



**UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA ECOTEC
FACULTAD DE INGENIERÍAS, ARQUITECTURA Y CIENCIAS DE LA NATURALEZA**

CARRERA DE AGRONOMÍA

TRABAJO INVESTIGACIÓN

Efectos de la Aplicación de un biofertilizante a base de algas marinas en el desarrollo vegetativo de *Musa x paradisiaca*, en el cantón Paján (Ecuador).

TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR

**LÍNEA DE INVESTIGACIÓN
GESTIÓN DE LOS PROCESOS PRODUCTIVOS AGRÍCOLAS**

AUTORES

**CÁRDENAS HOLGUÍN GÉNESIS ARIANA
LOZANO PIN MELISSA KARINA**

GUAYAQUIL – ECUADOR

2024



**UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA ECOTEC
FACULTAD DE INGENIERÍAS, ARQUITECTURA Y CIENCIAS DE LA NATURALEZA**

CARRERA DE AGRONOMÍA

Efectos de la Aplicación de un biofertilizante a base de algas marinas en el desarrollo vegetativo de *Musa x paradisiaca*, en el cantón Paján (Ecuador).

TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR

Trabajo de titulación presentado como requisito para la obtención del
título de
INGENIERO AGRÓNOMO/A

**AUTORES
CÁRDENAS HOLGUÍN GÉNESIS ARIANA
LOZANO PIN MELISSA KARINA**

**TUTOR
DR. CÉSAR ALCÁCER SANTOS**

GUAYAQUIL – ECUADOR

2024

ANEXO No. 10

**PROCESO DE TITULACIÓN
CERTIFICADO DEL PORCENTAJE DE COINCIDENCIAS
DEL TRABAJO DE TITULACIÓN**

Habiendo sido revisado el trabajo de titulación TITULADO: **Efectos de la aplicación de biofertilizante en el desarrollo vegetativo de Musa x paradisiaca en el cantón de Paján (Ecuador), 2024.** elaborado por **GENESIS ARIANA CARDENAS HOLGUIN y MELISSA KARINA LOZANO PIN** fue remitido al sistema de coincidencias en todo su contenido el mismo que presentó un porcentaje del **7%**, mismo que cumple con el valor aceptado para su presentación que es inferior o igual al 10% sobre el total de hojas del documento. Adicional se adjunta captura de pantalla de dicho resultado.



CERTIFICADO DE ANÁLISIS
magister

**CARDENAS HOLGUÍN GÉNESIS
ARIANA_MELISSA KARINA LOZANO PIN
_TFC_19DIC2024**

6% Textos sospechosos

3% Similitudes

- < 1% similitudes entre comillas
- < 1% entre las fuentes mencionadas
- 3%** Idiomas no reconocidos

Nombre del documento: CARDENAS HOLGUÍN GÉNESIS ARIANA_MELISSA KARINA LOZANO PIN _TFC_19DIC2024.pdf ID del documento: d252434db26dfd32c85632f8f4d1eb01872a014 Tamaño del documento original: 1,56 MB Autores: []	Depositante: CESAR ALCACER SANTOS Fecha de depósito: 17/12/2024 Tipo de carga: interface fecha de fin de análisis: 17/12/2024	Número de palabras: 13.821 Número de caracteres: 99.182
--	--	--

ATENTAMENTE,



Firmado electrónicamente por:
**CESAR ALCACER
SANTOS**

César Alcácer Santos, Ph.D.

18 de diciembre de 2024

ANEXO No. 12

CERTIFICADO DE APROBACIÓN DEL TUTOR PARA LA PRESENTACIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN CON INCORPORACIÓN DE LAS OBSERVACIONES DE LOS MIEMBROS DEL TRIBUNAL

Samborondón, 18 de diciembre de 2024

Magíster
Érika Ascencio Jordán
Facultad de Ingenierías, Arquitectura y Ciencias de la Naturaleza
Universidad Tecnológica ECOTEC

De mis consideraciones:

Por medio de la presente comunico a usted que el trabajo de titulación TITULADO: **Efectos de la aplicación de biofertilizante en el desarrollo vegetativo de Musa x paradisiaca en el cantón de Paján (Ecuador), 2024.**; fue revisado y se deja constancia que el estudiante acogió e incorporó todas las observaciones realizadas por los miembros del tribunal de sustentación por lo que se autoriza a: **CARDENAS HOLGUIN GENESIS ARIANA** y **LOZANO PIN MELISSA KARINA**, para que proceda a la presentación del trabajo de titulación para la revisión de los miembros del tribunal de sustentación y posterior sustentación.

ATENTAMENTE,



Firmado electrónicamente por:
**CESAR ALCACER
SANTOS**

PhD. César Alcácer Santos

Tutor

Dedicatoria

Le dedicamos este trabajo a nuestros padres, hermanos/as y abuelitas que siempre estuvieron apoyándonos y dándonos aliento para seguir adelante.

Agradecimiento

Primero agradecemos a Dios que nos ayudó a no rendirnos en este camino lleno de adversidades. Agradecemos a nuestros docentes que supieron guiarnos en el trayecto de la carrera, a nuestro tutor de tesis por su dedicación y tiempo brindado a este proyecto, a nuestras familias, padres, madres, hermanos, hermanas y abuela sin su amor incondicional y su apoyo moral y económico no estaríamos aquí culminando nuestros estudios universitarios, a nuestros amigos que conocimos en la universidad y nos acompañaron durante todos estos años de carrera su amistad nos ayudó a mantener el ánimo en los momentos más duros, cada uno de ustedes contribuyó a que este proceso fuera más llevadero y significativo.

RESUMEN

El presente estudio se llevó a cabo en el cantón Paján, durante un período de cuatro meses y tuvo como objetivo evaluar el efecto de un biofertilizante a base de algas marinas en el cultivo de *Musa x paradisiaca*, frente a un fertilizante químico, esto se dió en respuesta a la creciente necesidad de implementar alternativas sostenibles en la fertilización del plátano, que mejoren la productividad sin afectar el medio ambiente y la salud del suelo. El principal problema es que los fertilizantes químicos, comúnmente usados en este cultivo han provocado efectos negativos, como la degradación del suelo y contaminación del agua, siendo estos recursos indispensables, lo que ha impulsado la búsqueda de alternativas ecológicas, como el uso de biofertilizantes. Se utilizó una metodología cuantitativa por lo que se diseñaron cuatro tratamientos, donde tres de ellos fueron con biofertilizante de algas el cual consistió en aplicar diferentes dosis, alta 10 gr, media 5 gr y baja 2,5 gr, en cuanto al otro grupo se utilizó un fertilizante químico que sirvió como control, estas aplicaciones se realizaron semanalmente a lo largo del estudio. Durante el experimento se evaluó las siguientes variables: altura, diámetro del pseudotallo, ancho de hojas, número de hojas y largo de la hoja. El estudio constata que la aplicación del biofertilizante de dosis media y baja, sería una alternativa ecológica, la cual ayuda a mejorar el desarrollo del cultivo de plátano, de esta manera promoviendo las prácticas sostenibles y disminuyendo la dependencia de los insumos químicos.

Palabras clave: biofertilizantes, desarrollo vegetativo, fertilizante químico, *Musa x paradisiaca*.

ABSTRACT

This study was carried out in the Paján canton, over a period of four months and aimed to evaluate the effect of a biofertilizer based on seaweed in the cultivation of *Musa x paradisiaca*, compared to a chemical fertilizer. This was in response to the growing need to implement sustainable alternatives in banana fertilization, which improve productivity without affecting the environment and soil health. The main problem is that chemical fertilizers, commonly used in this crop, have caused negative effects, such as soil degradation and water pollution, these resources being indispensable, which has driven the search for ecological alternatives, such as the use of biofertilizers. A quantitative methodology was used, so four treatments were designed, where three of them were with seaweed biofertilizer which consisted of applying different doses, high 10 gr, medium 5 gr and low 2.5 gr, as for the other group, a chemical fertilizer was used as a control, these applications were carried out weekly throughout the study. During the experiment, the following variables were evaluated: height, pseudostem diameter, leaf width, number of leaves, and leaf length. The study confirms that the application of biofertilizer at medium and low doses would be an ecological alternative, which helps improve the development of banana crops, thus promoting sustainable practices and reducing dependence on chemical inputs.

Keywords: biofertilizers, chemical fertilizer, *Musa x paradisiaca*, vegetative development

TABLA DE CONTENIDOS

Resumen.....	7
Abstract.....	8
Tabla de Contenidos.....	9
LISTA DE TABLAS	13
LISTA DE FIGURAS.....	14
CAPÍTULO 1: INTRODUCCIÓN Y JUSTIFICACIÓN.....	1
Contexto general del estudio.....	1
Importancia local	2
Identificación del problema.....	3
Delimitación del trabajo.....	5
Limitaciones del trabajo	5
Justificación.....	6
Hipótesis	7
Objetivos.....	7
Objetivo general	7
CAPÍTULO 2: MARCO TEÓRICO.....	8
Bases teóricas	8
Nutrición vegetal.....	8
Absorción de nutrientes por las plantas	8
	9

Nutrición Vegetal en el Cultivo de <i>Musa x paradisiaca</i>	8
Fertilidad del suelo	9
Factores que afectan la fertilidad del suelo	9
Biofertilizantes: Introducción y Principios.....	10
Marco teórico fundamental	11
Importancia del cultivo de <i>Musa x paradisiaca</i> a nivel mundial.....	11
Rol de los biofertilizantes	11
Comparación entre fertilizantes químicos y biofertilizantes	12
Teorías sobre la interacción entre algas y plantas	13
Marco teórico conceptual.....	13
Biofertilización con algas	13
Métodos de extracción de <i>Ascophyllum nodosum</i>	13
Composición del biofertilizante de algas marinas a base de <i>Ascophyllum nodosum</i>	15
Beneficios	16
Métodos de aplicación de <i>A. nodosum</i>	16
Desarrollo vegetativo	17
Diferencia entre desarrollo y crecimiento.....	17
Ecofisiología.....	18
Mecanismo de acción de fertilizantes químicos.....	18
Mecanismos de acción de biofertilizantes de algas	18
Marco teórico situacional	19
Morfología del cultivo.....	19
	10

Raíz	19
Tallo.....	19
Hojas	20
Estado actual del uso de biofertilizantes en el cultivo de <i>Musa x paradisiaca</i>	20
Desafíos de la producción de plátano con biofertilizantes	21
Proyectos y estudios locales sobre biofertilizantes de algas	21
Marco teórico contextual	22
Contexto agrícola de la <i>Musa x paradisiaca</i> en Ecuador	22
Problemas actuales en el desarrollo vegetativo de <i>Musa x paradisiaca</i>	22
Estado del arte.....	23
Efectividad de los Biofertilizantes en Cultivos	23
Resultados Aplicables y Esperados.....	24
CAPÍTULO 3: MARCO METODOLÓGICO	25
Introducción a la metodología utilizada	25
Materiales y métodos del objetivo específico 1.....	26
Materiales y métodos del objetivo específico 2.....	27
Materiales y métodos del objetivo específico 3.....	29
CAPÍTULO 4: RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	30
Introducción a los resultados.....	30
Resultados del objetivo específico 1.....	31
Resultados del objetivo específico 2.....	31
Resultados del objetivo específico 3.....	37
CAPÍTULO 5: CONCLUSIONES	44

BIBLIOGRAFÍA..... 45

LISTA DE TABLAS

Tabla 1: Tratamientos en estudio	28
Tabla 2: Resultados de ANOVA	33
Tabla 3: Resultados de ANOVA de los tratamientos y repeticiones	40
Tabla 3: Resultados de Tukey del número de hojas	41
Tabla 4: Resultados Tukey ancho de hoja	42
Tabla 5: Resultados de Tukey del diámetro del pseudotallo	43
Tabla 6: Resultados de Tukey del largo de hoja	44
Tabla 7: Resultados de Tukey de altura	45

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Datos sobre la producción de plátano en la provincia de Manabí	3
Figura 2: Resultados del número de hojas	31
Figura 3: Resultados ancho de hojas	32
Figura 4: Resultados diámetro del pseudotallo	33
Figura 5: Resultados largo de hoja	34
Figura 6: Resultados altura	34

CAPÍTULO 1: INTRODUCCIÓN Y JUSTIFICACIÓN

Contexto general del estudio

En Ecuador el plátano es un cultivo de gran relevancia, especialmente en la región Costa, donde constituye una parte fundamental de la alimentación diaria y cultura gastronómica. Este es un ingrediente clave en preparaciones tradicionales como el bolón, patacones, tigrillos, entre otros, lo que ha contribuido a su fuerte demanda interna, debido a su uso culinario y aporte nutricional como el alto contenido de carbohidratos y potasio, lo han posicionado como alimento básico en la dieta ecuatoriana (Vera et al., 2020).

Desde la perspectiva económica, el plátano juega un papel importante en la agricultura ecuatoriana, se estima que, en 2021, Ecuador exportó alrededor de 211,950 toneladas de plátano, generando ingresos por más de 104 millones de dólares. Siendo Estados Unidos, Unión Europea y Chile los principales países destino de exportación. Esta actividad no solo es el sustento de las familias en zonas rurales, sino que también ayuda a contribuir en el desarrollo de economías locales, especialmente en regiones productoras como Manabí (Mendoza, 2024).

Por otro lado, la relevancia social del plátano en Ecuador es una variable importante ya que su producción y procesamiento generan empleo tanto directo como indirecto, agrupando tareas de fabricación aprendidas o no aprendidas que forman una parte especial de los ingresos en comunidades rurales. Como resultado, en los últimos años se han implementado medidas que enfatizan a las mujeres en los procedimientos de valor agregado del plátano y, por tanto, el efecto social en el proceso de fabricación (Álava et al., 2021).

En términos ambientales, el cultivo de plátano verde también enfrenta desafíos. En términos positivos, el plátano verde puede contribuir al buen equilibrio ambiental ya que es adecuado para sistemas agroforestales, conservando así la biodiversidad; sin embargo, el uso

excesivo de fertilizantes, así como la necesidad de riego para zonas sin humedad plantean un problema para una producción sostenible (Arciniega et al., 2021).

Los desafíos varían negativamente el crecimiento vegetativo de las plantas; incluye la deficiencia de la actividad fisiológica o los problemas asociados con las altas frecuencias y volúmenes excesivos de riego, así como una fertilización mineral imposible de perjudicar el desarrollo y la funcionalidad radicular de las plantas (Huang et al., 2022).

Uno de estos inconvenientes fisiológicos es la asimilación de nutrientes por el plátano, que sucede principalmente tras la plantación del plátano en el campo y antes de su florecimiento. Una vez que la planta distingue las flores, interrumpe su crecimiento activo y empieza a suministrar sus recursos para llenar el racimo con los nutrientes guardados. Así pues, es vital proporcionar a la planta toda la alimentación que requiere antes de florecer para que pueda nutrir rápidamente al hijo de sucesión.

Importancia local

Como ya se ha comentado anteriormente, la producción de plátano en el Ecuador es importante. En la actualidad, se reportan en el país un total de 144.981 hectáreas dedicadas al cultivo de plátano. De estas, 86.712 hectáreas están bajo un sistema de monocultivo, mientras que 58.269 hectáreas están asociadas a diferentes cultivos. La mayor parte de la producción de musácea se encuentra en lo que se conoce como el “triángulo platanero”, que abarca las provincias de Manabí, Santo Domingo y Los Ríos. Manabí lidera con 52.612 hectáreas, seguida de Santo Domingo con 14.249 hectáreas, y Los Ríos con 13.376 hectáreas. Las principales variedades cultivadas en estas provincias son el plátano “Dominico”, destinado mayormente al autoconsumo, y el plátano “Barraganete”, el cual es en su mayoría destinado a la exportación, con aproximadamente 90.000 toneladas métricas exportadas anualmente (INIAP, 2019).

Según el INEC, la producción del plátano representa el 3.84% del PIB de la economía ecuatoriana y el 50% del PIB agrícola nacional. En los Ríos la producción anual es del 35.79% con respecto a la producción nacional (Álvarez et al., 2020).

En la **figura 1** el INEC muestra que entre la superficie cosechada y sembrada de plátano en la provincia de Manabí hay una diferencia, la cual puede deberse a diferentes factores tales como: cambios climáticos, presencia de plagas y enfermedades, limitaciones económicas que tienen los productores para terminar la cosecha o por tener suelos que no son aptos para este tipo de cultivo. Pese a esto, el plátano se figura como uno de los cultivos más importante en esta provincia, alcanzando las 60.003 hectáreas.

Cultivo	Sembrada (ha)	Cosechada (ha)	Producción (tm)	Ventas (tm)
Cacao	117.080	97.360	65.504	65.502
Plátano	60.003	49.122	307.447	295.481
Café	6.825	5.684	1.708	1.645
Palma africana	5.413	5.410	43.037	43.037
Maracuyá	2.177	1.786	9.756	9.695
Naranja	1.940	1.305	7.244	7.094
Limón	1.546	1.335	6.626	6.617
Banano	1.431	1.345	16.347	10.292
Mango	167	88	532	532
Caña de azúcar / Otros Usos	130	130	34.844	34.186
Piña	76			
Aguacate	2	2	5	5
Total	196.789	163.566	493.049	474.085

Figura 1. Datos sobre la producción de plátano en la provincia de Manabí
Fuente: INEC, 2023

Identificación del problema

En los últimos años, el rendimiento del plátano (*Musa x paradisiaca*) ha disminuido considerablemente, afectando la productividad agrícola y, en consecuencia, la economía de los productores de la provincia de Paján. Este problema afecta principalmente a pequeños y medianos agricultores que dependen de este cultivo como su principal fuente de ingresos. La

mayoría de ellos trabajan en parcelas menores a 1-10 ha, donde la limitada disponibilidad de recursos y el acceso insuficiente a tecnologías avanzadas dificultan la implementación de prácticas agrícolas sostenibles. La escasa capacitación técnica sobre la nutrición orgánica y ecológica también ha perpetuado prácticas que aceleran la degradación del suelo, resultando en una baja capacidad de regeneración y fertilidad.

A lo largo de las últimas décadas, el monocultivo intensivo y el uso excesivo de fertilizantes químicos han contribuido significativamente a la degradación de los suelos en la región. Estas prácticas, junto con la falta de rotación de cultivos y el bajo aporte de materia orgánica, han generado un agotamiento progresivo de los nutrientes esenciales del suelo, afectando el crecimiento y desarrollo del cultivo de plátano. Además, los nutrientes utilizados en las actividades bananeras no han sido recuperados adecuadamente, aumentando el índice de infertilidad de los suelos. Esta situación resalta la necesidad de implementar estrategias agrícolas sostenibles que permitan revertir el deterioro de los suelos y mejorar la productividad del cultivo.

Actualmente, a pesar de que existen esfuerzos aislados y programas piloto para introducir el uso de biofertilizantes y reguladores de crecimiento, estos no han tenido la cobertura ni el seguimiento necesarios para generar un impacto significativo. En muchas comunidades, los agricultores aún dependen de métodos tradicionales que no abordan el problema de fondo, lo que refuerza la necesidad de investigaciones que evalúen científicamente las ventajas de estas tecnologías. Este estudio busca validar la efectividad de los biofertilizantes como una alternativa viable para mejorar la salud del suelo, reducir la dependencia de insumos químicos y aumentar la productividad de manera sostenible, beneficiando tanto a pequeños como grandes productores.

El futuro de la producción de plátano en Paján depende en gran medida de la adopción de prácticas sostenibles. Si no se actúa de manera inmediata, la degradación del suelo continuará empeorando, comprometiendo no solo la economía local, sino también la estabilidad

del suministro alimenticio. Por otro lado, la implementación de biofertilizantes y reguladores de crecimiento tiene el potencial de aumentar significativamente el contenido de materia orgánica del suelo, mejorar la absorción de nutrientes y optimizar los rendimientos del cultivo. Esto no solo fortalecerá la seguridad alimentaria en la región, sino que también contribuirá a la sostenibilidad ambiental, al reducir la contaminación generada por fertilizantes químicos.

La metodología de este estudio incluye la evaluación de un biofertilizante a base de algas mediante un diseño experimental en campo. Se realizará un monitoreo del crecimiento del cultivo de plátano. Este enfoque no solo busca generar resultados inmediatos, sino también sentar las bases para soluciones replicables en otras regiones con problemas similares.

El estudio se llevó a cabo en la provincia de Paján, una zona clave para la producción de plátano debido a sus características climáticas y suelos agrícolas. La investigación cubrirá las etapas críticas del ciclo del cultivo para garantizar una evaluación integral de los impactos de las prácticas propuestas. En conjunto, este estudio no solo abordará una problemática crítica para la región, sino que también generará conocimientos aplicables lo que promoverá un cambio hacia una agricultura más sostenible, rentable y resiliente.

Delimitación del trabajo

El presente estudio se realizó en el cantón Paján, ubicado en la provincia de Manabí, Ecuador. Entre los meses de julio del año 2024 y octubre del año 2024.

Limitaciones del trabajo

Existen varias limitaciones que dificultan la adopción de biofertilizantes en el cultivo de plátano, especialmente en zonas rurales, donde los productores suelen tener poco acceso a programas de capacitación y a información actualizada sobre prácticas agrícolas sostenibles. Además, las inversiones públicas en bioinsumos son sustancialmente menores en comparación con el importante subsidio otorgado a los insumos químicos (Garcha et al., 2024).

Esta falta de conocimiento, junto con la mayor disponibilidad y rapidez de los fertilizantes químicos, lleva a muchos agricultores a preferirlos, a pesar de sus efectos negativos a largo plazo en el suelo y el medio ambiente. Los agricultores suelen optar por lo que conocen y en lo que confían, especialmente cuando enfrentan incertidumbres económicas y la necesidad de maximizar la producción en el corto plazo, lo que retrasa la transición hacia prácticas más sostenibles.

Justificación

El presente trabajo tiene como objetivo promover un enfoque agrícola más sostenible, reduciendo los costos de producción en el cultivo de *Musa x paradisiaca*. Este enfoque busca abordar factores críticos en el sector agrícola, como la alta dependencia de productos químicos, la degradación acelerada del suelo que estos generan y los elevados costos asociados. Además, el uso de biofertilizantes a base de algas ofrece una solución eficiente, al facilitar una absorción más rápida y efectiva de los nutrientes, lo que se traduce en un mayor rendimiento del cultivo y una mejor calidad de los frutos, aspectos clave para la sostenibilidad y competitividad agrícola.

Afectando a los pequeños, medianos y grandes agricultores mediante la disminución de los costes de producción y favoreciendo el ambiente del cultivo en el que se encuentra. Esto favorecerá la seguridad alimentaria con el aumento de la calidad y la cantidad de productos disponibles en el mercado local e internacional que incrementa exponencialmente. Además, el uso de biofertilizantes favorece la disminución de contaminantes presentes en el ecosistema, disminuyendo el uso de fertilizantes químicos y fomentando una producción más limpia, estando alineada con los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS), específicamente el ODS 12: Producción y consumo responsables.

Por otro lado, la fácil obtención de este tipo de productos con un coste menor o similar a los fertilizantes agrícolas y que ofrecen mejores beneficios demuestran que pueden ser mucho más accesibles para los pequeños agricultores que tienen recursos más limitados, favoreciendo

al mercado local, regional y nacional que son los principales consumidores de este tipo de productores.

De esta manera, el uso de biofertilizantes tienen un grado de impacto mucho menor tanto en la flora y fauna del desarrollo del cultivo, además de que el grado de daño que puede tener en la salud de las personas que lo usan es reducido, por esta razón el desarrollo de esta investigación ha sido de manera detallada y transparente para otorgar datos fiables, con la finalidad de realizar trabajos a futuros y dar información de como los biofertilizantes tienen un impacto en el cultivo de plátano, además de los beneficios que este otorga. Promoviendo prácticas sostenibles, este estudio contribuye a proteger los derechos de las generaciones futuras, garantizando la conservación de recursos naturales clave como el suelo y el agua.

Hipótesis

La aplicación de biofertilizante a base de algas marinas favorece el rendimiento agronómico del plátano durante su fase de desarrollo vegetativo.

Objetivos

Objetivo general

Optimizar los parámetros de desarrollo vegetativo de las plantaciones de *Musa x paradisiaca* a partir de la aplicación de biofertilizante a base de algas.

Objetivos específicos

- Caracterizar las propiedades del biofertilizante a base de algas marinas.
- Identificar la dosis óptima de biofertilizante de algas para potenciar el crecimiento vegetativo de *Musa x paradisiaca*.
- Realizar una comparativa entre un fertilizante químico y el biofertilizante algínico.

CAPÍTULO 2: MARCO TEÓRICO

Bases teóricas

Nutrición vegetal

Los procesos por los cuales las plantas adquieren y utilizan los nutrientes necesarios para su crecimiento, desarrollo y producción de biomasa se conocen como nutrición vegetal. Según la cantidad necesaria para la planta, estos nutrientes se dividen en macronutrientes (nitrógeno, fósforo, potasio, calcio, magnesio, azufre) y micronutrientes (hierro, manganeso, zinc, cobre, molibdeno, boro y cloro).

El nitrógeno (N) es necesario para que las plantas formen los ácidos nucleicos y las proteínas que necesitan para crecer y desarrollarse. El fósforo (P) ayuda a la transferencia de energía y al crecimiento saludable de las raíces. El potasio (K) regula el equilibrio hídrico dentro de las células y aumenta la resistencia a las enfermedades, mientras que el calcio (Ca) fortalece las paredes celulares de las plantas. Cuando todos estos nutrientes, junto con los micronutrientes, están presentes en el suelo en la cantidad adecuada, las plantas pueden alcanzar su máximo potencial de crecimiento. (Enríquez et al., 2022).

Absorción de nutrientes por las plantas

Los nutrientes minerales son absorbidos por las plantas a través de las raíces. La región de los pelos radiculares es donde ocurre la mayor absorción de agua y nutrientes durante este proceso. La disponibilidad de nutrientes en el suelo, el pH, la humedad y la actividad biológica del suelo son algunos de los factores que afectan este proceso. Además, interactuar con microorganismos de la rizosfera, como los que se encuentran en los biofertilizantes, puede mejorar la absorción de nutrientes como el fósforo y el nitrógeno.

Nutrición Vegetal en el Cultivo de *Musa x paradisiaca*

El plátano requiere muchos nutrientes para su crecimiento, especialmente durante las etapas de crecimiento vegetativo y desarrollo de los racimos. Durante estas fases, es esencial

tener un aporte adecuado de macronutrientes como nitrógeno, fósforo y potasio para garantizar un crecimiento y formación de frutos de alta calidad.

Para evitar que aumenten los costos de los fertilizantes y reducir el impacto ambiental de su uso en las fuentes de agua, los programas de fertilización deben planificarse y gestionarse adecuadamente. La eficiencia en el uso de nutrientes está relacionada con la capacidad del cultivo para utilizar nutrientes, el rendimiento del cultivo y la recuperación de nutrientes en el campo (Snyder et al., 2021).

Fertilidad del suelo

La capacidad del suelo para proporcionar a las plantas los nutrientes necesarios en las cantidades y proporciones adecuadas para su crecimiento y desarrollo se conoce como fertilidad del suelo. Un suelo fértil debe tener características físicas y químicas adecuadas, como una buena estructura, capacidad de retención de agua y un pH equilibrado, además de los nutrientes necesarios (Echeverría et al., 2021). Los suelos fértiles favorecen la actividad biológica, que contribuye a la absorción de los nutrientes a través de procesos naturales como la mineralización y la descomposición, y permiten un desarrollo radicular adecuado.

Factores que afectan la fertilidad del suelo

Varios factores físicos, químicos y biológicos interactúan entre sí para determinar la fertilidad del suelo, como lo es la textura del suelo, que se refiere a la proporción de partículas de arena, limo y arcilla, es de los factores físicos más importantes, esta proporción tiene un impacto significativo en la capacidad del suelo para retener agua y nutrientes. Debido a su alta superficie específica los suelos con arcilla tienden a almacenar más nutrientes, esto les permite retener mejor el agua y los elementos nutricionales para las plantas. Por otro lado, los suelos arenosos, que tienen partículas más grandes y menos capacidad de retención, son menos fértiles y tienden a requerir una mayor cantidad de fertilización externa para mantener un nivel adecuado de cultivo (Sparks, 2020).

La materia orgánica es otro componente crucial en la fertilidad del suelo, ya que contiene nutrientes como azufre, fósforo y nitrógeno que mejoran su porosidad y facilitan la circulación de agua y aire. Además la materia orgánica estimula la actividad microbiana, permitiendo la mineralización y la transformación de estos elementos en formas utilizables por las plantas. El pH del suelo también afecta directamente la disponibilidad de nutrientes, en un rango de pH entre 6 y 7 los cultivos pueden absorber los macronutrientes de manera eficiente, fuera de este rango algunos pueden volverse inaccesibles causando problemas de crecimiento y desarrollo en las plantas (Osorio, 2019).

Por último tenemos la actividad biológica del suelo, microorganismos como bacterias y hongos, junto a organismos como lombrices, descomponen la materia orgánica y liberan nutrientes. Estos organismos mantienen el suelo sano, fomentan la formación de humus y mejoran las propiedades físicas del suelo. Los biofertilizantes, ricos en microorganismos beneficiosos, potencian la fertilidad del suelo al solubilizar nutrientes como el fósforo, aumentando la eficiencia de su uso por las plantas.

Biofertilizantes: Introducción y Principios

La implementación de los biofertilizantes en la agricultura tiene sus raíces en comienzos del siglo XX, aunque sus inicios se han llevado a cabo desde épocas antiguas donde los agricultores han empleado materiales orgánicos como el estiércol y los desechos vegetales para potenciar la fertilidad del terreno. Por ejemplo, en Mesopotamia y Egipto, combinaban excrementos humanos y estiércol con restos de plantas; después con el incremento de la sensibilización ecológica y las pruebas del daño provocado por los agroquímicos en 1980 los biofertilizantes empezaron a adquirir popularidad y se impulsaron como una opción sustentable y amigable con el medio ambiente. Actualmente, los biofertilizantes son fabricados en grandes cantidades y se emplean tanto en la agricultura orgánica como en la agricultura tradicional.

Tiene como principios la promoción de microorganismos benéficos que mejoran la disponibilidad de nutrientes para las plantas, mejorar la salud del suelo, reducir el impacto ambiental ya que se minimiza la contaminación en agua y el suelo, por último tenemos facilitar la transformación de nutrientes en formas fácilmente absorbibles por las plantas (Chávez et al., 2020).

Marco teórico fundamental

Importancia del cultivo de *Musa x paradisiaca* a nivel mundial

El plátano tiene un papel esencial en la seguridad alimentaria, particularmente en países donde constituye una fuente de alimento accesible, el cual aporta carbohidratos, vitaminas y minerales, siendo vital para la dieta de millones de personas en países en desarrollo. Según la FAO, en las estadísticas, el plátano es uno de los productos más exportados a pesar de su importancia en la cadena alimentaria (Fernández et al., 2021).

Además, el plátano es la fruta más producida y vendida a nivel mundial en la economía agrícola global. Esta fruta no solo ayuda a nutrir a millones pero también a los ingresos con los que cuenta cada país productor de plátano. Por ejemplo, en América latina, países como Ecuador, Colombia y Costa Rica exportan plátanos a los estados europeos y norteamericanos. En el caso de estos tres países, la exportación de plátanos es uno de los factores clave para la balanza comercial (Almeida et al., 2023).

Rol de los biofertilizantes

Son críticos para la agricultura sostenible ya que aumentan la salud del suelo a través de la reintroducción de microorganismos útiles, la reintroducción de bacterias fijadoras de nitrógeno y hongos micorrízicos. La presencia y la multiplicación de estos microorganismos mejoran la disponibilidad de nutrientes en el suelo, promueven el crecimiento de las plantas y también mejoran la fuerza del suelo. Como resultado, aportan a la cantidad de agua retenida y disminuyen la erosión del suelo. Además, los biofertilizantes participan en mantener la biodiversidad del suelo

y reducir la contaminación del agua y del suelo a largo plazo; por lo tanto, este enfoque agrícola es más ecológico (Pedraza et al., 2021).

Comparación entre fertilizantes químicos y biofertilizantes

Los fertilizantes químicos están diseñados para suplir las necesidades nutricionales de las plantas de manera inmediata, lo cual se traduce en un crecimiento rápido y un incremento de la productividad agrícola, a diferencia de los biofertilizantes que contienen microorganismos vivos, como bacterias fijadoras de nitrógeno, hongos micorrízicos y rizobacterias promotoras del crecimiento vegetal, estos actúan mejorando la disponibilidad de nutrientes en el suelo y estimulando el crecimiento de las plantas, a través, de procesos biológicos (Martínez et al., 2020).

Impacto en la productividad agrícola

Los fertilizantes químicos ayudan a aumentar la productividad en cultivos intensivos, pero su uso constante puede llevar a una reducción de la fertilidad natural del suelo y a la necesidad de dosis cada vez mayores para mantener la productividad, por otro lado, los biofertilizantes, aunque sus efectos sobre el rendimiento agrícola pueden ser más lentos al inicio, estos contribuyen a una productividad sostenida en el tiempo, gracias a la mejora en la salud del suelo y la disponibilidad equilibrada de nutrientes (Grageda et., 2020).

Efectos a largo plazo sobre el medio ambiente

El uso prolongado de los fertilizantes químicos puede ocasionar la degradación del suelo, puesto que, disminuye la materia orgánica y la diversidad microbiana, pudiendo reducir la estructura del suelo y hacerlo más susceptible a la erosión, en cambio, el uso de biofertilizantes a largo plazo puede ayudar a disminuir la dependencia de insumos químicos, lo que resulta en una menor emisión de gases de efecto invernadero y una reducción en la contaminación del suelo (González, 2019).

Teorías sobre la interacción entre algas y plantas

La interacción entre las algas y las plantas ha sido ampliamente investigada principalmente por el potencial de mejorar el crecimiento de las plantas a través del bioestimulado. A través de los efectos bioestimulantes, las algas estimulan procesos naturales para mejorar la eficiencia de absorción de nutrientes, tolerancia al estrés abiótico y la calidad de los cultivos, aunque un bioestimulante no es un fertilizante directo. Se han propuesto varias teorías para explicar el mecanismo de promoción del crecimiento de las plantas por aplicación de extractos de alga, una de las teorías más prominentes es que dichas sustancias activan las rutas de señalización hormonales endógenas, lo que incrementa la síntesis de metabolitos secundarios y fortifica la respuesta adaptativa de las plantas. Otra teoría es que el extracto de alga favorece la simbiosis con los microorganismos del suelo como micorrizas y bacterias rizosféricas, lo que mejora la rizogénesis y la absorción nutricional (Zermeño et al., 2021).

Marco teórico conceptual

Biofertilización con algas

Se refiere al uso de algas marinas y microalgas como fertilizantes naturales para mejorar la fertilidad del suelo y potenciar el crecimiento de las plantas. Estas algas contienen una rica diversidad de nutrientes esenciales como el nitrógeno, fósforo y potasio, además de fitohormonas, que favorecen el desarrollo vegetativo y la resistencia al estrés. La aplicación de biofertilizantes a base de algas no solo enriquecen el suelo, sino que también promueven la actividad biológica, lo que contribuye a un ecosistema agrícola más saludable y sostenible (Pérez-Madruga et al., 2020)

Métodos de extracción de *Ascophyllum nodosum*

La extracción de sus compuestos bioactivos de numerosas algas, una de las que se utiliza con más frecuencia en biofertilizantes, *A. nodosum*, se hace mediante varios métodos

específicos para mantener intactos sus nutrientes y fitohormonas sensibles al calor. A continuación se presentan algunos de los principales procesos de extracción que se utilizan:

1. Extracción por frío:

El empleo de agua a temperatura ambiente en el proceso de maceración o trituración ayuda a retener daños a las hormonas naturales, así como a las vitaminas y aminoácidos sensibles al calor. Por lo tanto, la maceración en frío se utiliza para suministrar al extracto concentraciones elevadas de auxinas y citoquininas.

2. Extracción con agua caliente

Los fragmentos de alga se sumergen en agua caliente o se tratan con vapor para disolver los compuestos bioactivos y los procesos nutricionales. Por lo tanto, el calor y la acción rápida permiten obtener un extracto con un alto contenido de minerales y carbohidratos estructurales, tales como manitol y ácido algínico, mejorando la friabilidad al agua del suelo.

3. Extracción con ácido o alcalina

Los fragmentos de algas se tratan con soluciones alcalinas o ácidas para disolver las paredes celulares de las algas y liberar compuestos bioactivos de extracción específica. Por lo tanto, las fucoidinas y el ácido algínico, se extraen mediante digestión con ácido, también alginatos y otros polisacáridos sacarificados que mejoran la estructura del suelo.

4. Extracto fermentado

En este procedimiento, las algas son fermentadas a través de microorganismos particulares. La fermentación facilita la descomposición de las estructuras celulares de las algas y la liberación natural de nutrientes y compuestos bioactivos en la planta, aumentando de esta manera la disponibilidad de estos compuestos.

5. Extracto con enzimas

Se emplean enzimas particulares para desintegrar las paredes celulares de las algas, liberando nutrientes sin necesidad de calor o sustancias químicas perjudiciales. Por lo tanto, se consiguen extractos abundantes en aminoácidos y proteínas imprescindibles.

Composición del biofertilizante de algas marinas a base de *Ascophyllum nodosum*

López et al. (2023) indican que el biofertilizante elaborado con alga *A. nodosum* es abundante en una variedad de nutrientes y compuestos bioactivos que fomentan el crecimiento y desarrollo vegetal, entre los que se incluyen:

1) Macrominerales:

- Nitrógeno: crucial para la formación de hojas y tallos en las plantas
- Fósforo: promueve la aparición de raíces y la floración.
- Potasio: Promueve la resistencia al esfuerzo de la sequía y es esencial para la fotosíntesis

2) Microelementos: incluye elementos tan importantes como magnesio, calcio, hierro, manganeso, zinc, cobre y boro, así como necesarios para los procesos enzimáticos y la vitalidad general.

3) Hormonas vegetales de crecimiento

- Auxinas: Promueve el crecimiento de las raíces y la elongación celular.
- Giberelinas: promueve la proliferación de pasto e isla de las semillas de luz.
- Citoquininas: promueve la formación de nuevas células.

4) Proteínas y aminoácidos: Estos auxiliares también asisten a las plantas en la generación de las proteínas necesarias para su crecimiento robusto y robusto.

5) Carbonatos y polisacáridos: El manitol y el ácido algínico contribuyen a la retención de agua del suelo y promueven que las raíces asimilen los nutrientes.

- 6) Antioxidantes y vitaminas: Este producto contiene vitaminas como B y E, junto con componentes naturales que contribuyen a que las plantas se mantengan sanas y luchen contra el perjuicio provocado por la oxidación.
- 7) Ácidos de tipo orgánico: Los ácidos contribuyen a la liberación de los nutrientes que se encuentran atrapados en el terreno, volviéndose más accesibles para los vegetales.

Beneficios

Estos productos intervienen en las propiedades físicas, químicas y biológicas del mismo, favoreciendo por ello su habilidad como medio de cultivo. Mejoran la habilidad de retención de humedad por su alto contenido en fibra, a la vez que favorecen la actividad de los microorganismos benéficos del suelo. Las algas pardas son una fuente rica en poliuronidos, siendo los alginatos y el fucoidan los más representativos, es decir, los agentes gelificantes y quelantes de estos polisacáridos, que, además, poseen propiedades hidrofílicas haciendo que sean compuestos importantes dentro del sector agrícola. El beneficio de la aplicación de los extractos de algas debe interpretarse como el efecto sinérgico de todos sus componentes, no pudiendo separarse el efecto de cada uno de los ingredientes activos (Kvantaliani, 2023)

Métodos de aplicación de *A. nodosum*

De acuerdo con sus exhibidores comerciales, el extracto de *A. nodosum* puede utilizarse antes de las flores, posteriormente al suelo, al revés o durante el proceso de siembra de las semillas. Para su uso en el suelo, puede realizarse mediante riego, fertirrigación o riego por surcos, lo que le otorga la libertad de aplicarlo sin limitaciones en relación a la mezcla con otros productos para las hojas o en su aplicación en el terreno.

En este contexto, es crucial que las estrategias de uso se anticipen más en cuanto a tiempo y frecuencia de su aplicación. En conclusión, la utilización de extractos de *A. nodosum* en la agricultura representa una realidad y simultáneamente una promesa. La realidad ya que es

palpable a la vista de los efectos al implementarse; y una promesa ya que, conforme la práctica se propaga, los costos de producción disminuirían, llegando al punto en que se pueden reemplazar productos químicos sintéticos por orgánicos, promoviendo de esta manera una agricultura sustentable (Hernández-Pérez, 2021)

Desarrollo vegetativo

La vegetación de *Musa x paradisiaca* simboliza una fase de su crecimiento vital, que conlleva la creación de órganos vegetales, tales como la hoja, el tallo y la raíz, esenciales para la acumulación de biomasa, que se transforma en frutas. En estas circunstancias, la planta de plátano garantiza el revestimiento vegetal y acumula biomasa de frutas. En el transcurso de la vida de la planta, se destinan recursos significativos para incrementar el área de follaje, para que pueda absorber luz y fotosíntesis, así como para la producción de carbohidratos autorizados posteriormente para que la célula fallezca estructuralmente. La raíz experimenta un desarrollo significativo; su habilidad para absorber nutrientes, suelo permanente y agua potable sin fertilizantes, son equivalentes al metabolismo de la planta y su función fisiológica (Marín, 2019).

Diferencia entre desarrollo y crecimiento

El desarrollo vegetativo se refiere a la etapa donde se realizan los procedimientos requeridos para el crecimiento y la madurez de las estructuras vegetales. Las modificaciones en la calidad, que transforman las estructuras vegetales en órganos operativos, se ven afectadas por elementos hormonales que controlan la diferenciación celular y la especialización de los tejidos. Sin embargo, el crecimiento es el encargado de establecer la longitud, el diámetro y la masa de las estructuras de las plantas. Como el crecimiento se lleva a cabo mediante la división y expansión celular, es crucial el alargamiento de los brotes y raíces a través del estiramiento celular para aumentar el área de la hoja que recibe luz y, en consecuencia, el área del suelo de campo. El crecimiento representa la habilidad de la planta para obtener reservas; por lo tanto, el

crecimiento capaz determina el instrumento del individuo y su rendimiento productivo (Cherlinka, 2024).

Ecofisiología

La ecofisiología en cultivos como el plátano es fundamental para comprender cómo los factores ambientales inciden en los procesos fisiológicos de la planta, estos incluyen la radiación solar, temperatura, humedad y calidad del suelo, los cuales influyen en la fotosíntesis, transpiración y la absorción de nutrientes. La interacción entre estos elementos determina el crecimiento, el desarrollo y la productividad del cultivo, resaltando la importancia de un manejo adecuado de las condiciones ambientales para maximizar el rendimiento agrícola (Almeida et al., 2023).

Mecanismo de acción de fertilizantes químicos

Los fertilizantes químicos proporcionan nutrientes de manera directa y actúan, a través, de varios mecanismos que facilitan la disponibilidad de nutrientes esenciales para las plantas. Estos compuestos sintéticos están diseñados para liberar nutrientes como nitrógeno, fósforo y potasio en formas fácilmente asimilables, además, la correcta formulación de estos fertilizantes permiten que los nutrientes sean liberados en sincronía con las necesidades fisiológicas de la planta, optimizando su uso y eficiencia. Esta disponibilidad rápida de nutrientes propicia un crecimiento vegetativo acelerado y mejora la producción de biomasa, además, la formulación de estos fertilizantes permiten ajustar las proporciones de nutrientes según las necesidades específicas de cada cultivo, optimizando su rendimiento (Doria, 2023).

Mecanismos de acción de biofertilizantes de algas

Los biofertilizantes de algas actúan mediante varios mecanismos que promueven el crecimiento y desarrollo de las plantas. En primer lugar, las algas son ricas en macro y micronutrientes, esenciales para la fisiología vegetal, la aplicación de las mismas puede aumentar la disponibilidad de los nutrientes en el suelo, facilitando su absorción por las raíces.

Además, las algas al contener compuestos bioactivos, como fitohormonas, que estimulan la actividad metabólica promueve procesos como la división celular y alargamiento de las raíces lo que resulta en un crecimiento vegetativo más robusto. Otro mecanismo es la capacidad que esta tiene para mejorar la salud del suelo y su actividad microbiana, puesto que, los extractos fomentan la proliferación de microorganismos benéficos, que contribuyen a la descomposición de la materia orgánica y a la liberación de nutrientes adicionales del suelo (Espinosa et al., 2020).

Marco teórico situacional

Morfología del cultivo

Raíz

El plátano presenta un sistema radicular fasciculado que se caracteriza por la ausencia de una raíz principal dominante. En su lugar, las raíces adventicias emergen del rizoma, extendiéndose principalmente entre 20 y 50 cm de profundidad. Esta configuración superficial las hace altamente dependientes del agua y los nutrientes disponibles en las capas superficiales del suelo, a medida que se desarrollan, las raíces secundarias y terciarias crean una estructura radicular compacta y eficiente, optimizando la absorción de nutrientes esenciales.

Las raíces más delgadas del plátano están revestidas de finos pelos radiculares, que amplían significativamente la superficie de absorción. Esta adaptación optimiza el contacto con el terreno, potenciando la eficiencia en la captación de nutrientes y agua. Además, el sistema radical del plátano posee una notable capacidad regenerativa, lo que facilita su recuperación después de un trasplante o daños físicos, factor clave para un cultivo exitoso. Sin embargo, terrenos compactados o mal drenados pueden comprometer el funcionamiento radicular, ya que la falta de oxígeno puede limitar su desarrollo y eficacia.

Tallo

El tallo del plátano se lo conoce como pseudotallo debido a su estructura que difiere mucho de un tallo leñoso tradicional. Está compuesto por vainas foliares densamente agrupadas

en capas, este innovador diseño le permite alcanzar alturas considerables y proporcionar el soporte necesario a las hojas y al racimo, también optimiza su exposición a la luz solar, favoreciendo la fotosíntesis en óptimas condiciones. Sin embargo es vulnerable al exceso de humedad y deficiencias nutricionales, que pueden comprometer su estabilidad y funcionalidad, impactando negativamente el crecimiento y productividad de la planta.

Hojas

Son hojas de gran tamaño, de color verde y dispuestas en forma de espiral de entre 2 y 4 metros de longitud y hasta 1,5 metros de ancho con un peciolo de 1 m o más de longitud y un limbo elíptico alargado, levemente inclinado hacia el peciolo, ligeramente ondulado y glabro. Cuando son antiguas, se pueden romper de manera transversal debido al azote del viento (Jara, 2021).

Estado actual del uso de biofertilizantes en el cultivo de *Musa x paradisiaca*

Actualmente el uso de biofertilizantes en el cultivo de *Musa x paradisiaca* muestra un creciente interés por parte de los agricultores, especialmente en regiones de América Latina, incluido Ecuador. Los biofertilizantes, y en particular aquellos derivados de algas, han comenzado a ser adoptados como alternativa sostenible a los fertilizantes químicos convencionales, debido a sus beneficios en la mejora de la fertilidad del suelo y el incremento de la resistencia de las plantas al estrés (Castro, 2022).

En Ecuador y en otros países existen casos de éxito que destacan la efectividad de los biofertilizantes de algas en el cultivo de *Musa x paradisiaca*, estudios han mostrado incrementos en la productividad del plátano y una mejora en la calidad del fruto cuando se ha aplicado extractos de algas marinas, estos resultados son indicativos de que los biofertilizantes no solo pueden sustituir a los fertilizantes sintéticos, sino que tienen potencial de mejorar la salud del suelo y reducir costos a largo plazo (Castro, 2022).

Desafíos de la producción de plátano con biofertilizantes

La producción de *Musa x paradisiaca* utilizando biofertilizantes enfrenta varios desafíos agronómicos siendo uno de los más relevantes la salinidad del suelo, aunque los biofertilizantes ayudan a mejorar la estructura del suelo y su microbiota, su aplicación en suelos con alta salinidad puede limitar la disponibilidad de ciertos nutrientes para las plantas. La acumulación de sales puede interferir con la absorción de agua, ocasionando estrés osmótico en las raíces y afectando negativamente el desarrollo vegetativo del plátano (Sandoval et al., 2020).

Otro desafío es la resistencia a enfermedades, puesto que, este cultivo es vulnerable a diversas plagas y patógenos, como Sigatoka negra y Fusarium. Si bien es cierto los biofertilizantes, especialmente aquellos que se componen de algas, fortalecen las defensas naturales de la planta mediante la inducción de resistencia sistémica, la efectividad puede variar dependiendo del tipo de patógeno y las condiciones locales (Sandoval et al., 2020).

La disponibilidad de agua es otro factor crítico en la producción de plátano con biofertilizantes, ya que el riego adecuado es esencial para que los nutrientes aportados por los biofertilizantes sean absorbidos por la planta, la aplicación de biofertilizantes puede mejorar la capacidad de retención hídrica del suelo y ayudar a las plantas a soportar periodos cortos de estrés hídrico. Finalmente, podemos decir que otro desafío destacado puede ser la adopción de tecnologías de biofertilización por parte de los agricultores, especialmente en zonas rurales donde la disponibilidad de estos productos y el acceso a conocimientos técnicos son limitados. A pesar de los beneficios de los biofertilizantes para la sostenibilidad agrícola, los agricultores a menudo enfrentan barreras económicas para adquirirlos y capacitaciones inadecuadas sobre su uso (Sandoval et al., 2020).

Proyectos y estudios locales sobre biofertilizantes de algas

Algunos proyectos y estudios locales han explorado el uso de biofertilizantes de algas en cultivos de *Musa x paradisiaca*. Investigaciones recientes han evaluado la aplicación de extractos

de algas marinas, como *A. nodosum* y *Sargassum* spp., en condiciones agroecológicas específicas del Ecuador. Estudios han demostrado que la incorporación de estos biofertilizantes puede resultar en un aumento significativo en la producción de plátano. También que la combinación de estos biofertilizantes ayuda a obtener un aumento significativo en la producción de plátano, con incrementos de hasta un 20 % en el rendimiento de los cultivos en comparación con las prácticas convencionales (Barzola, 2020).

Los resultados de investigaciones sobre aplicaciones de biofertilizantes de algas en el plátano han sido respaldados por ensayos de campo, los cuales evalúan la calidad de los frutos, análisis revelaron que el uso de biofertilizantes mejora no solo la cantidad, sino la calidad de la producción, con un aumento en el tamaño y el contenido de azúcares de los plátanos (Santos, 2022).

Marco teórico contextual

Contexto agrícola de la *Musa x paradisiaca* en Ecuador

El cultivo de plátano desempeña un papel crucial en la economía de Ecuador, siendo una importante fuente de ingresos tanto para pequeños como grandes agricultores. De acuerdo con el Ministerio de Agricultura de Ecuador, el país se encuentra entre los principales exportadores de plátano a nivel global, con una gran parte de su producción destinada a mercados en Europa y Estados Unidos. No obstante, este cultivo enfrenta varios retos agronómicos, como la degradación del suelo, la falta de sostenibilidad en las prácticas de fertilización, y el uso excesivo de agroquímicos, lo cual perjudica la calidad del suelo y reduce la productividad en el largo plazo (Ministerio de Agricultura, 2023).

Problemas actuales en el desarrollo vegetativo de *Musa x paradisiaca*

El desarrollo vegetativo de *Musa x paradisiaca* es fundamental para asegurar la salud de las plantas y alcanzar una producción eficiente. En las etapas iniciales de su crecimiento, el plátano depende en gran medida de la disponibilidad adecuada de nutrientes. Sin embargo, el

uso excesivo de fertilizantes químicos y minerales ha resultado en la reducción de la biodiversidad del suelo, lo que disminuye su capacidad para proporcionar nutrientes de forma natural. Esto ha generado la necesidad de buscar alternativas más sostenibles, como los biofertilizantes, que fomentan un crecimiento saludable sin los efectos negativos que conlleva el uso de fertilizantes tradicionales (Restrepo et al., 2021).

Contexto regional y climático de Manabí en el cultivo de *Musa x paradisiaca*

El presente estudio se lleva a cabo en la provincia de Manabí ubicada en la costa ecuatoriana, su clima se caracteriza por su diversidad, gracias a la orografía de la región, de oeste a este se distinguen tres tipos de climas, las temperaturas medias permanecen relativamente constantes a lo largo del año. Predomina un clima tropical semiárido, con precipitaciones anuales inferiores a 500 mm y temperaturas promedio superiores a 24 °C. En las zonas intermedias, el clima es megatérmico seco a semi húmedo, con precipitaciones entre 500 mm y 1000 mm, una estación seca marcada y temperaturas promedio de 25 °C. En cambio en el este prevalece un clima tropical húmedo y cálido, caracterizado por precipitaciones anuales que oscilan entre 1000 y 2000 mm, con una temperatura media constante de 25 °C.

Estado del arte

Efectividad de los Biofertilizantes en Cultivos

Maila (2019) investigó el rendimiento de un biofertilizante en comparación con un fertilizante a base de extracto de algas. Los tratamientos aplicados consistieron en un fertilizante foliar a una dosis de 7,5 mililitros por litro de agua, un biofertilizante a 3 mil millones de células por mililitro y un grupo de control sin tratamiento. El diseño del experimento fue completamente aleatorizado, incluyendo tres tratamientos y un total de 20 observaciones. Los resultados mostraron que el biofertilizante mejoró las medias en varias variables, como la altura de la planta, la longitud de la raíz, el peso seco de la raíz, el peso seco de la parte aérea y el rendimiento.

Cedeño et al. (2021) analizaron la eficacia de un bioestimulante basado en extracto de algas marinas sobre el crecimiento y la calidad de plántulas de plátano en vivero. Los tratamientos evaluados incluyeron: bioestimulante combinado con fertilización química (T1), solo fertilización química (T2) y un grupo de control (T3). Los resultados mostraron que el tratamiento T1 aumentó el área foliar, la masa seca y el índice de calidad de Dickson de las plántulas en un 14,80 %, 11,22 % y 7,56 %, respectivamente, en comparación con el T2. Además, se encontró una correlación positiva entre el índice de calidad de Dickson y el crecimiento de las plántulas. En conclusión, el uso de bioestimulantes a base de extractos de algas marinas demostró ser efectivo para mejorar tanto el crecimiento como la calidad de las plántulas de plátano en vivero, además de potenciar el efecto de la fertilización del suelo.

Vesga (2019) llevó a cabo un estudio sobre un fertilizante/bioestimulante a base de algas marinas que promovía el aumento en la longitud del tallo. Se emplearon métodos de aplicación foliar y edáfica, utilizando dosis que variaron de 1 a 1,5 centímetros cúbicos por litro de agua. La combinación de la aplicación foliar con Drench, que consistía en 6 cc de producto mezclado con 6 litros de agua por vía foliar, junto con 30 cc de producto en 6 litros de agua, integró ambos métodos de tratamiento. Además, se estableció un grupo de control con plantas que no recibieron el bioestimulante de algas, permitiendo la comparación con los tratamientos aplicados. Los resultados finales fueron favorables y mostraron una clara diferenciación entre el grupo tratado y el grupo de control.

Resultados Aplicables y Esperados

Numerosos estudios han evidenciado que la utilización de biofertilizantes en los cultivos de *Musa x paradisiaca* produce resultados notables en cuanto al rendimiento y la calidad de las plantas. En particular, investigaciones anteriores han señalado aumentos de hasta un 20% en el rendimiento de cultivos que recibieron biofertilizantes en comparación con aquellos que únicamente fueron fertilizados químicamente. En el marco de esta investigación, se anticipa que

el uso de biofertilizantes incrementará el crecimiento vegetativo de *Musa x paradisiaca* influenciado por factores como la dosis aplicada y las condiciones ambientales. Asimismo, se espera que la calidad de las plántulas, también mejore, respaldando la conexión positiva entre el uso de biofertilizantes y el desarrollo óptimo de las plantas.

CAPÍTULO 3: MARCO METODOLÓGICO

Introducción a la metodología utilizada

El trabajo de investigación sobre la “Aplicación de Biofertilizante a base de algas marinas en el desarrollo vegetativo de *Musa x paradisiaca*, en el cantón Paján.”, se centra en describir los procedimientos y técnicas que se implementaron para evaluar el efecto de este biofertilizante. Se seleccionaron parcelas experimentales, donde se aplicaron diferentes tratamientos de biofertilizante de algas, cada tratamiento fue evaluado considerando variables como altura, diámetro del pseudotallo, número de hojas, longitud de hojas y ancho de hojas.

Tiene un enfoque cuantitativo con un diseño completamente aleatorio, lo que facilita una comparación exacta entre los tratamientos con biofertilizantes y un grupo de control sin biofertilizantes. Se emplearon estudios estadísticos para determinar diferencias en los resultados entre tratamientos usando el análisis de varianza (ANOVA), para evaluar la efectividad de los biofertilizantes a base de algas en el crecimiento del cultivo de plátano.

En cuanto a la extensión, este análisis es de carácter explicativo, pues no solo aspira a explicar las variaciones en el desarrollo del cultivo, sino también a esclarecer los mecanismos a través de los cuales los biofertilizantes de algas influyen en el desarrollo del cultivo. El propósito de la investigación es establecer el cómo y el por qué los biofertilizantes afectan los parámetros. Este procedimiento es crucial para ofrecer evidencias científicas que respalden el uso de biofertilizantes en la agricultura.

Materiales y métodos del objetivo específico 1

Este apartado busca caracterizar las propiedades del biofertilizante a base de algas marinas.

Materiales

- Biofertilizante de algas marinas (*Ascophyllum nodosum*)

Materiales y métodos del objetivo específico 2

Este apartado busca identificar la dosis óptima de biofertilizante de algas para potenciar el crecimiento vegetativo de *Musa x paradisiaca*.

Materiales

- Plantas de *Musa x paradisiaca*: se seleccionaron 32 plantas de plátano, distribuidas en cuatro grupos experimentales.
- Biofertilizante de algas: ácido algínico en diferentes concentraciones.
- Agua para diluciones.
- Balanza para pesar los gramos dependiendo de la dosis
- Instrumentos de aplicación: Bomba de fumigar
- Instrumentos de medición de crecimiento: cinta métrica para medir altura y calibre para diámetro del tallo.
- Instrumentos de recolección de datos: libreta de campo, celular para registro fotográfico, y software de análisis estadístico para evaluar diferencias significativas.

Métodos

Preparación de soluciones de biofertilizante

Se preparan 3 soluciones de ácido algínico en concentraciones específicas: dosis alta (10 gr), dosis media (5 gr) y dosis baja (2.5 gr). Cada solución se disuelve en 8L de agua siguiendo las instrucciones escritas por el fabricante, que indican que la aplicación debe ser de manera foliar o radicular mediante cualquier sistema de riego o drench.

Tratamientos

Se establecen cuatro grupos principales de plantas de *Musa x paradisiaca*. Cada grupo recibe un tratamiento diferente: el primer grupo se somete a una aplicación de biofertilizante en una dosis alta, el segundo grupo a una dosis media, el tercero a una dosis baja, mientras que el último grupo sirve como control y no recibe tratamiento. A continuación, se enumeran los tratamientos estudiados:

Tabla 1: Tratamientos en estudio

Grupo	N.º Plantas	Dosis	Gramos	Frecuencia
1	8	Testigo	-	-
2	8	Baja	2.5	Cada 2
3	8	Media	5	semanas
4	8	Alta	10	Cada 2
				semanas
				Cada 2
				semanas

Procedimiento de aplicación

La aplicación del biofertilizante se realizó directamente en la zona radicular de cada planta, asegurando una distribución uniforme. Se utiliza una bomba de fumigar para asegurar la aplicación precisa de las dosis.

Medición y monitoreo

Se registran los parámetros de altura del tallo, diámetro del tallo, número de hojas, largo de las hojas y ancho de las hojas

Análisis de datos

Comparamos los datos de crecimiento entre los 4 grupos para evaluar la efectividad y diferencia significativa entre cada dosis e identificar la dosis óptima que se debe emplear.

Materiales y métodos del objetivo específico 3

Este apartado busca realizar una comparativa entre un fertilizante químico y el biofertilizante algínico evaluando su efecto en el desarrollo vegetativo.

Materiales

- Plantas de *Musa x paradisiaca*: 32 plantas en fase de crecimiento vegetativo temprano.
- Fertilizante químico: NPK 33-13-11
- Biofertilizante algínico
- Agua para la dilución de los fertilizantes
- Recipientes de medición: Graduados en mililitros y litros para precisión en las dosis de fertilización.

Métodos

Distribución de Plantas y Asignación de Tratamientos:

Las 32 plantas fueron distribuidas en cuatro grupos de 8 plantas cada uno:

- Grupo 1 (Testigo, con fertilizante químico NPK)
- Grupo 2 (2.5 g por 8 L de biofertilizante algínico)
- Grupo 3 (5 g por 8 L de biofertilizante algínico)
- Grupo 4 (10 g por 8 L de biofertilizante algínico)

Preparación de Soluciones:

- Biofertilizante algínico: Se prepararon tres soluciones a las concentraciones establecidas
- Fertilizante químico (Grupo Testigo)

Aplicación de Tratamientos:

Se realiza la aplicación de los diferentes tratamientos aplicando directamente en la zona de la raíz. Las aplicaciones se realizaron una vez cada dos semanas durante cuatro meses, asegurando uniformidad en el momento de cada aplicación.

Medición y Registro de Datos de Crecimiento:

La altura y el diámetro del tallo se midieron cada mes, justo antes de una aplicación. Se registraron observaciones de coloración foliar, vigor y cualquier signo de estrés en las plantas.

Análisis de datos

Se realizó una comparación de los resultados entre los 3 grupos que recibieron las diferentes dosis del biofertilizante a base de algas y el grupo testigo que solo recibió dosis de fertilizante químico NPK (33-13-11). Empleando el programa RStudio y Jasp para obtener un anova y un análisis de tukey para comprobar las diferencias entre los tratamientos.

CAPÍTULO 4: RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Introducción a los resultados

En este capítulo se muestran y examinan los hallazgos derivados del uso de tres dosis de biofertilizante de algas en el crecimiento vegetal de *Musa x paradisiaca*. Los datos obtenidos durante el tratamiento que se realizó en cuatro meses, basados en evaluaciones mensuales, han facilitado la observación y comparación de las diferentes dosis de biofertilizante incluyendo el grupo testigo con el químico.

Resultados del objetivo específico 1

El biofertilizante de algas marina a base de *Ascophyllum nodosum* contiene ácido algínico 20.00 % p/p y manitol 6.50 % p/p. En donde se puede apreciar que el compuesto que tiene mayor porcentaje es fundamental, ya que favorece al desarrollo de la planta, ayudando a mejorar la retención de agua y estructura del suelo. Por otro lado el manitol cumple con la función de actuar como un antioxidante natural que protege a las plantas de especies reactivas de oxígeno, es decir que funciona para los procesos metabólicos, favoreciendo la absorción de los nutrientes que están en el suelo aumentando la efectividad de una fertilización química.

Resultados del objetivo específico 2

Este apartado muestra los resultados sobre la pregunta de cuál es la dosis óptima de biofertilizante de algas para potenciar el crecimiento vegetativo de *Musa x paradisiaca*.

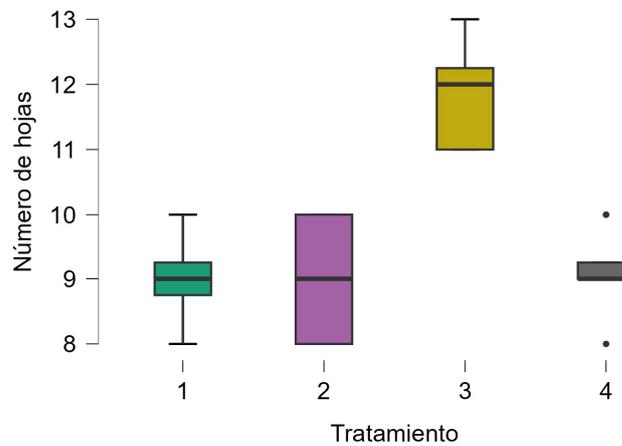
Tabla 2: Resultados de ANOVA

	Df	Wilks	aprox F	num Df	den Df	Pr(>F)
Tratamiento	3	0.0017169	40.167	15	66.655	< 2.2e-16 ***
Residuals	28					

Como se puede observar en la tabla 2 donde se ha realizado el ANOVA para poder comprobar si hay un resultado de significancia en los tratamientos que se realizaron para poder proceder realizar el análisis de los datos, en este caso se puede observar que tiene una alta significancia en los tratamientos, al igual que hay una alta significancia entre todos los tratamientos. Esto se comprobó gracias al ANOVA que se realizó de manera individual a cada una de las variables, presentando una alta significancia entre ellas.

Número de hojas

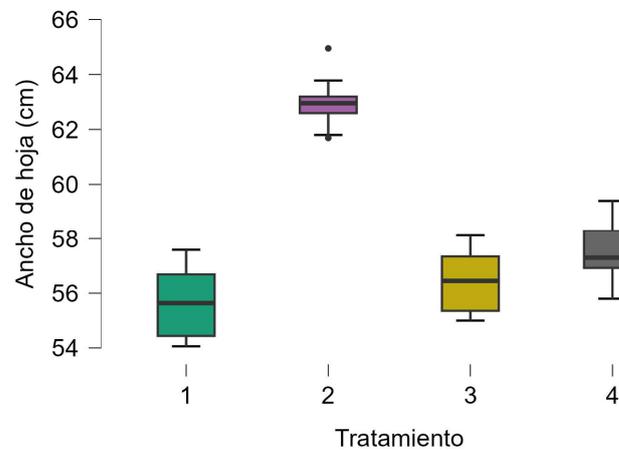
Figura 2: Resultados del número de hojas



Como se puede observar en la **figura 2** el tratamiento que presentó el mayor número promedio de hojas fue el grupo 3 con valores cercanos a 12-13 hojas, este grupo destacó por tener la mayor efectividad en promover el crecimiento de las hojas acompañado de una dispersión moderada en los datos. En segundo lugar se encuentra el grupo 2 que mostró un promedio intermedio de 10 hojas con una menor dispersión que el grupo 3 lo que refleja cierta consistencia en los resultados aunque con un menor impacto en comparación con la dosis media. Por otro lado el grupo 1 de testigo presentó un promedio de 9 y baja variabilidad en los datos, lo que indica un crecimiento menos favorable. Finalmente, el grupo 4 fue el que registró los peores resultados, con un promedio más bajo en el número de hojas y algunos valores atípicos hacia abajo, lo que sugiere un posible efecto negativo de la dosis excesiva.

Ancho de hojas

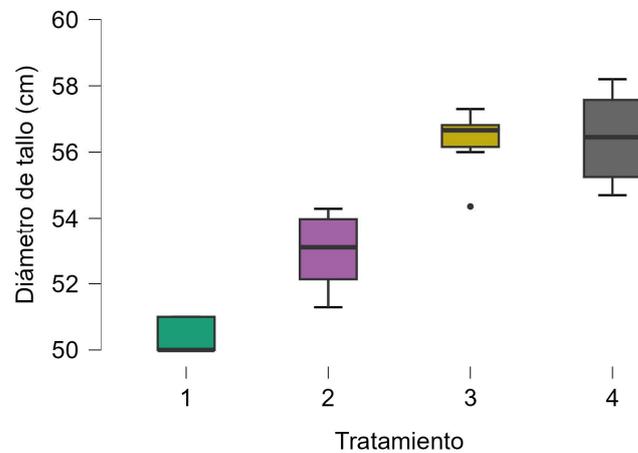
Figura 3: Resultados ancho de hojas



Como se puede observar en los resultados de la **figura 3** el tratamiento que presentó el mayor promedio fue el grupo 2 con valores cercanos a 64 cm y una baja dispersión en los datos, esto indica que esta dosis tuvo un impacto significativo en el desarrollo del ancho de las hojas, además se identificó un valor atípico por encima del promedio general lo que podría reflejar una respuesta excepcionalmente positiva en una planta específica. En contraste, los grupos 1, 3 y 4 mostraron resultados similares con promedios de ancho de hoja entre 56 y 58 cm. Aunque hubo cierta variabilidad en los datos, estos tratamientos no lograron alcanzar el mismo nivel de efectividad que el grupo 2 en esta variable específica.

Diámetro del pseudotallo

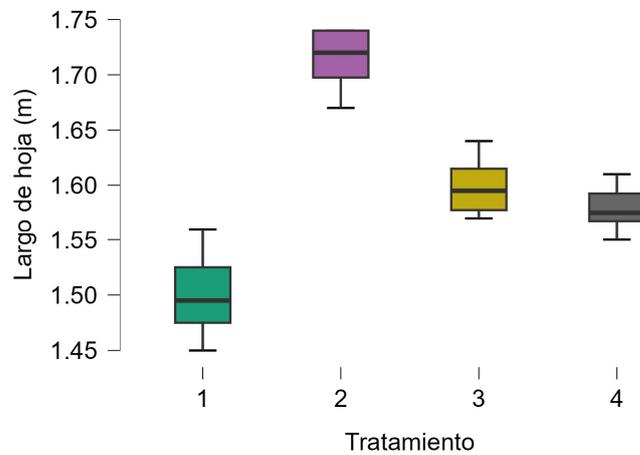
Figura 4: Resultados diámetro del pseudotallo



En la **figura 4** observamos en los resultados que el grupo 4 mostró el mayor diámetro promedio de pseudotallo, con valores cercanos a 58 cm y una baja variabilidad en los datos. El grupo 3 obtuvo un diámetro promedio ligeramente inferior al del grupo 4 con valores en torno a 56 cm y una dispersión igualmente baja, lo que indica que esta dosis también favoreció el desarrollo del pseudotallo de manera significativa. El grupo 2 presentó un diámetro alrededor de 54 cm con una mayor variabilidad en los datos, esta dosis fue más efectiva en otras variables como el ancho de hoja pero su impacto en el crecimiento del pseudotallo fue menos notable en comparación con las dosis media y alta. Finalmente, el grupo 1 testigo mostró el menor diámetro promedio de pseudotallo con valores cercanos a 52 cm y baja dispersión.

Largo de hoja

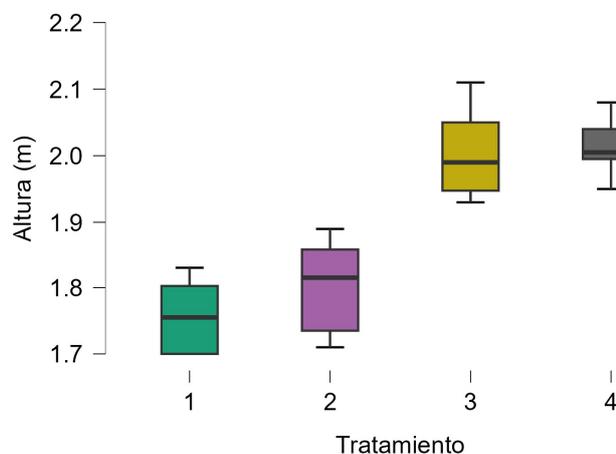
Figura 5: Resultados largo de hoja



Se puede observar en la **figura 5** que el grupo 2 presentó el mayor largo promedio de hoja con valores cercanos a 1.70 m y una baja dispersión, lo que refleja consistencia en la respuesta de las plantas a este tratamiento. El grupo 3 obtuvo un largo promedio de hoja ligeramente inferior con una mediana alrededor de 1.55 m. con una una mayor dispersión en comparación con los tratamientos 1 y 2 lo que indica variabilidad en la respuesta de las plantas a esta dosis. El grupo 4 presentó un rango de largo de hoja entre 1.56 y 1.60 m, con una dispersión intermedia. El grupo 1 tuvo los resultados más bajos con una mediana entre 1.45 y 1.50 m, siendo el tratamiento menos favorable en esta variable.

Altura

Figura 6: Resultados altura



Los resultados de la **figura 6** muestran que el grupo 3 alcanzó la mayor altura promedio de las plantas cerca de 2.05 m destacándose como el tratamiento más efectivo en esta variable. Aunque presenta una dispersión más amplia en comparación con los tratamientos 1 y 2, los datos se concentran en torno a la mediana, lo que indica que los resultados fueron consistentemente favorables. Le sigue el grupo 4 que obtuvo una altura promedio cercana a 2.00 m, su dispersión es moderada pero los resultados fueron consistentes en relación con los otros grupos. El grupo 2 mostró una altura promedio ligeramente superior al grupo testigo de alrededor de 1.90 m. Sin embargo, este grupo presentó una mayor dispersión en los datos, lo que sugiere cierta variabilidad en la respuesta de las plantas a esta dosis. Finalmente el grupo 1 testigo tuvo la menor altura promedio cercana a 1.80 m, con una baja dispersión que indica resultados consistentes dentro del grupo.

Discusión

Positiva

La tesis llamada “Uso de aminoácidos y citoquininas como biofertilizantes en el cultivo de banano” muestra que la aplicación de dosis específicas de biofertilizantes puede aumentar significativamente el rendimiento de las plantas. Por ejemplo, la aplicación de 300 cc de aminoácidos y 500 cc de citoquininas resultó en un aumento notable en la producción, lo que sugiere que las dosis óptimas de biofertilizantes tienen un impacto positivo en el crecimiento y el rendimiento de manera similar a los resultados obtenidos en donde la dosis media mostró los mejores resultados en términos de número de hojas y altura. Esto respalda la idea de que una dosis equilibrada de biofertilizante puede ser altamente efectiva para promover el desarrollo vegetativo dentro del género *Mussa*.

Negativa

Por otro lado tenemos el estudio de “Biofertilizante *Trichoderma* en plátano” que resalta una relación más compleja entre las dosis de biofertilizantes y el crecimiento de las plantas. En

este caso el estudio indicó que las dosis altas no siempre tuvieron un impacto positivo, e incluso algunas veces redujeron la salud de las plantas o causaron inconsistencias en el crecimiento. Esto contrasta con los resultados obtenidos en donde la dosis alta presentó el mejor resultado en términos de diámetro del tallo pero no siempre superó a la dosis media en otras variables como el número de hojas y altura.

Con los datos obtenidos se demuestra que la dosis óptima para el crecimiento vegetativo del cultivo corresponde a la dosis media, la cual favorece tanto la elongación como el diámetro del tallo lo que promueve un mayor tamaño y robustez, permitiendo una mejor translocación de nutrientes. Por otro lado, en términos de crecimiento foliar, se observa que una baja concentración de biofertilizantes produce mejores resultados, evidenciando un mayor desarrollo de las hojas, aunque con un menor desarrollo del pseudotallo y la altura de la planta.

De esta forma, si el objetivo es potenciar el crecimiento vegetativo, el tratamiento con dosis media sería el más adecuado, ya que optimiza el desarrollo del tallo y el tamaño del cultivo, al tiempo que permite un crecimiento controlado de las hojas. En contraste, las dosis bajas no mostraron diferencias significativas obteniendo resultados similares a la dosis media.

Resultados del objetivo específico 3

Se compararon los resultados entre las diferentes dosis y el grupo testigo que solo fue fertilizado con un fertilizante químico NPK (33-13-11) y estos fueron los resultados:

Tabla 3: Resultados de ANOVA de los tratamientos y repeticiones

Variable	Estimate	Std. Error	t value	Pr(> t)	Significance
(Intercept)	1.75	0.03407	51.36	< 2e-16	***
Tratamiento 2	0.04625	0.02906	1.592	0.126	
Tratamiento 3	0.245	0.02906	8.432	3.51E-08	***
Tratamiento 4	0.25875	0.02906	8.905	1.42E-08	***
Repetición 2	-0.0475	0.04109	-1.156	0.261	
Repetición 3	0.0525	0.04109	1.278	0.215	
Repetición 4	0.025	0.04109	0.608	0.549	
Repetición 5	-0.035	0.04109	-0.852	0.404	

Variable	Estimate	Std. Error	t value	Pr(> t)	Significance
Repeticion 6	-0.035	0.04109	-0.852	0.404	
Repeticion 7	0.025	0.04109	0.608	0.549	
Repeticion 8	-0.005	0.04109	-0.122	0.904	

Se puede ver entonces que para los tratamientos más óptimos son el 3 y el 4 que son los que mayor significancia presentan entre sus datos y que afectan principalmente a las variables evaluadas.

Además que en la variable donde más significancia está presente es en el diámetro del tallo, donde se presenta más diferencia entre los datos, de manera que son los datos que más se contrastan entre ellos.

Número de hojas

En la **tabla 3** se puede observar que entre los 3 tratamientos en el número de hojas se puede observar dos agrupaciones específicas, donde la dosis media de biofertilizante es la que mayor rendimiento se obtuvo con un promedio de 2.55, por otro lado las demás entran a otro grupo en el cual se puede observar que el peor promedio que se llegó a obtener en este caso es el tratamiento 2 con un promedio de 2.29, siendo incluso menor que el testigo.

Tabla 3: Resultados de Tukey del número de hojas

Tratamiento	Promedio	Letra
1	2.300073	b
2	2.298816	b
3	2.553460	a
4	2.313243	b

En cuanto al número de hojas la dosis media de 5g presentó el mayor promedio con valores cercanos a 12-13 hojas, lo que indica una respuesta destacada al tratamiento. La dosis baja de 2.5 g mostró un promedio intermedio de 10 hojas con una menor dispersión lo que indica mayor consistencia en los resultados pero con un impacto ligeramente inferior. La dosis alta de 10g obtuvo el promedio más bajo entre los cuatro. Finalmente, el testigo con NPK también presentó resultados bajos con un promedio de 9 hojas y baja variabilidad lo que indica un crecimiento más limitado.

Ancho de hojas

En la variable del ancho de hoja se puede observar tres agrupaciones diferentes entre ellas, donde en este caso la que mayor promedio es el tratamiento dos, donde se puede observar una clara diferencia entre los demás tratamientos, siguiendo el tratamiento 4 con un promedio de 4.07 en el ancho de la hoja, el que menor promedio de 4.04 que es el del testigo agrupado por Tukey con la letra c.

Tabla 4: Resultados Tukey ancho de hoja

Tratamiento	Promedio	Letra
1	4.036752	c
2	4.158748	a
3	4.050567	bc
4	4.069917	b

Para el ancho de las hojas la dosis baja de 2.5 g fue el más efectivo alcanzando un promedio cercano a 64 cm con baja dispersión, este tratamiento tuvo un impacto significativo en el desarrollo del ancho de las hojas. Las dosis media y alta tuvieron resultados parecidos entre 56 y 58 cm sin alcanzar la misma efectividad que el Grupo 2. A pesar de que el grupo testigo no

difiere mucho de las dosis media y alta sigue teniendo valores más bajos con una media de 54 cm y 58 cm.

Diámetro de pseudotallo

En el diámetro del pseudotallo la agrupación realizada por Tukey se puede observar 3 diferentes grupos entre sí, donde el tratamiento 3 y el tratamiento 4 están agrupados como a, siendo el mejor tratamiento obtenido en el diámetro, además el testigo es el que menor promedio tiene identificado con la letra c con un valor de 3.94.

Tabla 5: *Resultados de Tukey del diámetro del pseudotallo*

Tratamiento	Promedio	Letra
1	3.939107	c
2	3.988664	b
3	4.049129	a
4	4.050459	a

La dosis alta presentó el mayor diámetro promedio con valores cercanos a 58 cm y baja variabilidad, la dosis media con un diámetro de 56 cm también mostró buenos resultados, en cuanto a la dosis baja se observó una menor efectividad para esta variable con un diámetro promedio de 54 cm, y más dispersión en los datos. A comparación de las dosis el testigo mostró el diámetro más pequeño.

Largo de las hojas

En el largo de la hoja ocurre algo similar que en el diámetro del tallo, donde se puede observar una agrupación similar entre el tratamiento 3 y 4, con la diferencia que el mayor promedio lo tiene el tratamiento 2 tabulado con la letra a con un promedio de 1.71 cm de longitud

de la hoja. El testigo sigue presentando la menor longitud entre los demás con un promedio de 1.5 cm.

Tabla 6: Resultados de Tukey del largo de hoja

Tratamiento	Promedio	Letra
1	1.50000	c
2	1.71500	a
3	1.59875	b
4	1.57875	b

En cuanto al largo de las hojas la dosis baja destacó con el mayor promedio de 1.70 m mostrando consistencia en la respuesta de las plantas a este tratamiento, la dosis media presentó un largo promedio ligeramente inferior de 1.55 m con mayor variabilidad en los resultados, la dosis alta presentó un rango de largo entre 1.56 y 1.60 m con dispersión intermedia. El testigo con fertilizante químico tuvo el menor largo de hoja, con un promedio de entre 1.45 y 1.50 m.

Altura

En la altura que se puede apreciar dos agrupaciones, donde los peores tratamientos que se pueden observar es el testigo y el de menor concentración aplicada de biofertilizantes con una letra b y los que mejor elongación se obtuvo fue el tratamiento con menor y mayor concentración de fertilizante, estos agrupados con la letra a.

Tabla 7: Resultados de Tukey de altura

Tratamiento	Promedio	Letra
-------------	----------	-------

1	1.013675	b
2	1.030225	b
3	1.098811	a
4	1.103508	a

La dosis media de 5 g fue la más efectiva alcanzando un promedio de 2.05 m destacándose como la dosis más eficaz en esta variable, la dosis alta de 10 g presentó una altura promedio cercana a 2.00 m con una dispersión moderada, la dosis baja 2.5 g mostró un promedio de altura ligeramente superior al testigo con 1.90 m pero con mayor dispersión que sugiere cierta variabilidad en la respuesta de las plantas a esta dosis. El testigo obtuvo el peor resultado con un promedio de 180 cm.

Con los resultados podemos concluir que el biofertilizante a base de algas influyó de manera positiva a las plantas de *Musa × paradisiaca*, a comparación del grupo testigo que solo uso fertilizante químico NPK que obtuvieron los menores resultados en cada uno de los parámetros, demostrando así la efectividad de usar fertilizantes durante el desarrollo vegetativo.

Discusión

Positiva

Un estudio publicado en una revista de la Universidad Nacional de Loja llamado "Producción de biofertilizantes a partir de microalgas" menciona que los biofertilizantes a base de algas incrementan la disponibilidad de nutrientes como calcio, magnesio y hierro, además de estimular el crecimiento vegetal mediante la producción de fitohormonas como auxinas y giberelinas, también mejoran la calidad de los frutos y la interacción microbiana del suelo. Estas características son consistentes con la observación de mejores resultados en dosis bajas-medias en el trabajo realizado.

Negativa

Un artículo de la revista Agro Región titulado “Los biofertilizantes a partir de algas” sugiere que aunque los biofertilizantes pueden ser efectivos en ciertos cultivos su impacto depende mucho de las condiciones del suelo y del manejo agrícola, sugiriendo que en algunos casos el fertilizante químico puede superar al biofertilizante especialmente en situaciones donde los niveles de nutrientes del suelo son deficientes o cuando se busca una respuesta inmediata de la planta.

Con base en los datos obtenidos se demuestra que los fertilizantes representan una solución inmediata para corregir las deficiencias nutricionales del cultivo. Sin embargo, su uso también genera impactos negativos, ya que la absorción de nutrientes por las plantas es limitada, mientras que el exceso de nutrientes se lixivia, contaminando aguas subterráneas, ríos y mares. En contraste, los fertilizantes a base de algas presentan un efecto positivo en el ecosistema, ya que promueven una mayor absorción de nutrientes gracias a las hormonas que generan, optimizando su uso y reduciendo el impacto ambiental.

De esta forma, el uso de fertilizantes algínicos o químicos debe considerarse en función de las condiciones específicas del cultivo, incluyendo todos los factores ambientales que puedan influir en su desarrollo. El análisis de Tukey demuestra que todos los tratamientos con fertilizantes presentan resultados significativamente superiores al testigo, respaldando que los fertilizantes algínicos promueven un desarrollo del cultivo notablemente mejor en comparación con los fertilizantes químicos.

CAPÍTULO 5: CONCLUSIONES

El presente estudio ha demostrado que la aplicación de biofertilizantes a base de ácido algínico tiene un impacto significativo en el crecimiento vegetativo de *Musa x paradisiaca* convirtiéndose en una alternativa sostenible frente al uso exclusivo de fertilizantes químicos, los resultados obtenidos ofrecen información sobre algunas dosis óptimas de aplicación que pueden ser una herramienta valiosa para los productores interesados en mejorar la productividad de sus cultivos de manera eficiente y ambientalmente responsable.

Los hallazgos de este trabajo tienen implicaciones prácticas importantes ya que podrían ayudar en el desarrollo de estrategias de fertilización que reduzcan la dependencia de fertilizantes químicos en el cultivo de plátano, esto no sólo promovería prácticas agrícolas más sostenibles sino que también beneficiaría a pequeños y medianos productores al optimizar rendimientos, proteger la biota del suelo y reducir costos asociados a los insumos químicos.

Para complementar este trabajo se recomienda seguir con las investigaciones de biofertilizantes a base de algas pero esta vez con una dosis que se encuentre entre la dosis baja y la media para encontrar una dosis intermedia que sea efectiva para todos los tratamientos, también se podría investigar los efectos que tienen estas dosis sobre otros cultivos que sean parte de la familia de las musáceas o incluso en otro tipo de cultivos, evaluar los parámetros vegetativos en diferentes etapas del cultivo como su floración o maduración de frutos, realizar pruebas en otras zonas y tipos de suelo, así como en cultivos similares, para validar la efectividad de las dosis recomendadas y finalmente, estudiar el impacto del biofertilizante en la fertilidad del suelo y en el rendimiento del cultivo a largo plazo.

BIBLIOGRAFÍA

- Almeida, A., & García, P. (2023). Efectos de tratamientos fisionutricionales orgánicos y ecológicos sobre el rendimiento del plátano cv. Barraganete [Tesis, Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí Manuel Félix López]. https://repositorio.espam.edu.ec/bitstream/42000/2150/1/TIC_A41D.pdf
- Álvarez, E., León, S., Sánchez, M., & Cusme, B. (2020). Evaluación socioeconómica de la producción de plátano en la zona norte de la Provincia de los Ríos. *Journal Of Business And Entrepreneurial Studies*, 4(2), 86-95. <https://doi.org/10.37956/jbes.v4i2.78>
- Álvarez, Y. (2018). "Determinación de los costos de producción y rentabilidad del cultivo del plátano dominico-hartón (musa aab) vs cultivo del plátano barraganete (musa sp) en la parroquia el vergel, cantón valencia" [Tesis, Universidad Técnica Estatal De Quevedo]. <https://repositorio.uteq.edu.ec/server/api/core/bitstreams/45639534-9411-45c5-b2b7-f87c45d320b0/content>
- Arciniega, J., & Gonzalez, M. (2019). Prácticas organizacionales en la certificación de Comercio Justo como factor diferenciador en la oferta exportable. Yura: Relaciones Internacionales. <https://yura.espe.edu.ec/wp-content/uploads/2021/04/26.2-Pr%C3%A1cticas-organizacionales-en-la-certificaci%C3%B3n-de-Comercio-Justo.pdf>
- ARTAL (2024). Extracto de algas *Ascophyllum nodosum*. ARTAL Smart Agriculture. <https://www.artal.net/es/inductores/extracto-de-algas-ascophyllum-nodosum/>
- Barzola(2020). *Estudio de la Fertilización Complementaria a Base de Extractos de Algas Marinas en el Cultivo del Banano (Musa AAA)*. (Tesis de grado, Universidad Católica de Santiago de Guayaquil). Recuperado de <http://repositorio.ucsg.edu.ec/bitstream/3317/6062/1/T-UCSG-PRE-TEC-AGRO-96.pdf>

- Castro, C. (2022). Trichoderma como biofertilizante en el cultivo de plátano (*Musa x paradisiaca*).
<http://dspace.utb.edu.ec/handle/49000/13167>
- Cedeño, G., Velásquez, S., Avellán, B., Cargua, J., y López, G. (2021). Bioestimulante en el crecimiento y calidad de plántulas de plátano en fase de vivero. *ESPAMCIENCIA*, 12(2), 124-130. Recuperado de http://190.15.136.171/index.php/Revista_ESPAMCIENCIA/article/view/274
- Cherlinka, V. (2024). Etapas de crecimiento de las plantas: rol y funciones. *EOS Data Analytics*.
<https://eos.com/es/blog/etapas-de-crecimiento-de-una-planta/>
- Chávez-Díaz, Ismael Fernando, Lily X. Zelaya Molina, Carlos Iván Cruz Cárdenas, Edith Rojas Anaya, Santiago Ruíz Ramírez, y Sergio de los Santos Villalobos(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). México, ME:1423-36. <https://doi.org/10.29312/remexca.v11i6.2492>.
- Doria, S. (2023). Principales tipos de fertilizantes y sus procesos químicos. Blog de WIKA.
<https://www.bloginstrumentacion.com/aplicaciones/principales-tipos-de-fertilizantes-y-sus-procesos-quimicos/>
- Echeverría, H. E., García, F. O., Abbate, P. E., Aguirrezábal, L. A., Albaugh, T., Alfaro, M., ... & Vargas Gil, S. (2021). Fertilidad de suelos y fertilización de cultivos.
- Enriquez, E. A. E., Rodríguez, L. K. L., Barrera, L. P. P., & Cedeño, J. M. L. (2022). Deficiencia nutricional de macronutrientes en plantas de pimiento (*capsicum annum linneo*) cultivadas en solución nutritiva. *Revista de Investigación TALENTOS*, 9(1), 69-82.
- Espinosa, A., Hernández, R., & González, M. (2020). Extractos bioactivos de algas marinas como bioestimulantes del crecimiento y la protección de las plantas. *Scielo*, 4, 1-26.

- FAO. (2018). *Banana | Land & Water | Food and Agriculture Organization of the United Nations | Land & Water | Food and Agriculture Organization of the United Nations*. FAO. <https://www.fao.org/land-water/databases-and-software/crop-information/banana/en/>
- Fernández, E., López, B., Santurino, C., & Gómez, C. (2021). Nutritional composition and nutritional claims of Canary Islands banana. *Scielo*. <https://doi.org/10.20960/nh.03614>
- Garcha, S., Samredhi (2024). Biofertilizers: An Imminent Approach for Sustainable Agriculture. In: Kaur, S., Dwibedi, V., Sahu, P.K. (eds) *Metabolomics, Proteomics and Gene Editing Approaches in Biofertilizer Industry*. Springer, Singapore. https://doi.org/10.1007/978-981-97-2910-4_1
- González, M., & Zepeda, L. (2020). Comportamiento agronómico del plátano (*Musa paradisiaca* L.) variedad CEMSA 34 bajo dos métodos de selección de Cormos, Potosí, Rivas, 2017 [Tesis, Universidad Nacional Agraria]. <https://repositorio.una.edu.ni/1920/1/tnf01m722.pdf>
- Grageda, O., Díaz, A., Peña, J., & Vera, J. (2020). Impacto de los biofertilizantes en la agricultura. https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-09342012000600015
- Hernández, A., & Labbé, J. I. (2014). Microalgas, cultivo y beneficios. *Revista de Biología Marina y Oceanografía*, 49(2), 157-173. <https://doi.org/10.4067/s0718-19572014000200001>
- INEC. (2023). Estadísticas agropecuarias. Instituto Nacional de Estadística y Censos. <https://www.ecuadorencifras.gob.ec/estadisticas-agropecuarias-2/>
- Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias (INIAP). (2019). Banano, plátano y otras musáceas. Recuperado el 15 de diciembre de 2024, de <https://www.iniap.gob.ec/banano-platano-y-otras-musaceas/>

- Jara, J. (2021). Efecto de algas marinas en el cultivo de banano orgánico (*Musa Spp*). Milagro - Ecuador: Universidad Agraria del Ecuador. Recuperado de <http://181.198.35.98/Archivos/JARA%20AGUIRRE%20JHONNY%20ALEJANDRO.pdf>
- Kvantaliani, S. (2023). Producción de fertilizantes a partir de biomasa de microalgas: una opción sostenible. *Upcommons*. Recuperado de https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2117/369492/TFM_Sandro_Kvantaliani.pdf
- López, M., Tamayo, A., & Gómez, L. (2023). Efecto de la fertilización edáfica en el crecimiento de nueve variedades de musáceas en Santo Domingo de los Tsáchilas. *Boletín Científico Ideas y Voces*, 1347-1360. <https://doi.org/10.60100/bciv.v3ie1.70>
- Maila, B. (2019). Evaluación de la respuesta del fréjol (.) a la aplicación foliar de un fertilizante y un biofertilizante con base en algas. Universidad Central del Ecuador. Quito: UCE. Obtenido de <http://www.dspace.uce.edu.ec/bitstream/25000/14156/1/T-UCE-0004-A56-2018.pdf>
- Marín, D. (2019). Impacto del uso de biofertilizantes a base de residuos orgánicos en los suelos. Dialnet. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=7253417>
- Martínez, L., Pérez, G., Reyes, Y., Núñez, M., & Cabrera, J. (2020). Las algas y sus usos en la agricultura. Una visión actualizada. Scielo. http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0258-59362020000200010
- Mendoza, M. (2024, 17 marzo). El plátano verde mueve US \$210 millones al año y ahora es la vedette de una guía culinaria. *Forbes*. <https://www.forbes.com.ec/lifestyle/el-platano-verde-mueve-us-210-millones-ano-ahora-vedette-una-guia-culinaria-n49410>
- Mero, G. (2017). Niveles de fertilización en la incidencia de plagas en el cultivo de plátano (*Musa AAB*) C.V Barraganete [Tesis, Universidad Laica Eloy Alfaro de Manabí]. <https://repositorio.uleam.edu.ec/bitstream/123456789/123/1/ULEAM-AGRO-0014.pdf>

- Ministerio de Agricultura y Ganadería. (2023). Informe estadístico sobre la producción y exportación de plátano en Ecuador. Disponible en: www.agricultura.gob.ec.
- Nereyda, E. (2022). Estudio de factibilidad de producción de fertilizantes a partir de Algas (Bioproducto) de la Zona Costera. Repositorio. <http://www.dspace.espol.edu.ec/handle/123456789/57448>
- Osorio Vega, N. W. (2019). Efectos benéficos de bacterias rizosféricas en la disponibilidad de nutrientes en el suelo y la absorción de nutrientes por las plantas. *Revista Facultad Nacional de Agronomía Medellín*, 60(1), 3621-3643
- Paz, R., & Pesantez, Z. (2013). Potencialidad del plátano verde en la nueva matriz productiva del ecuador. *revistas.ulvr.edu.ec*. <https://doi.org/10.62325/10.62325/yachana.v2.n2.2013.47>
- Pérez-Madruga, Yanebis, López-Padrón, Indira, & Reyes-Guerrero, Yanelis. (2020). Las algas como alternativa natural para la producción de diferentes cultivos. *Cultivos Tropicales*, 41(2), . Epub 01 de junio de 2020. Recuperado en 15 de diciembre de 2024, de http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0258-59362020000200009&lng=es&tlng=es.
- Prado, A., Caicedo, J., Ramírez, V., & Muñoz, M. (2018). Los efectos de la pymes en el desarrollo socio- económico en la producción de plátano barraganete en el Ecuador. *Ciencia Digital*, 2(1), 302-318. <https://doi.org/10.33262/cienciadigital.v2i1.22>
- Quiroz, I. (2019). Aprovechamiento de la producción de plátano en la hacienda las marías y sus perspectivas de comercialización en la ciudad de manta. [Tesis, Universidad Estatal del Sur de Manabí]. <https://repositorio.unesum.edu.ec/bitstream/53000/2233/1/ILIANA-QUIROZ%20ARA%C3%91ITAS%20DE%20PLATANO.pdf>

- Restrepo, L., Velásquez, F., & Ramírez, P. (2021). Uso de biofertilizantes en plantaciones de banano en Colombia: Una revisión. *Ciencia y Tecnología Agropecuaria*, 15(1), 89-102.
- Reyes, L. M., Jiménez, C. E. A., Montiel, M. G. C., Galdámez, J. G., Cabrera, J. A. M., Aguilar, F. B. M., Martínez, J. L., & Padilla, E. G. (2018). Biofertilización y fertilización química en maíz (*Zea mays* L.) en Villaflores, Chiapas, México. *Siembra*, 5(1), 026-037. <https://doi.org/10.29166/siembra.v5i1.1425>
- Sánchez, J. M., Sharry, S. E., Stevani, R. A., & Galarco, S. P. (2022). Principios de la agricultura sintrópica aplicables en sistemas agroforestales. <http://sedici.unlp.edu.ar/handle/10915/132083>
- Sandoval, G., Iracheta, L., Cruzs, C., De Lourdes, M., López, P., & Sandoval, A. (2020). Effect of biofertilizers on tolerance of banana to disinfection and induction of organogenesis. *Revista Chapingo Serie Horticultura*, XIX(2), 183-196. <https://doi.org/10.5154/r.rchsh.2011.08.042>
- Santos, J. (2022). Factibilidad de producción de fertilizantes con algas marinas en zonas costeras. *Repositorio ESPOL*. Recuperado de <https://www.dspace.espol.edu.ec/handle/123456789/57448>
- Snyder, C., Bruulsema, T. y Jensen, T. (2021). Best management practices to minimize greenhouse gas emissions associated with fertilizer use. *Better Crops*, 91(4), 16-18.
- Sparks, D.L. (2020) *Environmental Soil Chemistry*. 2nd Edition, Academic Press, Oxford. <https://doi.org/10.1016/B978-012656446-4/50001-3>
- Vera, D., Suarez, C., Llugany, M., Poschenrieder, C., De Santis, P., & Cabezas, M. (2020). Arthropod Diversity Influenced by Two Musa-Based Agroecosystems in Ecuador. *Agriculture*, 10(6), 235. <https://doi.org/10.3390/agriculture10060235>
- Vesga, J. (2019). Efecto de un Bioestimulante a Base de Algas Marinas *Ascophyllum Nodosum* Sobre la Longitud del Tallo y en la Producción de Rosa Tipo Exportación, Variedades

Vulcano y Tressor, en Flores de Bojaca S.A.S. Tesis de grado, Universidad de Los Llanos, Colombia. Obtenido de <https://repositorio.unillanos.edu.co/handle/001/1368>

Zermeño, A., López, B., Melendres, A., Ramírez, H., Cárdenas, J., & Munguía, J. (2021). Extracto de alga marina y su relación con fotosíntesis y rendimiento de una plantación de vid. *Scielo*. https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-09342015001002437