántulas de banano en respuesta a la fertilización biológica?

¿Qué efecto producen los tratamientos de fertilización biológica sobre el desarrollo radicular de plántulas de banano en estudio?

1.5. Determinación del tema

El estudio se enfocó en analizar el impacto de diferentes tratamientos de fertilización biológica sobre el desarrollo de plántulas de banano (*Musa* spp. AAA) durante la etapa de vivero. Se evaluó específicamente la respuesta del crecimiento foliar y el desarrollo radicular de las plántulas en respuesta a varios tratamientos de fertilización biológica, incluyendo el uso de micorrizas, biofertilizantes líquidos y sólidos, y otros productos biológicos disponibles en el mercado local. La investigación se realizó exclusivamente en la fase de vivero, sin considerar fases posteriores del cultivo. El ámbito geográfico del estudio se limitó a un vivero específico, utilizando plántulas de banano de la variedad *Musa* spp. AAA.

1.6. Objetivo general

Evaluar el desarrollo de plántulas banano (*Musa* spp. AAA) en respuesta a la fertilización biológica en etapa de vivero.

1.7. Objetivos específicos

Identificar el tratamiento que estimule el crecimiento de plántulas de banano en fase de vivero.

Establecer la respuesta de la emisión foliar de plántulas de banano en respuesta a la fertilización biológica.

Determinar el efecto de los tratamientos de fertilización biológica sobre el desarrollo radicular de plántulas de banano en estudio.

1.8. Hipótesis

1.8.1. Hipótesis general

La fertilización biológica con *Bacillus subtilis* y *Trichoderma harzianum* mejora significativamente el desarrollo de las plántulas de banano (*Musa* spp. AAA) en la etapa de vivero.

1.8.2. Hipótesis específicas

El tratamiento con *Bacillus subtilis* y *Trichoderma harzianum* estimula el crecimiento de las plántulas de banano en fase de vivero.

La aplicación de fertilización biológica con *Bacillus subtilis* y *Trichoderma harzianum* incrementa la emisión foliar de las plántulas de banano.

Los tratamientos de fertilización biológica con *Bacillus subtilis* y *Trichoderma harzianum* tienen un efecto positivo sobre el desarrollo radicular de las plántulas de banano en estudio.

1.9. Declaración de las variables

1.9.1. Variable independiente

- Fertilización biológica

1.9.2. Variables dependientes

- Altura de las plantas (cm)
- Crecimiento de las plantas (cm)
- Número de hojas por planta
- Emisión foliar
- Supervivencia (%)
- Longitud de la raíz (cm)
- Peso fresco de la raíz (g)
- Peso seco de la raíz (g)

1.9.3. Variables de control

En la Tabla 1, se presenta la descripción y operacionalización de las diferentes variables de respuesta consideradas en la investigación:

Tabla 1. Operacionalización de las variables utilizadas en la investigación

Variable	Tipo	Dimensión	Indicador
Altura de las plantas	Dependiente	Desarrollo de la planta	Altura medida en centímetros
Crecimiento general de las plantas	Dependiente	Desarrollo de la planta	Incremento en altura y biomasa
Número de hojas por planta	Dependiente	Desarrollo de la planta	Conteo de hojas
Emisión foliar	Dependiente	Desarrollo de la planta	Número de nuevas hojas emitidas
Tasa de supervivencia	Dependiente	Salud de la planta	Porcentaje de plántulas vivas
Longitud de la raíz	Dependiente	Desarrollo radicular	Longitud de raíz medida en centímetros
Peso fresco de la raíz	Dependiente	Desarrollo radicular	Peso de la raíz en gramos
Peso seco de la raíz	Dependiente	Desarrollo radicular	Peso seco de la raíz en gramos
Tratamiento de fertilización biológica	Independiente	Tipo de tratamiento aplicado	Diferentes tratamientos: T1, T2, T3, T4, T5

1.10. Justificación

La investigación se lleva a cabo en respuesta a la necesidad imperante de abordar los desafíos ambientales y agronómicos derivados del uso extensivo de fertilizantes químicos en la producción de banano en Ecuador. La degradación del suelo, la pérdida de fertilidad, y la contaminación de recursos hídricos son problemas urgentes que amenazan la sostenibilidad a largo plazo de esta industria. Por tanto, la investigación sobre alternativas más sostenibles, como la fertilización biológica en plántulas de banano en etapa de vivero, surge como una respuesta necesaria para mitigar estos impactos negativos y promover prácticas agrícolas más responsables y amigables con el medio ambiente.

La invitación realizada contribuirá al desarrollo de estrategias y técnicas que reduzcan la dependencia de fertilizantes químicos, lo que a su vez ayudará a disminuir la contaminación ambiental y a conservar la calidad del suelo y del agua. Además, al mejorar la eficiencia y la productividad de los cultivos de banano, se fortalecerá la seguridad alimentaria y se aumentará la rentabilidad de los agricultores. Por otra parte, la adopción de prácticas sostenibles en la producción de banano tendrá un impacto positivo en la salud pública, al reducir los riesgos asociados con la exposición a químicos sintéticos tanto para los trabajadores agrícolas como para los consumidores.

Los principales beneficiarios de esta investigación son diversos actores involucrados en la cadena de producción y consumo de banano. Los agricultores serán beneficiados al obtener conocimientos y herramientas para mejorar la productividad de sus cultivos de manera sostenible y rentable. El medio ambiente también será beneficiario, ya que se promoverá la conservación y protección de los recursos naturales en las zonas de cultivo. Los consumidores podrán acceder a productos de banano de mayor calidad y potencialmente más saludables, al reducirse el uso de químicos sintéticos en la producción. Por último, el gobierno y las organizaciones relacionadas obtendrán información valiosa para desarrollar políticas y programas que fomenten prácticas agrícolas responsables y sostenibles en la industria bananera.

1.11. Alcance y limitaciones

El alcance de la investigación ha abarcado la evaluación del desarrollo de plántulas de banano (*Musa* spp. AAA) en respuesta a la fertilización biológica durante la etapa de vivero, empleando tratamientos de *B. subtilis*, *T. harzianum*, la combinación de ambos, y Basfoliar algae®. Se han analizado variables cruciales como la altura de las plantas, el crecimiento general, el número de hojas por planta, la emisión foliar, la sobrevivencia, la longitud y peso de la raíz (fresco y seco), en un contexto que refleja las condiciones climáticas y edáficas típicas del entorno de cultivo de banano en Ecuador.

Sin embargo, es importante destacar algunas limitaciones que pudieron influir en los resultados obtenidos o en su interpretación. La naturaleza biológica de los sistemas estudiados implica una variabilidad inherente que puede generar diferencias significativas incluso en condiciones controladas, lo cual debe ser considerado al analizar los datos. Asimismo, la calidad y disponibilidad de los insumos biológicos, como las cepas de microorganismos y los productos comerciales utilizados, podrían haber afectado la consistencia y reproducibilidad de los resultados.

Además, es necesario tener en cuenta que la investigación se circunscribió al estudio de plántulas de banano en fase de vivero, lo que limita la extrapolación directa de los resultados a otras etapas del cultivo de banano o a diferentes sistemas de producción agrícola. La duración del estudio y los recursos disponibles también podrían haber influido en la profundidad de análisis de algunos aspectos, como la interacción entre los tratamientos y el entorno edáfico específico.

A pesar de estas limitaciones, los resultados obtenidos han proporcionado información valiosa sobre el efecto de la fertilización biológica en el desarrollo de plántulas de banano en vivero, lo cual puede contribuir significativamente al conocimiento científico en este campo y servir como base para futuras investigaciones y para la aplicación práctica en el manejo sostenible de cultivos de banano.

CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO REFERENCIAL

MARCO TEÓRICO REFERENCIAL

2.1. Antecedentes

2.1.1. Antecedentes históricos

Desde tiempos ancestrales, la humanidad ha buscado formas de mejorar la fertilidad del suelo para optimizar la producción agrícola. Desde el Neolítico, se han utilizado diversas técnicas, como el compostaje y la aplicación de estiércol animal, que permitieron a las primeras civilizaciones mejorar significativamente la calidad del suelo. Estas prácticas ancestrales, evidenciadas en diversas culturas agrícolas, no solo se limitaban al uso de desechos orgánicos, sino que también incluían la incorporación de leguminosas como el frijol y el guisante en los sistemas de rotación de cultivos. Estos cultivos, cultivados por egipcios, griegos, romanos y chinos, eran esenciales para fijar el nitrógeno en el suelo, una práctica que demuestra una temprana comprensión empírica de la relación entre la salud del suelo, la presencia de microorganismos y el crecimiento saludable de las plantas (Jiménez-Ortiz *et al.*, 2020).

A lo largo de la historia, los agricultores han observado y aprendido empíricamente sobre la importancia de mantener un suelo sano. Esta observación constante y detallada de los efectos positivos de ciertos microorganismos sobre el crecimiento de las plantas sentó las bases para futuras investigaciones científicas. En el siglo XVIII, los experimentos de Jethro Tull y Alexander Humboldt empezaron a formalizar el conocimiento sobre la nutrición vegetal y el papel crucial de los nutrientes en el crecimiento de las plantas. Tull, conocido por su trabajo en la mecanización agrícola y la mejora de las técnicas de siembra, y Humboldt, por sus estudios botánicos y ecológicos, fueron pioneros en el desarrollo de una comprensión más profunda de los procesos naturales que benefician la agricultura (Zhang & Yang, 2020).

Durante el siglo XIX, Justus von Liebig, a menudo considerado el padre de la agricultura moderna, desarrolló la teoría de la nutrición mineral. Esta teoría revolucionó la agricultura al identificar elementos esenciales para el crecimiento

vegetal, como el nitrógeno, el fósforo y el potasio. El trabajo de Liebig proporcionó una base científica sólida para el uso de fertilizantes, destacando la importancia de ciertos minerales en el desarrollo saludable de las plantas (Kwiatkowski, Harasim, & Staniak, 2020).

Ya en los principios del siglo XX, el descubrimiento y estudio de bacterias fijadoras de nitrógeno, como el *Rhizobium*, marcaron el inicio de una nueva era en la investigación sobre biofertilizantes. Estas bacterias, capaces de convertir el nitrógeno atmosférico en una forma que las plantas pueden absorber y utilizar, demostraron ser una herramienta poderosa para mejorar la fertilidad del suelo sin la necesidad de fertilizantes químicos. La investigación en este campo continuó creciendo, sentando las bases para la agricultura moderna y sostenible (Vázquez et al., 2020).

La revolución verde, que tuvo lugar en la década de 1960, fue un periodo de gran innovación agrícola que impulsó el uso masivo de fertilizantes químicos sintéticos. Aunque esta revolución aumentó la productividad agrícola a niveles sin precedentes, también generó importantes preocupaciones ambientales debido al uso intensivo de productos químicos. En respuesta a estos problemas ambientales, la década de 1970 vio un resurgimiento del interés en la agricultura sostenible y la búsqueda de alternativas a los fertilizantes químicos. Este interés renovado impulsó la investigación y el desarrollo de biofertilizantes, productos que utilizan microorganismos beneficiosos para mejorar la salud del suelo y promover el crecimiento de las plantas de manera más natural y ecológica (Alborno-Jover, 2020).

En la actualidad, la fertilización biológica se reconoce como una práctica fundamental para la agricultura sostenible. Los biofertilizantes ofrecen una serie de beneficios significativos, entre ellos la mejora de la fertilidad y la estructura del suelo, el aumento de la disponibilidad de nutrientes para las plantas y la promoción de la actividad microbiana en el suelo. Además, el uso de biofertilizantes reduce la dependencia de los fertilizantes químicos sintéticos, contribuyendo a minimizar el impacto ambiental de la agricultura moderna (Waseem *et al.*, 2020).

La fertilización biológica no solo mejora la calidad del suelo y la salud de las plantas, sino que también juega un papel crucial en la mitigación de los efectos del cambio climático. Al reducir la necesidad de fertilizantes químicos, se disminuye la emisión de gases de efecto invernadero asociados a su producción y aplicación. Además, la práctica de la fertilización biológica fomenta la biodiversidad del suelo, creando un ecosistema más resiliente y sostenible (Valenzuela-Ruiz, y otros, 2020).

2.1.2. Fertilización biológica

La fertilización biológica, también conocida como biofertilización, es una práctica agrícola que utiliza microorganismos beneficiosos para mejorar la fertilidad del suelo y promover el crecimiento de las plantas. Estos microorganismos, que incluyen bacterias, hongos y algas, interactúan de manera simbiótica con las plantas, ayudándolas a absorber nutrientes esenciales del suelo. A diferencia de los fertilizantes químicos sintéticos, que proporcionan nutrientes de forma directa, los biofertilizantes mejoran la capacidad natural del suelo para suministrar estos nutrientes, promoviendo así un ecosistema agrícola más sostenible (Saad, Eida, & Hirt, 2020).

La fertilización biológica es de suma importancia en la agricultura moderna por varias razones. En primer lugar, ayuda a mantener y mejorar la salud del suelo. Los suelos saludables son fundamentales para el crecimiento de las plantas, ya que proporcionan los nutrientes necesarios y un entorno adecuado para el desarrollo de las raíces. Además, la fertilización biológica contribuye a la sostenibilidad agrícola al reducir la dependencia de fertilizantes químicos, que a menudo tienen efectos adversos sobre el medio ambiente (Rojas-Padilla *et al.*, 2020).

Otra razón por la que la fertilización biológica es importante es que promueve la biodiversidad del suelo. Los microorganismos beneficiosos, como las bacterias fijadoras de nitrógeno y los hongos micorrícicos, no solo ayudan a las plantas a absorber nutrientes, sino que también mejoran la estructura del suelo, aumentan su capacidad de retención de agua y facilitan la descomposición de materia orgánica. Esto crea un entorno más favorable para una amplia variedad de organismos del

suelo, lo que a su vez mejora la resiliencia del ecosistema agrícola (Ibarra-Villarreal *et al.*, 2021).

2.1.3. Ventajas de la fertilización biológica

Las ventajas de la fertilización biológica son numerosas y abarcan aspectos tanto agronómicos como ambientales y económicos.

2.1.3.1. Mejora de la fertilidad del suelo

Una de las principales ventajas de la fertilización biológica es la mejora de la fertilidad del suelo. Los microorganismos beneficiosos ayudan a descomponer la materia orgánica y liberan nutrientes esenciales como nitrógeno, fósforo y potasio en formas que las plantas pueden absorber fácilmente. Además, algunas bacterias, como las rizobios, tienen la capacidad de fijar el nitrógeno atmosférico y convertirlo en amonio, un nutriente esencial para el crecimiento de las plantas (Díaz-Rodríguez *et al.*, 2021).

2.1.3.2. Promoción del crecimiento de las plantas

Los biofertilizantes promueven el crecimiento de las plantas no solo al proporcionar nutrientes esenciales, sino también al mejorar la estructura del suelo y aumentar su capacidad de retención de agua. Los hongos micorrícicos, por ejemplo, forman asociaciones simbióticas con las raíces de las plantas, extendiendo su red de hifas para explorar una mayor área del suelo en busca de nutrientes y agua. Esto permite a las plantas acceder a recursos que de otro modo no estarían disponibles para ellas (Córdova *et al.*, 2021).

2.1.3.3. Reducción del uso de fertilizantes químicos

La fertilización biológica puede reducir significativamente la dependencia de fertilizantes químicos sintéticos, los cuales pueden tener efectos negativos sobre el medio ambiente. Los fertilizantes químicos suelen ser producidos utilizando procesos industriales que consumen mucha energía y emiten grandes cantidades

de gases de efecto invernadero. Además, el uso excesivo de fertilizantes químicos puede llevar a la contaminación del agua y del suelo, afectando negativamente a la vida acuática y a la biodiversidad terrestre (Chávez-Díaz et al., 2020).

2.1.3.4. Sostenibilidad ambiental

Al utilizar biofertilizantes, los agricultores pueden reducir el impacto ambiental de sus prácticas agrícolas. Los microorganismos beneficiosos no solo mejoran la fertilidad del suelo y promueven el crecimiento de las plantas, sino que también ayudan a secuestrar carbono en el suelo, contribuyendo así a la mitigación del cambio climático. Además, la reducción en el uso de fertilizantes químicos disminuye la contaminación del agua y del suelo, lo que ayuda a preservar los ecosistemas naturales y la biodiversidad (Cruz-Cárdenas et al., 2021).

2.1.3.5. Ahorro económico

El uso de biofertilizantes puede ser más económico a largo plazo en comparación con los fertilizantes químicos. Aunque la aplicación de biofertilizantes puede requerir una inversión inicial, los costos a largo plazo son generalmente menores debido a la reducción en la necesidad de insumos químicos y la mejora general de la salud del suelo. Esto puede resultar en menores costos de producción y mayores rendimientos agrícolas a lo largo del tiempo (Yuan et al., 2021).

2.1.4. Desventajas de la fertilización biológica

A pesar de sus numerosas ventajas, la fertilización biológica también presenta algunas desventajas y desafíos que deben ser considerados.

2.1.4.1. Eficacia variable

La eficacia de los biofertilizantes puede ser variable y depende de diversos factores, como el tipo de suelo, las condiciones climáticas y la composición de los microorganismos del suelo. En algunos casos, los biofertilizantes pueden no funcionar tan bien como los fertilizantes químicos, especialmente en suelos que

carecen de la estructura y las condiciones adecuadas para sostener a los microorganismos beneficiosos (Tiwow, Abram, & Simatupang, 2020).

2.1.4.2. Requiere conocimiento técnico

La aplicación efectiva de biofertilizantes requiere un conocimiento técnico adecuado sobre los tipos de microorganismos que son más beneficiosos para ciertos cultivos y condiciones del suelo. Los agricultores deben estar capacitados para manejar y aplicar estos productos correctamente, lo que puede representar un desafío, especialmente en áreas rurales con acceso limitado a recursos educativos y técnicos (Shanthi & Anantharaman, 2021).

2.1.4.3. Tiempo de respuesta

A diferencia de los fertilizantes químicos, que pueden proporcionar nutrientes de manera inmediata, los biofertilizantes suelen tener un tiempo de respuesta más lento. Los microorganismos necesitan tiempo para colonizar el suelo y establecer relaciones simbióticas con las plantas, lo que puede retrasar los efectos visibles sobre el crecimiento de las plantas y los rendimientos agrícolas (Ranasinghe, Kannagara, & Ratnayake, 2021).

2.1.4.4. Compatibilidad con prácticas agrícolas

Los biofertilizantes pueden no ser compatibles con todas las prácticas agrícolas, especialmente aquellas que implican el uso intensivo de pesticidas y herbicidas. Estos productos químicos pueden afectar negativamente a los microorganismos beneficiosos, reduciendo su eficacia y beneficios. Por lo tanto, la adopción de biofertilizantes a menudo requiere un cambio hacia prácticas agrícolas más sostenibles y menos dependientes de insumos químicos (Nurhayati *et al.*, 2020).

2.1.4.5. Disponibilidad y costos iniciales

En algunas regiones, la disponibilidad de biofertilizantes puede ser limitada y los costos iniciales pueden ser más altos en comparación con los fertilizantes químicos.

Aunque los costos a largo plazo pueden ser menores, la inversión inicial puede ser una barrera para los agricultores, especialmente para aquellos con recursos financieros limitados (Lakhal *et al.*, 2020).

2.1.5. *Bacillus subtilis*

Bacillus subtilis es una bacteria grampositiva de forma bacilar que se encuentra comúnmente en el suelo y en el tracto gastrointestinal de los rumiantes y humanos. Es una bacteria esporulante, lo que significa que puede formar esporas resistentes que le permiten sobrevivir en condiciones ambientales adversas. Esta capacidad de formar esporas ha hecho que *Bacillus subtilis* sea un organismo modelo en estudios sobre la esporulación y la resistencia bacteriana. Además, su capacidad para producir una amplia gama de enzimas y antibióticos naturales lo convierte en un microorganismo de gran importancia en diversas aplicaciones biotecnológicas y agrícolas (Kusumawati *et al.*, 2021).

Desde el punto de vista morfológico, *Bacillus subtilis* presenta una serie de características distintivas. Es un bacilo de aproximadamente 4-10 micrómetros de longitud y 0.25-1.0 micrómetros de diámetro. Las células son móviles debido a la presencia de flagelos peritricos, lo que les permite moverse activamente en su entorno. Esta bacteria también es aerobio facultativo, lo que significa que puede crecer en presencia o ausencia de oxígeno, aunque prefiere ambientes oxigenados. Las colonias de *Bacillus subtilis* en medios de cultivo suelen ser opacas, de color blanquecino a crema, y tienen una textura seca y rugosa debido a la producción de esporas (Wahab *et al.* 2023).

La importancia de *Bacillus subtilis* radica en su versatilidad y su capacidad para adaptarse a diferentes entornos, lo que le permite desempeñar múltiples funciones ecológicas y biotecnológicas. Una de las principales áreas de interés es su uso en la agricultura como agente biocontrolador y biofertilizante. *Bacillus subtilis* puede colonizar las raíces de las plantas y formar una relación beneficiosa con ellas, mejorando la absorción de nutrientes y la resistencia a enfermedades (Chacón-Villalobos *et al.*, 2021). Esta bacteria produce una variedad de compuestos antimicrobianos, como antibióticos y enzimas líticas, que inhiben el crecimiento de

patógenos fitopatógenos y protegen a las plantas contra infecciones. Además, *Bacillus subtilis* puede inducir respuestas sistémicas de resistencia en las plantas, lo que les proporciona una protección generalizada contra diversas enfermedades (Kim, Jung, & Kim, 2021).

El uso de *Bacillus subtilis* en la agricultura se ha expandido significativamente debido a su capacidad para mejorar la salud del suelo y las plantas de manera sostenible. Como biofertilizante, esta bacteria promueve el crecimiento vegetal al solubilizar fósforo y otros nutrientes esenciales, haciéndolos más accesibles para las plantas. Además, *Bacillus subtilis* puede fijar nitrógeno, aunque no de manera tan eficiente como las bacterias rizobianas. Sin embargo, su principal contribución al crecimiento de las plantas proviene de su capacidad para producir fitohormonas, como auxinas, citoquininas y giberelinas, que estimulan el desarrollo de las raíces y mejoran la absorción de agua y nutrientes (Kim *et al.*, 2020).

En términos de biocontrol, *Bacillus subtilis* es eficaz contra una amplia gama de patógenos de plantas, incluyendo hongos, bacterias y nematodos. Produce antibióticos como iturina, surfactina y fengicina, que tienen propiedades antifúngicas y antibacterianas. Estos compuestos disrupten las membranas celulares de los patógenos, inhibiendo su crecimiento y proliferación. Además, *Bacillus subtilis* puede competir con los patógenos por nutrientes y espacio en la rizosfera, reduciendo así la incidencia de enfermedades. La producción de enzimas líticas, como quitinasas y glucanasas, también contribuye a la degradación de las paredes celulares de los hongos patógenos, ofreciendo una defensa adicional para las plantas (Kang *et al.*, 2020).

El mecanismo de acción de *Bacillus subtilis* en el control biológico y la promoción del crecimiento vegetal es multifacético. Primero, la bacteria coloniza la rizosfera, formando biopelículas en las raíces de las plantas. Estas biopelículas no solo proporcionan una barrera física contra los patógenos, sino que también facilitan la interacción y comunicación entre las bacterias y las plantas. *Bacillus subtilis* utiliza una variedad de señales químicas para coordinar la formación de biopelículas y la producción de compuestos antimicrobianos. Este proceso, conocido como quorum sensing, permite a la bacteria ajustar su comportamiento en función de la densidad

de población, optimizando así su efectividad en el biocontrol y la promoción del crecimiento (Jung & Kim, 2020).

Una vez establecida en la rizosfera, *Bacillus subtilis* comienza a producir una gama de compuestos bioactivos que benefician a las plantas. Los antibióticos producidos por esta bacteria son particularmente efectivos contra hongos patógenos del suelo, como *Fusarium*, *Pythium* y *Rhizoctonia*, que causan enfermedades devastadoras en los cultivos. Además de los antibióticos, *Bacillus subtilis* produce sideróforos, que son compuestos que quelan hierro del suelo y lo hacen más accesible para las plantas. Este mecanismo no solo mejora la nutrición de las plantas, sino que también priva a los patógenos de un nutriente esencial, limitando así su crecimiento (Hussain, Kasinadhuni, & Arioli, 2021).

Otra estrategia importante utilizada por *Bacillus subtilis* es la inducción de resistencia sistémica en las plantas. Cuando las plantas son colonizadas por esta bacteria, experimentan cambios en su metabolismo que las preparan para defenderse mejor contra futuros ataques de patógenos. Este fenómeno, conocido como resistencia sistémica inducida (ISR), implica la activación de una serie de respuestas defensivas en toda la planta, que incluyen la producción de proteínas de defensa y compuestos antimicrobianos. La ISR proporcionada por *Bacillus subtilis* es eficaz contra una amplia gama de patógenos y puede mejorar significativamente la resistencia de los cultivos a enfermedades (Gibilisco, 2020).

Además de sus aplicaciones en el control biológico y la fertilización, *Bacillus subtilis* también es ampliamente utilizado en la industria de la biotecnología. Esta bacteria es un productor eficiente de enzimas industriales, como proteasas, amilasas y lipasas, que son utilizadas en una variedad de procesos industriales, desde la fabricación de detergentes hasta la producción de alimentos y bebidas (Cruz-Cárdenas *et al.*, 2021). *Bacillus subtilis* también es un organismo modelo en la investigación microbiológica debido a su capacidad para formar esporas, lo que ha permitido a los científicos estudiar los mecanismos de esporulación y resistencia bacteriana en detalle. La manipulación genética de *Bacillus subtilis* es relativamente sencilla, lo que ha llevado al desarrollo de cepas modificadas para la producción de

proteínas recombinantes y otros productos biotecnológicos de alto valor (Florez-Jalixto *et al.*, 2021).

La biología de *Bacillus subtilis* es compleja y fascinante. Esta bacteria posee un genoma relativamente grande y bien estudiado, que incluye genes responsables de la producción de antibióticos, enzimas y otros compuestos bioactivos. La regulación genética en *Bacillus subtilis* es altamente controlada, lo que permite a la bacteria adaptarse rápidamente a cambios en su entorno (Dos Santos-Lopes *et al.*, 2020). La formación de esporas es un proceso altamente regulado que se activa en respuesta a condiciones de estrés, como la falta de nutrientes o la presencia de sustancias tóxicas. Las esporas de *Bacillus subtilis* son extremadamente resistentes y pueden sobrevivir durante largos períodos en condiciones adversas, lo que asegura la supervivencia de la bacteria en ambientes cambiantes (Vishnu, Yasasvi, & Tarate, 2022).

En el contexto de la microbiología ambiental, *Bacillus subtilis* desempeña un papel crucial en la degradación de materia orgánica y el reciclaje de nutrientes en los ecosistemas terrestres. Su capacidad para descomponer una amplia variedad de compuestos orgánicos la convierte en una bacteria clave en los ciclos biogeoquímicos del suelo (Rojas-Padilla *et al.*, 2020). Además, la interacción de *Bacillus subtilis* con otras comunidades microbianas en el suelo puede influir en la dinámica de las poblaciones microbianas y en la salud general del ecosistema. Por ejemplo, la competencia de *Bacillus subtilis* con otros microorganismos por recursos y espacio puede afectar la composición y función de las comunidades microbianas del suelo, con implicaciones para la productividad y sostenibilidad de los ecosistemas agrícolas (Odoh *et al.*, 2020).

En términos de aplicaciones prácticas, *Bacillus subtilis* se ha convertido en un componente clave de muchos productos comerciales de biocontrol y biofertilización. Estos productos suelen formularse con esporas de *Bacillus subtilis*, que pueden aplicarse al suelo o a las plantas mediante diferentes métodos, como el riego, la aspersión o el recubrimiento de semillas (Chávez-Díaz *et al.*, 2020). La alta resistencia de las esporas garantiza la viabilidad y eficacia del producto, incluso en condiciones ambientales difíciles. La formulación de productos basados en

Bacillus subtilis también puede incluir otros aditivos, como nutrientes y agentes protectores, que mejoran la supervivencia y actividad de la bacteria en el campo (Dos Santos-Lopes *et al.*, 2020).

Además de su uso en la agricultura convencional, *Bacillus subtilis* también tiene aplicaciones en la agricultura orgánica y sostenible. La capacidad de esta bacteria para mejorar la salud del suelo y promover el crecimiento de las plantas sin el uso de productos químicos sintéticos la convierte en una herramienta valiosa para los agricultores orgánicos. Los productos basados en *Bacillus subtilis* pueden utilizarse para controlar enfermedades de las plantas y mejorar los rendimientos de los cultivos en sistemas agrícolas que buscan minimizar el impacto ambiental y preservar la biodiversidad del suelo. La integración de *Bacillus subtilis* en prácticas agrícolas sostenibles puede contribuir significativamente a la resiliencia y sostenibilidad de los sistemas de producción de alimentos (Gutiérrez-León *et al.*, 2023).

2.1.6. *Trichoderma harzianum*

Trichoderma harzianum es un hongo filamentoso que pertenece al género *Trichoderma*, ampliamente reconocido por sus propiedades biocontroladoras y promotoras del crecimiento vegetal. Este hongo se encuentra comúnmente en el suelo y en materia orgánica en descomposición, donde actúa como un importante agente de control biológico contra una variedad de patógenos de plantas. *Trichoderma harzianum* ha sido objeto de extensos estudios debido a su capacidad para inhibir el crecimiento de otros hongos fitopatógenos y su potencial para mejorar la salud y el rendimiento de las plantas (Zhang *et al.*, 2020).

Morfológicamente, *Trichoderma harzianum* presenta características distintivas que facilitan su identificación. Es un hongo filamentoso con micelio que varía en color desde el blanco hasta el verde oscuro. Sus conidióforos son ramificados y producen conidios en cadenas o racimos, que son de forma esférica a elíptica y de color verde a verde oscuro cuando maduran. Las colonias de *Trichoderma harzianum* en medios de cultivo suelen ser densas y de crecimiento rápido, cubriendo

rápidamente la superficie del medio con su característico micelio verde (Villarreal-Delgado *et al.*, 2020).

La importancia de *Trichoderma harzianum* radica en sus múltiples funciones en la biocontrol de enfermedades de plantas y en la promoción del crecimiento vegetal. Este hongo actúa como un antagonista efectivo de una amplia gama de patógenos de plantas, incluidos hongos y bacterias. *Trichoderma harzianum* ejerce su acción de biocontrol a través de varios mecanismos, como la competencia por nutrientes y espacio, la producción de enzimas líticas y compuestos antimicrobianos, y la inducción de resistencia sistémica en las plantas (Tahir *et al.*, 2020).

Uno de los principales mecanismos por los cuales *Trichoderma harzianum* controla los patógenos es la competencia. Este hongo coloniza rápidamente la rizosfera y otras superficies disponibles, utilizando los recursos de manera más eficiente que los patógenos. Al competir por nutrientes y espacio, *Trichoderma harzianum* reduce la capacidad de los patógenos para establecerse y proliferar. Además, este hongo produce una variedad de enzimas líticas, como quitinasas y glucanasas, que degradan las paredes celulares de los hongos patógenos, inhibiendo su crecimiento y causando su lisis (Metwally & Al-Amri, 2020).

La producción de metabolitos secundarios es otra estrategia clave utilizada por *Trichoderma harzianum* en el control biológico. Este hongo produce compuestos antimicrobianos como gliotoxina, viridiflorina y harzianina, que tienen propiedades antifúngicas y antibacterianas. Estos compuestos disrupten las membranas celulares de los patógenos y alteran sus procesos metabólicos, limitando su capacidad para infectar las plantas. La acción combinada de enzimas líticas y metabolitos secundarios hace que *Trichoderma harzianum* sea un agente de biocontrol altamente efectivo (Lami *et al.*, 2020).

Trichoderma harzianum también es conocido por su capacidad para inducir resistencia sistémica en las plantas, un proceso conocido como resistencia sistémica inducida (ISR). Cuando las plantas son tratadas con *Trichoderma harzianum*, experimentan cambios en su metabolismo que las preparan para defenderse mejor contra futuros ataques de patógenos. La ISR implica la activación

de una serie de respuestas defensivas en toda la planta, que incluyen la producción de proteínas de defensa y compuestos antimicrobianos. Este fenómeno no solo proporciona protección contra una amplia gama de patógenos, sino que también mejora la salud general de las plantas (Khashei, Etemadifar, & Rahmani, 2020).

En términos de promoción del crecimiento vegetal, *Trichoderma harzianum* ofrece varios beneficios adicionales. Este hongo mejora la estructura del suelo y la disponibilidad de nutrientes, lo que facilita la absorción de agua y nutrientes por las raíces de las plantas. *Trichoderma harzianum* produce fitohormonas como auxinas, citoquininas y giberelinas, que estimulan el crecimiento y desarrollo de las plantas. La colonización de las raíces por *Trichoderma harzianum* también mejora la resistencia de las plantas a estrés abiótico, como sequía y salinidad, lo que contribuye a un mayor rendimiento de los cultivos (Jiménez-Gómez *et al.*, 2020).

El uso de *Trichoderma harzianum* en la agricultura ha crecido significativamente debido a sus múltiples beneficios. Este hongo se utiliza ampliamente como un biofungicida en el manejo integrado de plagas (MIP) para controlar enfermedades del suelo y foliares en una variedad de cultivos. Los productos comerciales que contienen *Trichoderma harzianum* están disponibles en diferentes formulaciones, como polvo, gránulos y soluciones líquidas, y se aplican mediante diferentes métodos, como el tratamiento de semillas, la aplicación al suelo y la aspersión foliar. La alta efectividad y la baja toxicidad de estos productos los hacen ideales para la agricultura sostenible y orgánica (Jha *et al.*, 2020).

Trichoderma harzianum no solo mejora la salud y el rendimiento de las plantas, sino que también contribuye a la sostenibilidad ambiental. Al reducir la necesidad de fungicidas químicos, *Trichoderma harzianum* disminuye la carga de productos químicos en el medio ambiente, lo que ayuda a preservar la biodiversidad del suelo y a proteger los ecosistemas acuáticos de la contaminación por agroquímicos. Además, la capacidad de *Trichoderma harzianum* para degradar materia orgánica y reciclar nutrientes mejora la fertilidad del suelo a largo plazo, promoviendo sistemas agrícolas más resilientes y sostenibles (Hindersah *et al.*, Fitriatin, 2020). A pesar de sus numerosos beneficios, el uso de *Trichoderma harzianum* también enfrenta ciertos desafíos. La efectividad de este hongo como agente de biocontrol

puede verse influenciada por factores ambientales como la temperatura, la humedad y el pH del suelo. Además, la compatibilidad de *Trichoderma harzianum* con otros microorganismos del suelo y su interacción con los patógenos pueden variar según las condiciones específicas del entorno agrícola. Para maximizar la eficacia de *Trichoderma harzianum*, es importante realizar un manejo adecuado y monitorear las condiciones del suelo y las plantas (Cisternas-Jamet *et al.*, 2020).

La biología de *Trichoderma harzianum* es compleja y está influenciada por múltiples factores ambientales y genéticos. Este hongo posee un genoma grande y diversificado que codifica para una amplia gama de enzimas y compuestos bioactivos. La regulación genética en *Trichoderma harzianum* es altamente controlada y está modulada por señales ambientales y metabólicas (Metwally & Al-Amri, 2020). La expresión de genes relacionados con la producción de enzimas líticas y metabolitos secundarios puede inducirse en respuesta a la presencia de patógenos o a condiciones de estrés, lo que permite a *Trichoderma harzianum* adaptarse rápidamente a su entorno y desempeñar eficazmente su papel como agente de biocontrol (Macías-Duarte *et al.*, 2021).

En términos de investigación y desarrollo, *Trichoderma harzianum* ha sido objeto de numerosos estudios científicos que han proporcionado una comprensión detallada de sus mecanismos de acción y su interacción con las plantas y los patógenos. Estos estudios han llevado al desarrollo de cepas mejoradas y productos formulados que optimizan la efectividad de *Trichoderma harzianum* en diferentes condiciones agrícolas. La ingeniería genética y las técnicas de biología molecular han permitido la manipulación de *Trichoderma harzianum* para aumentar la producción de enzimas y compuestos antimicrobianos, así como para mejorar su capacidad de colonización y persistencia en el suelo (De Araújo-Ronilson *et al.*, 2021).

Además de sus aplicaciones en la agricultura, *Trichoderma harzianum* también tiene potencial en otras áreas, como la biorremediación y la producción industrial de enzimas. Este hongo puede degradar una amplia variedad de compuestos orgánicos y contaminantes, lo que lo convierte en un candidato prometedor para la limpieza de suelos contaminados y aguas residuales. La capacidad de *Trichoderma*

harzianum para producir enzimas industriales, como celulasas y hemicelulasas, también ha llevado a su uso en la industria de biocombustibles y en la producción de alimentos y piensos (Chacón-Villalobos *et al.*, 2021).

2.1.7. Vivero de banano

El cultivo de banano en fase de vivero es una etapa crucial en la producción de esta fruta, ya que asegura la calidad y sanidad de las plantas antes de su trasplante a campo abierto. Este proceso implica la propagación, el cuidado y el desarrollo inicial de las plantas de banano en un ambiente controlado, proporcionando las condiciones óptimas para su crecimiento. A continuación, se describe detalladamente cada aspecto del cultivo de banano en fase de vivero, incluyendo la selección de material de siembra, el establecimiento y manejo del vivero, así como las prácticas de mantenimiento necesarias para garantizar el éxito en esta fase (Zambrano-Uriña, 2022).

El primer paso en el cultivo de banano en vivero es la selección de material de siembra adecuado. El banano se propaga principalmente a través de cormos o retoños (hijuelos), aunque también se puede propagar mediante cultivo de tejidos, una técnica que permite la producción de plantas libres de enfermedades y uniformes. La selección de cormos sanos es esencial para evitar la introducción de patógenos al vivero. Los cormos deben provenir de plantas madre vigorosas y libres de síntomas de enfermedades como el mal de Panamá o la sigatoka negra. En el caso del cultivo de tejidos, se seleccionan meristemos de plantas sanas que luego se multiplican en laboratorio bajo condiciones estériles (Bolfarini *et al.*, 2020).

El establecimiento del vivero es un paso crítico que implica la preparación de un área adecuada para albergar las plantas jóvenes. Es fundamental elegir un sitio con buen drenaje, acceso a agua de riego de calidad y protección contra vientos fuertes y animales. El suelo del vivero debe ser bien preparado, lo que incluye labores como la desinfección, para eliminar posibles patógenos del suelo. En muchos casos, se utilizan sustratos esterilizados y libres de enfermedades para plantar los cormos o las plántulas obtenidas por cultivo de tejidos. Los sustratos más comunes

incluyen mezclas de tierra, arena, y materia orgánica, que proporcionan un medio de crecimiento adecuado y libre de contaminantes (Domingues-Lima *et al.*, 2022).

La plantación en el vivero se realiza de manera que cada planta tenga suficiente espacio para crecer sin competencia. Las plántulas de banano se colocan en macetas o bolsas de polietileno llenas de sustrato, asegurando un buen contacto entre las raíces y el sustrato para facilitar la absorción de nutrientes y agua. La densidad de plantación en el vivero puede variar, pero generalmente se busca mantener una distancia suficiente para permitir el desarrollo saludable de las plantas y facilitar las labores de mantenimiento (Zhiminaicela, Quevedo, & García, 2020).

Una vez establecidas en el vivero, las plantas de banano requieren un manejo cuidadoso para asegurar su crecimiento óptimo. Esto incluye prácticas como el riego, la fertilización, el control de plagas y enfermedades, y el manejo de la luz y la temperatura. El riego es fundamental en esta fase, ya que las plantas jóvenes son muy sensibles a la falta de agua. Se debe asegurar un suministro constante y uniforme de agua, evitando tanto el exceso como el déficit hídrico. Los sistemas de riego por goteo o microaspersión son ideales para mantener la humedad del sustrato sin encharcamientos (Valdés-Hernández *et al.*, 2020).

La fertilización en el vivero es igualmente importante para proporcionar los nutrientes necesarios para el crecimiento de las plantas. Se recomienda el uso de fertilizantes equilibrados que contengan nitrógeno, fósforo, y potasio, además de micronutrientes esenciales como el magnesio, calcio y hierro. Estos fertilizantes pueden aplicarse de manera regular, siguiendo un programa de fertilización que considere las necesidades específicas de las plántulas en cada etapa de su desarrollo. Es fundamental monitorear el estado nutricional de las plantas mediante análisis foliares o del sustrato para ajustar las dosis de fertilizantes según sea necesario (Tuárez-García *et al.*, 2020).

El control de plagas y enfermedades en el vivero es crucial para asegurar que las plantas de banano se mantengan sanas y libres de infecciones que puedan afectar su desarrollo. Se debe implementar un programa de monitoreo regular para

detectar la presencia de insectos, hongos, bacterias y nematodos. En caso de detectar plagas o enfermedades, se pueden utilizar medidas de control biológico, como la introducción de enemigos naturales, o productos fitosanitarios autorizados, siempre siguiendo las recomendaciones técnicas y las normativas locales para evitar la resistencia y preservar el equilibrio ecológico (Tonon-Ordóñez *et al.*, 2022).

El manejo de la luz y la temperatura es otro aspecto importante en el vivero. Las plantas de banano necesitan luz solar para su crecimiento, pero en sus primeras etapas pueden ser sensibles a la radiación directa y a temperaturas extremas. Por esta razón, se recomienda utilizar mallas sombra que reduzcan la intensidad de la luz y protejan las plantas de las altas temperaturas durante el día. Además, es crucial mantener una temperatura adecuada en el vivero, generalmente entre 20 y 30 grados Celsius, para asegurar un crecimiento óptimo. En regiones donde las temperaturas pueden descender por debajo de este rango, se deben implementar medidas de protección como el uso de invernaderos o túneles de plástico (Phillips *et al.*, 2021).

El tiempo que las plantas de banano permanecen en el vivero antes de ser trasplantadas a campo abierto varía según las condiciones ambientales y el manejo del vivero, pero generalmente oscila entre 3 y 6 meses. Durante este periodo, es importante realizar trasplantes a macetas más grandes si las plantas muestran signos de limitación de espacio, como el enraizamiento en la base de las bolsas o macetas. Esto asegura que las plantas tengan suficiente espacio para desarrollar un sistema radicular robusto antes de ser trasladadas al campo (León, Carvajal, & Quezada, 2023).

CAPÍTULO III: DISEÑO METODOLÓGICO

METODOLÓGICO

3.1. Tipo y diseño de investigación

La investigación realizada fue de tipo experimental, enfocada en evaluar el impacto de diferentes tratamientos de fertilización biológica sobre el desarrollo de plántulas de banano (*Musa* spp. AAA) durante la etapa de vivero. El diseño del estudio fue completamente al azar (DCA), con cinco tratamientos distintos en cuatro repeticiones, incluyendo un control sin fertilización biológica, *B. subtilis*, *T. harzianum*, una combinación de *B. subtilis* y *T. harzianum*, y Basfoliar algae®. Cada tratamiento fue aplicado a un grupo de plántulas distribuidas en parcelas experimentales uniformes, asegurando condiciones controladas para minimizar la variabilidad ambiental.

3.2. Población y la muestra

3.2.1. Características de la población

La población de estudio consistió en plántulas de banano cv. Williams de 12 semanas de edad, adquiridas de Galiltec S.A. Estas plántulas fueron seleccionadas por su uniformidad en edad y su origen específico de la variedad cv. Williams, comúnmente utilizada en cultivos comerciales por su calidad y rendimiento.

3.2.2. Delimitación de la población

3.2.2.1. Criterios de inclusión

Se incluyeron plántulas que cumplieran con los siguientes criterios:

- Edad de 12 semanas.
- Procedencia de Galiltec S.A.
- Variedad cv. Williams.
- Ausencia de enfermedades o daños visibles.

- Tamaño y altura uniformes.

3.2.2.2. Criterios de exclusión

Se excluyeron plántulas que presentaban alguna de las siguientes características:

- Edad diferente a 12 semanas.
- Procedencia distinta a Galiltec S.A.
- Variedad distinta a cv. Williams.
- Signos de enfermedades, daños físicos o plagas.

3.2.3. Tipo de muestra

Se utilizó una muestra aleatoria simple, donde las plántulas de banano cv. Williams de 12 semanas de edad, obtenidas de Galiltec S.A., fueron seleccionadas al azar para garantizar representatividad y minimizar sesgos en el estudio.

3.2.4. Tamaño de la muestra

Se determinó un tamaño de muestra de 100 plántulas de banano cv. Williams de 12 semanas de edad por tratamiento, totalizando 500 plántulas en el estudio, para garantizar un análisis estadísticamente significativo y robusto de los resultados.

3.2.5. Proceso de selección de la muestra

El proceso de selección de la muestra consistió en identificar las plántulas de banano cv. Williams de 12 semanas de edad provenientes de Galiltec S.A., aplicando criterios de inclusión y exclusión. Posteriormente, se seleccionaron aleatoriamente las plántulas necesarias para cada tratamiento, asegurando una representación equitativa y aleatoria de la población en estudio.

3.3. Métodos y técnicas

3.3.1. Manejo del experimento

La investigación se llevó a cabo en la finca "María José", ubicada en el km 7.5 de la vía Babahoyo - Quevedo, en el sector Santa Rita, entre las coordenadas geográficas 1°42'27.8" latitud Sur y 79°32'00.7" longitud Oeste, a una altitud de 9 m.s.n.m.

Antes de comenzar el ensayo, se procedió a limpiar completamente el área experimental, eliminando cualquier maleza y materiales que pudieran afectar el desarrollo de la investigación. Posteriormente, se niveló el terreno y se marcó el espacio designado para la colocación de las plantas. Las plántulas fueron transportadas temprano en la mañana para minimizar el estrés. Una vez en el sitio experimental, se agruparon en conjuntos de diez siguiendo la distribución de las unidades experimentales. El sustrato utilizado consistió en una mezcla de 25% tierra de huerto, 25% arena y 50% cascarilla de arroz.

El control de malezas se llevó a cabo de manera manual, eliminando las que estaban presentes en las fundas de las plántulas de banano. Esta medida se tomó para reducir la interferencia espacial y nutricional de las malezas con las plántulas del ensayo.

Se realizaron dos aplicaciones de fertilizante edáfico y una foliar. Cada aplicación edáfica consistió en 20 g por planta de fertilizante completo 10-30-10 (N-P-K), una a los 15 días y otra a los 45 días después de establecido el ensayo. Los tratamientos se aplicaron a los 20 y 40 días, siguiendo las siguientes especificaciones: T1: Control; T2: *B. subtilis* (1×10^{12} UFC g⁻¹); T3: *T. harzianum* (1×10^{12} UFC g⁻¹); T4: *B. subtilis* (1×10^{12} UFC g⁻¹) + *T. harzianum* (1×10^{12} UFC g⁻¹) y T5: Basfoliar algae® (1.5 L ha⁻¹)

Se realizaron riegos semanales en todas las unidades experimentales durante las primeras horas del día, evitando el encharcamiento del suelo en las fundas y aplicando una lámina de riego de 5 mm (5 L de agua por m²).

El control de insectos como trips (*Frankliniella* spp.), gusano trozador (*Agrotis* sp.), y ceramidia (*Ceramidia* sp.), se efectuó al inicio del cultivo y 22 días después, con aplicaciones alternadas de 1.0 L ha⁻¹ de *Beauveria bassiana* Green Import (*B. bassiana*: 1 x 10¹² UFC mL⁻¹) y 400 g ha⁻¹ de Raxter® (*M. anisopliae*: 2.0 x 10⁸ UFC g⁻¹).

3.3.2. Variables evaluadas

3.3.2.1. Altura de plántulas (cm)

Para la evaluación de esta variable, se utilizó una cinta métrica graduada en centímetros, considerando desde la base del corno hasta el ápice de la hoja más joven. Se realizó una medición al inicio del experimento, y luego se realizó evaluaciones cuando las plantas tuvieron 12 y 20 semanas de edad.

3.3.2.2. Crecimiento de plántulas (cm)

Para la determinación del crecimiento de las plántulas, se halló la diferencia entre la altura al final del ensayo y aquella registrada al inicio del ensayo. Este cálculo permitió identificar cual fue la magnitud en que crecieron las plántulas desde la primera hasta la última semana de evaluación dentro del ensayo.

3.3.2.3. Número de hojas por planta

En cada una de las evaluaciones de la altura y diámetro del pseudotallo, se realizó el conteo del número de hojas presentes en cada una de las plántulas evaluadas.

3.3.2.4. Emisión foliar (número de hojas)

Para la evaluación de esta variable, se procedió a llevar un registro del número de hojas emitidas desde el inicio del ensayo hasta su culminación, mediante un conteo de hojas. Luego se promedió de acuerdo a cada unidad experimental.

3.3.2.5. Sobrevivencia (%)

La sobrevivencia de las plántulas de banano en el ensayo, se estableció aplicando la fórmula descrita por Aguirre-Mendoza *et al.* (Aguirre-Mendoza, Gaona-Ochoa, Granda-Moser, & Carrión-González, 2019)

$$SPE = NPV / TPS * 100$$

Dónde:

SPE: Sobrevivencia de plántulas en el ensayo

NPV: Número de plántulas vivas

TPS: Total de plántulas sembradas

3.3.2.6. Longitud radicular (cm)

Se determinó la longitud de las raíces, seleccionando aquellas más largas en 10 plantas tomadas al azar, mismas que se midieron con una regla, para luego promediar y expresar la magnitud en centímetros.

3.3.2.7. Peso fresco radicular (g)

Al final del ensayo, se separó la parte radicular de 10 plantas seleccionadas aleatoriamente por cada unidad experimental. Luego se procedió a pesarlas en una balanza digital, para luego promediar de acuerdo a cada unidad experimental y expresar el peso en gramos.

3.3.2.8. Peso seco radicular (g)

Las raíces de las plántulas utilizadas para evaluar la variable anterior, se llevaron a la estufa a 65°C por un lapso de 48 horas, tiempo en que alcanzaron peso constante de acuerdo al procedimiento descrito por Vélez & Murillo (Vélez & Murillo, 2019).

3.4. Procesamiento estadístico de la información

El ensayo se realizó bajo un diseño completamente al azar (DCA), con cuatro tratamientos en cuatro repeticiones, considerando como unidad experimental a 10 plantas agrupadas de acuerdo a cada una de las mismas. Las variables de respuesta fueron sometidas al respectivo análisis de varianza (ANOVA), y se utilizó la prueba de Tukey ($p \leq 0.05$) para la comparación de las medias de los tratamientos.

La tabulación de los datos, se la hizo en Excel 2021. Mientras que para el procesamiento estadístico se utilizó Infostat versión 2020, desarrollado por Di Rienzo *et al.* (2020). El esquema del análisis de varianza utilizado en el ensayo se presenta en la Tabla 2.

Tabla 2. Esquema del análisis de varianza utilizado en el ensayo

Fuentes de variación	Fórmula	Grados de libertad
Tratamientos	$t - 1$	6
Error	GLT - GLt	13
Total	$t * r - 1$	19

CAPÍTULO IV: ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

4.1. Interpretación de los resultados

4.1.1. Altura de plantas (cm)

En la Tabla 3, se presentan los valores correspondientes a la altura de plantas de banano en respuesta a la fertilización biológica en fase de vivero. De acuerdo al análisis de varianza, los tratamientos no alcanzaron significancia estadística ($p > 0.9999$) para la evaluación a las 12 semanas de edad de las plantas, con un coeficiente de variación de 2.45 %, cuyos promedios de altura de planta oscilaron entre 34.70 y 34.75 cm.

Tabla 3. Altura de planta a las 12 y 20 semanas de edad de plántulas de banano en respuesta a la aplicación fertilización biológica en fase de vivero

Tratamientos	Altura de plantas (cm)	
	Semana 12	Semana 20
T1: Control	34.73 a	46.18 c
T2: <i>B. subtilis</i>	34.75 a	48.65 b
T3: <i>T. harzianum</i>	34.73 a	48.80 b
T4: <i>B. subtilis</i> + <i>T. harzianum</i>	34.70 a	51.30 a
T5: Basfoliar algae®	34.73 a	51.68
Promedio	34.73	49.32
Coefficiente de variación (%)	2.46	2.11

Promedios con la misma letra en cada grupo de datos no difieren estadísticamente según la prueba de Tukey ($p \leq 0.05$)

Por su parte, para la evaluación a las 20 semanas de edad, el análisis de varianza determinó que los tratamientos alcanzaron alta significancia estadística ($p < 0.0001$), siendo el coeficiente de variación 2.11%. Con la aplicación de T5: Basfoliar algae®, se registró mayor altura de plantas a las 20 semanas, con un promedio de 51.68 cm, en ausencia de diferencias significativas respecto a T4: *B. subtilis* + *T. harzianum*, que presentó plantas con altura promedio de 51.30 cm, y, estos tratamientos superaron significativamente a los tratamientos restantes en dicha evaluación, que presentaron valores entre 46.18 y 48.80 cm, correspondiendo la menor altura a T1: Control.

4.1.2. Número de hojas por planta

Los promedios presentados en la Tabla 4, corresponden al número de hojas por planta a las 12 y 20 semanas de edad de plántulas de banano en respuesta a la aplicación fertilización biológica en fase de vivero. El análisis de varianza reflejó que los tratamientos evaluados no alcanzaron significancia estadística para el número de hojas por planta en la semana 12 ($p=0.9829$), mientras que para la semana 20, éstos alcanzaron alta significancia estadística ($p<0.0001$). Los coeficientes de variación fluctuaron entre 2.28 y 4.73 %.

Tabla 4. Número de hojas por planta a las 12 y 20 semanas de edad de plántulas de banano en respuesta a la aplicación fertilización biológica en fase de vivero

Tratamientos	Número de hojas por planta	
	Semana 12	Semana 20
T1: Control	3.45 a	8.98 c
T2: <i>B. subtilis</i>	3.48 a	9.55 b
T3: <i>T. harzianum</i>	3.43 a	9.50 b
T4: <i>B. subtilis</i> + <i>T. harzianum</i>	3.43 a	10.10 a
T5: Basfoliar algae®	3.48 a	10.50 a
Promedio	3.45	9.73
Coefficiente de variación (%)	4.73	2.28

Promedios con la misma letra en cada grupo de datos no difieren estadísticamente según la prueba de Tukey ($p\leq 0.05$)

Cuando las plantas tuvieron 12 semanas de edad, los tratamientos no mostraron diferencias significativas entre sí, con promedios que oscilaron entre 3.43 y 3.48 hojas por planta. Para las 20 semanas de edad, se obtuvieron plantas con mayor número de hojas por planta, con 10.50 hojas, en igualdad estadística con la aplicación de T4: *B. subtilis* + *T. harzianum*, cuyo promedio fue de 10.10 hojas por planta. Los mencionados tratamientos, mostraron diferencias significativas por encima de los demás tratamientos que presentaron valores entre 8.98 y 9.55 hojas por planta, teniéndose el promedio más bajo en T1: Control.

4.1.3. Crecimiento de plantas

En la Figura 1, se presentan los promedios del crecimiento de plantas de banano de la semana 12 a la semana 20 en respuesta a la aplicación fertilización biológica en fase de vivero. De acuerdo al análisis de varianza, los tratamientos evaluados alcanzaron alta significancia estadística ($p < 0.0001$), siendo el coeficiente de variación 3.15%.

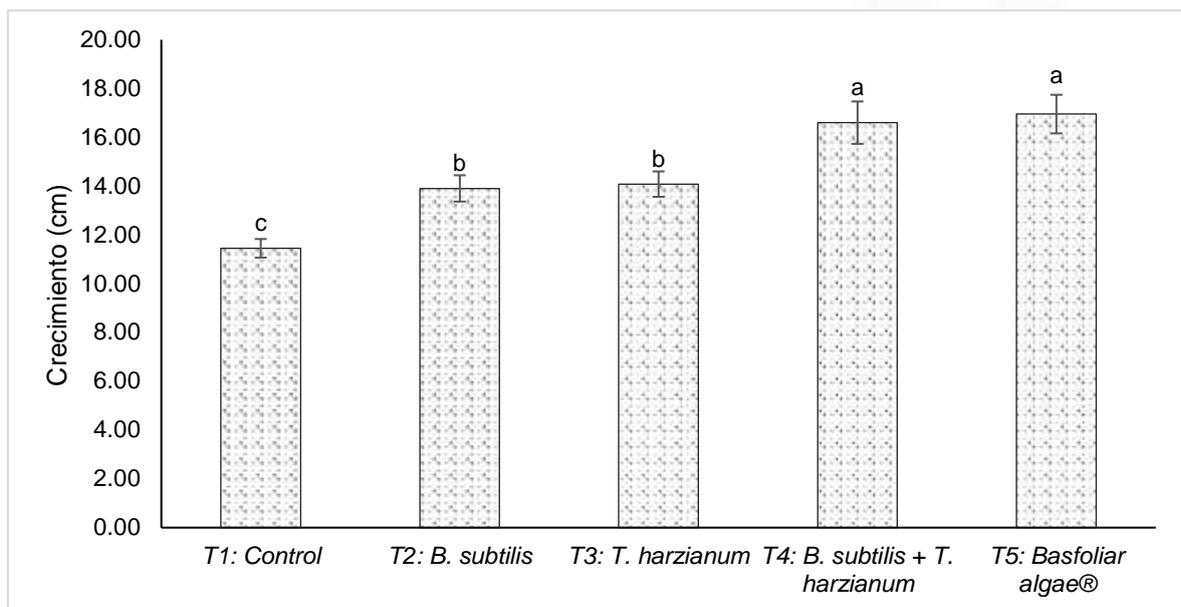


Figura 1. Crecimiento de plantas de banano de la semana 12 a la semana 20 en respuesta a la aplicación fertilización biológica en fase de vivero
Promedios con la misma letra no difieren estadísticamente según la prueba de Tukey ($p \leq 0.05$). Barras de error representan la desviación estándar de cada grupo de medias

Con la aplicación de T5: Basfoliar algae®, se evidenció mayor crecimiento de plantas en 8 semanas, con un promedio de 16.95 cm, en ausencia de diferencias significativas respecto a T4: *B. subtilis* + *T. harzianum*, cuyo promedio registrado fue de 16.60 cm. Los mencionados tratamientos superaron significativamente a los restantes que presentaron promedios entre 11.45 y 14.08 cm. El menor promedio de crecimiento de plantas se registró en T1: Control.

4.1.4. Emisión foliar

Los promedios de la emisión foliar de plantas de banano de la semana 12 a la semana 20 en respuesta a la aplicación fertilización biológica en fase de vivero, se

presentan en la Figura 2. El análisis de varianza determinó que los tratamientos alcanzaron alta significancia estadística ($p < 0.0001$), con un coeficiente de variación de 1.92%.

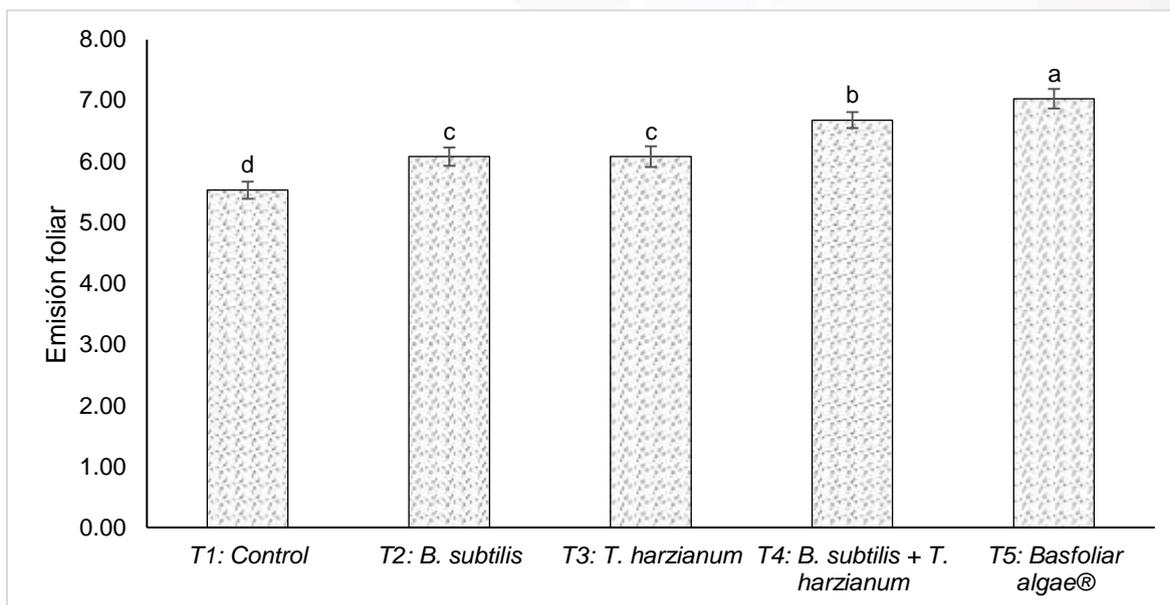


Figura 2. Emisión foliar de plantas de banano de la semana 12 a la semana 20 en respuesta a la aplicación fertilización biológica en fase de vivero
Promedios con la misma letra no difieren estadísticamente según la prueba de Tukey ($p \leq 0.05$). Barras de error representan la desviación estándar de cada grupo de medias

Bajo la aplicación de T5: Basfoliar algae®, las plantas emitieron mayor número de hojas por planta, con un promedio de 7.03 hojas, mostrando diferencias significativas por encima de los demás tratamientos que registraron valores entre 5.53 y 6.68 hojas emitidas por planta. La menor emisión foliar, se registró en T1: Control.

4.1.5. Sobrevivencia

En la Figura 3, se presentan los promedios de la sobrevivencia de plantas de banano desde la semana 12 a la semana 20 de edad en respuesta a la aplicación fertilización biológica en fase de vivero. Con base al análisis de varianza se pudo determinar que los tratamientos evaluados alcanzaron alta significancia estadística ($p = 0.0004$), siendo el coeficiente de variación 7.00%.

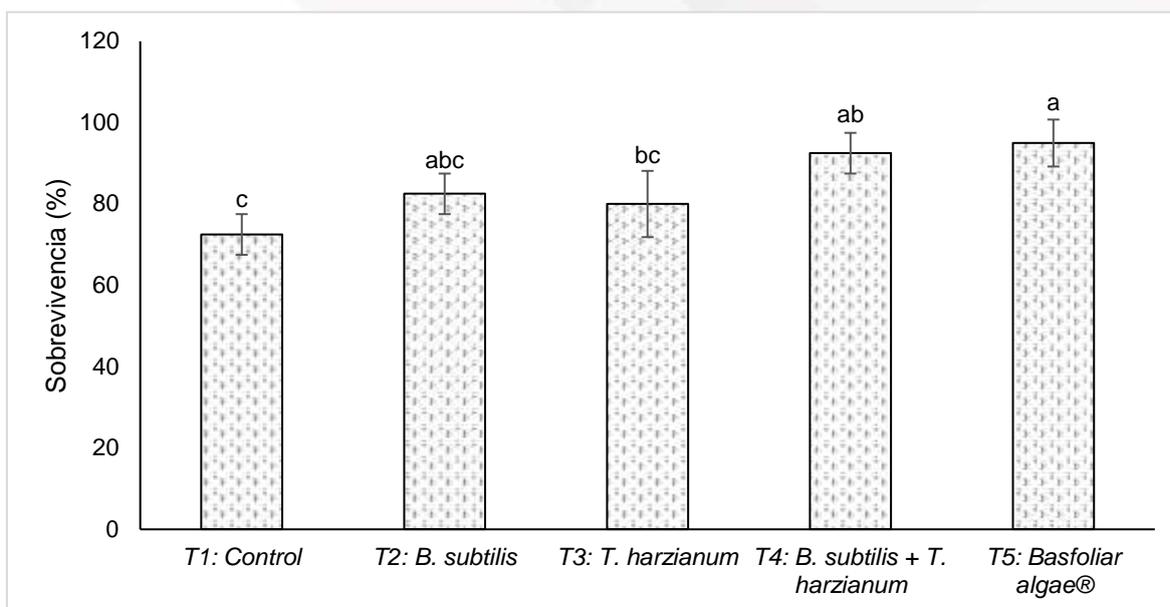


Figura 3. Sobrevivencia de plantas de banano desde la semana 12 a la semana 20 de edad en respuesta a la aplicación fertilización biológica en fase de vivero
Promedios con la misma letra no difieren estadísticamente según la prueba de Tukey ($p \leq 0.05$). Barras de error representan la desviación estándar de cada grupo de medias

Bajo la aplicación de T5: Basfoliar algae®, se registró mayor sobrevivencia, con un valor de 95.00% mayor crecimiento de plantas en 8 semanas, con un promedio de 16.95 cm, en ausencia de diferencias significativas respecto a T4: *B. subtilis* + *T. harzianum*, cuyo promedio registrado fue de 16.60 cm. Los mencionados tratamientos superaron significativamente a los restantes que presentaron promedios entre 11.45 y 14.08 cm. El menor promedio de crecimiento de plantas se registró en T1: Control.

4.1.6. Peso fresco y seco de la raíz (g)

En la Tabla 5, se presentan los valores correspondientes al Peso fresco y seco de la raíz en plantas de banano de 20 semanas de edad en respuesta a la aplicación fertilización biológica en fase de vivero. De acuerdo al análisis de varianza, los tratamientos alcanzaron alta significancia estadística para ambas variables ($p > 0.0001$), cuyos coeficientes de variación variaron entre 7.72 y 9.20%.

Tabla 5. Peso fresco y seco de la raíz en plantas de banano de 20 semanas de edad en respuesta a la aplicación fertilización biológica en fase de vivero

Tratamientos	Número de hojas por planta	
	Peso fresco de la raíz (g)	Peso seco de la raíz (g)
T1: Control	226.24 d	114.03 c
T2: <i>B. subtilis</i>	282.88 c	145.92 b
T3: <i>T. harzianum</i>	286.73 c	146.47 b
T4: <i>B. subtilis</i> + <i>T. harzianum</i>	383.16 a	190.71 a
T5: Basfoliar algae®	345.05 b	174.59 a
Promedio	304.81	154.34
Coefficiente de variación (%)	7.72	9.20

Promedios con la misma letra en cada grupo de datos no difieren estadísticamente según la prueba de Tukey ($p \leq 0.05$)

Para el peso fresco de la raíz, con T4: *B. subtilis* + *T. harzianum*, se registró el mayor promedio, con 383.16 g, mostrando diferencias significativas respecto a los demás tratamientos que presentaron valores que oscilaron entre 226.24 y 345.05 g. Por su parte, para el peso seco de la raíz, se tuvo mayor promedio en plantas tratadas con T4: *B. subtilis* + *T. harzianum*, con peso promedio de 190.71 g, sin diferir estadísticamente de la aplicación de T5: Basfoliar algae®, cuyo promedio fue de 174.59 g, y, estos tratamientos superaron significativamente a los restantes que exhibieron valores de 114.03 a 146.47 g. Tanto el peso fresco como el peso seco de la raíz, fue menor en T1: Control.

4.1.7. Longitud de la raíz (cm)

Los promedios de la longitud de la raíz en plantas de banano de 20 semanas de edad en respuesta a la aplicación fertilización biológica en fase de vivero se presentan en la Figura 4. El análisis de varianza determinó que los tratamientos alcanzaron alta significancia estadística ($p < 0.0001$), con un coeficiente de variación de 1.75%.

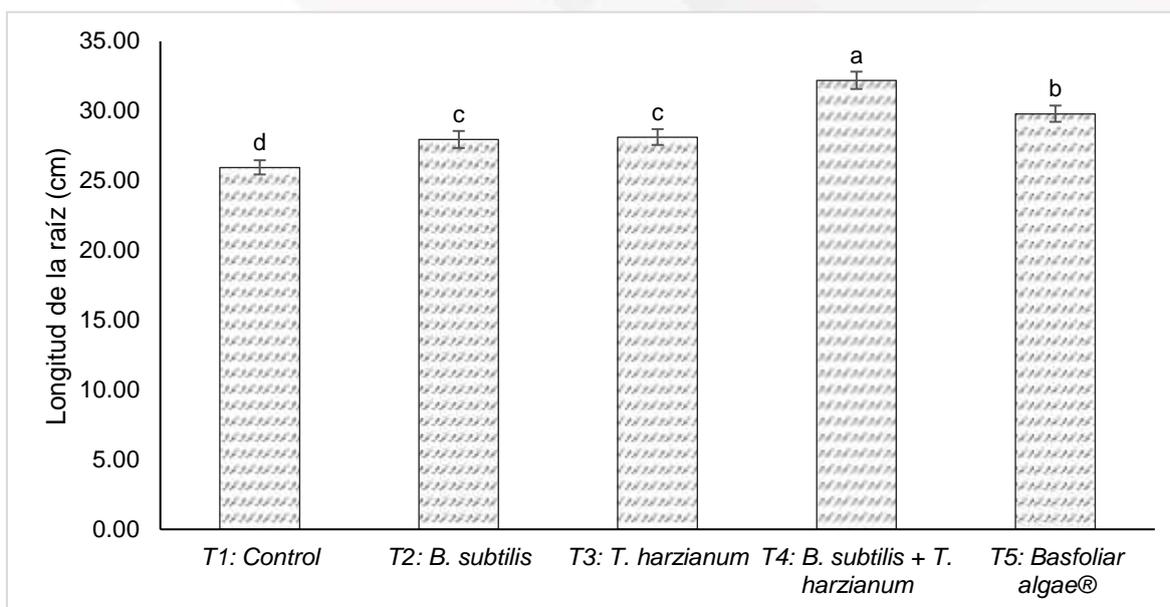


Figura 4. Longitud de la raíz en plantas de banano de 20 semanas de edad en respuesta a la aplicación fertilización biológica en fase de vivero
Promedios con la misma letra no difieren estadísticamente según la prueba de Tukey ($p \leq 0.05$). Barras de error representan la desviación estándar de cada grupo de medias

Con la aplicación de T4: *B. subtilis* + *T. harzianum*, las plantas emitieron raíces de mayor longitud, con un promedio de 32.20 cm, mostrando diferencias significativas respecto a los demás tratamientos que presentaron raíces con longitud promedio que osciló entre 25.95 y 29.80 cm, correspondiendo el menor promedio a T1: Control.

CAPÍTULO V: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. Conclusiones

El tratamiento que estimuló el mayor crecimiento de las plántulas de banano en fase de vivero fue la aplicación de Basfoliar algae® (T5), el cual produjo plantas con una altura promedio de 51.68 cm a las 20 semanas, siendo el más efectivo junto con *B. subtilis* + *T. harzianum*, que tuvo una altura promedio de 51.30 cm, con crecimiento promedio de 16.95 y 16.60 cm, respectivamente.

La emisión foliar de las plántulas de banano fue mayor bajo la aplicación de Basfoliar algae®, con un promedio de 7.03 hojas emitidas por planta entre las semanas 12 y 20, destacando este tratamiento en la promoción del desarrollo foliar en comparación con los demás.

Los tratamientos de fertilización biológica influyeron notablemente en el desarrollo radicular de las plántulas de banano, destacándose la combinación de *B. subtilis* + *T. harzianum*, que produjo raíces con el mayor peso fresco (383.16 g) y seco (190.71 g), así como la mayor longitud promedio (32.20 cm), mostrando una clara ventaja en comparación con los otros tratamientos.

5.2. Recomendaciones

Utilizar la combinación de *B. subtilis* + *T. harzianum* (T4) para mejorar el desarrollo radicular, aumentando tanto el peso como la longitud de las raíces, lo cual contribuirá a una mejor absorción de nutrientes y a una mayor estabilidad de las plantas en fases posteriores.

Considerar la implementación de fertilización biológica como una estrategia sostenible para optimizar el crecimiento integral de las plántulas de banano en vivero, reduciendo la dependencia de fertilizantes químicos y promoviendo prácticas agrícolas más ecológicas y beneficiosas para el medio ambiente.

Evaluar mayores dosis de *B. subtilis* y *T. harzianum* para determinar si incrementos en la concentración de estos biofertilizantes pueden mejorar aún más el desarrollo radicular y foliar de las plántulas de banano en la fase de vivero, optimizando así su crecimiento y salud desde etapas tempranas.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Aguirre-Mendoza, Z., Gaona-Ochoa, T., Granda-Moser, V., & Carrión-González, J. (2019). Sobrevivencia, mortalidad y crecimiento de tres especies forestales plantadas en matorral andino en el sur del Ecuador. *Revista Cubana de Ciencias Forestales* 7(3): 325-340.
- Alborno-Jover, M. (2020). Las re-evoluciones de la agricultura. *Investigación Agraria*, 22(1), 1-2.
- Bolfarini, A., Putti, F., Souza, J., Silva, M., Ferreira, R., Leonel, M., & Leonel, S. (2020). Yield and nutritional evaluation of the banana hybrid 'FHIA-18' as influenced by phosphate fertilization. *Journal of Plant Nutrition* 1(9):1-12.
- Chacón-Villalobos, Y., Chacón-Sancho, A., Vargas-Chinchilla, M., Cerdà-Subirachs, J., & Hernández-Pérez, R. (2021). Influencia de un nuevo bioestimulante sobre la floración, fructificación y rendimiento en café (*Coffea arabica* L.). *Revista EspamCiencia* 12(1): 33-40.
- Chávez-Díaz, I., Zelaya-Molina, L., Cruz-Cárdenas, C., Rojas-Anaya, E., Ruíz-Ramírez, S., & Santos-Villalobos, S. (2020). Consideraciones sobre el uso de biofertilizantes como alternativa agro-biotecnológica sostenible para la seguridad alimentaria en México. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas* 11(6): 1423-1436.
- Cisternas-Jamet, J., Salvatierra-Martínez, R., Vega-Gálvez, A., Stoll, A., Uribe, E., & Goñi, M. (2020). Biochemical composition as a function of fruit maturity stage of bell pepper (*Capsicum annum*) inoculated with *Bacillus amyloliquefaciens*. *Scientia Horticulturae Journal* 263: 109-107.
- Córdova, A., Liliana, C., Zelaya, M., Lily, X., Ávila, A., Norma, V., . . . Nelly, E. (2021). Omics sciences potential on bioprospecting of biological control microbial agents: the case of the Mexican agro-biotechnology. *Rev. Mex. Fitopatol.* 39(1):147-184.
- Cruz-Cárdenas, C. n., Zelaya-Molina, L., Sandoval-Cancino, G., Santos-Villalobos, S., & Rojas-Anaya, E. (2021). Utilización de microorganismos para una agricultura sostenible en México: Consideraciones y retos. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas* 12(5): 899-913.
- Cuadras-Berrelleza, A., Peinado-Guevara, V., Peinado-Guevara, H., López-López, J., & Herrera-Barrientos, J. (2022). Agricultura intensiva y calidad de suelos:

- Retos para el desarrollo sustentable en Sinaloa. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, 12(8), 1401-1414.
- De Araújo-Ronilson, C., Almendagna-Rodrigues, F., Carla-Nadal, M., De Souza-Ribeiro, M., Carvalho-Antônio, C., Antônio-Rodrigues, V., & Dória, J. (2021). Acclimatization of *Musa* spp. seedlings using endophytic *Bacillus* spp. and *Buttiauxella agrestis* strains. *Microbiological Research Journal* 248: e126750.
- Díaz-Rodríguez, A., Salcedo, L., Felix, C., Parra-Cota, F., Santoyo, G., Puente, M., . . . Mukherjee, J. (2021). The current and future role of microbial culture collections in food security worldwide. *Front. Front. Sustain. Food Syst.*
- Domingues-Lima, J., Mesczezen-Drominiski, A., Silva-Rocha, C., Da-Conceição, M., Eduardo-Rozane, D., & Nardini-Gomes, E. (2022). Arrepollamiento de banano asociado a variaciones climáticas y nutricionales. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas* 13(3): 393-405.
- Dos Santos-Lopes, M., Dias-Filho, M., Dos Reis-Castro, T., Ferreira-Da Silva, E., Ferreira-Rêgo, M., & Barata-Da Silva, G. (2020). Dos Santos-Lopes, M; M Dias-Filho; Dos Reis-Castro, T; Ferreira-Da Silva, E; Ferreira-Rêgo, M; Barata-Da Silva, G. *Journal of Agricultural Studies* 8(1): 342-356.
- Florez-Jalixto, M., Roldán-Acero, D., Omote-Sibina, J., & Molleda-Ordoñez, A. (2021). Biofertilizantes y bioestimulantes para uso agrícola y acuícola: Bioprocesos aplicados a subproductos orgánicos de la industria pesquera. *Scientia Agropecuaria* 12(4): 635-651.
- Gibilisco, P. E. (2020). Composting of seaweed waste: Evaluation on the growth of *Sarcocornia perennis*. *Journal of Environmental Management* 274: e111193.
- Gutiérrez-León, F., Alvarado-Ochoa, S., Reascos-Castillo, J., Ortiz-Flores, E., & Portilla-Narvaez, A. (2023). Efecto sinérgico de la aplicación de biofertilizante y fertilizante nitrogenado en pasturas. *Pastos y Forraje* 46: e14.
- Hindersah, R., Setiawati, M., Asmiran, P., & Fitriatin, B. (2020). Formulation of *Bacillus* and *Azotobacter*, consortia in liquid cultures: Preliminary research on microbes-coated urea. *International Journal of Agriculture System (IJAS)* 8(1):1-10.
- Hussain, H., Kasinadhuni, N., & Arioli, T. (2021). The effect of seaweed extract on tomato plant growth, productivity and soil. *Journal of Applied Phycology* 33(2): 1305-1314.

- Ibarra-Villarreal, A., Gándara-Ledezma, A., Godoy-Flores, A., & Díaz-Rodríguez, A. (2021). Salt-tolerant *Bacillus* species as a promising strategy to mitigate the salinity stress in wheat (*Triticum turgidum* subsp. durum). *J. Arid Environ.*
- Jha, P., Gomaa, A., Yanni, Y., El-Saadany, A., & Stedtfeld, T. (2020). Alterations in the endophyte-enriched root-associated microbiome of rice receiving growth-promoting treatments of urea fertilizer and Rhizobium biofertilizer. *Microbial Ecology* 79(2): 367-382.
- Jiménez-Gómez, A., García-Estévez, I., García-Fraile, P., Escribano-Bailón, M., & Rivas, R. (2020). Increase in phenolic compounds of *Coriandrum sativum* L. after the application of a *Bacillus halotolerans* biofertilizer. *Journal of the Science of Food and Agriculture* 100(6): 2742-2749.
- Jiménez-Ortiz, M., Gómez-Álvarez, R., Oliva-Hernández, J., Granados-Zurita, L., Pat-Fernández, J., & Aranda-Ibáñez, E. (2020). Influencia del estiércol composteado y micorriza arbuscular sobre la composición química del suelo y el rendimiento productivo de maíz forrajero (*Zea mays* L.). *Nova scientia.*
- Jung, H., & Kim, J. (2020). Complete reutilisation of mixed mackerel and brown seaweed wastewater as a high-quality biofertiliser in open-flow lettuce hydroponics. *Journal of Cleaner Production* 247: e119081.
- Kang, K., Lee, H., Park, T., Sim, J., & Kim, S. (2020). Biodegradation of high salinity fishery wastes in a 150-L reactor by *Bacillus licheniformis* TK3-Y for reutilization as liquid fertilizer. *Korean Society for Biotechnology and Bioengineering Journal* 35(4):7 288-293.
- Khashei, S., Etemadifar, Z., & Rahmani, H. (2020). Multifunctional biofertilizer from *Pseudomonas putida* PT: A potential approach for simultaneous improving maize growth and bioremediation of cadmium-polluted soils. *Biological Journal of Microorganism* 8(32): 117-129.
- Kim, J., Kim, S., Seo, J., Jee, B., Kim, Y., & Kwon, M. (2020). Development of an environment-friendly moving aquatic animal rendering equipment and evaluation of fertilizer value for recycling of fish waste. *Journal of Fish Pathology* 33(1): 97-101.
- Kim, N., Jung, H., & Kim, J. (2021). Identification and characterisation of a novel heptapeptide mackerel by-product hydrolysate, and its potential as a functional fertiliser component. *Journal of Chromatography B*, 1180, 122881.

- Kusumawati, R., Nurhayati, H., Pangestu, E., & Basmal, J. (2021). Effect of *Trichoderma* addition on Sargassum organic fertilizer. *Earth and Environmental Science* 715: e012059.
- Kwiatkowski, C., Harasim, E., & Staniak, M. (2020). Effect of catch crops and tillage systems on some chemical properties of loess soil in a short-term monoculture of spring wheat. *Journal of Elementology* 25(1): 35-43.
- Lakhal, D., Bahlaouan, B., Boutaleb, N., Bennani, M., & El Antri, S. (2020). Agricultural valorization by biotransformation of fish wastes combined with grape marc and molasses. *Mediterranean Journal of Chemistry* 10(7): 723-733.
- Lami, M., Adler, C., Caram-Di Santo, M., Zenoff, A., De Cristóbal, R., & Espinosa-Urgel, M. (2020). *Pseudomonas stutzeri* MJL19, a rhizosphere-colonizing bacterium that promotes plant growth under saline stress. *Journal of Applied Microbiology* 129(5): 1321-1336.
- León, J., Carvajal, H., & Quezada, J. (2023). Análisis de la producción y comercialización de banano en la provincia de El Oro en el periodo 2018-2022. *Revista Ciencia Latina* 7(1): 7494-7507.
- León-Serrano, L., Arcaya-Sisalima, M., Barbotó-Velásquez, N., & Bermeo-Pineda, Y. (2020). Ecuador: Análisis comparativo de las Exportaciones de banano orgánico y convencional e incidencia en la Balanza Comercial, 2018. *Revista Científica y Tecnológica UPSE (RCTU)*, 7(2), 38-46.
- León-Serrano, L., Matailo-Pinta, A., Romero-Ramón, A., & Portalanza-Chavarría, C. (2020). Ecuador: producción de banano, café y cacao por zonas y su impacto económico 2013-2016 . *Revista Científica UISRAEL*, 7(3), 103-121.
- Litzner, L., & Rieß, W. (2020). La educación para el desarrollo sostenible en la universidad boliviana. Percepciones del profesorado. *Teoría de la Educación. Revista Interuniversitaria*, 31 (1), 149-73.
- Macías-Duarte, R., Grijalva-Contreras, R., Robles-Contreras, F., Núñez-Ramírez, F., Cárdenas-Salazar, V., & Mendoza-Pérez, C. (2021). Índice SPAD, nitratos y rendimiento en sorgo en respuesta al suministro de nitrógeno. *Agronomía Mesoamericana* 32(1): 293-305.
- Martínez-Gamiño, M., Osuna-Ceja, E., & Espinosa-Ramírez, M. (2020). Impacto acumulado de la agricultura de conservación en propiedades del suelo y

- rendimiento de maíz. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, 10(4), 765-778.
- Metwally, R., & Al-Amri, S. (2020). Individual and interactive role of *Trichoderma viride* and arbuscular mycorrhizal fungi on growth and pigment content of onion plants. *Letters in Applied Microbiology* 70(2): 541-556.
- Nurhayati, E., Basmal, J., Kusumawati, R., & Melanie, S. (2020). Characteristics of *Gracilaria* sp. residue of seaweed sap extraction with extraction time treatment. *Earth and Environmental Science* 404: e012025.
- Odoh, C. K., Sam, K., Zabbey, N., Eze, C., & Nwankwegu, A. (2020). Microbial consortium as biofertilizers for crops growing under the extreme habitats. *Sustainable Development and Biodiversity* 25: 1-13.
- Phillips, K., McGinty, R., Couture, G., Pehrsson, P., McKillop, K., & Fukagawa, N. (2021). Dietary fiber, starch, and sugars in bananas at different stages of ripeness in the retail market. *Revista PLoS One* 16(7): e0253366.
- Ranasinghe, R., Kannagara, B., & Ratnayake, R. (2021). Hydrolysis of fish waste using fruit wastes of *Ananas comosus* and *Carica papaya* for the formulation of liquid fertilizers. *International Journal of Recycling Organic Waste in Agriculture*, 10(2), 129-143.
- Rojas-Padilla, J., Chaparro-Encinas, L., Robles-Montoya, R., & De los Santos, V. (2020). Promoción de crecimiento en trigo (*Triticum turgidum* L. subsp. *Durum*) por la co-inoculación de cepas nativas de *Bacillus* aisladas del valle del Yaqui, México. *Nova Scientia* 12(24):1-27.
- Saad, M., Eida, A., & Hirt, H. (2020). Ailing plant-associated microbial inoculants in agriculture: a roadmap for successful application. *J. Exp. Bot.* 71(13):3878-3901.
- Shanthi, G. ., & Anantharaman, N. (2021). Potential utilization of fish waste for the sustainable production of microalgae rich in renewable protein and phycocyanin-*Arthrospira platensis*/Spirulina. *Journal of Cleaner Production*, 294, 126106.
- Tahir, M., Naeem, M., Shahid, M., Khalid, U., Farooq, A., Ahmad, N., & Ahmad, I. (2020). Inoculation of pqq E gene inhabiting *Pantoea* and *Pseudomonas* strains improves the growth and grain yield of wheat with a reduced amount of chemical fertilizer. *Journal of Applied Microbiology* 129(3): 575-589.

- Tiwow, V., Abram, P., & Simatupang, E. (2020). The application of liquid and solid organic fertilizer from Tilapia fish waste for conservation of Central Sulawesi superior Jackfruit plant from Tulo and Beka. *Journal of Physics: Conference Series*, 1567(2).
- Tonon-Ordóñez, L., Vásquez-Bernal, J., Armijos-Orellana, A., & Altamirano-Flores, J. (2022). Análisis de las exportaciones ecuatorianas por medio del modelo de gravedad: Caso banano. *Revista Científica Ecociencia* 9(4): 74-110.
- Torres, A. (2021). El transitar en la investigación cualitativa: un acercamiento a la triangulación. *Revista Científica*, 6 (20), 275-95.
- Tuárez-García, D., Erazo-Solórzano, C., Torres-Navarrete, Y., & Moreno-Rojas, J. (2020). Características físicas, químicas y microbiológicas de la harina de banano morado (*Musa acuminata*) red dacca, producidos en los cantones Mocache, El Empalme y La Maná. *Revista Ingeniería e Innovación* 9(1): 50-57.
- Valdés-Hernández, P., Suárez-Hernández, J., Martínez-Rodríguez, A., Gómez-Águila, M., & Jiménez-Álvarez, Y. (2020). Propiedades físico-mecánicas de racimos de banana como objeto de transporte en cable aéreo. *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias* 29(1): 14-25.
- Valenzuela-Ruiz, V., Gálvez-Gamboa, G., Villa-Rodríguez, E., F, P.-C., Gustavo, S., & De los Santos, V. (2020). Lipopéptidos producidos por agentes de control biológico del género *Bacillus*: revisión de herramientas analíticas utilizadas para su estudio. *Rev. Mex. Cienc. Agríc.* 11(2):419-432.
- Vázquez, J., Alvarez-Vera, M., Iglesias-Abad, S., & Castillo, J. (2020). La incorporación de enmiendas orgánicas en forma de compost y vermicompost reduce los efectos negativos del monocultivo en suelos. *Scientia Agropecuaria*, 11(1), 105-112.
- Vélez, J., & Murillo, L. (2019). Efecto de biorreguladores sobre la tasa de crecimiento y calidad de plántulas de plátano (*Musa AAB Simmonds*) en vivero. *Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí "Manuel Félix López". Calcuta - Ecuador.* 42 p.
- Villarreal-Delgado, M., Villa-Rodríguez, E., Cira-Chávez, L., Estrada-Alvarado, M., & Parra-Cota, F. (2020). The genus *Bacillus* as a biological control agent and its implications in agricultural biosecurity. *Mexican Journal of Phytopathology* 36(1): 95-130.

- Vishnu, P., Yasasvi, B., & Tarate, S. (2022). Influence of biofertilizers on millet production. *The Pharma Innovation Journal* 11(2): 950-953.
- Wahab, A., Muhammad, M., Munir, A., Abdi, G., Zaman, W., Ayaz, A., . . . Reddy, S. (2023). Role of arbuscular mycorrhizal fungi in regulating growth, enhancing productivity, and potentially influencing ecosystems under abiotic and biotic stresses. *Plants (Basel)*12(17): e3102.
- Waseem, R., Gershom, E., Waseem, F., Khan, H., Ghulam, M., Panhwar, M., & Shi, Y. (2020). Adoption of sustainable agriculture practices in banana farm production: a study from the sindh region of pakistan. *Intr. J. Env. Res. Publ. Health.* 17:3714-3728.
- Yuan, Y., Chu, D., Fan, J., & Zou, P. (2021). Ecofriendly conversion of algal waste into valuable plant growth-promoting rhizobacteria (PGPR) biomass. *Waste Management*, 120, 576-584.
- Zambrano-Uriña, N. (2022). Propagación vegetativa del plátano maqueño (*Musa paradisiaca* L.) aplicando bencil amino purina (BAP) y ácido indolacético (AIA). *Univerisdad Técnica Estatal Quevedo. Quevedo - Ecuador.* 75 p.
- Zhang, F., Dou, K., Liu, C., Chen, F., Wu, W., Yang, T., . . . Liu, T. (2020). The application potential of *Trichoderma* T-soybean containing 1-aminocyclopropane-1-carboxylate for maize production. *Physiological and Molecular Plant Pathology* 110: e101475.
- Zhang, J., & Yang, L. (2020). A long-term effect of *Larix* monocultures on soil physicochemical properties and microbes in northeast China. *European Journal of Soil Biology* 96: 103149.
- Zhiminaicela, J., Quevedo, J., & García, R. (2020). La producción de banano en la provincia de El Oro y su impacto en la agrobiodiversidad. *Revista Metropolitana de Ciencias Aplicadas* 3(3): 189-195.

ANEXOS



Anexo 1. Selección de plántulas utilizadas para la evaluación en la investigación



Anexo 2. Evaluación de la altura de plantas en la fase de vivero del cultivo de banano.

Anexo 3. Resultados del análisis estadístico realizado en Infostat

AP1

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
AP1	20	4.6E-04	0.00	2.46

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	0.01	4	1.3E-03	1.7E-03	>0.9999
Tratamientos	0.01	4	1.3E-03	1.7E-03	>0.9999
Error	10.91	15	0.73		
Total	10.92	19			

Test:Tukey Alfa=0.05 DMS=1.86238

Error: 0.7275 gl: 15

Tratamientos	Medias	n	E.E.	
T2: B. subtilis	34.75	4	0.43	A
T5: Basfoliar algae®	34.73	4	0.43	A
T3: T. harzianum	34.73	4	0.43	A
T1: Control	34.73	4	0.43	A
T4: B. subtilis + T. harzi..	34.70	4	0.43	A

Medias con una letra común no son significativamente diferentes (p > 0.05)

AP2

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
AP2	20	0.83	0.79	2.11

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	80.31	4	20.08	18.58	<0.0001
Tratamientos	80.31	4	20.08	18.58	<0.0001
Error	16.21	15	1.08		
Total	96.51	19			

Test:Tukey Alfa=0.05 DMS=2.26950

Error: 1.0803 gl: 15

Tratamientos	Medias	n	E.E.	
T5: Basfoliar algae®	51.68	4	0.52	A
T4: B. subtilis + T. harzi..	51.30	4	0.52	A
T3: T. harzianum	48.80	4	0.52	B
T2: B. subtilis	48.65	4	0.52	B
T1: Control	46.18	4	0.52	C

Medias con una letra común no son significativamente diferentes (p > 0.05)

Crecimiento

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
Crecimiento	20	0.96	0.95	3.15

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	80.84	4	20.21	95.71	<0.0001
Tratamientos	80.84	4	20.21	95.71	<0.0001
Error	3.17	15	0.21		
Total	84.01	19			

Test:Tukey Alfa=0.05 DMS=1.00338

Error: 0.2112 gl: 15

Tratamientos	Medias	n	E.E.	
T5: Basfoliar algae®	16.95	4	0.23	A
T4: B. subtilis + T. harzi..	16.60	4	0.23	A
T3: T. harzianum	14.08	4	0.23	B
T2: B. subtilis	13.90	4	0.23	B
T1: Control	11.45	4	0.23	C

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$)

NHP1

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
NHP1	20	0.02	0.00	4.73

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	0.01	4	2.5E-03	0.09	0.9829
Tratamientos	0.01	4	2.5E-03	0.09	0.9829
Error	0.40	15	0.03		
Total	0.41	19			

Test:Tukey Alfa=0.05 DMS=0.35656

Error: 0.0267 gl: 15

Tratamientos	Medias	n	E.E.	
T5: Basfoliar algae®	3.48	4	0.08	A
T2: B. subtilis	3.48	4	0.08	A
T1: Control	3.45	4	0.08	A
T4: B. subtilis + T. harzi..	3.43	4	0.08	A
T3: T. harzianum	3.43	4	0.08	A

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$)

NP2

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
NP2	20	0.88	0.85	2.28

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	5.54	4	1.39	28.17	<0.0001
Tratamientos	5.54	4	1.39	28.17	<0.0001
Error	0.74	15	0.05		
Total	6.28	19			

Test:Tukey Alfa=0.05 DMS=0.48416

Error: 0.0492 gl: 15

Tratamientos	Medias	n	E.E.	
T5: Basfoliar algae®	10.50	4	0.11	A
T4: B. subtilis + T. harzi..	10.10	4	0.11	A
T2: B. subtilis	9.55	4	0.11	B
T3: T. harzianum	9.50	4	0.11	B
T1: Control	8.98	4	0.11	C

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$)

EF

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
EF	20	0.96	0.95	1.92

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	5.46	4	1.37	94.14	<0.0001
Tratamientos	5.46	4	1.37	94.14	<0.0001
Error	0.22	15	0.01		
Total	5.68	19			

Test:Tukey Alfa=0.05 DMS=0.26293

Error: 0.0145 gl: 15

Tratamientos	Medias	n	E.E.	
T5: Basfoliar algae®	7.03	4	0.06	A
T4: B. subtilis + T. harzi..	6.68	4	0.06	B
T3: T. harzianum	6.08	4	0.06	C
T2: B. subtilis	6.08	4	0.06	C
T1: Control	5.53	4	0.06	D

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$)

Sobrevivencia (%)

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
Sobrevivencia (%)	20	0.72	0.65	7.00

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	1370.00	4	342.50	9.79	0.0004
Tratamientos	1370.00	4	342.50	9.79	0.0004
Error	525.00	15	35.00		
Total	1895.00	19			

Test:Tukey Alfa=0.05 DMS=12.91771

Error: 35.0000 gl: 15

Tratamientos	Medias	n	E.E.
T5: Basfoliar algae®	95.00	4	2.96 A
T4: B. subtilis + T. harzi..	92.50	4	2.96 A B
T2: B. subtilis	82.50	4	2.96 A B C
T3: T. harzianum	80.00	4	2.96 B C
T1: Control	72.50	4	2.96 C

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$)

Longitud raiz (cm)

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
Longitud raiz (cm)	20	0.96	0.95	1.75

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	87.44	4	21.86	85.67	<0.0001
Tratamientos	87.44	4	21.86	85.67	<0.0001
Error	3.83	15	0.26		
Total	91.27	19			

Test:Tukey Alfa=0.05 DMS=1.10297

Error: 0.2552 gl: 15

Tratamientos	Medias	n	E.E.
T4: B. subtilis + T. harzi..	32.20	4	0.25 A
T5: Basfoliar algae®	29.80	4	0.25 B
T3: T. harzianum	28.13	4	0.25 C
T2: B. subtilis	27.95	4	0.25 C
T1: Control	25.95	4	0.25 D

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$)

Peso fresco raíz (g)

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
Peso fresco raíz (g)	20	0.88	0.84	7.72

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	58951.81	4	14737.95	26.62	<0.0001
Tratamientos	58951.81	4	14737.95	26.62	<0.0001
Error	8304.94	15	553.66		
Total	67256.74	19			

Test:Tukey Alfa=0.05 DMS=51.37764

Error: 553.6624 gl: 15

Tratamientos	Medias	n	E.E.
T4: B. subtilis + T. harzi..	383.16	4	11.77 A
T5: Basfoliar algae®	345.05	4	11.77 A
T3: T. harzianum	286.73	4	11.77 B
T2: B. subtilis	282.88	4	11.77 B
T1: Control	226.24	4	11.77 C

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$)

Peso seco raíz (g)

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
Peso seco raíz (g)	20	0.82	0.77	9.20

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	13962.91	4	3490.73	17.31	<0.0001
Tratamientos	13962.91	4	3490.73	17.31	<0.0001
Error	3025.09	15	201.67		
Total	16988.00	19			

Test:Tukey Alfa=0.05 DMS=31.00811

Error: 201.6728 gl: 15

Tratamientos	Medias	n	E.E.
T4: B. subtilis + T. harzi..	190.71	4	7.10 A
T5: Basfoliar algae®	174.59	4	7.10 A B
T3: T. harzianum	146.47	4	7.10 B
T2: B. subtilis	145.92	4	7.10 B
T1: Control	114.03	4	7.10 C

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$)

UNEMI

UNIVERSIDAD ESTATAL DE MILAGRO

¡Evolución académica!

@UNEMIEcuador

