



**unl**

Universidad  
Nacional  
de Loja

## Universidad Nacional de Loja

### Facultad Agropecuaria y de Recursos Naturales Renovables

#### Maestría en Agronomía con mención en Nutrición Vegetal

**Efecto de un biol elaborado con harinas vegetales y enriquecido con rizobacterias y microalgas en los parámetros morfológicos y productivos de guanábana (*Annona muricata* L.) en el Pangui, Zamora Chinchipe, Ecuador**

Trabajo de investigación previa a la obtención del título de Magíster en Agronomía con mención en Nutrición Vegetal

#### **AUTOR:**

Ing. Cristian Javier Días Quichimbo

#### **ASESOR:**

Ph.D Kléver Iván Granda

Loja – Ecuador

2024



## CERTIFICADO DE CULMINACIÓN Y APROBACIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Yo, **GRANDA MORA KLEVER IVAN**, director del Trabajo de Titulación denominado **Efecto de un biol elaborado con harinas vegetales y enriquecido con rizobacterias y microalgas en los parámetros morfológicos y productivos de guanábana (Annona muricata L.) en el Pangui, Zamora Chinchipe, Ecuador**, perteneciente al estudiante **CRISTIAN JAVIER DIAS QUICHIMBO**, con cédula de identidad N° **1900402585**.

### Certifico:

Que luego de haber dirigido el **Trabajo de Titulación**, habiendo realizado una revisión exhaustiva para prevenir y eliminar cualquier forma de plagio, garantizando la debida honestidad académica, se encuentra concluido, aprobado y está en condiciones para ser presentado ante las instancias correspondientes.

Es lo que puedo certificar en honor a la verdad, a fin de que, de así considerarlo pertinente, el/la señor/a docente de la asignatura de **Titulación**, proceda al registro del mismo en el Sistema de Gestión Académico como parte de los requisitos de acreditación de la Unidad de Titulación del mencionado estudiante.

Loja, 18 de Agosto de 2024



Firmado electrónicamente por:  
**KLEVER IVAN GRANDA  
MORA**

F) \_\_\_\_\_  
**DIRECTOR DE TRABAJO DE TITULACIÓN**



Certificado TIC/TT.: UNL-2024-002896

## **Autoría**

Yo, **Cristian Javier Días Quichimbo**, declaro ser autor del presente Trabajo de Titulación y eximo expresamente a la Universidad Nacional de Loja y a sus representantes jurídicos, de posibles reclamos y acciones legales, por el contenido del mismo. Adicionalmente acepto y autorizo a la Universidad Nacional de Loja la publicación de mi Trabajo de Titulación, en el Repositorio Digital Institucional-Biblioteca Virtual.

### **Firma:**

**Cédula de identidad:** 1900402585

**Fecha:** 25 de febrero del 2024

**Correo electrónico:** cristiandias.region7@gmail.com

**Teléfono:** 0997671145

## **Carta de Autorización**

Yo **Cristian Javier Días Quichimbo**, declaro ser autor del Trabajo de Titulación denominado: **Efecto de un biol elaborado con harinas vegetales y enriquecido con rizobacterias y microalgas en los parámetros morfológicos y productivos de guanábana (*Annona muricata* L.) en el Pangui, Zamora Chinchipe, Ecuador**, como requisito para optar por el título de **Magíster en Agronomía con mención en Nutrición Vegetal**, autorizo al sistema Bibliotecario de la Universidad Nacional de Loja para que, con fines académicos, muestre la producción intelectual de la Universidad, a través de la visibilidad de su contenido en el Repositorio Institucional.

Los usuarios pueden consultar el contenido de este trabajo en el Repositorio Institucional, en las redes de información del país y del exterior con las cuales tenga convenio la Universidad.

La Universidad Nacional de Loja, no se responsabiliza por el plagio o copia del Trabajo de Titulación que realice un tercero.

Para constancia de esta autorización, en la ciudad de Loja, a los veinticinco días del mes de febrero de dos mil veinticinco.

### **Firma:**

**Autor:** Cristian Javier Días Quichimbo

**Cédula:** 1900402585

**Dirección:** El Pangui, barrio Cristo Rey, calle 24 de mayo y S/N

**Correo electrónico:** cristiandias.region7@gmail.com

**Celular:** 0997671145

### **DATOS COMPLEMENTARIOS**

#### **Director del Trabajo de Titulación**

Ing. Kléver Iván Granda Mora, PhD.

## **Dedicatoria**

El presente trabajo investigativo está dedicado a mi padre, por su motivación incondicional y su constante apoyo, a mis hijos que a la distancia son la motivación esencial para continuar con nuestra preparación académica y profesional.

A mi pareja que ha sido clave en este proceso de estudios de cuarto nivel, a usted agradecido por su compañía y motivación. Gracias por estar siempre ahí, animándome en los momentos difíciles y celebrando cada pequeño logro.

Y mi director de tesis y a todos mis profesores de maestría, quienes compartieron sus conocimientos, gracias por ser parte de este retorno a las aulas y por ser parte activa de este nuevo proceso académico.

*Cristian Javier Días Quichimbo*

## **Agradecimiento**

Quisiera comenzar expresando mi más sincero agradecimiento a mi director de tesis, el Ing. Kléver Iván Granda Mora, PhD., cuyo apoyo fue fundamentales para la realización de este proyecto investigativo.

A mi familia, especialmente a mi pareja, padre y hermanas, les agradezco profundamente su amor incondicional y su apoyo constante, gracias por ser mi pilar en los momentos difíciles. Sin ustedes, este logro no habría sido posible.

A la Universidad Nacional de Loja, gracias por brindarme la oportunidad de crecer académica y profesionalmente, a mis compañeros ustedes fueron ese apoyo necesario para poder culminar este proceso de estudio.

Finalmente, agradezco a todos los colegas y colaboradores que me apoyaron en este proyecto investigativo.

A todos, gracias por ser parte de este proceso.

*Cristian Javier Días Quichimbo*

## Índice de Contenido

Portada.....	i
Certificación .....	ii
Autoría.....	iii
Carta de Autorización.....	iv
Dedicatoria .....	v
Agradecimiento .....	vi
Índice de Contenido.....	vii
Índice de tablas:.....	ix
Índice de figuras: .....	ix
Índice de anexos: .....	x
1. Título .....	1
2. Resumen .....	2
3. Introducción .....	4
4. Marco Teórico .....	6
4.1. Cultivo de guanábana en el Ecuador .....	6
4.2. Requerimientos agroecológicos del cultivo .....	6
4.3. Necesidades nutricionales.....	7
4.4. Consecuencias ambientales de la aplicación de fertilizantes.....	8
4.5. Rizobacterias.....	8
4.5.1. Ventajas .....	9
4.6. Microalgas .....	11
4.6.1. Microalga <i>Chlorella</i> .....	11
4.7. La fertilización biológica en la agricultura .....	12
4.8. Fertilizantes de síntesis química vs. Biofertilizantes .....	13
4.9. Bio-fermento con harinas vegetales.....	14
4.10. Bioles .....	15
5. Metodología .....	16
5.1. Descripción del área de investigación .....	16
5.1.1. <i>Ubicación política</i> .....	16
5.2. Tratamientos y diseño experimental .....	16
5.2.1. <i>Aplicación de los tratamientos</i> .....	16
5.3. Elaboración del biol .....	17
5.4. Manejo del cultivo .....	18
5.4.1. <i>Fertilización</i> .....	18

5.4.2.	<i>Control fitosanitario</i> .....	18
5.4.3.	<i>Podas</i> .....	18
5.4.4.	<i>Control de malezas</i> .....	19
5.5.	Metodología para medir variables .....	19
5.5.1.	<i>Altura de planta</i> .....	19
5.5.2.	<i>Área foliar</i> .....	19
5.5.3.	<i>Contenido de clorofila</i> .....	19
5.5.4.	<i>Número de brotes</i> .....	20
5.5.5.	<i>Número de botones florales</i> .....	20
5.5.6.	<i>Peso de los frutos</i> .....	20
5.5.7.	<i>Rendimiento</i> .....	20
5.6.	Análisis estadístico .....	20
6.1.	Parámetros morfológicos del cultivo de la guanábana. ....	21
7.	Discusión de resultados .....	26
8.	Conclusiones .....	32
9.	Recomendaciones.....	33
10.	Bibliografía .....	34
11.	Anexos.....	43



## Índice de tablas:

<b>Tabla 1.</b> Síntesis del establecimiento del proyecto.....	17
--	----

## Índice de figuras:

<b>Figura 1.</b> Diseño experimental aplicado en campo .....	17
--	----

<b>Figura 2.</b> Altura (m) de guanábana ( <i>Annona muricata</i> L) en función de la aplicación de diferentes tratamientos: <b>T1:</b> Sin aplicación de Biol, <b>T2:</b> Biol convencional (harinas), <b>T3:</b> Biol enriquecido con rizobacterias ( <i>Azospirillum</i> y <i>Azotobacter</i> ), <b>T4:</b> Biol más microalgas <i>Chlorella</i> , <b>T5:</b> Biol con rizobacterias ( <i>Azospirillum</i> , <i>Azotobacter</i> ) y microalgas <i>Chlorella</i> . Letras diferentes indican diferencias estadísticas significativas, Tukey ( $p < 0,05$ ). Barras verticales representan desviación estándar. ....	21
---	----

<b>Figura 3.</b> Área foliar (cm <sup>2</sup> ) de guanábana ( <i>Annona muricata</i> L) en función de la aplicación de diferentes tratamientos: <b>T1:</b> Sin aplicación de Biol, <b>T2:</b> Biol convencional (harinas), <b>T3:</b> Biol enriquecido con rizobacterias ( <i>Azospirillum</i> y <i>Azotobacter</i> ), <b>T4:</b> Biol más microalgas <i>Chlorella</i> , <b>T5:</b> Biol con rizobacterias ( <i>Azospirillum</i> , <i>Azotobacter</i> ) y microalgas <i>Chlorella</i> . Letras diferentes indican diferencias estadísticas significativas, Tukey ( $p < 0,05$ ). Barras verticales representan desviación estándar. ....	22
---	----

<b>Figura 4.</b> Contenido de clorofila de guanábana ( <i>Annona muricata</i> L) en función de la aplicación de diferentes tratamientos: <b>T1:</b> Sin aplicación de Biol, <b>T2:</b> Biol convencional (harinas), <b>T3:</b> Biol enriquecido con rizobacterias ( <i>Azospirillum</i> y <i>Azotobacter</i> ), <b>T4:</b> Biol más microalgas <i>Chlorella</i> , <b>T5:</b> Biol con rizobacterias ( <i>Azospirillum</i> , <i>Azotobacter</i> ) y microalgas <i>Chlorella</i> . Letras diferentes indican diferencias estadísticas significativas, Tukey ( $p < 0,05$ ). Barras verticales representan desviación estándar.....	23
--	----

<b>Figura 5.</b> Número de brotes de guanábana ( <i>Annona muricata</i> L) en función de la aplicación de diferentes tratamientos: <b>T1:</b> Sin aplicación de Biol, <b>T2:</b> Biol convencional (harinas), <b>T3:</b> Biol enriquecido con rizobacterias ( <i>Azospirillum</i> y <i>Azotobacter</i> ), <b>T4:</b> Biol más microalgas <i>Chlorella</i> , <b>T5:</b> Biol con rizobacterias ( <i>Azospirillum</i> , <i>Azotobacter</i> ) y microalgas <i>Chlorella</i> . Letras diferentes indican diferencias estadísticas significativas, Tukey ( $p < 0,05$ ). Barras verticales representan desviación estándar. ....	23
---	----

<b>Figura 6.</b> Número de botones florales de guanábana ( <i>Annona muricata</i> L) en función de la aplicación de diferentes tratamientos: <b>T1:</b> Sin aplicación de Biol, <b>T2:</b> Biol	
---	--

convencional (harinas), **T3:** Biol enriquecido con rizobacterias (Azospirillum y Azotobacter), **T4:** Biol más microalgas Chlorella, **T5:** Biol con rizobacterias (Azospirillum, Azotobacter) y microalgas Chlorella. Letras diferentes indican diferencias estadísticas significativas, Tukey ( $p < 0,05$ ). Barras verticales representan desviación estándar..... 24

**Figura 7.** Peso de fruto (kg) de guanábana (*Annona muricata* L) en función de la aplicación de diferentes tratamientos: **T1:** Sin aplicación de Biol, **T2:** Biol convencional (harinas), **T3:** Biol enriquecido con rizobacterias (Azospirillum y Azotobacter), **T4:** Biol más microalgas Chlorella, **T5:** Biol con rizobacterias (Azospirillum, Azotobacter) y microalgas Chlorella. Letras diferentes indican diferencias estadísticas significativas, Tukey ( $p < 0,05$ ). Barras verticales representan desviación estándar. .... 25

**Figura 8.** Productividad (kg) de guanábana (*Annona muricata* L) en función de la aplicación de diferentes tratamientos: **T1:** Sin aplicación de Biol, **T2:** Biol convencional (harinas), **T3:** Biol enriquecido con rizobacterias (Azospirillum y Azotobacter), **T4:** Biol más microalgas Chlorella, **T5:** Biol con rizobacterias (Azospirillum, Azotobacter) y microalgas Chlorella. Letras diferentes indican diferencias estadísticas significativas, Tukey ( $p < 0,05$ ). Barras verticales representan desviación estándar..... 26

## Índice de anexos:

<b>Anexo 1.</b> Distribución de unidades experimentales.....	43
<b>Anexo 2.</b> Cepas de microorganismos utilizados en la investigación.....	43
<b>Anexo 3.</b> Proceso de preparación de biol de harinas.....	43
<b>Anexo 4.</b> Fertilización.....	44
<b>Anexo 5.</b> Control fitosanitario.....	45
<b>Anexo 6.</b> Podas.....	45
<b>Anexo 7.</b> Contenido de clorofila.....	45
<b>Anexo 8.</b> Número de botones florales.....	46
<b>Anexo 9.</b> Peso de fruto.....	47
<b>Anexo 10.</b> Rendimiento.....	47
<b>Anexo 11.</b> Certificación del Abstract.....	48

## **1. Título**

**Efecto de un biol elaborado con harinas vegetales y enriquecido con rizobacterias y microalgas en los parámetros morfológicos y productivos de guanábana (*Annona muricata* L.) en el Pangui, Zamora Chinchipe, Ecuador**

## 2. Resumen

La guanábana (*Annona muricata* L.) es un cultivo con un gran potencial económico en Ecuador; sin embargo, su rendimiento se ve limitado en áreas que dependen principalmente de fertilizantes sintéticos. En este contexto, la implementación de biofertilizantes surge como una alternativa prometedora para promover una agricultura más sostenible. El estudio evaluó el efecto de un biol elaborado a base de harinas vegetales y enriquecido con rizobacterias (*Azospirillum* y *Azotobacter*) y microalgas (*Chlorella*) sobre el desarrollo morfológico y productivo del cultivo en el Panguí, Zamora Chinchipe, Ecuador. Se empleó un diseño experimental completamente al azar con cinco tratamientos: T1 (control sin biol), T2 (biol de harinas vegetales), T3 (biol enriquecido con rizobacterias), T4 (biol enriquecido con microalgas) y T5 (biol enriquecido con rizobacterias y microalgas), cada uno con cinco repeticiones. Se midieron parámetros como la altura de la planta, el área foliar, el contenido de clorofila, el número de brotes y botones florales, el peso de los frutos y la productividad. Los resultados mostraron que la aplicación combinada de rizobacterias y microalgas (T5) tuvo el mejor desempeño en todas las variables evaluadas, alcanzando un rendimiento de 26,49 toneladas por hectárea. Estos hallazgos indican que el biol enriquecido con rizobacterias y microalgas puede mejorar el desarrollo y el rendimiento del cultivo de guanábana, ofreciendo una alternativa viable para optimizar la producción de manera sostenible.

**Palabras clave:** Guanábana, biol de harinas, *Azospirillum*, *Azotobacter*, *Chlorella*, productividad.

## **Abstract**

Soursop (*Annona muricata* L.) is a crop with significant economic potential in Ecuador; however, its yield is often limited in areas that primarily rely on synthetic fertilizer. In this context, the implementation of biofertilizers emerges as a promising alternative to promote more sustainable agriculture. This study evaluated the effect of a biofertilizer (biol) made from plant-based flours and enriched with rhizobacteria (*Azospirillum* and *Azotobacter*) and microalgae (*Chlorella*) on the morphological and productive development of the crop in Pangui, Zamora Chinchipe, Ecuador. A completely randomized experimental design was used, consisting of five treatments: T1 (control without biol), T2 (biol from plant-based flours), T3 (biol enriched with rhizobacterial and microalgae), T4, (bio enriched with microalgae), and T5 (bio enriched with both rhizobacteria and microalgae), each with five replicates. Parameters such as plant height, leaf area, chlorophyll content, number of shoots and flower buds, fruit weight, and productivity were measured. The results showed that the combined application of rhizobacteria and microalgae (T5) achieved the best performance across all evaluated variables, reaching a yield of 26.49 tons per hectare. These findings suggest that biol enriched with rhizobacteria and microalgae can enhance the growth and yield of soursop crops, offering a viable alternative for optimizing production sustainably.

Keywords: Soursop, plant-based biol, *Azospirillum*, *Azotobacter*, *Chlorella*, productivity.

### 3. Introducción

La guanábana (*Annona muricata* L.) representa uno de los cultivos tropicales con mayor potencial económico en Ecuador, destacándose por sus propiedades nutraceuticas y la creciente demanda en los mercados nacionales e internacionales (Reyes et al., 2018). En la actualidad, Ecuador cuenta con aproximadamente 2 000 hectáreas cultivadas, distribuidas en las provincias de Santa Elena, Guayas, El Oro, y zonas rurales de Manabí, Santo Domingo de los Tsáchilas, Esmeraldas, Los Ríos, Pichincha y Carchi (Veloz, 2019; Ortega, 2023). En la provincia de Zamora Chinchipe, en el cantón El Panguí, se concentran 40 de las 80 hectáreas totales cultivadas en la provincia, donde la producción actual bajo manejo convencional alcanza 10 tn ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup> a partir del quinto año de producción, inferior a los rendimientos reportados en países vecinos como Perú y Colombia, que registran productividades de hasta 40 tn ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup> (Aceves-Navarro, 2018).

La agricultura moderna enfrenta el desafío de incrementar la producción de manera sostenible mientras reduce la dependencia de fertilizantes sintéticos. González-Salas et al. (2021) señalan que el uso intensivo de agroquímicos ha generado problemas de degradación en los suelos agrícolas, afectando su fertilidad natural y el microbiota benéfico. En este contexto, la implementación de biofertilizantes emerge como una alternativa prometedora para la agricultura sostenible. Las microalgas del género *Chlorella* han demostrado capacidad para estimular el crecimiento radical y el incremento de biomasa foliar (Smith y Read, 2008), mientras que las rizobacterias promotoras del crecimiento vegetal (PGPR) han evidenciado efectos positivos en la nutrición y desarrollo de las plantas (Nehra et al., 2016; Granda et al., 2017).

Los bioles elaborados a base de harinas vegetales representan una alternativa prometedora en la biotecnología agrícola. Estudios realizados por Ludeña (2022) demuestran que estos preparados, cuando son elaborados adecuadamente, pueden alcanzar una relación C: N de 25:1 y contener importantes niveles de fitohormonas vegetales como auxinas, citoquininas y giberelinas, bajo este contexto se plantea la elaboración y utilización de un biol a base de tres tipos de harinas vegetales como harina de alfalfa, torta de soja, polvillo de arroz, melaza, suero de leche y levadura. Según Chávez-Díaz et al. (2020), la integración de microorganismos benéficos en los biofertilizantes puede potenciar significativamente su efectividad, especialmente cuando se combinan diferentes grupos funcionales como microalgas y rizobacterias.

En la actualidad, las actividades productivas del cultivo de guanábana en Zamora Chinchipe enfrentan baja rentabilidad debido a su alta dependencia de fertilizantes sintéticos. En este contexto, resulta fundamental desarrollar estrategias de fertilización sostenible que permitan reducir progresivamente el uso de insumos químicos. Este estudio aporta al conocimiento sobre el uso de biofertilizantes a base de biol de harinas vegetales, enriquecido con microalgas y rizobacterias, como una alternativa viable para mejorar la productividad del cultivo. La aplicación de estos biofertilizantes no solo contribuiría al incremento del rendimiento por hectárea, sino que también favorecería la sostenibilidad agrícola, optimizando el uso de recursos y reduciendo el impacto ambiental de la producción.

Con estos antecedentes, la investigación tuvo los siguientes objetivos:

### **Objetivo General**

Evaluar el efecto de un biol elaborado con harinas vegetales y enriquecido con rizobacterias y microalgas en los parámetros morfológicos y productivos de Guanábana en el Panguí, Zamora Chinchipe, Ecuador.

### **Objetivos específicos**

- ✓ Determinar el efecto de un biol con harinas vegetales en la productividad de la guanábana.
- ✓ Evaluar el efecto de un biol enriquecido con rizobacterias y microalgas vegetales en la productividad de la guanábana.

## 4. Marco Teórico

### 4.1. Cultivo de guanábana en el Ecuador

La producción de guanábana ha tenido un crecimiento considerable durante los últimos 5 años, por la aceptación de los consumidores por productos no tradicionales brindan nuevos sabores y valores nutricionales, que contribuyen en mejorar la salud humana (Jiménez et al 2016). En América Latina uno de los países con mayor desarrollo de la guanábana es Brasil, seguido de Colombia y Ecuador, en la cual se han establecido plantaciones tecnificadas que permiten lograr una producción adecuada para abastecer los mercados internacionales de los países consumidores de esta fruta tropical (Reyes et al., 2018).

En Ecuador producir guanábana es prometedor por su atractivo precio en el mercado nacional e internacional, en donde las principales áreas de cultivos comerciales se encuentran en las provincias de Santa Elena, Guayas y El Oro, además se encuentran en zonas rurales de Manabí, Santo Domingo de los Tsáchilas, Esmeraldas, Los Ríos, Pichincha, Carchi (Veloz, 2019). Existen una superficie cultivada de guanábana en el Ecuador, la misma que es de 250 ha en cultivos solos y tecnificados, con una producción de 1166 toneladas métricas (Guaycha 2020).

### 4.2. Requerimientos agroecológicos del cultivo

Gálvez (2005) señala que la guanábana que los requerimientos agroecológicos del cultivo son los siguientes:

**Luz solar:** Es indiferente al nivel de luz solar. Al formarse sus capullos, esta planta no responde a los cambios del fotoperiodo como la mayoría de las especies frutales.

**Precipitación:** Esta planta no tolera bien las sequías. Para una buena producción necesita un abundante suministro de agua. En Latinoamérica el árbol florece bajo más de 1 200 mm de precipitación durante la estación de crecimiento. Un alto nivel de humedad ayuda a cuajar el polen, y un periodo de sequía durante la cosecha previenen que el agua cause daño al fruto. Al igual la fuerza del agua, justo antes del florecimiento puede acelerar la producción de flores (en consecuencia, el de los frutos).

**Altitud:** La guanábana crece mejor en regiones frescas (no frías), pero no se adapta a la selva baja (en la región ecuatoriana sólo produce en altitudes sobre los 1500 m).



**Temperatura:** Es sensible a las heladas y es incluso igual de resistente que las paltas y naranjas. Los especímenes jóvenes son dañados por temperaturas de  $-2\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Gálvez (2005). Los límites de tolerancia más altos al calor son inciertos, pero se dice que el árbol no da frutos cuando la temperatura excede los  $30\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

**Humedad relativa:** Este es un factor crítico en la producción de guanábana. La humedad relativa alta, aumenta la propensión a la antracnosis. Una humedad relativa demasiado baja, dificulta la polinización, afectando, por esta vía, los niveles de producción (Sigagro, 2010).

**Tipo de suelos:** La guanábana puede crecer en muchos tipos de suelos. Se dice que el óptimo de acidez es de 6.5 a 7.5 pH. Por otro lado, parece que el árbol se adapta a suelos con contenido alto de Ca, en los cuales se dan abundantes frutos de sabor superior. Debido a su sensibilidad para la descomposición de sus raíces el árbol no podría tolerar ciertos lugares con deficiente drenados. Gálvez (2005). Los suelos en los que se debe cultivar la guanábana deben ser profundos, arenosos, y con un buen drenaje. Son más convenientes los que posean un pH entre 5.5 y 6.5. En cuanto a la fertilización, este es un cultivo exigente en N y K. La guanábana puede ser propagada por semilla o por injertos. Los distanciamientos entre plantas recomendados son de  $7 \times 7$  o  $8 \times 8$  m (Siicex, 2010).

#### 4.3. Necesidades nutricionales

Estudios realizados por varios investigadores han demostrado que en guanábana los elementos existentes en mayores cantidades en la materia seca son en su orden: K, N, Ca, P y Mg. La extracción de nutrientes en la etapa de producción para obtener un volumen de 6.4 toneladas de fruta fresca son: 18.9 kg de N, 16 kg de K, 6,3 kg de Ca, 3,41 kg de P y 0.98 kg de Mg. En ese mismo estudio los resultados sobre contenidos de nutrientes en las diferentes partes del fruto muestran que en la pulpa se concentran los mayores contenidos de N, K, Ca y B, mientras que el P y Zn se concentran en mayores proporciones en la semilla y en la cáscara (Yepes, 2020). En la pulpa se concentran gran contenido de N, K, Ca y B en la semilla de la guanábana se encuentra en mayor proporción el P y el Zn. En la cáscara se encuentra gran presencia de N y K (Miranda et al., 2001).

. El 90-95% del peso seco de las plantas está constituido por C, H y O, que obtienen del  $\text{CO}_2$  y del agua. El 5-10% restante es muy diverso y constituye la fracción mineral. Los elementos esenciales son: Ca, H y  $\text{O}_2$  que provienen del aire y del agua del suelo. Además de:

N, P, K, Ca, S, Mg, Fe, Mn, Cu, Zn, B y Mo que son suministrados a la planta a partir de las reservas del suelo o mediante la aplicación de abonos y fertilizantes.

#### **4.4. Consecuencias ambientales de la aplicación de fertilizantes**

Los fertilizantes químicos han contribuido a incrementar la productividad de los cultivos, produciendo un aumento en la producción de alimentos en el mundo. El consumo de fertilizantes a nivel mundial fue de 181,9 millones de toneladas (t) en el periodo 2014/2015, correspondiente a 102,5 millones de t de N; 45,9 millones de t de P y 33,5 millones de t de K. (González, 2019). La agricultura convencional depende de la aplicación de fertilizantes minerales solubles con el fin de lograr mayor productividad en los cultivos. Pero la aplicación excesiva ha producido: eutrofización, toxicidad de las aguas, contaminación de aguas subterráneas, contaminación del aire, degradación del suelo y de los ecosistemas, desequilibrios biológicos y reducción de la biodiversidad (González, 2019).

Los principales impactos negativos de los fertilizantes en el agua se producen por lixiviación y contaminación de aguas subterráneas y superficiales. En el caso del suelo los impactos negativos son: variación del pH, deterioro de la estructura del suelo y deterioro microfauna. Por último, el efecto en el aire se debe a la aplicación inadecuada de los fertilizantes (González, 2019). El N es uno de los nutrientes primarios, siendo la principal limitante para la productividad agrícola, ya que el N es un constituyente de enzimas, proteínas, ADN, y clorofila. Los principales impactos de la aplicación excesiva del N son la eutrofización, acidificación y toxicidad. Por último, el principal impacto al medio ambiente es la aceleración del proceso de eutrofización del agua (González, 2019).

Los efectos de los fertilizantes químicos sobre el medio ambiente están probados y son incuestionables, está demostrado que su uso conlleva un riesgo elevado de daños ambientales, como son la contaminación de las aguas subterráneas, degradación de los suelos sobre los que se aplican, crecimiento exagerado en plantas, entre otros. Por tanto, es necesario encontrar puntos de equilibrio y complementarlos con abonos y compuestos orgánicos, además de analizar los suelos y plantas para asegurarse de que los diferentes valores sean los idóneos y detectar a tiempo reacciones negativas (Rose Centeno, 2021).

#### **4.5. Rizobacterias**

La agricultura moderna enfrenta nuevos desafíos, integrando enfoques ecológicos y moleculares, para lograr mayor productividad de los cultivos y reducir al mínimo los impactos sobre el ambiente. Para generar mayor productividad se han incrementado las dosis de

fertilizantes sintéticos por unidad de superficie, los cuales pueden provocar contaminación, daños a la salud y pérdida de la fertilidad de los suelos, convirtiéndose en una de las preocupaciones más importantes en la producción agrícola. Para mejorar la producción sin el uso de fertilizantes de origen sintético, las investigaciones se han orientado hacia el desarrollo de nuevas biotecnologías: provocando que exista un interés creciente en los microorganismos benéficos del suelo ya que éstos pueden promover el crecimiento de las plantas y, en algunos casos, evitar infecciones del tejido vegetal por patógenos.

Las interacciones de las PGPR con el medio biótico – plantas y microorganismos son muy complejas y utilizan diferentes mecanismos de acción para promover el crecimiento de las plantas. Estos mecanismos se agrupan en: 1) Biofertilización, 2) Fito-estimulación, y 3) Biocontrol. Inocular los cultivos con PGPR reduce el uso de fertilizantes sintéticos y los impactos negativos al suelo, aumenta la productividad de los cultivos, contribuyendo a la economía del productor y a la alimentación de la población. Esta revisión describe aspectos básicos inherentes a la interacción entre las PGPR y las especies vegetales, centrándose en los beneficios que aportan las PGPR a la actividad agrícola (Moreno et al., 2018).

La inoculación de biofertilizantes que contienen bacterias rizosféricas ha provocado incrementos significativos en la productividad de los cultivos agrícolas (Armenta-Bojórquez et al., 2010). Esto se debe a que, las bacterias asociadas a las especies vegetales poseen la capacidad de producir o generar reguladores de crecimiento y el 80 % de éstas son productoras de auxinas. A manera de complemento, y respecto al papel que desempeñan las bacterias, y de lo cual existe una miríada de reportes de investigación, Mishra y Dash (2014) elaboraron un listado de ventajas inherentes al empleo de biofertilizantes, las cuales se describen a continuación: (Moreno et al., 2018).

#### ***4.5.1. Ventajas***

El suministro de elementos nutritivos es más balanceado, y ayuda a mantener la salud de las plantas, ayudan a incrementar la actividad biológica del suelo, con lo cual se mejora la movilización de elementos nutritivos y la descomposición de sustancias tóxicas, incrementan la estructura del suelo, favoreciendo un mejor crecimiento radicular, aumentan el contenido de materia orgánica (MO) del suelo, con lo cual se mejora la capacidad de intercambio catiónico, incrementan la retención de humedad, promueven la formación de agregados y amortiguan cambios bruscos contra acidez, alcalinidad, salinidad, pesticidas y metales pesados tóxicos,

liberan de forma gradual elementos nutritivos y contribuyen a la reserva residual de N y P orgánicos del suelo, reduciendo las pérdidas de N por lixiviación y la fijación de P y también pueden suministrar micro elementos nutritivos, favorecen el crecimiento de lombrices y microorganismos benéficos, ayudan a suprimir enfermedades y parásitos transmitidas por organismos nativos del suelo. (Moreno et al., 2018).

#### **4.5.1.1. Azotobacter en la agricultura.**

La utilización de rizobacterias promotoras del crecimiento de las plantas (PGPR), especialmente *Azotobacter*, ha aumentado en la agricultura como una alternativa efectiva y sostenible para reducir el uso de fertilizantes químicos y pesticidas (Ansari et al., 2017). Estas bacterias fijadoras de nitrógeno son capaces de transformar el nitrógeno atmosférico en formas asimilables por las plantas, contribuyendo así a la fertilidad del suelo y mejorar la nutrición de los cultivos (Kizilkaya, 2009).

Además de la fijación de nitrógeno, *Azotobacter* produce hormonas de crecimiento, como auxinas y giberelinas, que tienen un impacto positivo en el crecimiento y rendimiento de las plantas (Akram et al., 2016). A través de la biosíntesis de estas sustancias promotoras, *Azotobacter* influye en diversos procesos fisiológicos que favorecen el desarrollo de los cultivos (Jnawali et al., 2015).

Sin embargo, aunque existe una literatura rica sobre los beneficios de *Azotobacter*, el modo de acción exacto detrás de su actividad promotora del crecimiento no se ha explorado por completo. Se han propuesto varios mecanismos, incluyendo la producción de hormonas de crecimiento y la liberación de sideróforos (Ansari et al., 2017). La aplicación de *Azotobacter* puede reducir la necesidad de fertilizantes nitrogenados en hasta un 50%, lo que representa un avance significativo hacia prácticas agrícolas más sostenibles (Romero-Perdomo et al., 2017).

#### **4.5.1.2. Azospirillum en la agricultura.**

Las bacterias pertenecientes al género *Azospirillum* son microorganismos de vida libre promotores del crecimiento de las plantas. Mejoran el crecimiento y rendimiento de numerosas especies de plantas, muchas de importancia agronómica y ecológica (Pii, et al., 2015). La teoría más aceptada con respecto al mecanismo de acción de *Azospirillum* es su promoción del crecimiento, que incluye la fijación de nitrógeno (Santos et al., 2017) y la producción de fitohormonas, poliaminas y trehalosa. El modo de acción de *Azospirillum* es múltiple, y la

importancia de cada uno de estos mecanismos puede variar dependiendo de las condiciones del suelo y el clima y la solubilización de minerales como el hierro y el fósforo, que la planta utiliza (Bashan y De-Bashan, 2010). Estos mecanismos eventualmente producen plantas más grandes y, en muchos casos, más productivas. *Azospirillum* ha mejorado los rendimientos de los cultivos de trigo, maíz, arroz y caña de azúcar (Cassán, et al., 2015). También se ha utilizado en Chile, árboles frutales y cactus. La mayoría de estas especies han sido aisladas de raíces de plantas silvestres y cultivadas, de ambientes acuáticos y áreas contaminadas (Cruz-Hernández et al., 2022)

#### **4.6. Microalgas**

Los biofertilizantes preparados con extractos de microalgas son una alternativa sostenible en el mejoramiento, producción y protección de los cultivos agrícolas, siendo uno de los campos por explorar y más prometedores de la biotecnología y la bioingeniería. Las microalgas son microorganismos multifuncionales que poseen eficiencia fotosintética, capacidad de suministrar N en formas disponibles para las plantas, además potencian el desarrollo de los cultivos por medio de reguladores de crecimiento o fitohormonas (auxinas, giberelinas y citoquinas) y altos niveles de macro y micronutrientes, indispensables para las plantas. Estos microorganismos fotosintéticos necesitan condiciones estándar para su crecimiento que se asemejan a las de las plantas: luz, temperatura (18-28°C), pH (6.0 – 9.0) y nutrientes que pueden provenir de distintas fuentes tanto orgánicas (biol, compost, gallinaza) como inorgánicas (agroquímicos). Además, pueden ser cultivadas para su producción a gran escala en sistemas abiertos a la atmósfera y cerrados cumpliendo condiciones controladas, como en el caso de los fotobiorreactores (Araujo et al., 2019).

Desde el punto de vista biotecnológico, el término microalga se refiere a aquellos microorganismos que contienen clorofila y otros pigmentos fotosintéticos, capaces de realizar fotosíntesis oxigénica. En este contexto, las cianobacterias o algas verde-azules, procariotas, se han considerado dentro del grupo de las microalgas. De hecho, algunas de estas cianobacterias, como es el caso de *Spirulina*, suponen una de las principales contribuciones de la biotecnología microalgal (Bhalamurugan et al., 2018).

##### **4.6.1. Microalga *Chlorella*.**

Las microalgas (incluida *Chlorella vulgaris*) son tratadas en los sistemas agrícolas como los organismos con el mayor potencial biofertilizante, y este es su principal uso (Renuka et al. 2018). El uso de microalgas en la agricultura está ganando cada vez más interés

(Zarezadeh et al. 2019 ) porque afecta la fertilidad del suelo, ahorra agua, reduce el uso de fertilizantes, energía, tiempo y espacio (Gitau et al. 2021 ). Las microalgas del género *Chlorella* sp. tienen una alta tolerancia a condiciones ambientales específicas como la salinidad del suelo, las temperaturas bajas y altas y la sequía. Además, la especie *C. vulgaris* se caracteriza por un alto contenido de minerales, proteínas, vitaminas y carotenoides (Elhafiz et al. 2015 ), que son beneficiosos para el uso agrícola. Las microalgas aumentan la concentración de carbono del suelo secuestrando CO<sub>2</sub> y aumentando la materia orgánica (Osorio-Reyes et al. 2023 ). Mejoran la fertilidad del suelo, principalmente a través de la fijación de N (esto concierne principalmente a las algas verdeazuladas) y la solubilización de P, así como la movilización de otros componentes orgánicos e inorgánicos (Alvarez et al. 2021 ). Las microalgas también son responsables de reducir la pérdida de componentes fertilizantes (NPK) del suelo debido a su capacidad para liberar nutrientes gradualmente (Ronga et al. 2019).

Varios estudios han demostrado que las microalgas son capaces de sintetizar y liberar estimulantes del crecimiento de las plantas, aminoácidos, polisacáridos, productos químicos antibacterianos y otros metabolitos (Bumandalai y Tserennadmid 2019). También proporcionan oxígeno a la rizosfera, regulan la salinidad y el pH del suelo, aumentan la resistencia del suelo a los patógenos y aumentan la eficiencia del uso de fertilizantes por parte de los cultivos (Nichols et al. 2020). La biomasa de microalgas incorporada al suelo tiene un efecto positivo en la estructura del suelo. Contribuye a aumentar la aireación y reducir la erosión al regular la escorrentía de agua del suelo (Hajnal-Jafari et al. 2016 ). Debido a sus propiedades, la biomasa de microalgas puede ser un sustituto de los fertilizantes químicos de nitrógeno y fósforo (Alvarez et al. 2021 ).

#### **4.7. La fertilización biológica en la agricultura**

Para incrementar la productividad se recurre a técnicas e insumos como los agroquímicos sintéticos (fertilizantes y pesticidas), sin embargo, estos beneficios al paso del tiempo se vieron opacados por los efectos negativos sobre el ambiente que provocan su utilización excesiva. En ese sentido se ha recurrido a técnicas cada vez nuevas, pero poco difundidas y normadas, como es el uso de microorganismos benéficos que minimicen los impactos del método convencional de producción y aseguren la permanencia de la agricultura. Los microorganismos utilizados como biofertilizantes (BF) tienen un papel fundamental cuando la agricultura tiene la necesidad de adoptar medidas conservacionistas y de menor impacto ambiental, ya que minimizan los impactos de la fertilización convencional y aseguran

la permanencia de la agricultura sustentable (Lira Saldivar et al., 2013a; Hernández-Pérez, et al., 2017).

Emplear BF microbianos (rizobacterias y hongos formadores de micorrizas), está considerado como una de las contribuciones más importantes de la biotecnología y la microbiología a la agricultura actual, es una tecnología clave para asegurar la sustentabilidad y productividad agrícola de bajo impacto ambiental, que además de incrementar la productividad de los cultivos, mejora la fertilidad del suelo y reduce las poblaciones de microorganismos fitopatógenos, minimizando así los costos de los insumos sintéticos y la contaminación del medio ambiente, coadyuvando de esta manera a la sustentabilidad de la agricultura (Mohammadi y Sohrabi, 2012). El desarrollo y uso de estos agroinsumos se contempla como una importante alternativa para la sustitución parcial o total de los fertilizantes minerales, que son costosos y tienen un impacto adverso sobre la salud y los ecosistemas (Aguado-Santacruz et al., 2012).

#### **4.8. Fertilizantes de síntesis química vs. Biofertilizantes**

Los fertilizantes inorgánicos de síntesis química son muy utilizados porque son fáciles asequibles y tienen la ventaja de una rápida acción debido a su inmediata liberación de nutrientes. Sin embargo, se ha investigado sobre las desventajas de tales fertilizantes y se ha revelado que estas no pueden pasarse por alto. La mayoría de los problemas asociados a los cultivos cosechados y parte de la contaminación de nuestro entorno natural se producen como resultado del uso inapropiado de fertilizantes inorgánicos (Ge et al., 2018). Los estudios han demostrado que la aplicación de fertilizantes nitrogenados en algunas condiciones climáticas provoca la emisión de óxido nitroso, que tiene un efecto de calentamiento global potencial 296 veces mayor que el de una masa igual de CO<sub>2</sub> (Gruber & Galloway, 2008).

Por otro lado, Zhang et al. (2016) observaron que en los últimos 10 años las emisiones globales de CH<sub>4</sub> del cultivo de arroz aumentaron un 85%. La expansión de los campos de arroz fue el factor dominante para las tendencias crecientes en las emisiones de metano, seguido de una concentración elevada de CO<sub>2</sub> y el uso de fertilizantes nitrogenados. Estos hallazgos han impulsado la necesidad de proporcionar un fertilizante respetuoso con el medio ambiente conocido como biofertilizante. La demanda mundial de fertilizantes ha aumentado en las últimas décadas (“Colombia - Consumo de fertilizantes”, 2017). Aparte de su alto costo, cuando se aplican de manera incorrecta, excesiva o inoportuna, los fertilizantes inorgánicos de síntesis química tienen efectos negativos. Se conoce que la aplicación excesiva de fertilizantes

conduce a daños por acumulación de sales, y en la mayoría de los casos esto lleva a la muerte de plantas jóvenes (Almeida Machado & Serralheiro, 2017).

Debido a que una gran mayoría de los fertilizantes de síntesis no son biodegradables, su uso a largo plazo produce la acumulación de sustancias nocivas y la acidificación/salinización del suelo, lo que provoca una disminución de la fertilidad química y biológica de este (Taylor, 1997). Debido a su alta solubilidad en el agua, muchos de estos fertilizantes podrían ser lixiviados en el suelo (donde las raíces de las plantas no los pueden alcanzar) y en el agua subterránea, lo que causa contaminación (Almeida Machado & Serralheiro, 2017). Sin embargo, gran parte de estos problemas pueden evitarse con el uso de fertilizantes que respeten el ambiente donde son aplicados; tal es el caso de los biofertilizantes.

Los biofertilizantes son amigables con el ambiente, y el riesgo de contaminación es muy bajo, a diferencia de los fertilizantes de síntesis, que a menudo se trasladan hacia cuerpos de agua a los que les pueden ocasionar eutrofización y en los humanos causa el “síndrome del bebé azul” (metahemoglobinemia adquirida) cuando el nivel de nitrato está por encima de 10 mg L<sup>-1</sup> (Knobeloch et al., 2000). Además, se ha encontrado que los biofertilizantes ayudan a controlar enfermedades de las plantas, como la podredumbre de la raíz, causada por *Pythium*; la pudrición de la raíz, causada por *Rhizoctonia*; el marchitamiento por frío, y nematodos parásitos (Mahimaraja et al., 2008).

El control de enfermedades con biofertilizantes se ha atribuido a distintos posibles mecanismos, como la competencia exitosa por nutrientes, la producción de antibióticos, la depredación exitosa de patógenos y la activación de genes resistentes a enfermedades (Liu et al., 2017). Sin embargo, también existe la posibilidad de utilizar fertilizantes de síntesis química y biofertilizantes, pues, aplicados de manera correcta, podrían provocar un aumento en la producción agrícola y mejorar la calidad microbiológica del suelo, debido a que así se pueden reducir las dosis de fertilizantes síntesis y mejorar su aprovechamiento por efecto de la actividad microbiana de los biofertilizantes (Raúl Osvaldo Pedraza, 2017).

#### **4.9. Bio-fermento con harinas vegetales**

En el sur del país en la provincia de Loja en la planta de bio-insumos del Gobierno Provincial se viene elaborando de manera estandarizada y comercial el biol a base de harinas vegetales, el cual es un producto orgánico con altos contenidos de microorganismos benéficos que ayudan al crecimiento de las plantas. El biol a base de tres harinas vegetales como polvillo de arroz, harina de alfalfa, torta de soja, melaza y suero de leche contiene 0.22% de N, 0.19%



de  $P_2O_5$ , 0.20% de  $K_2O$  entre los compuestos más importantes. A pesar de ser un fertilizante foliar contiene bacterias del género *Bacillus* y de la especie *subtilis*, se encapsulan y cuando tienen condiciones las endotoxinas atacan a las esporas de las enfermedades (Cobos, 2021). El biol estimula el desarrollo fenológico del cultivo, usando dosis de 5 L de biol en 15 L de agua con una frecuencia de aplicación cada 30 días (Cobos, 2021).

#### **4.10. Bioles**

Los bioles se obtienen del proceso de descomposición anaeróbica de los desechos orgánicos, la técnica empleada para lograr este propósito son los biodigestores, se desarrollan con la finalidad de producir energía y abono para las plantas utilizando el estiércol de los animales (Cañete 1999). El biol es el líquido que se descarga de un digestor y es lo que se utiliza como abono foliar una fuente orgánica de fitorreguladores que permite promover actividades fisiológicas y estimular el desarrollo de las plantas. Siendo el biol una fuente orgánica de fitorreguladores como Auxinas, Gibelinas, Citoquininas entre otros, a diferencia de los nutrientes en pequeñas cantidades es capaz de promover actividades fisiológicas y estimular el desarrollo de las plantas (Suquilanda 1996).

## 5. Metodología

### 5.1. Descripción del área de investigación

#### 5.1.1. Ubicación política

El estudio se llevó a cabo en el sector San Roque, perteneciente a la parroquia Pachicutza, en el cantón El Pangui, provincia de Zamora Chinchipe, Ecuador. Geográficamente, la zona se ubica en las coordenadas 3° 41'42" S de latitud y 78° 36'12" W de longitud, a una altitud de 950 msnm. Desde el punto de vista ecológico, la región forma parte de la Amazonía ecuatoriana, dentro de la zona de bosque húmedo subtropical. Presenta una temperatura promedio de 22 °C y una precipitación anual de aproximadamente 2500 mm, condiciones que favorecen una alta biodiversidad y un entorno óptimo para el desarrollo de la investigación.

### 5.2. Tratamientos y diseño experimental

La investigación se desarrolló como un diseño completo al azar (DCA), con 5 tratamientos y 5 repeticiones, siendo la unidad experimental cuatro árboles de guanábana. Los detalles se resumen en la Tabla 1 y se esquematiza en la Figura 1.

Para evaluar los parámetros morfológicos y productivos se trabajó con 100 plantas de guanábana distribuidas en 25 unidades experimentales (Anexo 1) donde se aplicó 5 tratamientos que se detallan a continuación.

**T1:** Sin aplicación de Biol,

**T2:** Biol convencional (harinas)

**T3:** Biol enriquecido con rizobacterias (*Azospirillum* y *Azotobacter*)

**T4:** Biol más microalgas *Chlorella*.

**T5:** Biol con rizobacterias (*Azospirillum*, *Azotobacter*) y microalgas *Chlorella*

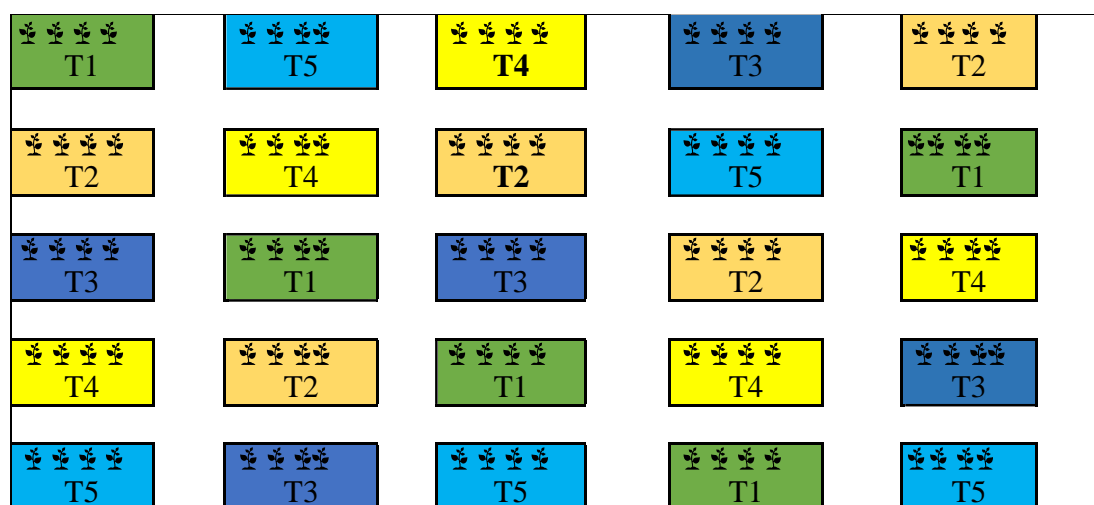
#### 5.2.1. Aplicación de los tratamientos

Las cepas fueron entregadas por el laboratorio de Biotecnología de la Universidad Nacional de Loja (Anexo 2). La inoculación de rizobacterias y microalgas (*Azospirillum*, *Azotobacter* y *Chlorella*) en el biol de harinas se realizó al momento de la aplicación al cultivo, efectuándose durante las horas de la tarde. Para el tratamiento T2 se aplicó únicamente biol de harinas, mientras que los tratamientos T3, T4 y T5 se aplicaron empleando una concentración de  $1 \times 10^8$  UFC/mL para las rizobacterias y microalgas.

La aplicación se realizó de manera simultánea por vía foliar y edáfica mediante un equipo de fumigación manual, para la aplicación foliar se empleó una mezcla de 150 mL de rizobacterias en 18 L de agua con 2 L de biol, mientras que para la aplicación edáfica se utilizó una solución de 250 mL de rizobacterias en 10 L de agua con 10 L de biol. La evaluación de los efectos se realizó de manera integral, sin hacer distinción entre los impactos individuales de cada vía de aplicación. Los cinco tratamientos, incluyendo el testigo (T1) que no recibió ninguna aplicación, fueron distribuidos de manera aleatorizada en cada unidad experimental (UE).

**Tabla 1.** Síntesis del establecimiento del proyecto.

Diseño	Cantidad
Número de tratamientos	5
Número de repeticiones	5
Unidad experimental	Un árbol de guanábana
Número de Unidades experimentales	25 (de 4 plantas cada una)
Frecuencia de aplicación	Cada 15 días por un lapso de tres meses.



**Figura 1.** Diseño experimental aplicado en campo

### 5.3. Elaboración del biol

Para elaborar el biol de harinas, se utilizaron los siguientes materiales: torta de soja, polvillo de arroz, alfarina, melaza, suero de leche y levadura. Todos estos ingredientes se mezclaron y se colocaron en un biorreactor o tanque de 500 L, el cual se selló herméticamente, con su respectivo mecanismo para la fuga de gases. El biol permaneció en fase de fermentación durante 75 días. Al finalizar este período, se llevó a cabo la cosecha del biol (Cobos, 2021), y

posteriormente se aplicaron los tratamientos, utilizando tanto el biol puro como el biol enriquecido con microalgas y rizobacterias (Anexo 3).

#### **5.4. Manejo del cultivo**

La plantación de guanábana donde se realizó el presente trabajo es de la variedad Gigante Ecuatoriana que tiene certificación de origen, la edad actual del cultivo es de 3,5 años, el lote donde se realizó el trabajo investigativo es de 3,5 ha, la densidad de siembra es de 7 x 6 m con un total de 230 plantas/ha, la plantación no cuenta con sistema de riego porque la zona tiene una alta pluviometría.

##### **5.4.1. Fertilización**

Al ser un suelo amazónico presenta un pH de 4,5, por tal razón se cuenta con un plan de aplicación anual de enmiendas a base de carbonato de calcio  $\text{CaCO}_3$  con una dosis por planta de 850 g. El plan de fertilización es a base de fertilizantes sintéticos y materia orgánica, en la mezcla sintética se utiliza mezclas químicas como yaramila complex, sulfato de K, K-Mg, Microesencial y fertilizantes completos con certificación orgánica como Orgevit y Oceanum con una dosis de la mezcla final por planta de 350 g. Se cuenta con plan anual de aplicación de materia orgánica la cual contempla una aplicación de 10 kilogramos de materia orgánica por año distribuida en tres aplicaciones, cada 4 meses (Anexo 4).

##### **5.4.2. Control fitosanitario**

En cuanto al manejo fitosanitario fue convencional con un enfoque a reducir al máximo la utilización de agroquímicos. El control de plagas y enfermedades se realizó de manera convencional mediante mezclas compatibles entre insecticidas (Tiametoxam, Clorpirifos + Cipermetrina), fungicidas (Sulfato cúprico pentahidratado, azoxistrobina) y abono foliar a base de calcio, boro más microelementos, con 3 aplicaciones al año (Anexo 5).

##### **5.4.3. Podas**

Las podas de formación y mantenimiento se las realiza cada 4 meses con la finalidad de mantener una altura máxima de planta de 2.20 m, se inspeccionan los árboles para identificar ramas secas, dañadas o mal ubicadas, así mismo, se utilizan herramientas adecuadas y se desinfectan para prevenir enfermedades, en especial antracnosis (*Colletotrichum gloeosporioides*), por último, se ejecutan podas de limpieza y de fructificación según las necesidades de cada árbol (Anexo 6).

#### 5.4.4. Control de malezas

El control de malezas se realizó bajo el plan de manejo de malezas que tiene la finca, el cual consiste en la aplicación de herbicida orgánico COMBAT, así como la limpieza con la guadaña.

### 5.5. Metodología para medir variables

Para determinar el efecto de un biol elaborado con harinas vegetales en la productividad de la guanábana y evaluar el efecto de un biol a base de harinas vegetales y enriquecido con Rizobacterias (*Azospirillum*, *Azotobacter*) y Microalgas (*Chlorella*) en la productividad de la guanábana se trabajó con la siguiente metodología.

#### 5.5.1. Altura de planta

Para poder evaluar este parámetro se realizó una poda de formación y mantenimiento total antes de iniciar las actividades de aplicación de los tratamientos, se manejó una altura de 2.30 m para todo el lote, este indicador se midió con una cinta métrica desde el cuello o base de la planta hasta el ápice.

#### 5.5.2. Área foliar

El estudio implicó la recolección de datos a través de un muestreo no destructivo que consistió en la selección de 5 hojas por rama principal. Se procedió a medir el área foliar de cada planta, tomando en consideración los atributos de largo y ancho de las hojas en cada caso. Para el análisis de los datos recopilados, se aplicó el modelo propuesto por Espinosa y Vásquez (2021), el cual se expresa matemáticamente de la siguiente manera:

$$AF = 2,3115x^{1,9241}$$

**Donde:**

**AF** = representa el área foliar de la planta.

**X** = corresponde al ancho de la hoja.

#### 5.5.3. Contenido de clorofila

La variable se evaluó en 2 momentos durante la aplicación de los tratamientos, el primer momento fue a los 40 y la segunda medición a los 90 días, el contenido de clorofila (lectura SPAD) se midió con un dispositivo SPAD 502 (Anexo 7), se seleccionaron cuatro plantas de cada repetición y se midió en cuatro hojas superiores completas expandidas de cada planta. Las medidas se recogieron de la lámina foliar, evitando la nervadura central (Zhu et al., 2012).

#### **5.5.4. Número de brotes**

Se contabilizó en 3 momentos a los 30, 60 y 90 días durante de la aplicación de los tratamientos.

#### **5.5.5. Número de botones florales**

Se realizó un registro manual del número de botones florales a los 30, 60 y 90 días durante la aplicación de los tratamientos (Anexo 8).

#### **5.5.6. Peso de los frutos**

Luego de 120 días de la aplicación de los tratamientos se pesó las frutas cosechadas por planta, se armó un registro durante 3 semanas, los mismos que se llamó día 8, 15 y día 22 (Anexo 9).

#### **5.5.7. Rendimiento**

Para calcular el rendimiento en kg ha<sup>-1</sup> se trabajó con el número de plantas por hectárea multiplicado por el peso promedio de cada fruta (Anexo 10).

### **5.6. Análisis estadístico**

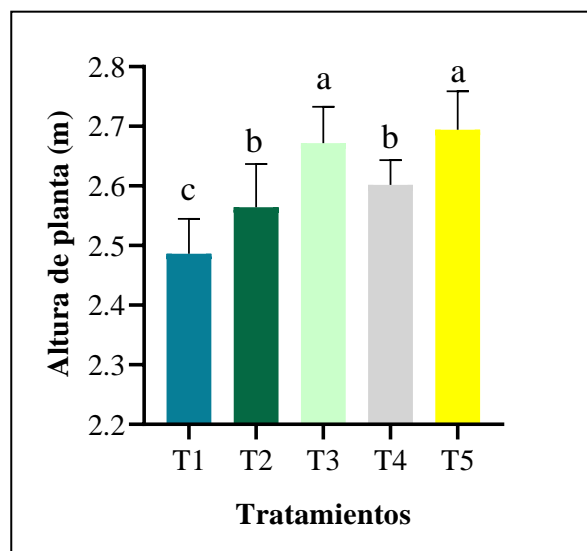
Dentro de los análisis estadísticos se realizó análisis de varianza, pruebas de comparación múltiple mediante el Test de Tukey al 95 % de confianza, para determinar la existencia de diferencias significativas entre los tratamientos por cada variable evaluada. Todos los análisis estadísticos se desarrollaron con el software estadístico InfoStat y las figuras en el programa estadístico Graphpad Prism.

## 6. Resultados

### 6.1. Parámetros morfológicos del cultivo de la guanábana.

#### *Altura de la planta*

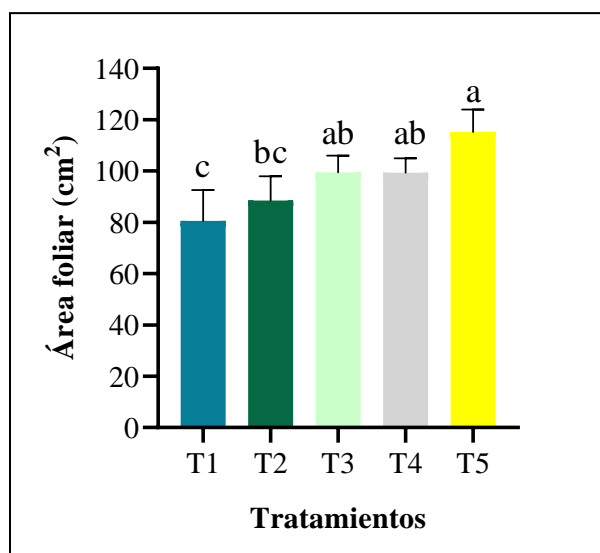
La Figura 2 muestra que el Tratamiento 5 alcanzó la mayor altura, al igual que T3 (2,69 y 2,67 m; respectivamente), mientras que el T4 y T2 muestran un crecimiento inferior, por otro lado, el tratamiento T1 (Testigo) presentó la menor altura de planta de 2,49 m, siendo significativamente inferior a los demás tratamientos.



**Figura 2.** Altura (m) de guanábana (*Annona muricata* L) en función de la aplicación de diferentes tratamientos: T1: Sin aplicación de Biol, T2: Biol convencional (harinas), T3: Biol enriquecido con rizobacterias (*Azospirillum* y *Azotobacter*), T4: Biol más microalgas *Chlorella*, T5: Biol con rizobacterias (*Azospirillum*, *Azotobacter*) y microalgas *Chlorella*. Letras diferentes indican diferencias estadísticas significativas, Tukey ( $p < 0,05$ ). Barras verticales representan desviación estándar.

#### *Área foliar*

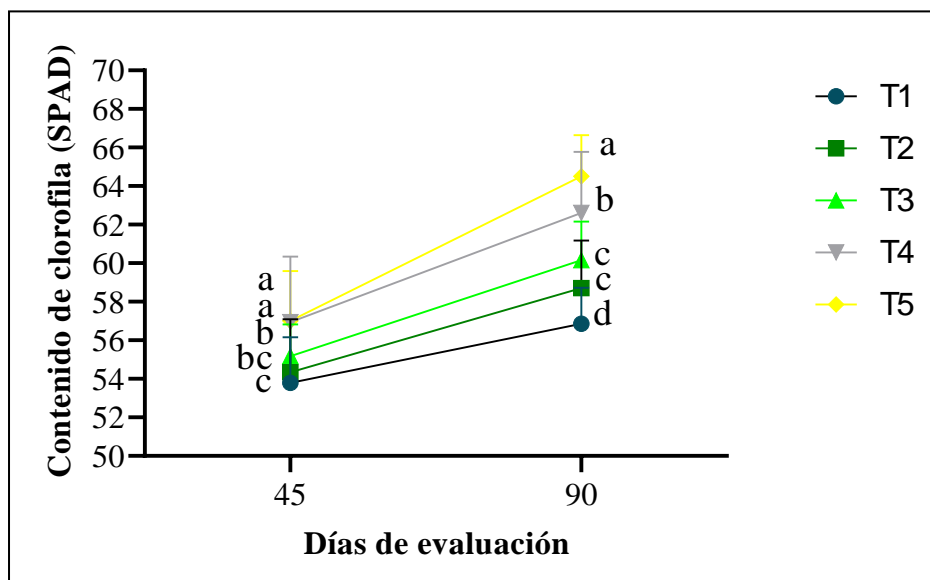
El análisis del área foliar reveló diferente respuesta de las plantas a los tratamientos aplicados. El tratamiento T5 alcanzó la mayor área foliar con 149 cm<sup>2</sup>, mostrando una diferencia estadísticamente significativa con respecto a T1 y T2. Los tratamientos T3 y T4 mostraron valores intermedios cercanos a 130 cm<sup>2</sup>, sin diferencias significativas entre ellos. Mientras que T1 (testigo) presentó la menor área foliar con 105 cm<sup>2</sup> (Figura 3).



**Figura 3.** Área foliar (cm<sup>2</sup>) de guanábana (*Annona muricata* L) en función de la aplicación de diferentes tratamientos: T1: Sin aplicación de Biol, T2: Biol convencional (harinas), T3: Biol enriquecido con rizobacterias (*Azospirillum* y *Azotobacter*), T4: Biol más microalgas *Chlorella*, T5: Biol con rizobacterias (*Azospirillum*, *Azotobacter*) y microalgas *Chlorella*. Letras diferentes indican diferencias estadísticas significativas, Tukey ( $p < 0,05$ ). Barras verticales representan desviación estándar.

### Contenido de clorofila

El análisis del contenido de clorofila (SPAD) presentó variación durante los períodos de evaluación de 45 y 90 días. En la primera evaluación (45 días), los valores de clorofila oscilaron entre 53-57 unidades SPAD, donde los tratamientos T4 y T5 mostraron una ligera superioridad respecto a los demás tratamientos, mientras que el testigo (T1) presentó los valores más bajos. Al alcanzar los 90 días, se evidenció un incremento generalizado en el contenido de clorofila en todos los tratamientos, con valores que fluctuaron entre 56-65 unidades SPAD. En este período, el T5 destacó significativamente con los valores más altos, seguido por T4. El tratamiento testigo (T1) mantuvo los valores más bajos durante esta evaluación (Figura 4).

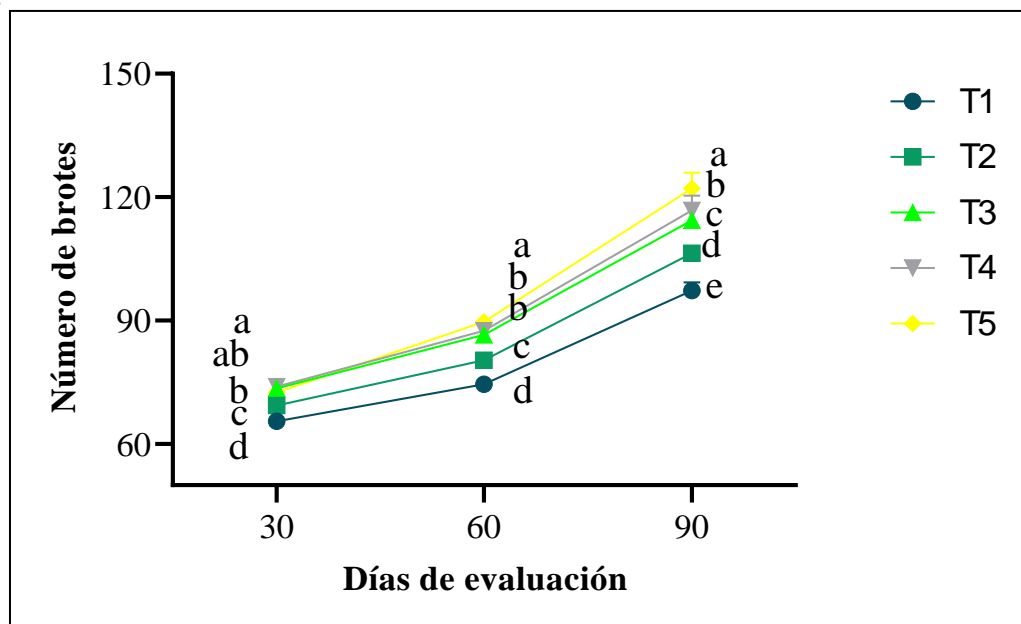




**Figura 4.** Contenido de clorofila de guanábana (*Annona muricata* L) en función de la aplicación de diferentes tratamientos: T1: Sin aplicación de Biol, T2: Biol convencional (harinas), T3: Biol enriquecido con rizobacterias (*Azospirillum* y *Azotobacter*), T4: Biol más microalgas *Chlorella*, T5: Biol con rizobacterias (*Azospirillum*, *Azotobacter*) y microalgas *Chlorella*. Letras diferentes indican diferencias estadísticas significativas, Tukey ( $p < 0,05$ ). Barras verticales representan desviación estándar.

### Número de brotes

A los 30 días de evaluación, los valores oscilaron alrededor de 65-74 brotes, T4 presentó el mayor número de brotes y fue estadísticamente superior a los demás tratamientos. Al día 60, se evidenció diferencias significativas entre tratamientos, con valores que fluctuaron entre 75-90 brotes, donde T5 mostró superioridad estadística, seguido por T4 y T3, mientras que T1 (testigo) presentó los valores más bajos. Esta tendencia se acentuó más a los 90 días, donde se registró el mayor número de brotes en el tratamiento 5 (122 brotes), por T4 con 116 brotes, mientras que T1 continuó mostrando el menor desempeño con un total de 97 brotes (Figura 5).



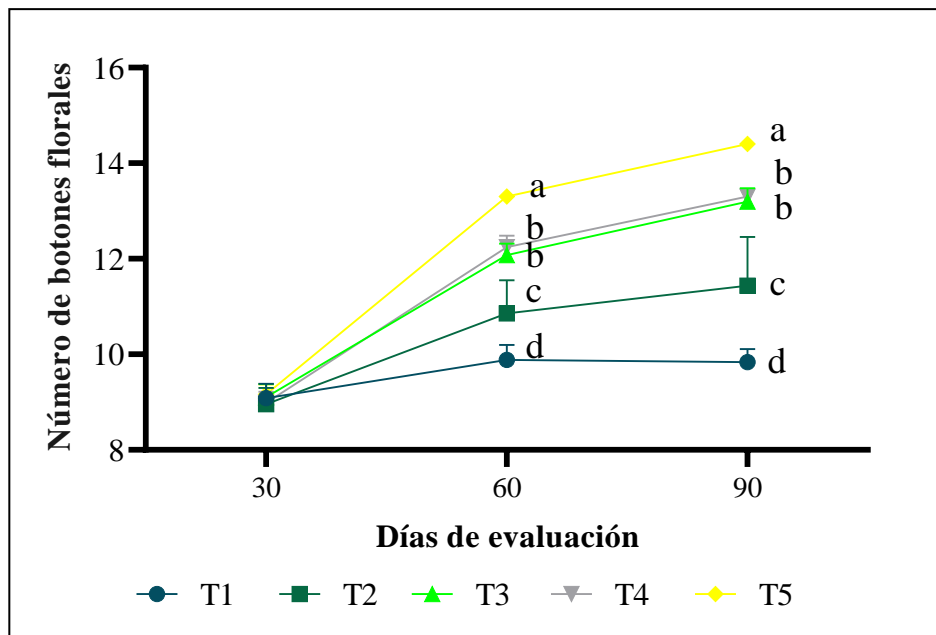
**Figura 5.** Número de brotes de guanábana (*Annona muricata* L) en función de la aplicación de diferentes tratamientos: T1: Sin aplicación de Biol, T2: Biol convencional (harinas), T3: Biol enriquecido con rizobacterias (*Azospirillum* y *Azotobacter*), T4: Biol más microalgas *Chlorella*, T5: Biol con rizobacterias (*Azospirillum*, *Azotobacter*) y microalgas *Chlorella*. Letras diferentes indican diferencias estadísticas significativas, Tukey ( $p < 0,05$ ). Barras verticales representan desviación estándar.

## 6.2. Parámetros productivos del cultivo de la guanábana.

### Número de botones florales

En la primera evaluación los valores se mantuvieron similares entre todos los tratamientos, oscilaron entre 8-9 botones florales, sin diferencias estadísticamente

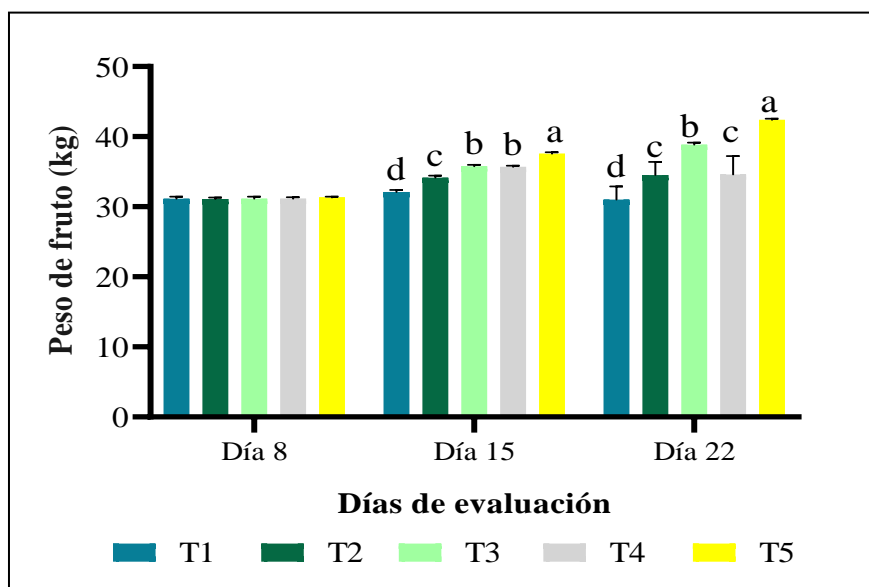
significativas, lo que indica una respuesta inicial homogénea. Al alcanzar los 60 días, comenzaron a manifestarse diferencias significativas entre los tratamientos, donde T5 destacó con 13 botones florales, seguido por T4 con 12 botones, mientras que T1 (testigo) presentó el menor número con cerca de 10 botones. Esta tendencia se consolidó a los 90 días, donde T5 mostró superioridad estadística con 14 botones florales, seguido por T4 y T3, mientras que T1 mantuvo los valores más bajos con alrededor de 9 botones (Figura 6).



**Figura 6.** Número de botones florales de guanábana (*Annona muricata* L) en función de la aplicación de diferentes tratamientos: T1: Sin aplicación de Biol, T2: Biol convencional (harinas), T3: Biol enriquecido con rizobacterias (*Azospirillum* y *Azotobacter*), T4: Biol más microalgas *Chlorella*, T5: Biol con rizobacterias (*Azospirillum*, *Azotobacter*) y microalgas *Chlorella*. Letras diferentes indican diferencias estadísticas significativas, Tukey ( $p < 0,05$ ). Barras verticales representan desviación estándar.

### **Peso de los frutos**

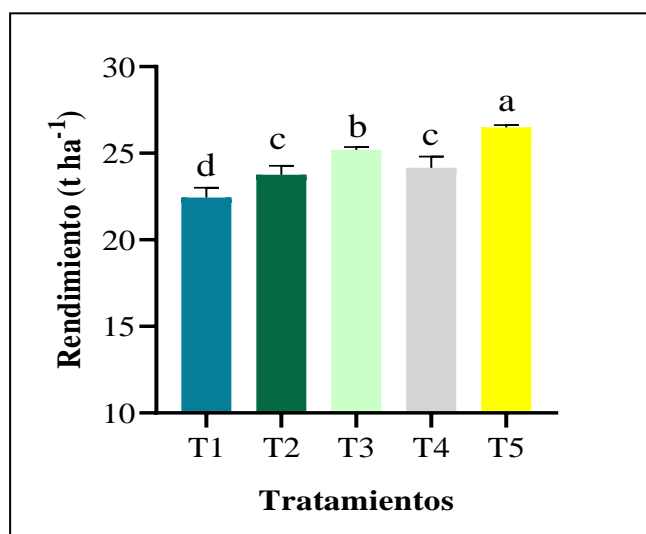
En la evaluación inicial todos los tratamientos mostraron valores similares alrededor de 31 kg, sin diferencias estadísticas significativas entre ellos, indicando una respuesta inicial uniforme. En el día 15, hubo significancia T5 mostró la mejor respuesta con 37 kg, seguido por T4 y T3, mientras que T1 (testigo) presentó los valores más bajos cercanos a 32 kg. Al final de la evaluación T5 alcanzó el mayor peso de frutos con 42 kg, manteniendo una diferencia estadística significativa respecto a los demás tratamientos, mientras que T1 continuó mostrando el menor peso de frutos (31 kg).



**Figura 7.** Peso de fruto (kg) de guanábana (*Annona muricata* L) en función de la aplicación de diferentes tratamientos: T1: Sin aplicación de Biol, T2: Biol convencional (harinas), T3: Biol enriquecido con rizobacterias (*Azospirillum* y *Azotobacter*), T4: Biol más microalgas *Chlorella*, T5: Biol con rizobacterias (*Azospirillum*, *Azotobacter*) y microalgas *Chlorella*. Letras diferentes indican diferencias estadísticas significativas, Tukey ( $p < 0,05$ ). Barras verticales representan desviación estándar.

### **Rendimiento**

El tratamiento T5 alcanzó el mayor rendimiento con  $26,49 \text{ t ha}^{-1}$ , mostró una diferencia estadísticamente significativa respecto a los demás tratamientos. Le siguieron T3 con  $25,19 \text{ t ha}^{-1}$ , T4 con aproximadamente  $24,16 \text{ t ha}^{-1}$ , y T2 con  $23,76 \text{ t ha}^{-1}$ , mientras que T1 (testigo) presentó la menor productividad con alrededor de  $22,44 \text{ t ha}^{-1}$ .



**Figura 8.** Rendimiento ( $t\ ha^{-1}$ ) de guanábana (*Annona muricata* L) en función de la aplicación de diferentes tratamientos: T1: Sin aplicación de Biol, T2: Biol convencional (harinas), T3: Biol enriquecido con rizobacterias (*Azospirillum* y *Azotobacter*), T4: Biol más microalgas *Chlorella*, T5: Biol con rizobacterias (*Azospirillum*, *Azotobacter*) y microalgas *Chlorella*. Letras diferentes indican diferencias estadísticas significativas, Tukey ( $p < 0,05$ ). Barras verticales representan desviación estándar.

## 7. Discusión de resultados

### **Efecto de un biol enriquecido con rizobacterias y microalgas vegetales sobre parámetros morfológicos del cultivo de la guanábana.**

Los resultados evidencian una respuesta positiva de las plantas de guanábana (*Annona muricata* L.) a la aplicación de biol, destacando el efecto del biol enriquecido con rizobacterias (*Azospirillum* y *Azotobacter*) (T3) y del biol combinado con rizobacterias y microalgas del género *Chlorella* (T5). El tratamiento T5 mostró los mejores resultados en la mayoría de las variables evaluadas, seguido por T4 y T3, mientras que el tratamiento testigo (T1) presentó los valores más bajos.

La aplicación de Rizobacterias promotoras del crecimiento vegetal se las puede aplicar ya sea foliar o directo al suelo, los bioles crean una interacción desconocida entre la superficie de la hoja de la planta, suelo y el microorganismo, que necesita ser investigada más a fondo (Preininger et al., 2018). Las microalgas cuando se aplican como enmienda del suelo pueden promover la nutrición de las plantas, lo que a su vez mejora todas las reacciones fisiológicas que conducen a un mayor crecimiento ( Faheed y Fattah 2008 ), pero también se pueden aplicar a través por pulverización foliar ( Barone et al. 2018 ). Cuando se aplica de forma foliar, se forma una biopelícula de algas delgada en la superficie de la hoja, que permite una absorción más rápida de nutrientes, reduce la evapotranspiración y proporciona protección adicional contra microorganismos patógenos y parásitos ( Ortiz-Moreno et al. 2019 ).

Las microalgas son capaces de realizar interacciones simbióticas con los microorganismos del suelo, que son muy potentes, ya que pueden coexistir en la rizosfera mientras se benefician mutuamente de la producción de compuestos bioactivos (por ejemplo, exopolisacáridos, aminoácidos, proteínas y vitaminas) o de una alta actividad similar a las auxinas y/o citoquininas (Singh, 2014; Chabili et al., 2024). Los consorcios de algas y microorganismos son bien conocidos por aumentar la capacidad de las plantas para absorber agua y nutrientes, así como por estar involucrados en el intercambio de carbono y nitrógeno, lo que les otorga la capacidad de reducir los efectos negativos del estrés biótico y abiótico (Woo y Pepe, 2018). La lógica detrás del uso de consorcios es la mayor disponibilidad de metabolitos

producidos, ya que la multitud de cepas engendra más metabolitos en comparación con las cepas individuales (Win et al., 2018).

El tratamiento con biol enriquecido con rizobacterias (*Azospirillum*, *Azotobacter*) y microalgas (*Chlorella*) (T5) y con rizobacterias (*Azospirillum* y *Azotobacter*) (T3) mostraron una clara superioridad en variables clave de crecimiento, como la altura de planta y el área foliar, en comparación con el tratamiento testigo. La combinación de estos microorganismos provee múltiples beneficios: las rizobacterias, por su capacidad para fijar nitrógeno atmosférico y producir fitohormonas (auxinas, giberelinas y citoquininas), impulsan el crecimiento vegetal (Steenhoudt y Vanderleyden, 2020; Kang et al., 2021). Por otro lado, *Chlorella* estimula la división celular y promueve una rápida proliferación celular, mejorando el desarrollo estructural de la planta (Tian et al., 2022). Estos mecanismos, al actuar en conjunto, favorecen un desarrollo vertical más robusto y una mayor expansión foliar, lo que se traduce en una ventaja significativa en la capacidad fotosintética de la planta. Además, estudios como los de Saeid y Chojnacka (2019) describen que esta sinergia microbiana no solo potencia el crecimiento estructural, sino que mejora la absorción de nutrientes y protege a la planta de patógenos mediante la producción de sustancias antibióticas y sideróforos.

La menor altura de planta y área foliar registrada se dio en el tratamiento testigo (T1) evidencia las limitaciones nutricionales y fisiológicas que enfrentan las plantas sin la aplicación de fuentes nutricionales en este caso sin la adición del biol de harinas. Esta diferencia significativa con los tratamientos que incluyen bioles respalda los hallazgos de Li et al. (2023), quienes demostraron que la biofertilización incrementó la altura de la planta en un 19,8% en comparación con el grupo de control

En un estudio de campo, cepas de *Azotobacter chroococcum* y *Azospirillum lipoferum*, cuando se combinaron juntas en una aplicación foliar, aumentaron la altura de la planta, el número de ramas, el rendimiento de semillas y el rendimiento de aceite en canola (Ahmadi-Rad et al., 2016). Así mismo, Barone et al. (2019) encontraron que el tratamiento del suelo con *Chlorella vulgaris* y su extracto aumentó la actividad enzimática del suelo, así como el crecimiento de las plantas de tomate. De igual manera, la misma microalga cuando se aplicó vía foliar en frijol común (*Phaseolus vulgaris*) la altura de planta aumentó en 29,6 % y el peso seco en 37,28 %; hubo mejora del contenido total de carbohidratos y proteínas, aumento del número de vainas por planta, número de semillas por vaina y peso seco de las vainas (Refaay et al., 2021).

Este efecto sobre el crecimiento vegetal también se extiende al área foliar, que refleja la capacidad fotosintética de la planta y contribuye directamente a su desarrollo estructural. Por ejemplo, Ortega-Pérez et al. (2023) reportaron incrementos del 25-35 % en el área foliar del tomate al aplicar biofertilizantes enriquecidos con microorganismos. En un estudio de Correa-Bustos (2021), bacterias promotoras del crecimiento aumentaron consistentemente el área foliar en arándanos, mostrando un efecto bioestimulante sostenido. En contraste, los extractos de microalgas favorecieron un crecimiento inicial en área foliar, aunque su efecto disminuyó al suspenderse las aplicaciones, destacando la importancia de la aplicación continua. Al combinar extractos de algas con fertilizantes orgánicos, Pérez-Madruga et al. (2020) observaron una amplia gama de respuestas beneficiosas, incluyendo mayor área foliar. Aunque algunos estudios no encuentran diferencias significativas en el área foliar con rizobacterias promotoras, otros sugieren que estas bacterias pueden estimular el crecimiento y la biomasa, probablemente debido al aumento en el área foliar (Jiménez Flores, 2016; Contreras y Juvencia, 2019).

El T5 también influyó positivamente en el contenido de clorofila, con incrementos significativos en los valores SPAD a lo largo del tiempo, que alcanzaron entre 56-65 unidades a los 90 días. La acción conjunta de las rizobacterias y *Chlorella* enriquece el metabolismo de la planta, optimizando la eficiencia fotosintética (De Souza et al., 2019; González-Pérez et al., 2022). La rizobacteria *Azospirillum*, en particular, contribuye al contenido de clorofila mediante la fijación de nitrógeno y la síntesis de hormonas promotoras, mientras que los compuestos bioactivos de *Chlorella* mejoran aún más la eficiencia fotosintética (Riaz et al., 2021). Esto asegura niveles óptimos de clorofila, esenciales para el vigor de las plantas, y se refleja en una fisiología fortalecida, lo cual es evidente al compararse con los menores valores registrados en el tratamiento testigo (T1).

Estudios recientes han demostrado el impacto positivo de los bioestimulantes a base de microalgas y rizobacterias en el contenido de clorofila y otras características fisiológicas en cultivos. Por ejemplo, Carpio-Rugel (2023) observó que el uso de bioestimulantes foliares a base de microalgas incrementa el contenido de clorofila en hojas de cultivos frutales, lo cual es clave para mejorar la eficiencia fotosintética y el crecimiento general de la planta. De manera similar, en un estudio con maíz bajo estrés salino, Rojas et al. (2012) encontraron que *Azotobacter chroococcum* incrementó el contenido de clorofila de 4 a 6 veces en comparación con el control.

Además, Kahil et al. (2017) documentaron cómo *Azotobacter chroococcum* y *Bacillus megatherium* incrementaron el contenido de clorofila en *Hibiscus sabdariffa*, mientras que Asghari et al. (2020) informaron que la inoculación con rizobacterias como *Azotobacter chroococcum* y *Azospirillum brasilense* mejoró las características fisiológicas y bioquímicas de *Mentha pulegium*, incluso bajo condiciones de déficit hídrico. Estos hallazgos sugieren que la aplicación de rizobacterias no solo promueve el crecimiento, sino que también mitiga los efectos adversos de factores de estrés en las plantas.

Además, en un sistema sin suelo, se observó en la variedad de melón Barettiere que las rizobacterias promovieron el rendimiento de la fruta y mejoraron ciertos parámetros fisiológicos, incluso sin la presencia de suelo (Murgese et al., 2020). De manera similar, Rojas-Tapias et al. (2012) reportaron que cepas de *Azotobacter*, cuando se inocularon en raíces de maíz bajo diferentes condiciones de salinidad, aumentaron el contenido de clorofila en condiciones sin estrés salino, además de mejorar la longitud y el peso seco de los brotes en condiciones de salinidad moderada.

La aplicación del biol de harinas enriquecido con *Azospirillum*, *Azotobacter* y *Chlorella* (T5) demostró una respuesta progresiva en el desarrollo y emisión de brotes, evidenciando el efecto bioestimulante de los microorganismos sobre el crecimiento vegetativo de las plantas. La variación en la emisión de brotes, que aumentó de 65-74 brotes a los 30 días a 97-122 brotes a los 90 días, refleja una influencia gradual de los tratamientos en la arquitectura de la planta, con máximos en T5 (122 brotes) y T4 (116 brotes). Este patrón puede atribuirse al establecimiento de una comunidad microbiana funcional en la rizosfera, que optimiza la interacción planta-microorganismo a lo largo del tiempo. Ajilogba et al. (2022) destacan que el establecimiento y maduración de consorcios microbianos permiten maximizar sus beneficios conforme la interacción se vuelve más estable.

Varios estudios han confirmado que el uso de rizobacterias promotoras del crecimiento vegetal (PGPR) y microalgas puede incrementar el crecimiento y desarrollo en distintos cultivos. Sun et al. (2024) documentaron un incremento en el número de brotes, peso fresco y peso seco de brotes y raíces en plantas tratadas con estos bioinoculantes. Shisy et al. (2014) también reportaron efectos positivos de la aplicación de PGPR y microalgas en el número de hojas, longitud de raíces y tallos, así como en la producción de flores y frutos, lo que resalta la influencia de estos tratamientos en diversos parámetros de crecimiento.

Además, en un experimento con *Azotobacter chroococcum* en algodón, Romero-Perdomo et al. (2006) observaron mejoras en la longitud y peso seco de brotes y raíces, así como en el peso seco de cápsulas y contenido de nitrógeno. Por otro lado, la aplicación de microalgas como *Chlorella ellipsoidea* en tomate (*Solanum lycopersicum*) incrementó la longitud de los brotes en un 53,6 %, así como el contenido de clorofila en un 40,36 % y las concentraciones de nitrógeno, fósforo y potasio en las raíces (Mutale et al., 2020). Estos resultados en diferentes cultivos y condiciones experimentales reafirman el potencial de los biofertilizantes y consorcios microbianos para optimizar el crecimiento y salud de las plantas, lo que coincide con los patrones observados en el presente estudio.

### **Efecto de un biol enriquecido con rizobacterias y microalgas vegetales sobre parámetros productivos del cultivo de la guanábana.**

La consolidación de la superioridad del tratamiento T5 en el número de botones florales a los 90 días (14 botones) sugiere un efecto acumulativo beneficioso de la interacción entre rizobacterias y microalgas, promoviendo la formación de estructuras reproductivas. Estos resultados se alinean con lo descrito por Mondal et al. (2020), quienes encontraron que la aplicación continua de biofertilizantes enriquecidos estimula progresivamente la formación de botones florales. Asimismo, Choudhary et al. (2024) y Köpke et al. (2018) destacan que la aplicación de *Azospirillum* y *Azotobacter*, junto con fertilizantes, incrementa significativamente el número de botones florales, mejorando así el potencial reproductivo y el rendimiento en diversos cultivos. Además, productos a base de microalgas, como *Spirulina platensis*, han demostrado tener efectos positivos en el número de flores en berenjena (Dias et al., 2016), respaldando el impacto beneficioso de los biofertilizantes en esta etapa del ciclo reproductivo.

Los resultados en el peso de frutos revelan la influencia positiva de los biofertilizantes en los componentes del rendimiento. Inicialmente, el peso de los frutos fue uniforme (31 kg), lo que sugiere que las etapas tempranas de desarrollo dependen de reservas internas de la planta, tal como lo describen Hernández y García (2021). Sin embargo, a medida que avanzó el tratamiento, el peso de los frutos incrementó, alcanzando 42 kg en el tratamiento T5, lo cual se reflejó el rendimiento superior (26,49 t ha<sup>-1</sup>). Esto confirma la eficacia de los consorcios microbianos en la optimización del rendimiento, similar a los hallazgos de Martínez y López (2022), quienes documentaron aumentos de hasta un 20 % en cultivos tratados con biofertilizantes enriquecidos. Estudios previos como los de Suchithra et al. (2022) y Hajnal-



Jafari et al. (2016) reportan aumentos significativos en el peso y calidad de frutos en tomate y lechuga tras la aplicación de *Chlorella vulgaris*, indicando que los biofertilizantes a base de microalgas pueden mejorar notablemente la calidad y peso de los frutos.

Estudios adicionales refuerzan esta tendencia positiva. La inoculación de PGPR en plantas de fresa, por ejemplo, aumentó el peso promedio de los frutos (Erturk et al., 2012). Asimismo, la aplicación foliar de microalgas en plántulas de tomate, junto con nanopartículas de zinc y hierro funcionalizadas con PGPR y microalgas, también elevó el peso fresco de los frutos (Cervantes-Vázquez et al., 2021). De igual modo, en cultivos como la vid, el uso de PGPR, ácido giberélico y 6-benciladenina resultó en incrementos significativos en el peso de los frutos (Kim et al., 2020). Estos estudios confirman que el uso de biofertilizantes a base de microalgas y PGPR no solo mejora la cantidad sino también la calidad de los frutos, optimizando el rendimiento agrícola.

Los resultados obtenidos reflejan que el uso periódico de biofertilizantes enriquecidos con rizobacterias y microalgas promovió un aumento significativo en la productividad. En este estudio, la adición de biol enriquecido (T5) incrementó la productividad en un 18,26 % respecto al tratamiento sin biofertilizantes, mientras que la combinación de biol y rizobacterias mostró un incremento del 12,46 %. Estos resultados coinciden con los hallazgos de Ortega et al. (2023), quienes observaron que el uso de biofertilizantes a base de rizobacterias no solo aumentó el rendimiento de la cosecha entre un 20 % y 32 %, sino que también favoreció la obtención de frutos de mayor tamaño y, en consecuencia, mayores ingresos, con aumentos de hasta el 52 % en comparación con el control.

Estudios previos respaldan este efecto positivo. Por ejemplo, la aplicación de bacterias fijadoras de nitrógeno en cultivos de trigo de invierno incrementó el crecimiento de las plantas y el rendimiento en un 70 % comparado con el control, demostrando una eficacia comparable a los fertilizantes químicos. En cultivos de morera, Sudhakar et al. (2000) evidenciaron que la aplicación foliar de *Azotobacter*, *Azospirillum* y *Beijerinckia* mejoró significativamente la producción, que cuando se utilizó solo *Azotobacter*.

Asimismo, en un estudio de dos años en manzanos (variedades Starkimson y Granny Smith), Pirlak et al. (2007) encontraron que la aplicación de cepas de *Pseudomonas* y *Bacillus* durante la floración y después de 60 días de floración estimuló el crecimiento de la planta y aumentó el rendimiento de manera significativa. La combinación de rizobacterias también ha mostrado efectos positivos en otros cultivos, aunque algunos estudios sugieren que el uso de

cepas combinadas puede variar en efectividad. Según Olanrewaju y Babalola (2019), las combinaciones de diferentes cepas de bacterias promotoras de crecimiento vegetal (PGPB) pueden ser más efectivas que el uso individual, aunque algunas interacciones pueden no ser tan beneficiosas, lo cual subraya la necesidad de más investigación para optimizar el uso de estos consorcios microbianos.

## **8. Conclusiones**

- ✓ El biol de harinas vegetales mostró un impacto favorable en el desarrollo y productividad del cultivo de guanábana, en comparación con el testigo, capaz de aportar nutrientes y promover el crecimiento del cultivo, así como en la productividad. Esto demuestra que el biol de harinas representa una alternativa viable para la fertilización orgánica en el cultivo de guanábana, aunque con un potencial de mejora en su formulación.
- ✓ El biol de harinas enriquecido con rizobacterias y microalgas demostró ser muy efectivo en el cultivo de guanábana, evidenciado por mejoras significativas en altura de planta, área foliar, contenido de clorofila, número de brotes y botones florales lo que se tradujo en un incremento del peso de los frutos y la productividad, alcanzando un rendimiento de 26,49 t ha<sup>-1</sup> cuando se aplicó en combinación (T5).

## **9. Recomendaciones**

- ✓ Para optimizar la producción sostenible de guanábana, se recomienda profundizar en investigaciones sobre las dosis y frecuencias de aplicación del biol de harinas enriquecido con rizobacterias y microalgas, considerando diferentes etapas fenológicas del cultivo y condiciones ambientales.
- ✓ Se sugiere realizar análisis económicos comparativos entre el uso de bioles convencionales y enriquecidos, incluyendo costos de producción, rendimientos y beneficios netos, para determinar la relación costo-beneficio de cada alternativa y facilitar la toma de decisiones de los productores.

## 10. Bibliografía

- Abalde, J., Cid, A., Fidalgo Paredes, P., Torres, E., Herrero, C. (1995). *Microalgas: cultivo y aplicaciones*. A Coruña: Universidad, Servicio de Publicacións. ISBN: 978-84-97497-69-5.
- Aceves-Navarro, E. (2018). Producción de guanábana (*Annona muricata* L.) en alta densidad de plantación, como alternativa para productores con superficies reducidas. *Agro productividad*, 11(9).
- Ahmadi-Rad, S., Gholamhoseini, M., Ghalavand, A., Asgharzadeh, A., & Dolatabadian, A. (2016). Foliar application of nitrogen fixing bacteria increases growth and yield of canola grown under different nitrogen regimes. *Rhizosphere*, 2, 34-37.
- Ajilogba, C. F., Olanrewaju, O. S., & Babalola, O. O. (2022). Plant growth stage drives the temporal and spatial dynamics of the bacterial microbiome in the rhizosphere of *Vigna subterranea*. *Frontiers in Microbiology*, 13, 825377.
- Akram, M., Rizvi, R., Sumbul, A., Ansari, R. A., & Mahmood, I. (2016). Potential role of bio-inoculants and organic matter for the management of root-knot nematode infesting chickpea. *Cogent Food & Agriculture*, 2(1), 1183457.
- Alvarez, A. L., Weyers, S. L., Goemann, H. M., Peyton, B. M., & Gardner, R. D. (2021). Microalgae, soil and plants: A critical review of microalgae as renewable resources for agriculture. *Algal Research*, 54, 102200.
- Ansari, R. A., Rizvi, R., Sumbul, A., & Mahmood, I. (2017). PGPR: current vogue in sustainable crop production. *Probiotics and plant health*, 455-472.
- Araujo-Abad, S., y Collahuazo-Reinoso, Y. (2019). Producción de Biofertilizantes a Partir de Microalgas. *CEDAMAZ*, 9(2), 81–87.
- Asghari, B., Khademian, R., & Sedaghati, B. (2020). Plant growth promoting rhizobacteria (PGPR) confer drought resistance and stimulate biosynthesis of secondary metabolites in pennyroyal (*Mentha pulegium* L.) under water shortage condition. *Scientia Horticulturae*, 263, 109132.
- Barone, V., Baglieri, A., Stevanato, P., Broccanello, C., Bertoldo, G., Bertaggia, M., ... & Concheri, G. (2018). Root morphological and molecular responses induced by microalgae extracts in sugar beet (*Beta vulgaris* L.). *Journal of Applied Phycology*, 30, 1061-1071.

- Barone, V., Puglisi, I., Fragalà, F., Stevanato, P., & Baglieri, A. (2019). Effect of living cells of microalgae or their extracts on soil enzyme activities. *Archives of Agronomy and Soil Science*, 65(5), 712-726.
- Bashan, Y., & De-Bashan, L. E. (2010). Advances in agronomy. In *Advances in agronomy* (pp. 2-315). Elsevier Inc USA.
- Bhalamurugan, G. L., Valerie, O., & Mark, L. (2018). Valuable bioproducts obtained from microalgal biomass and their commercial applications: A review. *Environmental Engineering Research*, 23(3), 229-241.
- Bumandalai, O., & Tserennadmid, R. (2019). Effect of *Chlorella vulgaris* as a biofertilizer on germination of tomato and cucumber seeds. *International Journal of Aquatic Biology*, 7(2), 95-99.
- Camacho-Rodríguez, M., Almaraz-Suárez, J. J., Vázquez-Vázquez, C., Angulo-Castro, A., Ríos-Vega, M. E., y González-Mancilla, A. (2022). Efecto de rizobacterias promotoras del crecimiento vegetal en el desarrollo y rendimiento del chile jalapeño. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, 13(SPE28), 185-196.
- Carpio-Rugel, A. L. (2023). *Evaluación de bioestimulantes foliares para incrementar el rendimiento en el cultivo de granadilla (Pasiflora ligularis) en el caserío El Obraje cantón Pelileo* (Bachelor's thesis).
- Cassán, F. D., Okon, Y., & Creus, C. M. (2015). Handbook for Azospirillum. *Springer, Basel. doi, 10, 978-3.*
- Cervantes-Vázquez, T. J. Á., Valenzuela-García, A. A., Cervantes-Vázquez, M. G., Guzmán-Silos, T. L., Fortiz, E. L., Rangel, P. P., & Rueda-Puente, E. O. (2021). Morphophysiological, enzymatic, and elemental activity in greenhouse tomato saladette seedlings from the effect of plant growth-promoting rhizobacteria. *Agronomy*, 11(5), 1008.
- Chabili, A., Minaoui, F., Hakkoum, Z., Douma, M., Meddich, A., & Loudiki, M. (2024). A comprehensive review of microalgae and cyanobacteria-based biostimulants for agriculture uses. *Plants*, 13(2), 159.
- Chávez-Díaz, I. F., Zelaya Molina, L. X., Cruz Cárdenas, C. I., Rojas Anaya, E., Ruíz Ramírez, S., & Santos Villalobos, S. D. L. (2020). Consideraciones sobre el uso de biofertilizantes como alternativa agro-biotecnológica sostenible para la seguridad alimentaria en México. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, 11(6), 1423-1436.

- Choudhary, N., Tripathi, A., Singh, P. K., Parikh, H. S., & Tiwari, A. (2024). Application of algae for enhanced plant growth and food productivity. *Systems Microbiology and Biomanufacturing*, 4(2), 564-574.
- Cobos. (2021<sup>a</sup>). Información técnica del producto Nutribiol Abono orgánico.
- Contreras, M., & Juvencia, M. (2019). Respuesta de plantas de chile serrano (*Capsicum annuum* L.) a la aplicación de mezclas de agentes microbianos como promotores de crecimiento.
- Correa Bustos, A. (2021). Respuesta bioestimulante a la aplicación de extractos de origen natural en el trasplante de arándanos en cultivo sin suelo.
- Cruz-Hernández, M. A., Mendoza-Herrera, A., Bocanegra-García, V., & Rivera, G. (2022). Azospirillum spp. from plant growth-promoting bacteria to their use in bioremediation. *Microorganisms*, 10(5), 1057.
- De Souza, R., Peña-Fleitas, M. T., Thompson, R. B., Gallardo, M., Grasso, R., & Padilla, F. M. (2019). The use of chlorophyll meters to assess crop N status and derivation of sufficiency values for sweet pepper. *Sensors*, 19(13), 2949.
- Dias, G. A., Rocha, R. H. C., Araújo, J. L., Lima, J. F., & Guedes, W. A. (2016). Growth, yield, and postharvest quality in eggplant produced under different foliar fertilizer (*Spirulina platensis*) treatments. *Semina: Ciências Agrárias*, 37(6), 3893-3902.
- Elhafiz, A., Abd Elhafiz, A., Gaur, S. S., Hamdany, N., Osman, M., & Lakshmi, T. R. (2015). *Chlorella vulgaris* and *Chlorella pyrenoidosa* live cells appear to be promising sustainable biofertilizer to grow rice, lettuce, cucumber and eggplant in the UAE soils. *Recent Research in Science and Technology*, 7, 14-21.
- Erturk, Y., Ercisli, S., & Cakmakci, R. A. M. A. Z. A. N. (2012). Yield and growth response of strawberry to plant growth-promoting rhizobacteria inoculation. *Journal of plant nutrition*, 35(6), 817-826.
- Espinosa Palomeque, B., Moreno Reséndez, A., Cano Ríos, P., Álvarez Reyna, V. D. P., Sáenz Mata, J., Sánchez Galván, H., y González Rodríguez, G. (2017). Inoculación de rizobacterias promotoras del crecimiento vegetal en tomate (*Solanum lycopersicum* L.) cv. afroditá en invernadero. *Terra Latinoamericana*, 35(2), 169-178.
- Espinosa, J., & Vásquez, S. (2021). *Efecto de dos niveles de sombra y nutrición sobre el crecimiento y desarrollo vegetativo en cacao (Theobroma cacao L.) clon CCN51 en la*

- Provincia de Zamora Chinchipe* (Doctoral dissertation, Tesis de grado, Universidad Nacional de Loja, Loja. Obtenido de <https://dspace.unl.edu.ec/jspui/handle/123456789/23934>).
- Faheed, F. A., & El-Fattah, Z. A. (2008). Effect of *Chlorella vulgaris* as bio-fertilizer on growth parameters and metabolic aspects of lettuce plant.
- Gitau, M. M., Farkas, A., Balla, B., Ördög, V., Futó, Z., & Maróti, G. (2021). Strain-specific biostimulant effects of *Chlorella* and *Chlamydomonas* green microalgae on *Medicago truncatula*. *Plants*, *10*(6), 1060.
- González-Pérez, B. K., Rivas-Castillo, A. M., Valdez-Calderón, A., & Gayosso-Morales, M. A. (2022). Microalgae as biostimulants: A new approach in agriculture. *World Journal of Microbiology and Biotechnology*, *38*(1), 4.
- Hajnal-Jafari, T. I., Đurić, S. S., & Stamenov, D. R. (2016). Influence of green algae *Chlorella vulgaris* on initial growth of different agricultural crops. *Zbornik Matice srpske za prirodne nauke*, (130), 29-33.
- Jenny Patricia Namicela Romero (2016). *Comportamiento fisiológico y crecimiento de plántulas de café (Coffea arabica L.)*, bajo cuatro niveles de humedad del sustrato en la quinta experimental docente la Argelia. Pag. 95.
- Jiménez Flores, M. D. L. Á. (2016). Efectos biológicos de SUPERBAC M-90 en el cultivo de tomate (*Solanum lycopersicum*). <https://repositorio.uaaan.mx/bitstream/handle/123456789/8032/64010%20JIMENEZ%20FLORES%2c%20MARIA%20DE%20LOS%20ANGELES%20%20TESIS.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Jnawali, A. D., Ojha, R. B., & Marahatta, S. (2015). Role of *Azotobacter* in soil fertility and sustainability—a review. *Adv. Plants Agric. Res*, *2*(6), 1-5.
- Kahil, A. A., Hassan, F. A. S., & Ali, E. F. (2017). Influence of bio-fertilizers on growth, yield and anthocyanin content of *Hibiscus sabdariffa* L. plant under Taif region conditions. *Annual Research & Review in Biology*, *17*(1), 1-15.
- Kang, Y., Kim, M., Shim, C., Bae, S., & Jang, S. (2021). Potential of algae–bacteria synergistic effects on vegetable production. *Frontiers in Plant Science*, *12*, 656662.

- Kim, M. J., Shim, C. K., Ko, B. G., & Kim, J. (2020). Effect of the Microalga *Chlorella fusca* CHK0059 on Strawberry PGPR and Biological Control of Fusarium Wilt Disease in Non-Pesticide Hydroponic Strawberry Cultivation.
- Kizilkaya, R. (2009). Nitrogen fixation capacity of *Azotobacter* spp. strains isolated from soils in different ecosystems and relationship between them and the microbiological properties of soils. *J. Environ. Biol*, *30*(1), 73-82.
- Köpke, U. (2018). Organic fertilizers and biofertilizers Lidia Sas Paszt and Slawomir Gluszek, Research Institute of Horticulture, Poland. In *Improving organic crop cultivation* (pp. 231-262). Burleigh Dodds Science Publishing.
- Li, L., Hu, Z., Tan, G., Fan, J., Chen, Y., Xiao, Y., ... & Tang, Q. (2023). Enhancing plant growth in biofertilizer-amended soil through nitrogen-transforming microbial communities. *Frontiers in Plant Science*, *14*, 1259853.
- Ludeña, S. P. (2022). *Evaluación del crecimiento y rendimiento en el cultivo de maní* (*Arachis hypogaea* L. var. INIAP-381), mediante aplicaciones de abonos orgánicos nutrisano y nutriol en Zapotepamba, provincia de Loja. (Trabajo de titulación previo a la obtención del título de Ingeniera Agrónoma). Universidad Nacional de Loja, Loja, Ecuador.
- Mondal, S., Halder, S. K., Yadav, A. N., & Mondal, K. C. (2020). Microbial consortium with multifunctional plant growth-promoting attributes: future perspective in agriculture. *Advances in plant microbiome and sustainable agriculture: functional annotation and future challenges*, 219-258.
- Moreno Reséndez, A., Garcia Mendoza, V., Reyes Carrillo, J. L., Vásquez Arroyo, J., y Cano Ríos, P. (2018). Plant growth promoting rhizobacteria: a biofertilization alternative for sustainable nutrisano. *Revista Colombiana de Biotecnología*, *20*(1), 68-83.
- Murgese, P., Santamaria, P., Leoni, B., & Crecchio, C. (2020). Ameliorative effects of PGPB on yield, physiological parameters, and nutrient transporter genes expression in barattiere (*Cucumis melo* L.). *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*, *20*(2), 784-793.
- Mutale-Joan, C., Redouane, B., Najib, E., Yassine, K., Lyamlouli, K., Laila, S., ... & Hicham, E. A. (2020). Screening of microalgae liquid extracts for their bio stimulant properties on plant growth, nutrient uptake and metabolite profile of *Solanum lycopersicum* L. *Scientific reports*, *10*(1), 2820.



- Oikawa, S., Hikosaka, K., & Hirose, T. (2006). Leaf lifespan and lifetime carbon balance of individual leaves in a stand of an annual herb, *Xanthium canadense*. *New Phytologist*, *172*(1), 104-116.
- Olanrewaju, O. S., & Babalola, O. O. (2019). Bacterial consortium for improved maize (*Zea mays* L.) production. *Microorganisms*, *7*(11), 519.
- Ortega Pérez, R., Nieto García, J. C., Gallegos-Cedillo, V. M., Domene Ruiz, M. Á., Santos Hernández, M., Nájera, C., ... & Diáñez Martínez, F. (2023). Biofertilizers enriched with PGPB improve soil fertility and the productivity of an intensive tomato crop. *Agronomy*, *13*(9), 2286.
- Ortega, R., Nieto García, J. C., Gallegos-Cedillo, V. M., Domene Ruiz, M. Á., Santos Hernández, M., Nájera, C., ... & Diáñez Martínez, F. (2023). Biofertilizers enriched with PGPB improve soil fertility and the productivity of an intensive tomato crop. *Agronomy*, *13*(9), 2286.
- Ortiz-Moreno, M. L., Sandoval-Parra, K. X., & Solarte-Murillo, L. V. (2019). *Chlorella*, ¿un potencial biofertilizante?. *Orinoquia*, *23*(2), 71-78.
- Osorio-Reyes, J. G., Valenzuela-Amaro, H. M., Pizaña-Aranda, J. J. P., Ramírez-Gamboa, D., Meléndez-Sánchez, E. R., López-Arellanes, M. E., ... & Martínez-Ruiz, M. (2023). Microalgae-based biotechnology as alternative biofertilizers for soil enhancement and carbon footprint reduction: Advantages and implications. *Marine Drugs*, *21*(2), 93.
- Pérez-Madruga, Y., López-Padrón, I., & Reyes-Guerrero, Y. (2020). Las algas como alternativa natural para la producción de diferentes cultivos. *Cultivos Tropicales*, *41*(2).
- Pii, Y., Mimmo, T., Tomasi, N., Terzano, R., Cesco, S., & Crecchio, C. (2015). Microbial interactions in the rhizosphere: beneficial influences of plant growth-promoting rhizobacteria on nutrient acquisition process. A review. *Biology and fertility of soils*, *51*, 403-415.
- Pirlak, L., Turan, M., Sahin, F., & Esitken, A. (2007). Floral and foliar application of plant growth promoting rhizobacteria (PGPR) to apples increases yield, growth, and nutrient element contents of leaves. *Journal of sustainable agriculture*, *30*(4), 145-155.
- Preininger, C., Sauer, U., Bejarano, A., & Berninger, T. (2018). Concepts and applications of foliar spray for microbial inoculants. *Applied microbiology and biotechnology*, *102*, 7265-7282.

- Refaay, D. A., El-Marzoki, E. M., Abdel-Hamid, M. I., & Haroun, S. A. (2021). Effect of foliar application with *Chlorella vulgaris*, *Tetrademus dimorphus*, and *Arthrospira platensis* as biostimulants for common bean. *Journal of Applied Phycology*, *33*, 3807-3815.
- Renuka, N., Guldhe, A., Prasanna, R., Singh, P., & Bux, F. (2018). Microalgae as multi-functional options in modern agriculture: current trends, prospects and challenges. *Biotechnology advances*, *36*(4), 1255-1273.
- Reséndez, A. M., Mendoza, V. G., Carrillo, J. L. R., Arroyo, J. V., y Ríos, P. C. (2018). Plant growth promoting rhizobacteria: A biofertilization alternative for sustainable agriculture. *Revista Colombiana de Biotecnología*, *20*(1), 68.
- Riaz, U., Murtaza, G., Anum, W., Samreen, T., Sarfraz, M., & Nazir, M. Z. (2021). Plant growth-promoting rhizobacteria (PGPR) as biofertilizers and biopesticides. *Microbiota and biofertilizers: a sustainable continuum for plant and soil health*, 181-196.
- Rodés, R y Collazo, M. (2006). Cuantificación de algunas de las propiedades de los pigmentos fotosintéticos. Universidad autónoma de México. Editorial prensa ciencia. Pp 159.
- Rojas-Tapias, D., Moreno-Galván, A., Pardo-Díaz, S., Obando, M., Rivera, D., & Bonilla, R. (2012). Effect of inoculation with plant growth-promoting bacteria (PGPB) on amelioration of saline stress in maize (*Zea mays*). *Applied Soil Ecology*, *61*, 264-272.
- Romero-Perdomo, F., Abril, J., Camelo, M., Moreno-Galván, A., Pastrana, I., Rojas-Tapias, D., & Bonilla, R. (2017). *Azotobacter chroococcum* as a potentially useful bacterial biofertilizer for cotton (*Gossypium hirsutum*): Effect in reducing N fertilization. *Revista Argentina de microbiología*, *49*(4), 377-383.
- Romero-Perdomo, F., Abril, J., Camelo, M., Moreno-Galván, A., Pastrana, I., Rojas-Tapias, D., & Bonilla, R. (2017). *Azotobacter chroococcum* as a potentially useful bacterial biofertilizer for cotton (*Gossypium hirsutum*): Effect in reducing N fertilization. *Revista Argentina de microbiología*, *49*(4), 377-383.
- Ronga, D., Biazzi, E., Parati, K., Carminati, D., Carminati, E., & Tava, A. (2019). Microalgal biostimulants and biofertilisers in crop productions. *Agronomy*, *9*(4), 192.
- Saeid, A., & Chojnacka, K. (2019). Fertilizers: need for new strategies. In *Organic farming* (pp. 91-116). Woodhead Publishing.
- Santos, K. F., Moure, V. R., Hauer, V., Santos, A. R. S., Donatti, L., Galvão, C. W., ... & Steffens, M. B. R. (2017). Wheat colonization by an *Azospirillum brasilense* ammonium-

- excreting strain reveals upregulation of nitrogenase and superior plant growth promotion. *Plant and Soil*, 415, 245-255.
- Shisy, J., Malla, M. A., Renuka, N., Bux, F., & Kumari, S. (2024). Cyanobacteria-green microalgae consortia enhance soil fertility and plant growth by shaping the native soil microbiome of *Capsicum annuum*. *Rhizosphere*, 30, 100892.
- Silva, R. D. A., Santos, J. L., Oliveira, L. S., Soares, M. R., & Santos, S. (2016). Biostimulants on mineral nutrition and fiber quality of cotton crop. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 20, 1062-1066.
- Singh, S. (2014). A review on possible elicitor molecules of cyanobacteria: their role in improving plant growth and providing tolerance against biotic or abiotic stress. *Journal of applied microbiology*, 117(5), 1221-1244.
- Steenhoudt, O., & Vanderleyden, J. (2000). Azospirillum, a free-living nitrogen-fixing bacterium closely associated with grasses: genetic, biochemical and ecological aspects. *FEMS microbiology reviews*, 24(4), 487-506.
- Stephen, R. (2002). Agroecología: procesos ecológicos en Agricultura Sostenible. Turrialba. C.R. CATIE. ISBN 9977-57-385-9. Pp 72.
- Suchithra, M. R., Muniswami, D. M., Sri, M. S., Usha, R., Rasheeq, A. A., Preethi, B. A., & Dineshkumar, R. (2022). Effectiveness of green microalgae as biostimulants and biofertilizer through foliar spray and soil drench method for tomato cultivation. *South African Journal of Botany*, 146, 740-750.
- Sudhakar, P., Chattopadhyay, G. N., Gangwar, S. K., & Ghosh, J. K. (2000). Effect of foliar application of Azotobacter, Azospirillum and Beijerinckia on leaf yield and quality of mulberry (*Morus alba*). *The Journal of Agricultural Science*, 134(2), 227-234.
- Sun, W., Shahrajabian, M. H., & Soleymani, A. (2024). The Roles of Plant-Growth-Promoting Rhizobacteria (PGPR)-Based Biostimulants for Agricultural Production Systems. *Plants*, 13(5), 613.
- Suquilanda, M. (1996). Agricultura Orgánica. Alternativa tecnológica del futuro. Fundagro-UPS. Quito, Ecuador. 24- 27 pp. Cañete, M. (1999). Manejo ecológico de suelos. Red de Acción en Plaguicidas y sus Alternativas para América Latina. Pp. 8 – 9.
- Tian, S. L., Khan, A., Zheng, W. N., Song, L., Liu, J. H., Wang, X. L., & Li, L. (2022). Effects of *Chlorella* extracts on growth of *Capsicum annuum* L. seedlings. *Sci Rep* 12 (1), 15455.

- Win, T. T., Barone, G. D., Secundo, F., & Fu, P. (2018). Algal biofertilizers and plant growth stimulants for sustainable agriculture. *Industrial Biotechnology*, *14*(4), 203-211.
- Woo, S. L., & Pepe, O. (2018). Microbial consortia: promising probiotics as plant biostimulants for sustainable agriculture. *Frontiers in plant science*, *9*, 1801.
- Zarezadeh, S., Moheimani, N. R., Jenkins, S. N., Hülsen, T., Riahi, H., & Mickan, B. S. (2019). Microalgae and phototrophic purple bacteria for nutrient recovery from agri-industrial effluents: influences on plant growth, rhizosphere bacteria, and putative carbon-and nitrogen-cycling genes. *Frontiers in plant science*, *10*, 1193.

## 11. Anexos

### Anexo 1. Distribución de unidades experimentales

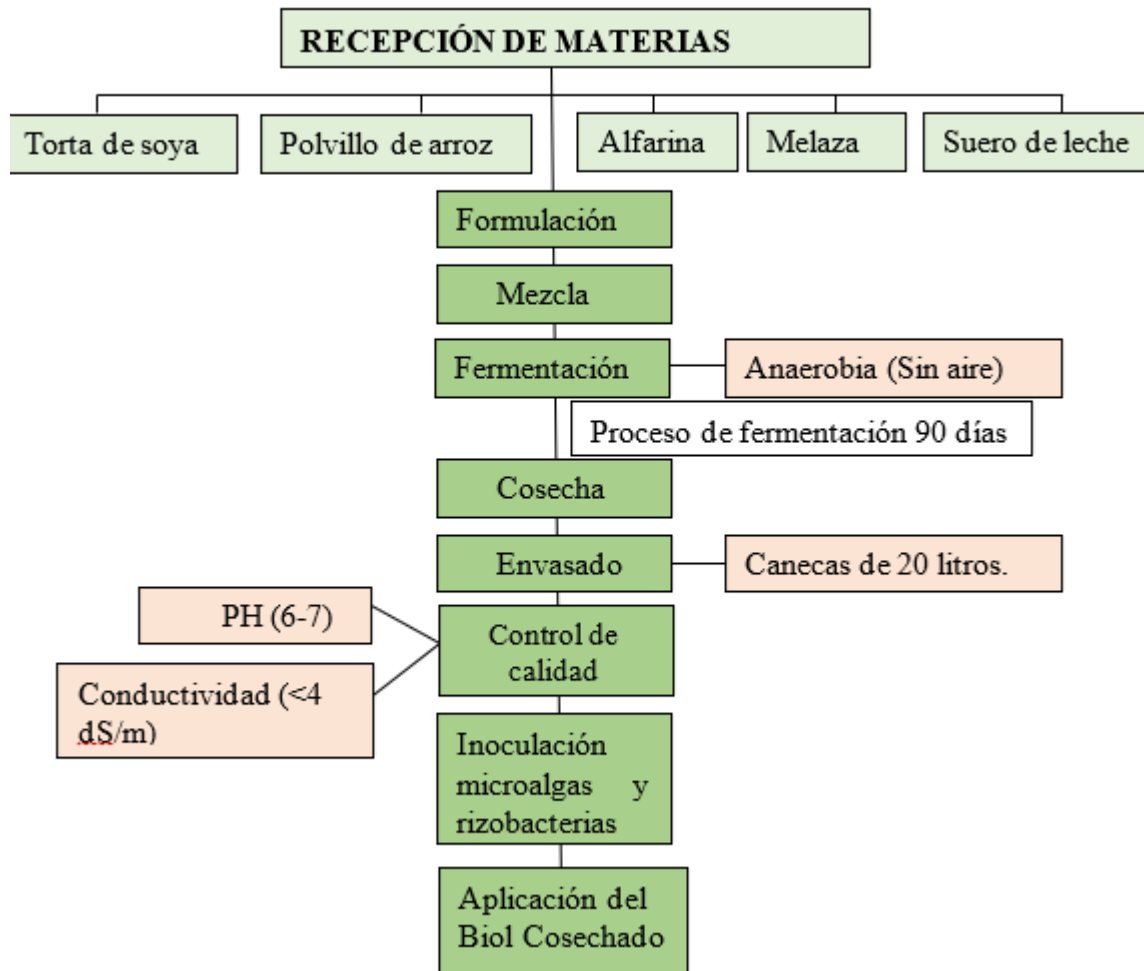


### Anexo 2. Cepas de microorganismos utilizados en la investigación



### Anexo 3. Proceso de preparación de biol de harinas





**Anexo 4. Fertilización**



**Anexo 5. Control fitosanitario**



**Anexo 6. Podas**



**Anexo 7. Contenido de clorofila**



**Anexo 8.** Número de botones florales





**Anexo 9. Peso de fruto**



**Anexo 10. Rendimiento**



Loja, 25 de febrero del 2025

Yo, Xilena Elizabeth Aldeán Sandoval, con cédula de identidad 1104226913, como traductora certificada por el Ministerio de trabajo del Ecuador con licencia número MDT-3104-CCL-252643, certifico que la traducción del resumen del trabajo de titulación denominado **“Efecto de un biol elaborado con harinas vegetales y enriquecido con rizobacterias y microalgas en los parámetros morfológicos y productivos de guanábana (Annona muricata L.) en el Pangui, Zamora Chinchipe, Ecuador,”** es precisa en mis capacidades como traductora certificada.

El trabajo en mención es de autoría del señor **Cristian Javier Días Quichimbo**, con cédula de identidad Nro. **1900402585**, estudiante de la **Maestría en Agronomía con mención en Nutrición Vegetal** de la Universidad Nacional de Loja.

**I, Xilena Aldeán Sandoval, certify that I am fluent in the English and Spanish language and that the abstract of the thesis belonging to Cristian Javier Días Quichimbo, is an accurate translation of its original Spanish version.**



Firmado electrónicamente por:  
**XILENA ELIZABETH  
ALDEAN SANDOVAL**

---

**Xilena Elizabeth Aldeán Sandoval, Mg.**

Traductora/Translator

**Traductor/Translator:** Xilena Elizabeth Aldeán Sandoval

**Correo electrónico/E-mail:** [xaldeans@gmail.com](mailto:xaldeans@gmail.com)

**Teléfono/Phone number:** +593 989491170