



Universidad  
Nacional  
de Loja

# Universidad Nacional de Loja

## Facultad Agropecuaria y de Recursos Naturales Renovables

### Maestría en Agronomía con mención en Nutrición Vegetal

#### Influencia de *Pseudomonas* sp. y fertilización nitrogenada en el crecimiento y productividad del romanesco (*Brassica oleracea* var. romanesco) en El Carmen, Loja, Ecuador

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

#### AUTOR:

Ing. Elvis Rene Sarango Correa

#### ASESOR:

Ph.D Kléver Iván Granda Mora

Loja – Ecuador

2025

Educamos para Transformar

## Certificación

Loja, 10 de marzo de 2025

Ph.D Kléver Iván Granda Mora

**DIRECTOR DEL TRABAJO DE TITULACION**

### **CERTIFICO:**

Que he revisado y orientado todo el proceso de elaboración del Trabajo de Titulación denominado: **Influencia de *Pseudomonas* sp. y fertilización nitrogenada en el crecimiento y productividad del romanesco (*Brassica oleracea* var. romanesco) en El Carmen, Loja, Ecuador**, previo a la obtención del título de **Magíster en Agronomía con mención en Nutrición Vegetal**, de la autoría del estudiante **Elvis Rene Sarango Correa**, con **cédula de identidad Nro. 1105645269**, una vez que el trabajo cumple con todos los requisitos exigidos por la Universidad Nacional de Loja, para el efecto, autorizo la presentación del mismo para su respectiva sustentación y defensa.



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

Ph.D Kléver Iván Granda Mora

**DIRECTOR DEL TRABAJO DE TITULACION**

## **Autoría**

Yo, **Elvis Rene Sarango Correa**, 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:** 1105645269

**Fecha:** 10 de marzo del 2025

**Correo electrónico:** [elvissarango@outlook.com](mailto:elvissarango@outlook.com)

**Teléfono:** 0981257735

## Carta de Autorización

Yo **Elvis Rene Sarango Correa**, declaro ser autor del Trabajo de Titulación denominado: **Influencia de *Pseudomonas* sp. y fertilización nitrogenada en el crecimiento y productividad del romanesco (*Brassica oleracea* var. romanesco) en El Carmen, Loja, 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 10 días del mes de marzo de dos mil veinticinco.

### **Firma:**

**Autor:** Elvis Rene Sarango Correa

**Cédula:** 1105645269

**Dirección:** Sector Pradera Baja, calle Ciprés y pinos, Cantón Loja – Loja

**Correo electrónico:** [elvissarango@outlook.com](mailto:elvissarango@outlook.com)

**Celular:** 0981257735

### **DATOS COMPLEMENTARIOS**

**Director del Trabajo de Titulación**

Ing. Kléver Iván Granda Mora, PhD.

## **Dedicatoria**

Dedico este logro a Dios, por guiar cada uno de mis pasos y darme la fuerza necesaria para superar los retos.

A mi madre y hermanas, cuyo amor incondicional y apoyo constante me han acompañado siempre. Su esfuerzo, sacrificio y fe en mí son el motor que me impulsó a llegar hasta aquí. Este logro es tanto suyo como mío.

Finalmente, a todos aquellos que me apoyaron de manera silenciosa pero constante, les dedico este esfuerzo y todo lo que representa. Cada palabra, cada página y cada sacrificio están dedicados a ustedes, quienes me impulsaron a ser mejor cada día.

***Elvis Rene Sarango Correa***

## **Agradecimiento**

En primer lugar, quiero agradecer a Dios por brindarme la fortaleza y la perseverancia para culminar esta etapa tan importante en mi vida.

Agradezco a la Universidad Nacional de Loja, al Departamento de Posgrado por brindarme el espacio para desarrollar mi formación como profesional permitiéndome alcanzar esta meta.

Agradezco profundamente a mi madre, quien con su amor, apoyo incondicional y sacrificio constante me han impulsado a alcanzar mis metas. Su ejemplo y motivación han sido fundamentales en cada paso que he dado.

A mi tutor de tesis, Ing. Iván Granda le extiendo mi más sincero agradecimiento por su valiosa orientación, paciencia y sabiduría durante el desarrollo de esta investigación. Su experiencia y compromiso fueron esenciales para la culminación de este trabajo.

Mi mayor gratitud por su tiempo, comprensión, liderazgo y paciencia, Ing Stalin Sarango, gracias infinitas por sus conocimientos y experiencias que fueron de vital importancia al presente trabajo, por cada una de sus sugerencias y aportes valiosos para mejorar la redacción de investigación.

No puedo dejar de mencionar a mis compañeros y amigos, quienes me brindaron su apoyo en los momentos difíciles, y con quienes compartí tanto alegrías como retos a lo largo de este camino.

*Elvis Rene Sarango Correa*

## Índice de Contenido

Portada.....	i
Certificación.....	ii
Autoría.....	iii
Carta de Autorización.....	iv
Dedicatoria.....	v
Agradecimiento.....	vi
Índice de Contenido.....	vii
Índice de tablas:.....	x
Índice de figuras:.....	x
Índice de anexos:.....	xii
1. Título.....	1
2. Resumen.....	2
3. Introducción.....	4
4. Marco Teórico.....	6
4.1. Romanesco.....	6
i. Etapas de crecimiento del Romanesco.....	6
ii. Requerimientos climáticos.....	7
iii. Requerimiento del suelo.....	7
4.1.4. Requerimiento nutricional.....	7
4.1.5. Cosecha.....	8
4.1.6. Rendimiento.....	8
4.2. Importancia de la fertilización en la producción agrícola.....	8
4.2.1. Nitrógeno en la agricultura.....	8
4.2.2. Ciclo del nitrógeno.....	9
4.3. <i>Pseudomonas</i> como rizobacterias promotoras del crecimiento vegetal.....	9
4.3.1. Diversidad e interacciones vegetales de especies de <i>Pseudomonas</i> .....	10
4.4. Antecedentes investigativos del uso de fertilizante y bacterias promotoras del crecimiento vegetal en diversos cultivos de interés agrícola.....	11
5. Metodología.....	13
5.1. Descripción del área de investigación.....	13
5.2. Diseño experimental.....	13
5.2.1. Unidad Experimental.....	15
5.3. Análisis de suelo.....	15
5.4. Manejo del cultivo.....	16

5.4.1. Preparación del suelo .....	16
5.4.2. Siembra y trasplante .....	16
5.4.3. Obtención de <i>Pseudomonas</i> .....	16
5.4.4. Fertilización .....	16
5.4.5. Control fitosanitario .....	17
5.4.6. Cosecha .....	17
5.5. Metodología para el primer objetivo: Determinar la influencia de <i>Pseudomonas</i> sp. y fertilización nitrogenada en el crecimiento y productividad del romanesco en El Carmen, Loja, Ecuador .....	18
5.6. Metodología para el segundo objetivo: Evaluar el efecto de la aplicación de <i>Pseudomonas</i> sp. y fertilización nitrogenada en la composición bromatológica de la pella de Romanesco en El Carmen, Loja, Ecuador .....	19
5.6. Análisis estadístico .....	22
6. Resultados .....	23
6.1. Influencia de <i>Pseudomonas</i> sp. y fertilización nitrogenada en el crecimiento y productividad del cultivo de romanesco .....	23
6.1.1. Altura de la planta .....	23
6.1.2. Diámetro del tallo .....	24
6.1.3. Número de hojas .....	25
6.1.3. Número de hojas .....	25
6.1.4. Área foliar .....	26
6.1.5. Contenido de clorofila .....	27
6.1.6. Biomasa foliar .....	29
6.1.7. Biomasa radicular .....	29
6.1.8. Peso fresco de las pellas .....	30
6.1.9. Diámetro de la pella .....	31
6.1.10. Rendimiento .....	31
6.2. Efecto de <i>Pseudomonas</i> sp. y fertilización nitrogenada en la composición bromatológica de la pella de romanesco .....	32
6.2.1. Materia Seca .....	32
6.2.2. Humedad .....	33
6.2.3. Ceniza .....	33
6.2.4. Proteína Cruda .....	34
6.2.5. Nitrógeno (N) en pella .....	35
6.2.6. Análisis de Correlación .....	35
7. Discusión .....	37
8. Conclusiones .....	43



9. Recomendaciones.....	43
10. Bibliografía.....	44
11. Anexos.....	53

## Índice de tablas:

<b>Tabla 1.</b> Antecedentes de <i>Pseudomonas</i> spp. como bioestimulantes y agentes biocontrol en la producción de hortalizas.....	12
<b>Tabla 2.</b> Descripción de los tratamientos aplicados (única vez) con diferentes fuentes de nutrición y frecuencias de aplicación a días específicos después del trasplante. ....	14
<b>Tabla 3.</b> Métodos utilizados para los parámetros del análisis de suelo. ....	15
<b>Tabla 4.</b> Dosis de urea y <i>Pseudomonas</i> por frecuencia de aplicación.....	17
<b>Tabla 5.</b> Correlaciones entre parámetros de crecimiento y productivos en romanesco influenciado con nitrógeno y <i>Pseudomonas</i> . ....	35
<b>Tabla 6.</b> Correlaciones entre bromatológicos de la pella de romanesco influenciado con nitrógeno y <i>Pseudomonas</i> . ....	36

## Índice de figuras:

<b>Figura 1.</b> Romanesco ( <i>Brassica oleracea</i> var. romanesco) en etapa de cosecha. Autoría propia .....	6
<b>Figura 2.</b> Fases de crecimiento y desarrollo del romanesco. Autoría propia .....	7
<b>Figura 3.</b> Esquema representativo del ciclo del nitrógeno en el suelo durante el desarrollo de un cultivo de brócoli, seguido de cebolla en un sistema de rotación agrícola. El diagrama ilustra el movimiento del nitrógeno sin considerar las pérdidas gaseosas. Imagen de Donna Gibson, © Plant & Food Research.....	9
<b>Figura 4.</b> Potencial de <i>Pseudomonas</i> spp. en el biocontrol y la agricultura sostenible. Tomado de Harnessing <i>Pseudomonas</i> spp. for sustainable plant crop protection, por Alattas et al., 2024. <i>Frontiers in Microbiology</i> .....	11
<b>Figura 5.</b> Ubicación del estudio en el contexto de la República del Ecuador, provincia Loja, cantón Loja, parroquia San Sebastián, barrio Zamora Huayco alto, sector el Carmen. Autoría propia.....	13
<b>Figura 6.</b> Diseño experimental implementado en campo con la aplicación de <i>Pseudomonas</i> y Nitrógeno. ....	14
<b>Figura 7.</b> Unidad experimental con distribución de plantas y selección para evaluación. ....	15

<b>Figura 8.</b> Altura de las plantas de romanescos en función de la aplicación de diferentes tratamientos. Letras diferentes indican diferencias estadísticas significativas (Tukey, $p < 0,05$ ). Barras verticales representan desviación estándar. ....	23
<b>Figura 9.</b> Diámetro del tallo de romanescos, en función de la aplicación de diferentes tratamientos. Letras diferentes indican diferencias estadísticas significativas (Tukey, $p < 0,05$ ). Barras verticales representan desviación estándar. ....	24
<b>Figura 10.</b> Diámetro del tallo de romanescos, en función de la aplicación de diferentes factores: A) Nutrición, B) Frecuencia de aplicación. Letras diferentes indican diferencias estadísticas significativas (Tukey, $p < 0,05$ ). Barras verticales representan desviación estándar.....	25
<b>Figura 11.</b> Número de hojas de romanescos en función de la aplicación de diferentes tratamientos. Letras diferentes indican diferencias estadísticas significativas (Tukey, $p < 0,05$ ). Barras verticales representan desviación estándar. ....	26
<b>Figura 12.</b> Área foliar de romanescos, en función de la aplicación del factor frecuencia de aplicación de manera independiente. Letras diferentes indican diferencias estadísticas significativas (Tukey, $p < 0,05$ ). Barras verticales representan desviación estándar.....	27
<b>Figura 13.</b> Área foliar de romanescos en función de la aplicación de diferentes tratamientos. Letras diferentes indican diferencias estadísticas significativas (Tukey, $p < 0,05$ ). Barras verticales representan desviación estándar.....	27
<b>Figura 14.</b> Contenido de clorofila de romanescos en función de la frecuencia de aplicación. Letras diferentes indican diferencias estadísticas significativas (Tukey, $p < 0,05$ ). Barras verticales representan desviación estándar.....	28
<b>Figura 15.</b> Contenido de clorofila de romanescos en función de nutrición. Letras diferentes indican diferencias estadísticas significativas (Tukey, $p < 0,05$ ). Barras verticales representan desviación estándar. ....	29
<b>Figura 16.</b> Biomasa fresca de romanescos, en función de la aplicación de diferentes tratamientos. Letras diferentes indican diferencias estadísticas significativas (Tukey, $p < 0,05$ ). Barras verticales representan desviación estándar.....	29
<b>Figura 17.</b> Biomasa radicular de romanescos en función de la aplicación de diferentes tratamientos. Letras diferentes indican diferencias estadísticas significativas, Tukey ( $p < 0,05$ ). Barras verticales representan desviación estándar. ....	30

<b>Figura 18.</b> Peso de pella de romanesco en función de la aplicación de diferentes tratamientos. Letras diferentes indican diferencias estadísticas significativas (Tukey, $p < 0,05$ ). Barras verticales representan desviación estándar.....	31
<b>Figura 19.</b> Diámetro de pella de romanesco en función de la aplicación de diferentes tratamientos. Letras diferentes indican diferencias estadísticas significativas (Tukey, $p < 0,05$ ). Barras verticales representan desviación estándar. ....	31
<b>Figura 20.</b> Rendimiento de romanesco en función de la aplicación de diferentes tratamientos. Letras diferentes indican diferencias estadísticas significativas (Tukey, $p < 0,05$ ). Barras verticales representan desviación estándar.....	32
<b>Figura 21.</b> Materia seca de romanesco en función de la aplicación de diferentes tratamientos. No existe diferencia significativa (Tukey, $p > 0,05$ ). Barras verticales representan desviación estándar.....	33
<b>Figura 22.</b> Porcentaje de humedad de romanesco en función de la aplicación de diferentes tratamientos. Letras diferentes indican diferencias estadísticas significativas (Tukey, $p < 0,05$ ). Barras verticales representan desviación estándar. ....	33
<b>Figura 23.</b> Porcentaje de ceniza de romanesco en función de la aplicación de diferentes tratamientos. Letras diferentes indican diferencias estadísticas significativas (Tukey, $p < 0,05$ ). Barras verticales representan desviación estándar. ....	34
<b>Figura 24.</b> Proteína cruda de romanesco en función de la aplicación de diferentes tratamientos. No existe diferencia significativa (Tukey, $p > 0,05$ ). Barras verticales representan desviación estándar.....	35
<b>Figura 25.</b> Nitrógeno en pella de romanesco en función de la aplicación de diferentes tratamientos. No existe diferencia significativa (Tukey, $p > 0,05$ ). Barras verticales representan desviación estándar. ....	35

## Índice de anexos:

<b>Anexo 1.</b> Semillas de romanesco ( <i>Brassica oleracea</i> var. romanesco) utilizadas en la investigación.....	53
<b>Anexo 2.</b> Informe del análisis de suelo.....	54
<b>Anexo 3.</b> Plan de fertilización y cálculo de fertilizante.....	55
<b>Anexo 4.</b> Cuantificación de poblaciones microbianas.....	58

<b>Anexo 5.</b> Evaluación de variables de crecimiento.....	60
<b>Anexo 6.</b> Evaluación del contenido de clorofila.....	60
<b>Anexo 7.</b> Evaluación de la productividad.....	61
<b>Anexo 8.</b> Determinación de las variables bromatológicas.....	61
<b>Anexo 9.</b> Resultados del análisis de contrastes ortogonales y varianza (ANOVA) para la variable Diámetro de tallo(mm) a los 55 días de evaluación.....	62
<b>Anexo 10.</b> Resultados del análisis de contrastes ortogonales y varianza (ANOVA) para la variable Área foliar (cm <sup>2</sup> ) a los 23 días de evaluación.....	62
<b>Anexo 11.</b> Resultados del análisis de contrastes ortogonales y varianza (ANOVA) para la variable Contenido de clorofila a los 23 y 55 días de evaluación.....	63
<b>Anexo 12.</b> Resultados del análisis de contrastes ortogonales y varianza (ANOVA) para la variable Humedad.....	64
<b>Anexo 13.</b> Resultados del análisis de contrastes ortogonales y varianza (ANOVA) para la variable Ceniza.....	64
<b>Anexo 14.</b> Traducción del Abstract.....	65

## **1. Título**

**Influencia de *Pseudomonas* sp. y fertilización nitrogenada en el crecimiento y productividad del romanesco (*Brassica oleracea* var. romanesco) en El Carmen, Loja, Ecuador**

## 2. Resumen

El Romanesco (*Brassica oleracea* var. *romanesco*) es una hortaliza apreciada en mercados europeos por su singular apariencia y alto valor nutritivo, sin embargo, en la provincia de Loja, Ecuador, su cultivo y consumo son muy limitados, lo que presenta un desafío significativo para los agricultores locales que carecen de información detallada y específica sobre su manejo. Las bacterias del género *Pseudomonas sp.* son bacterias promotoras del crecimiento vegetal que han demostrado mejorar la absorción de nutrientes, estimular el desarrollo radicular y aumentar la resistencia de las plantas frente a patógenos. Su uso como bioestimulante constituye una alternativa sostenible frente a los métodos convencionales de fertilización, promoviendo una producción más eficiente y ecológica. En base a los antecedentes, el objetivo principal fue evaluar la influencia de *Pseudomonas sp.* y fertilización nitrogenada en el crecimiento y productividad del romanesco. El estudio se implementó bajo un diseño en bloques completos al azar (DBCA) con un arreglo bifactorial A×B+N. Se evaluaron diez tratamientos con tres repeticiones, considerando dos factores: nutrición (inoculación con *Pseudomonas sp.*, fertilización nitrogenada y su combinación) y frecuencia de aplicación (8, 25 y 40 días después del trasplante). Los resultados mostraron variaciones en la respuesta de las plantas a los tratamientos nutricionales y a la frecuencia de aplicación de *Pseudomonas sp.* y fertilización nitrogenada. La aplicación individual de nitrógeno a los 25 días después del trasplante obtuvo el mayor rendimiento (36,12 t ha<sup>-1</sup>), seguido por la aplicación de *Pseudomonas sp.* a los 8 días (34,93 t ha<sup>-1</sup>). Por otro lado, los tratamientos combinados no mostraron un incremento significativo en el rendimiento, lo que indica que la aplicación individual en momentos clave es más efectiva para el cultivo.

**Palabras clave:** Brassicaceae, bacterias, bioestimulantes, nitrógeno, desarrollo, rendimiento

## **Abstract**

Romanesco (*Brassica oleracea* var. *romanesco*) is a vegetable appreciated in European markets for its unique appearance and high nutritional value; however, in the province of Loja, Ecuador, its cultivation and consumption are minimal, which presents a significant challenge for local farmers who lack detailed and specific information on its management. Bacteria of the genus *Pseudomonas* sp. are plant growth-promoting bacteria that have been shown to improve nutrient uptake, stimulate root development, and increase plant resistance to pathogens. Its use as a biostimulant constitutes a sustainable alternative to conventional fertilization methods, promoting a more efficient and ecological production. Based on this background, the main objective was to evaluate the influence of *Pseudomonas* sp. and nitrogen fertilization on the growth and productivity of romanesco. The study was implemented under a randomized complete block design (RCBD) with a bifactorial A×B+N arrangement. Ten treatments with three replications were evaluated, considering two factors: nutrition (inoculation with *Pseudomonas* sp., nitrogen fertilization and its combination) and frequency of application (8, 25, and 40 days after transplanting). The results showed variations in plant response to nutritional treatments and to the frequency of application of *Pseudomonas* sp. and nitrogen fertilization. The individual application of nitrogen at 25 days after transplanting obtained the highest yield (36.12 t ha<sup>-1</sup>), followed by the application of *Pseudomonas* sp. at 8 days (34.93 t ha<sup>-1</sup>). On the other hand, the combined treatments did not show a significant increase in yield, indicating that individual application at key times is more effective for the crop.

**Key words:** Brassicaceae, bacteria, biostimulants, nitrogen, development, yield.



### 3. Introducción

El Romanesco es una hortaliza ampliamente apreciada en mercados europeos por su singular apariencia y alto valor nutritivo (Echevarría et al., 2009), sin embargo, en Ecuador su cultivo y consumo son aún emergentes, lo que presenta un desafío significativo para los agricultores locales que carecen de información específica sobre su manejo (Saavedra et al., 2023). Ante esta situación, es esencial fomentar el conocimiento y la difusión de técnicas agrícolas que optimicen la producción de romanesco, beneficiando a sus productores y consumidores.

La diversificación de cultivos es una estrategia crucial para mejorar la seguridad alimentaria y reducir la dependencia de cultivos tradicionales, lo que genera nuevas oportunidades en el mercado local. En dicho contexto, el cultivo de romanesco podría ser una alternativa viable que contribuya a la economía agrícola del país. No obstante, para lograr una producción eficiente y rentable, es fundamental entender las necesidades nutricionales específicas de la hortaliza (Guamán y Flores, 2023).

El nitrógeno es uno de los nutrientes más importantes para el desarrollo vegetal, impacta en el crecimiento, la expansión foliar y la producción de biomasa (Yoldas et al., 2008). Sin embargo, el uso excesivo de fertilizantes nitrogenados puede resultar contraproducente, llega a prolongar el crecimiento vegetativo y aumenta la susceptibilidad a plagas y enfermedades (Anas et al., 2020). Por ello, es necesario encontrar un equilibrio adecuado en la fertilización que maximice los beneficios y minimice los riesgos.

Las bacterias promotoras del crecimiento vegetal (PGPR), como *Pseudomonas* spp., han demostrado ser una alternativa sostenible y efectiva para mejorar el crecimiento y el rendimiento de diversos cultivos entre ellos maíz, guisante, tomate, arroz, pimiento y espinacas, cebolla, garbanzo, trigo, lechuga, coliflor, entre otros (Kandasamy et al., 2009; Hou et al., 2013; Bona et al., 2017; Novello et al., 2021; Adeniji et al., 2022). Aquellas bacterias no solo favorecen la absorción de nutrientes, también producen metabolitos bioactivos que incrementan la resistencia de las plantas a patógenos (Morris et al., 2019). Estudios previos han mostrado que la aplicación de cepas de *Pseudomonas*, como *P. fluorescens* y *P. aeruginosa*, puede mejorar la masa fresca y seca de las plantas, además de fortalecer su resistencia a enfermedades (Rokhzadi et al., 2008; Singh et al., 2021).

La presente investigación se centra en evaluar la influencia de la inoculación con *Pseudomonas* sp. y la fertilización nitrogenada en el crecimiento y la productividad del

romanesco en El Carmen, Loja, Ecuador. La investigación no solo pretende aumentar el rendimiento y calidad del romanesco, sino también proporcionar a los agricultores locales herramientas y conocimientos necesarios para adoptar prácticas agrícolas más sostenibles y eficientes. De esta manera, se busca aprovechar al máximo el potencial de la hortaliza tanto en el mercado local como en el internacional, promoviendo un enfoque agrícola más respetuoso con el medio ambiente.

Con base a los antecedentes, la investigación tuvo los siguientes objetivos:

### **Objetivo General**

- ✓ Evaluar la influencia de *Pseudomonas* sp. y fertilización nitrogenada en el crecimiento y productividad del romanesco en El Carmen, Loja, Ecuador.

### **Objetivos Específicos**

- ✓ Determinar la influencia de *Pseudomonas* sp. y fertilización nitrogenada en el crecimiento y productividad del romanesco en El Carmen, Loja, Ecuador.
- ✓ Evaluar el efecto de la aplicación de *Pseudomonas* sp. y fertilización nitrogenada en la composición bromatológica de la pella de Romanesco en El Carmen, Loja, Ecuador.

## 4. Marco Teórico

### 4.1. Romanesco

El romanesco, también llamado romanesco calabrés, coliflor torreta, brócoli de coral o brócoli minarete, es una variedad de *Brassica oleracea* perteneciente a la familia Brassicaceae. Se trata de una variedad de brócoli con un atractivo diseño vegetal caracterizado por sus floretes de color verde pálido. La hortaliza destaca por su patrón espiral cónico fractal, una fascinante manifestación de filotaxis (Figura 1), lo que le confiere un aspecto cautivador (Rana, 2017).



**Figura 1.** Romanesco (*Brassica oleracea* var. romanesco) en etapa de cosecha. Autoría propia

#### *i. Etapas de crecimiento del Romanesco*

Según Saavedra et al. (2023), el romanesco presenta un sistema de crecimiento similar al del brócoli y la coliflor. Estas tres especies son anuales y alógamas, lo que significa que requieren polinización cruzada. El ciclo de crecimiento del romanesco se divide en tres fases distintas.

- ✓ **Fase 1- juvenil** o herbácea que va desde la germinación a la formación de una roseta helicoidal de hojas verdes.
- ✓ **Fase 2- inducción floral** donde comienza la diferenciación floral y la aparición de un botón pequeño en medio de la roseta de hojas.
- ✓ **Fase 3 - aparición de una pella** (masa compacta de ramificaciones florales) verde en el caso de brócoli y verde-amarillenta en romanesco.



**Figura 2.** Fases de crecimiento y desarrollo del romanesco. Autoría propia

### *ii. Requerimientos climáticos*

El romanesco requiere condiciones de temperatura y humedad similares a las de otras variedades de brócoli o coliflor, aunque es menos tolerante a los extremos de calor o frío. Se desarrolla en zonas con climas frescos y húmedos, pero no prospera en áreas con temperaturas muy bajas. La temperatura mínima promedio para su cultivo es de 7 °C. Durante la etapa juvenil, las plantas pueden soportar heladas leves; sin embargo, en la fase de maduración de la cabeza, las heladas pueden causar daños significativos. Por otro lado, el clima cálido afecta la productividad y la calidad de la pella, por lo que las plantas que maduran en meses calurosos suelen presentar una calidad inferior (Zamora, 2016). El romanesco prospera mejor en climas frescos, con temperaturas óptimas que oscilan entre 15 y 20 °C, condiciones que favorecen la formación de pellas compactas y de alta calidad (Pinto, 2014).

### *iii. Requerimiento del suelo*

Se desarrolla en suelos bien drenados, profundos y fértiles. Prefiere suelos con alto contenido de materia orgánica y un pH entre 6,5 y 7,5, aunque puede tolerar suelos alcalinos de pH hasta 8,0, su crecimiento se ve afectado en suelos ácidos (Pinto, 2014).

#### *4.1.4. Requerimiento nutricional*

El cultivo de romanesco requiere una nutrición adecuada para alcanzar altos rendimientos. Como referencia, se recomienda aplicar 180-220 kg ha<sup>-1</sup> de nitrógeno, 25-40 kg ha<sup>-1</sup> de fósforo y 200-300 kg ha<sup>-1</sup> de potasio, ajustando las dosis según la fertilidad del suelo y el rendimiento esperado. Es fundamental aportar fósforo, potasio y un tercio del nitrógeno en la siembra, mientras que el nitrógeno restante debe dividirse en dos aplicaciones: una durante la fase de crecimiento vegetativo y otra en la etapa de formación de la pella. Además, para prevenir deficiencias nutricionales, se recomienda agregar 15-20 kg ha<sup>-1</sup> de boro y 1-2 kg ha<sup>-1</sup> de molibdeno en la siembra, especialmente en suelos alcalinos.

#### ***4.1.5. Cosecha***

El ciclo de producción del romanesco, desde la plantación hasta el inicio de la cosecha, varía entre 90 y 110 días, en dependencia de la temperatura y el genotipo cultivado. La pella se corta en la base cuando alcanza el tamaño comercial adecuado (15-25 cm de diámetro), asegurándose de que esté compacta, firme y de color verde claro con tintes amarillentos, antes de que los floretes comiencen a abrirse. Se recomienda realizar el corte cerca del nivel del suelo y retirar las hojas externas, dejando algunas para proteger la pella durante el empaquetado y transporte (Saavedra et al., 2023).

#### ***4.1.6. Rendimiento***

El rendimiento depende de la variedad, la fertilidad del suelo, las fuentes de riego, la temporada de crecimiento, las condiciones climáticas de la región donde se cultive y las prácticas agrícolas adoptadas por los productores. Su rendimiento promedio está entre 16 y 25 t ha<sup>-1</sup> (Rana, 2017).

### **4.2. Importancia de la fertilización en la producción agrícola**

La capacidad de suministro de nutrientes de los suelos tiene una influencia significativa en la productividad de los cultivos y la acumulación de nutrientes. Por lo tanto, es necesaria una fertilización equilibrada del suelo para evitar un mayor deterioro de su fertilidad y aumentar la productividad. La fertilización no solo mejora el rendimiento del primer cultivo de la rotación, sino que también proporciona una ventaja residual significativa a los cultivos posteriores (Yousaf et al., 2017). La rentabilidad agrícola y una mayor eficiencia en el uso de nutrientes se pueden lograr mediante una mejor gestión de los nutrientes de las plantas, que incluya aplicaciones óptimas de fertilizantes. Se requieren más estudios sobre la distribución de fertilizantes N, P y K para las rotaciones de cultivos para abordar la variabilidad de los ingresos económicos y el riesgo de contaminación ambiental por actividades de fertilización agrícolas (Jalal et al., 2023).

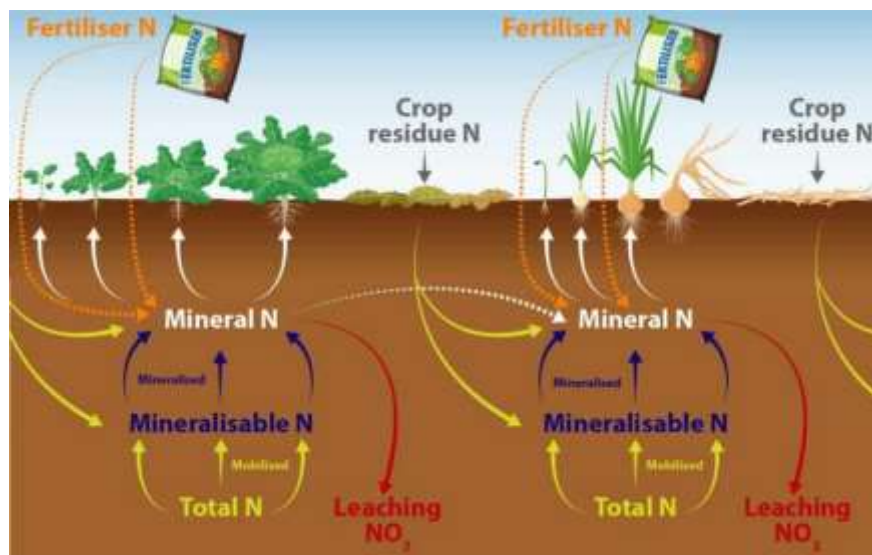
#### ***4.2.1. Nitrógeno en la agricultura***

El nitrógeno representa aproximadamente el 60 % del fertilizante consumido anualmente en el mundo, constituyendo uno de los principales costos de insumos para la mayoría de los cultivos no leguminosos (Wang et al., 2018). Una aplicación adecuada del elemento puede incrementar su disponibilidad en el suelo y favorecer la acumulación de carbono orgánico (Coskun et al., 2017). Además, una fertilización moderada promueve el

contenido de nitrógeno disponible, lo que puede mejorar la biomasa y la actividad microbiana del suelo (Zou et al., 2009).

#### 4.2.2. Ciclo del nitrógeno

En el suelo, la mayor parte del nitrógeno se encuentra en forma orgánica, inmovilizado en la materia orgánica y en microorganismos, por lo que no está inmediatamente disponible para las plantas. La mineralización, un proceso llevado a cabo por microorganismos del suelo, convierte el nitrógeno orgánico en formas inorgánicas, principalmente amonio ( $\text{NH}_4^+$ ) y nitrato ( $\text{NO}_3^-$ ), que son las formas asimilables por las plantas. El nitrógeno aplicado como fertilizante puede estar en forma de amonio, nitrato o urea (Figura 3). Sin embargo, su disponibilidad y eficiencia dependen de factores como la temperatura, la humedad del suelo y la actividad microbiana. En este sentido, *Pseudomonas sp.* puede influir en la dinámica del nitrógeno, promoviendo su solubilización y disponibilidad para las plantas, además de contribuir a la fijación biológica de nitrógeno y mejorar la eficiencia de su absorción (Singh et al., 2018).



**Figura 3.** Esquema representativo del ciclo del nitrógeno en el suelo durante el desarrollo de un cultivo de brócoli, seguido de cebolla en un sistema de rotación agrícola. El diagrama ilustra el movimiento del nitrógeno sin considerar las pérdidas gaseosas. Imagen de Donna Gibson, © Plant & Food Research

#### 4.3. *Pseudomonas* como rizobacterias promotoras del crecimiento vegetal

Kloepper y Schroth (1978) definieron por primera vez las rizobacterias promotoras del crecimiento vegetal (PGPR) como las bacterias del suelo que colonizan las raíces y mejoran el crecimiento de las plantas mediante diferentes mecanismos. No son específicas de un huésped, lo que significa que tienen la ventaja de promover el crecimiento de una amplia gama de hospederos. Varias bacterias rizosféricas como *Azospirillum*, *Azotobacter*, *Arthrobacter*, *Alcaligenes*, *Bacillus*, *Burkholderia*, *Enterobacter*, *Klebsiella*, *Pseudomonas* y *Serratia* han

sido identificados por su capacidad para mejorar el crecimiento y desarrollo de cultivos hortícolas (Lavudi et al., 2023).

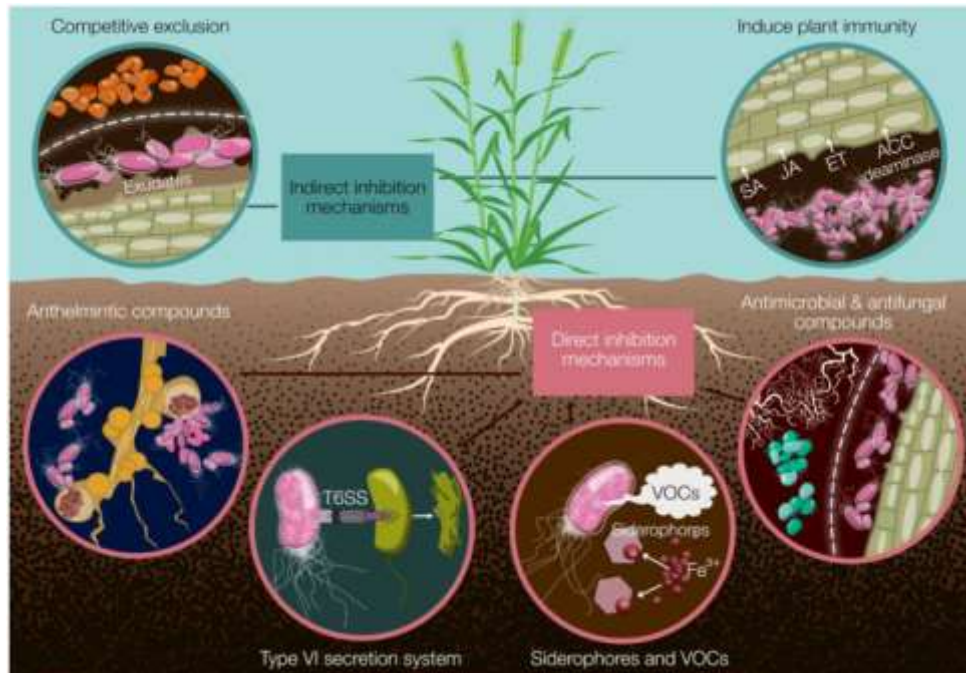
Diferentes estudios han reportado el uso de bacterias promotoras del crecimiento vegetal en una amplia variedad de cultivos agrícolas. Por ejemplo, Saika et al. (2018) descubrieron que *Pseudomonas* es un género de bacterias gramnegativas que poseen varios atributos necesarios para promover el crecimiento de las plantas. La mayoría de *Pseudomonas* han sido aislados de la rizosfera, algunos también han sido aislados como endófitos en algunas raíces de plantas. Se ha informado que aumentan la productividad y actúan como control biológico de plagas y patógenos. También hay informes que *Pseudomonas* son bacterias promotoras del crecimiento vegetal, debido a su capacidad para producir auxinas, solubilización de fosfatos y producción de sideróforos (Ikhajiagbe et al., 2021).

#### ***4.3.1. Diversidad e interacciones vegetales de especies de Pseudomonas***

Las especies de *Pseudomonas* destacan por su notable diversidad y capacidad para interactuar con una amplia variedad de plantas, desempeñando un papel crucial en la rizosfera (Jain et al., 2020). La capa de suelo, influenciada por los exudados de las raíces, es un punto clave para la colonización microbiana, donde *Pseudomonas* spp. se establece como un componente principal del microbioma (Raio y Puopolo, 2021). Su versatilidad metabólica y plasticidad genética le permiten adaptarse a diversos tipos de suelo y condiciones ambientales, lo que facilita su colonización en las raíces de plantas como *Arabidopsis thaliana*, patatas, arroz, trigo y cebada (Jain et al., 2020). Las interacciones están mediadas por complejos diálogos moleculares, donde los exudados de las raíces actúan como quimioatrayentes, guiando a *Pseudomonas* hacia la rizosfera (Wang et al., 2017). Una vez allí, las bacterias emplean sistemas de quimiotaxis y detección de quórum para modular su comportamiento y adaptarse a las señales ambientales (Schikora et al., 2016).

Además, *Pseudomonas* spp. participa en el ciclado de nutrientes, facilitando la captación y asimilación de nutrientes esenciales por las plantas (Chaudhary et al., 2021). A través de la producción de fitohormonas, sideróforos y otros metabolitos secundarios, las bacterias estimulan el crecimiento radicular, mejoran la adquisición de nutrientes y confieren resistencia al estrés ambiental, como se ilustra en la Figura 4 (Sun et al., 2022). Sin embargo, es importante destacar que, aunque muchas cepas de *Pseudomonas* son beneficiosas, algunas especies pueden exhibir rasgos fitopatógenos, como *Pseudomonas syringae*, que causa enfermedades en plantas mediante la producción de factores de virulencia (Alatas et al., 2023).

Esta dualidad resalta la complejidad de las interacciones entre *Pseudomonas* y las plantas, posicionándolas como organismos clave en la salud vegetal y el manejo sostenible de cultivos.



**Figura 4.** Potencial de *Pseudomonas* spp. en el biocontrol y la agricultura sostenible. Tomado de Harnessing *Pseudomonas* spp. for sustainable plant crop protection, por Alattas et al., 2024. *Frontiers in Microbiology*.

#### 4.4. Antecedentes investigativos del uso de fertilizante y bacterias promotoras del crecimiento vegetal en diversos cultivos de interés agrícola

En la investigación realizada por Saikia et al. (2018), descubrieron que la cepa *Pseudomonas aeruginosa* mejoró el crecimiento de las plantas de *Vigna radiata* (frijol mungo) bajo condiciones de sequía debido a que la rizobacteria incrementó la eficiencia del uso del agua en la planta. Por otro lado, Rai y Nabti (2017), informaron que la inoculación de suelo de campo en macetas con *Pseudomonas protegens* RS-9 RS-9 es una cepa prometedora para el control biológico de la marchitez bacteriana (*Ralstonia solanacearum*) del tomate. La investigación reveló un aumento significativo en la altura y el peso seco de la planta de tomate. Además, la incidencia de marchitez bacteriana se redujo en un 65,6 % y redujo el patógeno en un 63 % en el suelo en comparación con el control.

Estudios en brasicáceas, se ha encontrado en el estudio realizado por Tanwar et al. (2014) que la producción de brócoli depende de la absorción de P del suelo y que *Pseudomonas fluorescens*, una bacteria solubilizante, aumentó el crecimiento del brócoli cuando se aplicó con una cantidad significativa de fertilizante. Por otra parte, se ha encontrado que la inoculación de plantas de colza con con *Pseudomonas* sp. y *Azospirillum* sp. mitigaron el



estrés salino aumentando la solubilización y disponibilidad de macro y micronutrientes para una mejor absorción en la parte aérea de la planta huésped (Farhangi-Abriz et al., 2020).

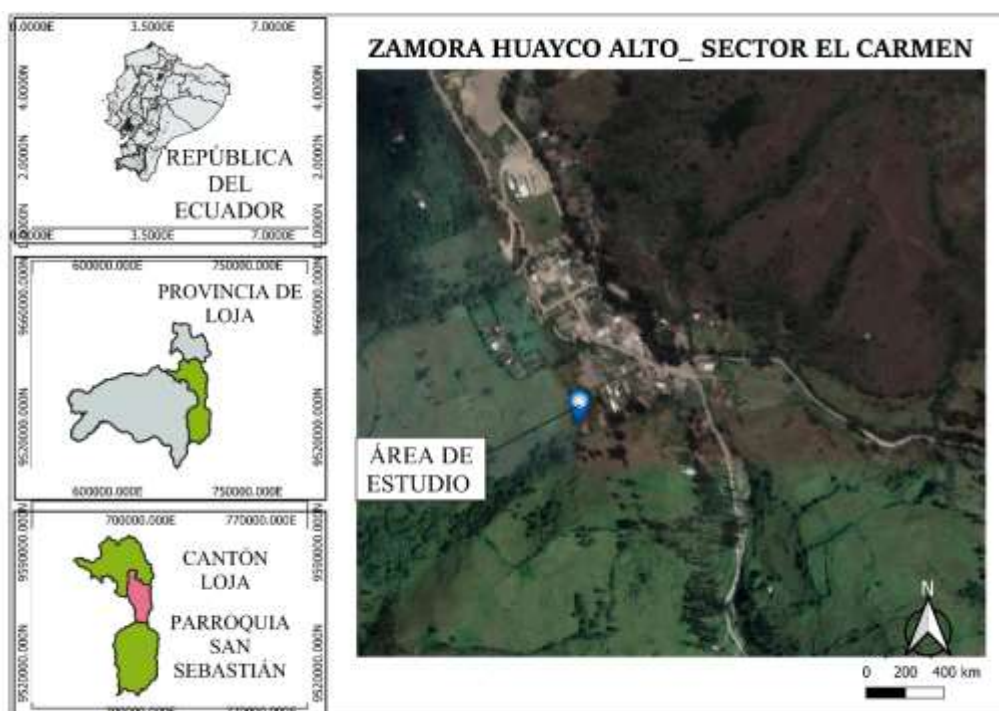
**Tabla 1.** Antecedentes de *Pseudomonas* spp. como bioestimulantes y agentes biocontrol en la producción de hortalizas.

<i>Pseudomonas</i> spp.	Cultivo de hortalizas	Modo de tratamiento	Efecto sobre los cultivos
<i>Pseudomonas fluorescens</i>	<i>Arachis hipogea</i>	Tratamiento de semillas	Produjo desaminasa del ácido 1-aminociclopropano-1-carboxílico (ACC) para conferir resiliencia contra el estrés salino (Saravanakumar y Samiyappan, 2007)
<i>Pseudomonas</i> spp. PS1	<i>Vigna irradia</i>	Tratamiento de semillas	Aumento de la biomasa vegetal, el rendimiento y el contenido de proteínas (Ahemad et al., 2012).
<i>Bacillus cereus</i> BC1AW y <i>Pseudomonas putida</i> PP3WT	<i>S. lycopersicum</i>	Tratamiento de plántulas	Enfermedad de marchitez bacteriana mejorada (Kurabachew y Wydra, 2013)
<i>Pseudomonas fluorescens</i>	<i>Solanum tuberosum</i>	Tratamiento del suelo	Protección contra el patógeno <i>Ralstonia solanacearum</i> . Reducción de la incidencia de marchitez bacteriana y mejor crecimiento (Kuarabachew et al., 2007)
<i>Trichoderma viride</i> ES1 y <i>Pseudomonas fluorescens</i> Bak150	<i>S. tuberosum</i>	Pulverización foliar	Supresión del tizón temprano y aumento del rendimiento (Zegeye et al., 2011).
<i>T. harzianum</i> + <i>Pseudomonas</i> spp.	<i>S. lycopersicum</i>	....	Protección contra <i>Sclerotium rolfsii</i> (Singh et al., 2014).
<i>Azospirillum brasilense</i> , <i>Pseudomonas fluorescens</i> y <i>Bacillus megaterium</i>	<i>Cucumis sativus</i>	Tratamiento de plántulas y pulverización foliar.	Mejora de la calidad de la fruta (Salim et al., 2021).
<i>Pseudomonas fluorescens</i> , <i>Pseudomonas</i> spp., <i>Bacillus subtilis</i>	<i>C. sativus</i>	Tratamiento de semillas	Protección contra la amortiguación mediante la producción de antibióticos y metabolitos y la inducción de resistencia sistémica (Khabbaz y Abbasi, 2014).

## 5. Metodología

### 5.1. Descripción del área de investigación

El estudio se situó en la provincia y cantón Loja, parroquia San Sebastián, sector El Carmen, Zamora Huayco Alto (4°01'48.5" S, 79°10'55.2" O). Desde el punto de vista ecológico, el lugar se sitúa a una altitud de 2200 msnm, con una temperatura promedio anual de 16 °C y una precipitación anual de 900 mm. La región se encuentra en la zona ecológica de Bosque Seco Montano Bajo (bs-MB) en la región de la Sierra de Ecuador (Pucha et al., 2020) (Figura 5).



**Figura 5.** Ubicación del estudio en el contexto de la República del Ecuador, provincia Loja, cantón Loja, parroquia San Sebastián, barrio Zamora Huayco alto, sector el Carmen. Autoría propia.

### 5.2. Diseño experimental

Se utilizó un diseño en bloques completos al azar (DBCA) con un arreglo bifactorial  $A \times B + N$  ( $3 \times 3 + 1$ ). Los tratamientos fueron el resultado de la combinación de los factores en estudio. El primer factor se denominó nutrición y contempló la aplicación individual de *Pseudomonas* sp., Nitrógeno y la combinación de *Pseudomonas* sp. junto con Nitrógeno. El segundo factor fue la frecuencia de aplicación (8, 25 y 40 días después de trasplante). Se adicionó un testigo en el que no se aplicó ningún tratamiento, aquello resultó en 10 tratamientos con tres repeticiones (Tabla 2), los cuales se pueden observar esquematizados en la Figura 6.

Para ello se cuenta con el siguiente detalle del experimento:

- ✓ Número de tratamientos: 10
- ✓ Número de repeticiones por tratamiento: 3
- ✓ Número total de parcelas: 30
- ✓ Unidad experimental: 1 parcela
- ✓ Largo de la parcela 3 m
- ✓ Ancho de la parcela 2 m
- ✓ Distancia entre hilera 0,60 m
- ✓ Distancia entre planta 0,40 m
- ✓ Distancia entre bloques 0,50 m
- ✓ Distancia entre parcelas 0,50 m
- ✓ Número de plantas a evaluar por parcela 9

**Tabla 2.** Descripción de los tratamientos aplicados (única vez) con diferentes fuentes de nutrición y frecuencias de aplicación a días específicos después del trasplante.

No.	Símbolo	Factor 1 Nutrición	Factor 2 Frecuencia de aplicación
1	T1	<i>Pseudomonas</i>	8 días después del trasplante
2	T2	<i>Pseudomonas</i>	25 días después del trasplante
3	T3	<i>Pseudomonas</i>	40 días después del trasplante
4	T4	Nitrógeno	8 días después del trasplante
5	T5	Nitrógeno	25 días después del trasplante
6	T6	Nitrógeno	57 días después del trasplante
7	T7	<i>Pseudomonas</i> + Nitrógeno	8 días después del trasplante
8	T8	<i>Pseudomonas</i> + Nitrógeno	25 días después del trasplante
9	T9	<i>Pseudomonas</i> + Nitrógeno	40 días después del trasplante
10	T10		Testigo

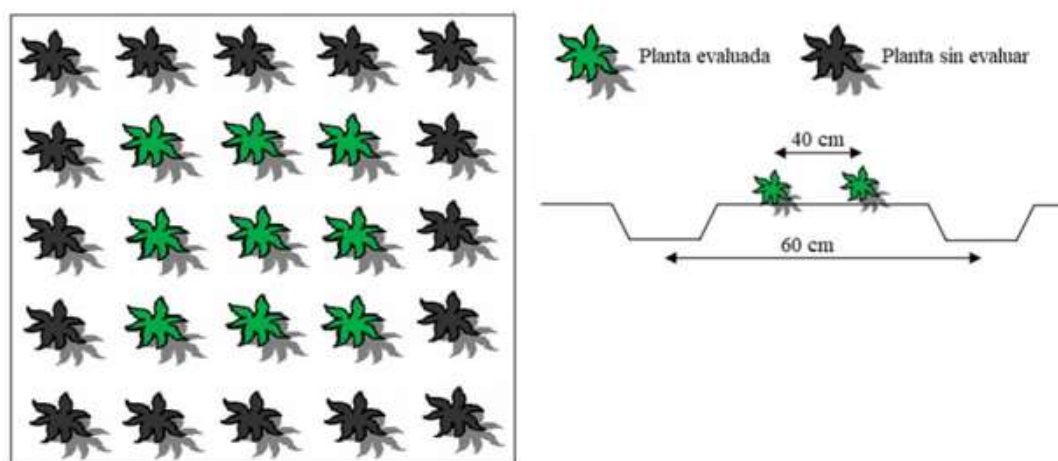


**Figura 6.** Diseño experimental implementado en campo con la aplicación de *Pseudomonas* y Nitrógeno.

Los tratamientos se aplicaron en tres momentos específicos: a los 8, 25 y 40 días después del trasplante, correspondientes a las fases de crecimiento vegetativo temprano (expansión de las primeras hojas verdaderas), fase juvenil (formación de una roseta helicoidal de hojas verdes) y desarrollo vegetativo (mayor expansión foliar). La evaluación de los tratamientos se realizó 15 días después de cada aplicación, es decir, a los 23, 40 y 55 días después del trasplante.

### 5.2.1. Unidad Experimental

La unidad experimental estuvo conformada por una parcela de 3×2 metros, la cual contuvo un total de 25 plantas. Las plantas estuvieron distribuidas con un marco de plantación de 0,40 m entre cada planta y 0,60 m entre surcos. Para la evaluación, se seleccionaron nueve plantas específicas dentro de esta parcela experimental (Figura 7).



**Figura 7.** Unidad experimental con distribución de plantas y selección para evaluación.

### 5.3. Análisis de suelo

Se tomaron 10 submuestras de suelo en zigzag para cubrir toda el área, se extrajo cada una a 20 cm de profundidad con un barreno. Las submuestras fueron mezcladas en un balde plástico y se seleccionó 1 kg de la mezcla, que se empaquetó y envió al laboratorio de Agrocalidad (Tumbaco, Quito) para análisis fisicoquímico. El método de preparación y elaboración de extractos se detalla en la Tabla 3.

**Tabla 3.** Métodos utilizados para los parámetros del análisis de suelo.

Parámetros	Técnica	Método interno	Método de referencia
pH	Electrometría	PEE/SFA/06	EPA 9045 D
Conductividad	Conductimetría	PEE/SFA/08	
Nitrógeno	Cálculo	PEE/SFA/09	RELEASE
Fósforo	Colorimetría	PEE/SFA/11	
Potasio			
Calcio	Absorción atómica	PEE/SFA/12	RELEASE
Magnesio			
Hierro			
Manganeso	Absorción atómica	PEE/SFA/13	RELEASE
Cobre			

Zinc			
Materia orgánica	Volumetría	PEE/SFA/09	RELEASE
Capacidad de intercambio catiónico (CIC)	Absorción atómica	PEE/SFA/14	RELEASE

## 5.4. Manejo del cultivo

### 5.4.1. Preparación del suelo

Se realizó a través de labores de roturación con tracción mecánica que consistió en un arado de discos. Posteriormente, se procedió a triturar el suelo con herramientas tradicionales como el pico, azadón, y con el rastrillo se dejó el terreno lo más homogéneo posible.

### 5.4.2. Siembra y trasplante

Se emplearon semillas importadas de origen italiano de romanesco, con un porcentaje de germinación del 85 % y una pureza del 97 % (Anexo 1). Las semillas se sembraron en seis bandejas germinadoras con capacidad para 200 plántulas cada una. Como sustrato, se utilizó una mezcla de tierra agrícola y turba en proporción 2:1. Tras un mes, cuando las plántulas presentaron tres hojas verdaderas y una altura de 10-13 cm, se llevó a cabo el trasplante, y posteriormente se iniciaron las aplicaciones de los tratamientos correspondientes.

### 5.4.3. Obtención de *Pseudomonas*

La cepa de *Pseudomonas* fue proporcionada por el laboratorio de Biotecnología de la Universidad Nacional de Loja, en una concentración de  $1 \times 10^8$  UFC mL<sup>-1</sup>. La cepa se ha utilizado en varias investigaciones y tesis realizadas en la Universidad Nacional de Loja, destacando trabajos como los de Córdova (2023), Tinoco (2024), y Cumbicos (2024). En la actualidad, la cepa se emplea en un bioproducto mixto que combina microorganismos benéficos, diseñado específicamente para promover un crecimiento saludable y sostenible en cultivos hortícolas.

### 5.4.4. Fertilización

La fertilización se llevó a cabo siguiendo un plan elaborado en función del análisis de suelo y las recomendaciones nutricionales para el cultivo, según lo establecido por Bertsch (2009). El plan de fertilización se diseñó con tres frecuencias de aplicación para cada tratamiento, ajustándose a las necesidades del cultivo y asegurando una distribución equilibrada del nitrógeno. Como fuente de nitrógeno, se utilizó urea, con una concentración del

46 %. Para los tratamientos que incluyeron este fertilizante, se requirió un total de 10,89 kg de urea. Los detalles de la dosificación se especifican en la Tabla 4, mientras que el procedimiento de cálculo se encuentra en el Anexo 3. No fue necesario realizar correcciones de micronutrientes, fósforo ni potasio, ya que los niveles presentes en el suelo, según el análisis realizado (Anexo 2), resultaron adecuados para satisfacer las demandas del cultivo.

**Tabla 4.** Dosis de urea y *Pseudomonas* por frecuencia de aplicación

Símbolo	Factor 1	Factor 2	Dosis de tratamientos	
	Nutrición	Frecuencia de aplicación	Urea (g/planta)	<i>Pseudomonas</i> (UFC mL <sup>-1</sup> ) (1x10 <sup>8</sup> )
T1	<i>Pseudomonas</i>	8 días después del trasplante	No aplica	5 ml/ planta
T2	<i>Pseudomonas</i>	25 días después del trasplante	No aplica	5 ml/ planta
T3	<i>Pseudomonas</i>	40 días después del trasplante	No aplica	5 ml/ planta
T4	Nitrógeno	8 días después del trasplante	5,33	No aplica
T5	Nitrógeno	25 días después del trasplante	18,66	No aplica
T6	Nitrógeno	40 días después del trasplante	48,66	No aplica
T7	<i>Pseudomonas</i> + Nitrógeno	8 días después del trasplante	5,33	5 ml/ planta
T8	<i>Pseudomonas</i> + Nitrógeno	25 días después del trasplante	18,66	5 ml/ planta
T9	<i>Pseudomonas</i> + Nitrógeno	40 días después del trasplante	48,66	5 ml/ planta
T10		Testigo		No aplica

#### 5.4.5. Control fitosanitario

Se realizaron inspecciones periódicas en el cultivo para detectar la presencia de plagas, enfermedades y arvenses. El control de malezas se llevó a cabo de manera regular mediante el uso de herramientas manuales. Para el manejo de enfermedades, se aplicó el fungicida Ridomil Gold (Metalaxil + Mancozeb) a una dosis de 60 g por bomba de 20 litros de agua, con el fin de controlar *Phytium*, *Phytophthora* y algunas cepas de *Rhizoctonia* presentes en el suelo. En el control de plagas, se empleó el insecticida Engeo (Tiametoxam + Lambdacihalotrina) a una dosis de 10 ml por bomba de 20 litros de agua.

#### 5.4.6. Cosecha

Se evaluó la pella antes de la cosecha, buscando un color verde intenso y una textura firme. Se utilizó una tijera de podar para cortar las pellas de manera precisa, evitando dañar otras partes de la planta y se dejó un pedúnculo de al menos 5 cm de longitud para facilitar su manipulación y conservación (Jadhav et al., 2021).

## **5.5. Metodología para el primer objetivo: Determinar la influencia de *Pseudomonas* sp. y fertilización nitrogenada en el crecimiento y productividad del romanesco en El Carmen, Loja, Ecuador**

### **5.5.1. Aplicación y sobrevivencia de *Pseudomonas* en el suelo**

Las aplicaciones de *Pseudomonas* sp. se realizaron directo al suelo alrededor de la planta, se utilizó una dosis de 5 ml por planta y la aplicación se realizó a los 8, 25 y 40 días posteriores al trasplante. Al concluir el estudio, se tomaron muestras generales de suelo tanto en las áreas tratadas como las del control con el fin de cuantificar la población microbiana (Anexo 4), para ello se siguió el método empleado por Manasa et al. (2017), mediante diluciones seriadas a partir de 10 g de suelo en 90 mL de solución salina (0,9 % p/v). Tras agitar durante 15 minutos, se prepararon diluciones seriadas de suspensiones de suelo. Se sembraron 100 µl de estas diluciones en placas de Petri con agar y se incubaron a  $28 \pm 2$  °C durante 72 horas, manteniendo dos réplicas por dilución. Las placas se examinaron a diario hasta tres días para contar colonias bacterianas. Para la cuantificación de *Pseudomonas*, se utilizó el medio de cultivo King's B (KB medium), el cual favorece el crecimiento selectivo de estas bacterias y la producción de pigmentos fluorescentes característicos. Las placas con medio KB fueron incubadas a  $30 \pm 1$  °C, permitiendo la identificación y conteo de las colonias de *Pseudomonas*.

### **5.5.2. Variables evaluadas**

**5.5.2.1. Variables de crecimiento.** Para las variables de crecimiento se realizaron tres mediciones a los 23, 40 y 55 días, es decir, 15 días después de la aplicación de cada tratamiento (Anexo 5).

Las variables evaluadas fueron las siguientes:

**Altura de la planta.** Se midió desde la base de la planta (a nivel del suelo) hasta el punto más alto del follaje, utilizando un flexómetro y expresando la medida en centímetros.

**Diámetro del tallo.** Para el diámetro del tallo, se tomaron medidas con un calibrador Vernier digital en la parte media del tallo y los datos se expresaron en milímetros.

**Número de hojas.** Se contabilizaron únicamente las hojas completamente expandidas de cada planta, sin incluir aquellas que aún no habían alcanzado su desarrollo total.

**Área foliar.** Se seleccionaron hojas representativas de cada planta y se midió el largo y ancho de cada hoja mediante el método no destructivo en brócoli usado por (Stoppani, 2003). El área foliar se calculó mediante la fórmula:

$$A= 0,63 (L \times A)$$

Donde:

A = área foliar de la hoja

L = longitud de la hoja

A= ancho de la hoja.

Coefficiente= 0,63

**Peso de la biomasa aérea y radicular.** El peso de la biomasa aérea y radicular se determinó al final de la etapa de evaluación en peso fresco. Para ello, se recolectaron muestras de las partes aéreas de la planta, que incluyen tallos, hojas y entrenudos, así como de las raíces. Las muestras fueron pesadas inmediatamente después de su recolección, registrando el peso fresco de cada una.

**Contenido relativo de clorofila.** Se midió seleccionando tres hojas completamente expandidas por planta, procurando que fueran representativas del desarrollo del follaje. Se eligieron hojas de la parte media del tallo, evitando hojas muy jóvenes o senescentes, para asegurar mediciones consistentes. Las mediciones se realizaron en un punto intermedio entre la parte media y apical de cada hoja (Anexo 6), utilizando un medidor portátil SPAD. La primera evaluación se llevó a cabo a los 23 días después del trasplante (15 días después de la aplicación de los tratamientos), y las siguientes mediciones se realizaron de acuerdo con la adición de los tratamientos hasta el final del estudio.

### 5.5.2.3. Variables de productividad.

**Diámetro de las pellas.** Se utilizó un calibrador para medir el diámetro de un extremo al otro de la pella.

**Peso fresco de las pellas.** Se utilizó una balanza para determinar el peso fresco en kilogramos (Anexo 7).

**Productividad.** Para calcular la productividad en  $\text{kg ha}^{-1}$  se trabajó con la siguiente fórmula:

$$\text{Productividad}(\text{kgha}^{-1}) = \left( \frac{\text{Número de plantas por ha} \times \text{Peso promedio por pella}(\text{g})}{1000} \right)$$

### 5.6. Metodología para el segundo objetivo: Evaluar el efecto de la aplicación de *Pseudomonas sp.* y fertilización nitrogenada en la composición bromatológica de la pella de Romanesco en El Carmen, Loja, Ecuador

La composición bromatológica se determinó siguiendo los procedimientos establecidos en la Compilación de técnicas para el análisis bromatológico de la Universidad Nacional de



Loja. Los métodos específicos empleados incluyeron humedad, cenizas, proteína cruda y materia seca (Anexo 8).

### 5.6.2. Variables evaluadas

**5.6.2.1. Humedad.** La muestra de las pellas de romanesco se colocó en bolsas de papel, asegurándose de que no quedaran demasiado compactas. Las bolsas se introdujeron en una estufa a una temperatura de  $65 \pm 5$  °C, hasta alcanzar un peso constante. Luego, las bolsas se mantuvieron en un lugar seco para equilibrar la humedad de las muestras con la del ambiente por 10 minutos. Una vez secas, las muestras se pesaron y se trituraron utilizando un tamiz de 1 mm. Por último, las muestras molidas se depositaron en recipientes herméticos, se etiquetaron de manera adecuada con el registro del laboratorio y se almacenaron para su posterior análisis (Guerrero, 2020). Para calcular el contenido de humedad, primero se calculó el peso seco de la pella (MSP) con la siguiente fórmula:

$$\% \text{ MSP} = \frac{\text{Peso de la muestra parcialmente seca}}{\text{Peso muestra "TCO"}} * 100$$

Después se obtuvo el porcentaje de humedad inicial (HI) o porcentaje de humedad parcial (HP) que se calculó mediante la fórmula:

$$\% \text{ HI} = 100 - \% \text{ MSP}$$

**5.6.2.2. Cenizas.** Los crisoles limpios y secos se colocaron en la mufla a 600°C durante una hora y luego se enfriaron a temperatura ambiente en el desecador antes de pesarse. Posteriormente, se pesaron entre 1,5 y 2 gramos de la muestra homogenizada por diferencia en el crisol. Por último, los crisoles con la muestra se colocaron de nuevo en la mufla a 600°C, manteniéndose hasta obtener cenizas blancas o grisáceas (Guerrero, 2020). Para calcular el porcentaje de cenizas se utilizó la fórmula a continuación:

$$\% \text{ Cenizas} = \frac{\text{Peso de crisol muestra} - \text{peso crisol cenizas}}{\text{Peso de la muestra}} * 100$$

**5.6.2.3. Proteína total.** Para la determinación de nitrógeno, se procedió con la digestión, donde se colocó 4 g de la muestra homogenizada con una precisión de  $\pm 1$  mg en un

tubo Kjeldahl de 500 ml. Se añadió un catalizador y 10 a 20 ml de H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> concentrado, asegurándose de que todo el material estuviera sumergido en el ácido para evitar pérdidas de nitrógeno. La digestión tomó entre 1 y 3 horas, con la rampa de temperatura ajustada según el protocolo. Posterior a ello, se realizó la destilación, para lo cual se preparó un erlenmeyer con 25-50 ml de H<sub>3</sub>BO<sub>3</sub> al 4 % y unas gotas de indicador Mortimer (de color rojo), ubicándolo a la salida del refrigerante con el extremo sumergido en la solución ácida. El equipo añadió NaOH al 40 % para neutralizar el ácido sulfúrico, observándose el viraje del indicador a azul cuando comenzó la destilación del NH<sub>3</sub> por arrastre de vapor. La destilación continuó hasta alcanzar aproximadamente 200 ml en el Erlenmeyer colector, asegurando que los primeros 150 ml contuvieran la totalidad del NH<sub>3</sub>. En la fase de valoración, el destilado se tituló con H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 0,1 N hasta que el indicador Mortimer cambió nuevamente a rojo. Por último, se realizó un blanco de reactivos siguiendo el mismo procedimiento, pero sin añadir muestra (Guerrero, 2020). El porcentaje de proteína total se calculó mediante la siguiente fórmula:

$$\% \text{ Proteína total} = (VMuestra - VBlanco) * NÁcido * 1,4 * \frac{F}{GMuestra}$$

Donde:

*VMuestra*: ml de ácido gastados en la valoración de la muestra

*VBlanco*: ml de ácido gastados en la valoración del blanco

*NÁcido*: normalidad del ácido sulfúrico

*0,014*: peso del meq de nitrógeno, en g

*F*: factor de conversión de nitrógeno a proteína (se usó el factor 6,25)

*GMuestra*: peso en g de la muestra

**5.6.2.4. Materia Seca.** Para la determinación de la materia seca total (MST), los crisoles fueron lavados y secados durante 8 horas a 105°C, luego se enfriaron en un desecador hasta alcanzar la temperatura ambiente. Luego, se pesaron 2 g de muestra homogenizada en el crisol por diferencia y se llevaron a la estufa a 105°C durante toda la noche. A la mañana siguiente, los recipientes con la muestra se retiraron de la estufa y se colocaron de nuevo en el desecador hasta enfriar a temperatura ambiente (Guerrero, 2020). Por último, se realizó el pesaje en una balanza analítica.

$$\% MS = \frac{\text{Peso de la muestra seca}}{\text{peso muestra antes del secado}} \times 100$$

## **5.6. Análisis estadístico**

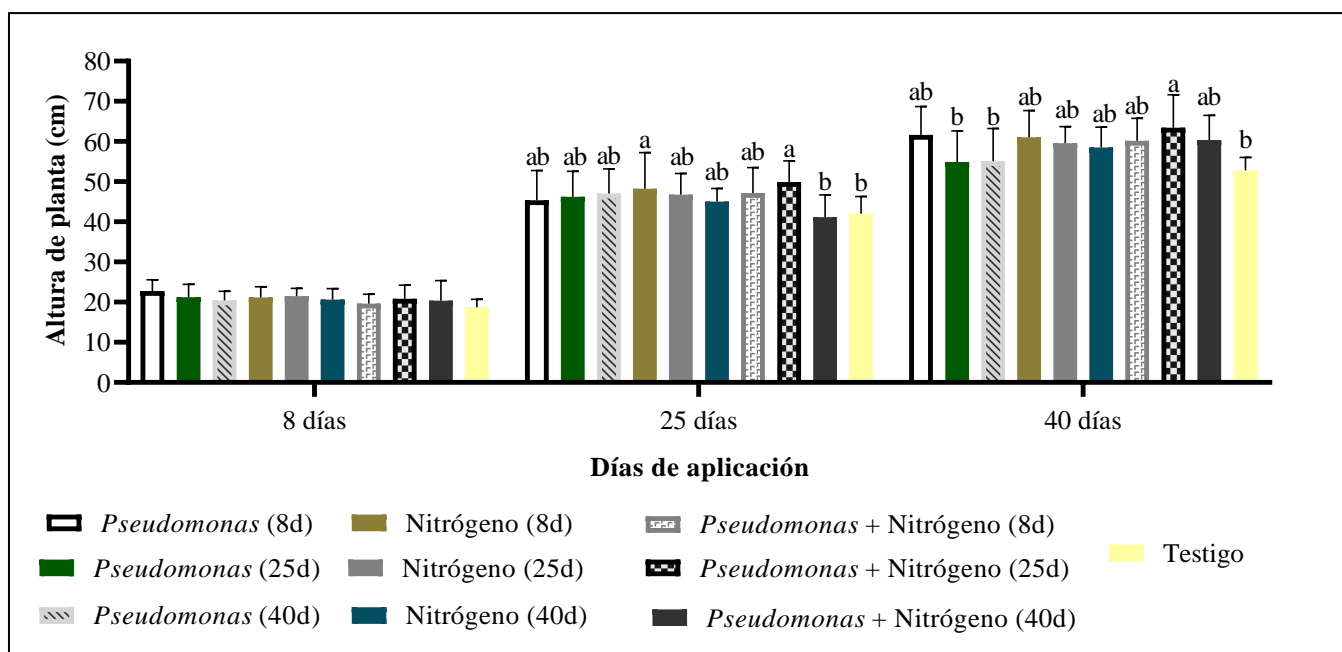
Para el análisis de los datos recopilados, se verificaron los supuestos del análisis de varianza (ANOVA), tanto de normalidad como de homogeneidad de varianzas. Una vez confirmados los supuestos, se realizó un ANOVA para identificar diferencias significativas entre los tratamientos en las variables evaluadas. Posteriormente, se aplicó la prueba de comparación de medias de Tukey con un nivel de confianza del 95 %, siguiendo la metodología propuesta por Balzarini et al. (2008). Además, se llevó a cabo un análisis de correlación entre las variables de crecimiento y productividad, así como entre las variables bromatológicas. El análisis estadístico se realizó utilizando el software InfoStat, mientras que las figuras se generaron en GraphPad Prism.

## 6. Resultados

### 6.1. Influencia de *Pseudomonas* sp. y fertilización nitrogenada en el crecimiento y productividad del cultivo de romanesco

#### 6.1.1. Altura de la planta

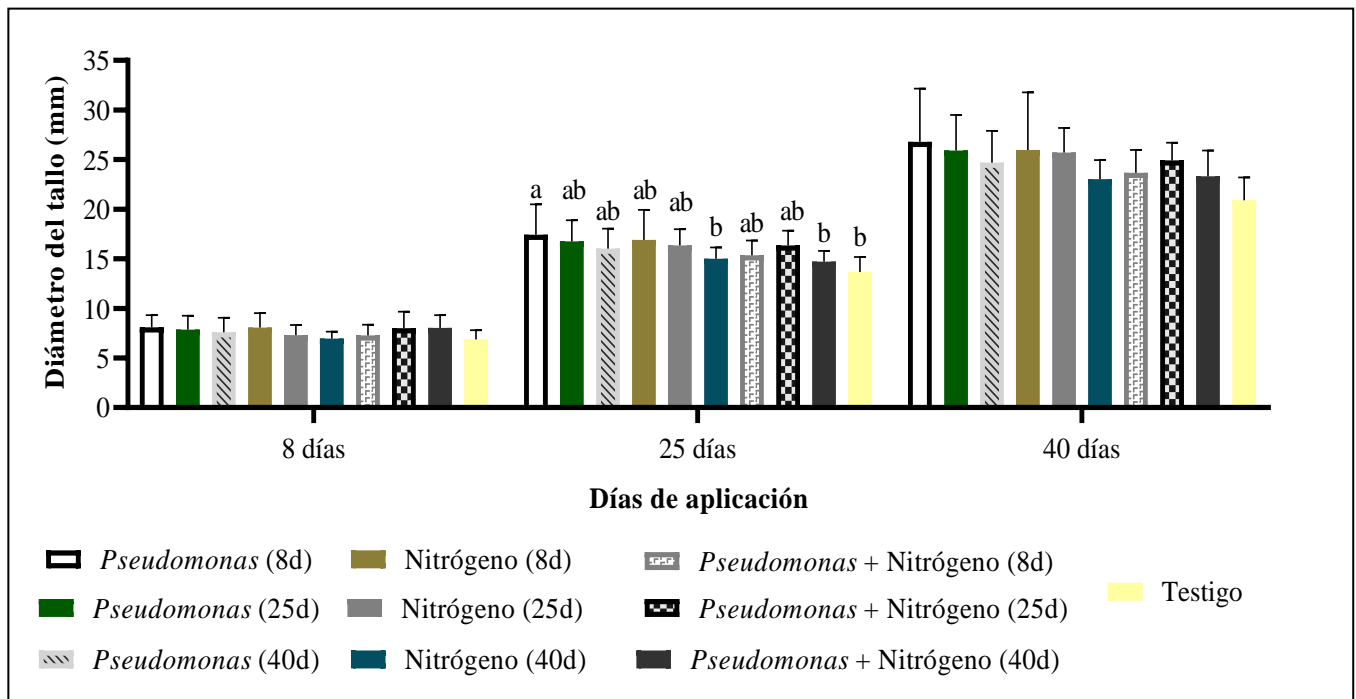
Los resultados mostraron un patrón de crecimiento diferencial entre los tratamientos a lo largo del tiempo. Previo al análisis, se verificaron los supuestos de normalidad (Shapiro-Wilk) y homogeneidad de varianzas (Levene), los cuales se cumplieron ( $p > 0.05$ ), validando los análisis estadísticos realizados. A los 8 días, no se observaron diferencias significativas entre los tratamientos ( $p > 0.05$ ), con alturas que oscilaron entre 17 y 23 cm. Sin embargo, a los 25 días, se detectaron diferencias significativas ( $p < 0.05$ ). Los tratamientos Nitrógeno (8d) y *Pseudomonas* + Nitrógeno (25d) mostraron un crecimiento superior, alcanzaron alturas de 48,22 cm y 49,92 cm, respectivamente. A los 40 días, las diferencias se acentuaron: el tratamiento *Pseudomonas* + Nitrógeno (25d) destacó con 63,41 cm, mientras que la mayoría de los tratamientos alcanzaron alturas entre 58 y 62 cm. Por otro lado, los tratamientos *Pseudomonas* (25d y 40d) y el testigo mostraron un crecimiento inferior, con alturas que rondaron los 55 cm (Figura 8).



**Figura 8.** Altura de las plantas de romanesco en función de la aplicación de diferentes tratamientos. Letras diferentes indican diferencias estadísticas significativas (Tukey,  $p < 0,05$ ). Barras verticales representan desviación estándar.

### 6.1.2. Diámetro del tallo

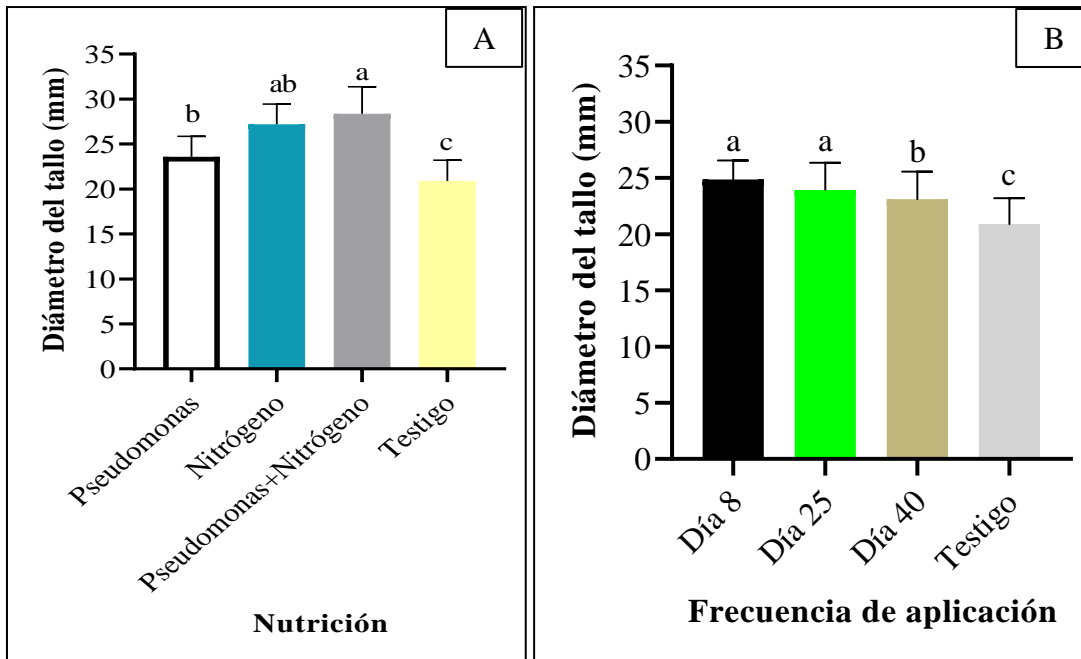
El diámetro del tallo mostró variaciones a lo largo del tiempo. A los 8 días, no se observaron diferencias significativas entre los tratamientos, con diámetros que oscilaron entre 7 y 8 mm. Sin embargo, a los 25 días, presentaron diferencias significativas: el tratamiento *Pseudomonas* (8d) alcanzó un diámetro de 17,44 mm, mientras que los demás tratamientos mostraron valores similares entre 15 y 16 mm. Por otro lado, los tratamientos Nitrógeno (40d), *Pseudomonas* + Nitrógeno (40d) y el Testigo registraron diámetros inferiores (Figura 9).



**Figura 9.** Diámetro del tallo de romanesco, en función de la aplicación de diferentes tratamientos. Letras diferentes indican diferencias estadísticas significativas (Tukey,  $p < 0,05$ ). Barras verticales representan desviación estándar.

#### 6.1.2.1. Factor nutrición y frecuencia de aplicación

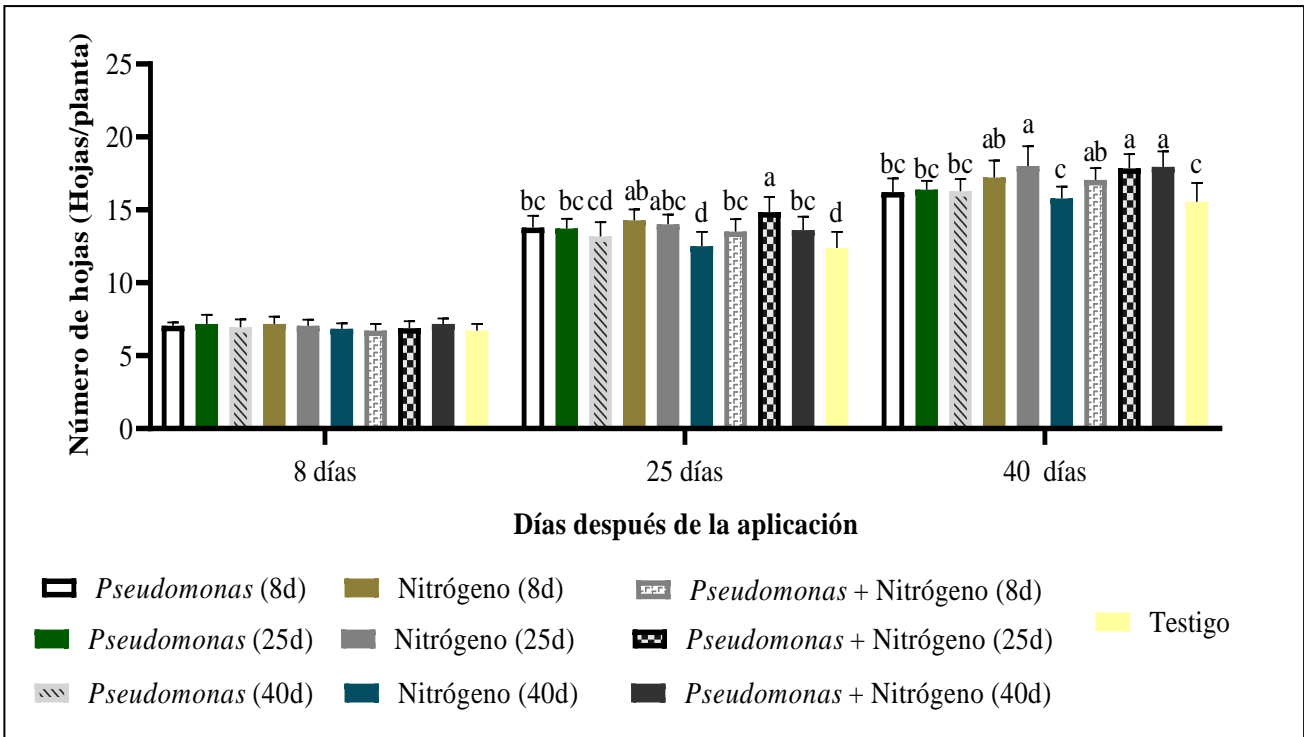
A los 40 días, no se observó interacción significativa entre los factores nutrición y frecuencia de aplicación, por lo que se analizaron de manera independiente (Anexo 9). Para el factor nutrición la aplicación combinada de *Pseudomonas* + Nitrógeno mostró el mayor diámetro (25,80 mm), superior a la aplicación individual de *Pseudomonas* y Testigo (23,97 y 20,90 mm) (Figura 10A). Por otro lado, en el factor frecuencia de aplicación, los mayores diámetros se alcanzaron con las aplicaciones realizadas a los 8 y 25 días, con valores de 25,48 mm y 25,52 mm, respectivamente (Figura 10B).



**Figura 10.** Diámetro del tallo de romanesco, en función de la aplicación de diferentes factores: A) Nutrición, B) Frecuencia de aplicación. Letras diferentes indican diferencias estadísticas significativas (Tukey,  $p < 0,05$ ). Barras verticales representan desviación estándar.

### 6.1.3. Número de hojas

A los 8 días no se presentaron diferencias significativas entre los tratamientos, con un promedio de 7 a 8 hojas por planta. Sin embargo, a los 25 días, se manifestaron diferencias significativas: *Pseudomonas* + Nitrógeno (25d) registró el mayor número de hojas, mientras Nitrógeno (40d) y el Testigo mostraron un menor número. A los 40 días, la variabilidad entre tratamientos se acentuó aún más, Nitrógeno (25d), *Pseudomonas* + Nitrógeno (25 y 40d) alcanzaron el máximo número de hojas. Por otro lado, Nitrógeno (40d) y el Testigo presentaron el menor número de hojas (Figura 11).

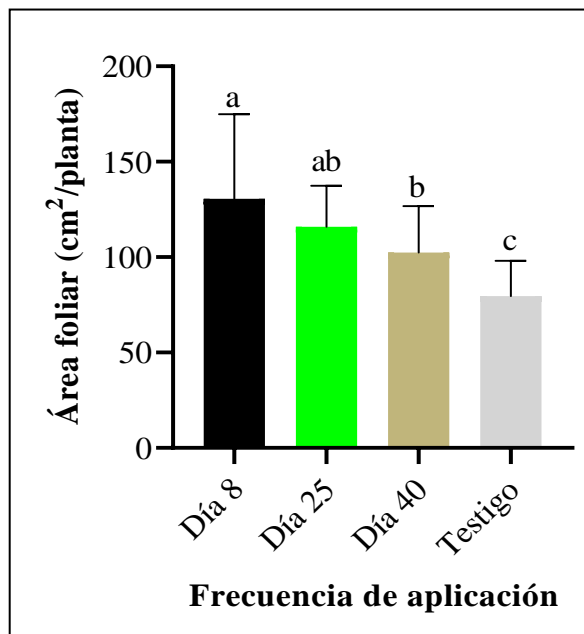


**Figura 11.** Número de hojas de romanesco en función de la aplicación de diferentes tratamientos. Letras diferentes indican diferencias estadísticas significativas (Tukey,  $p < 0,05$ ). Barras verticales representan desviación estándar.

#### 6.1.4. Área foliar

##### 6.1.4.1. Factor frecuencia de aplicación

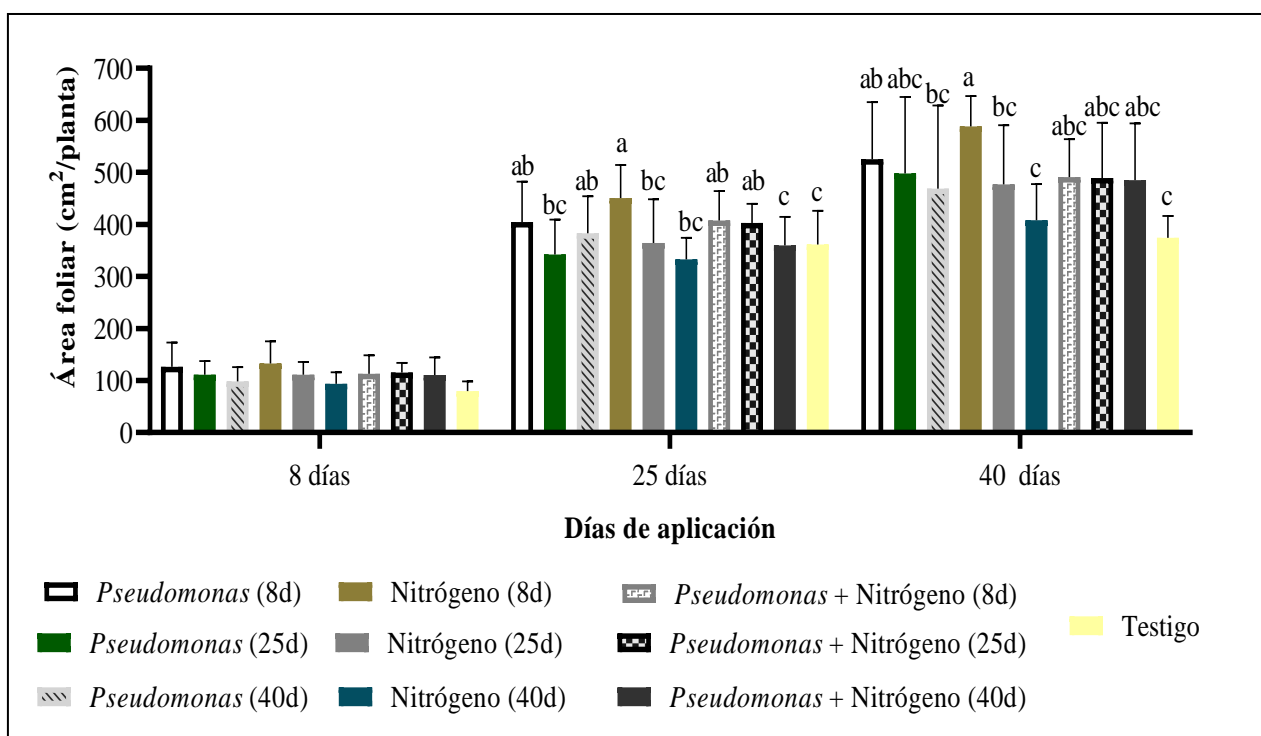
A los 8 días, no se observó una interacción significativa entre los factores de nutrición y frecuencia de aplicación. En este punto, solo el factor frecuencia de aplicación mostró diferencias estadísticamente significativas (Anexo 10), en el cual la aplicación realizada al día 8 presentó la mayor área foliar  $130 \text{ cm}^2$  (Figura 12).



**Figura 12.** Área foliar de romanesco, en función de la aplicación del factor frecuencia de aplicación de manera independiente. Letras diferentes indican diferencias estadísticas significativas (Tukey,  $p < 0,05$ ). Barras verticales representan desviación estándar.

#### 6.1.4.2. Interacción entre los tratamientos

A los 25 días, se manifestó una interacción significativa entre los factores de nutrición y frecuencia. La interacción reflejó en una marcada diferenciación entre los tratamientos. Nitrógeno (8d) presentó el mayor desarrollo del área foliar (452 cm<sup>2</sup>), mientras que *Pseudomonas*+ Nitrógeno (40d) y Testigo presentaron los valores más bajos. A los 40 días, la interacción entre los factores de nutrición y frecuencia continuó siendo significativa. Nitrógeno (8d) alcanzó el máximo desarrollo del área foliar (aproximadamente 600 cm<sup>2</sup>), seguido por *Pseudomonas* (8d) con 525 cm<sup>2</sup>. En contraste, Nitrógeno (40d) y el Testigo mantuvieron el menor desarrollo (Figura 13).



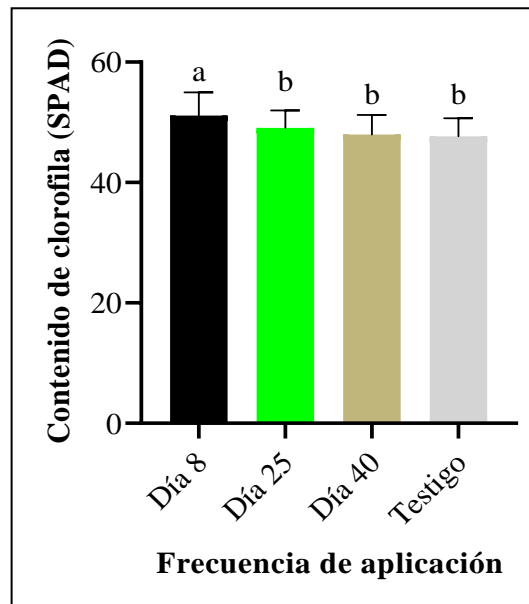
**Figura 13.** Área foliar de romanesco en función de la aplicación de diferentes tratamientos. Letras diferentes indican diferencias estadísticas significativas (Tukey,  $p < 0,05$ ). Barras verticales representan desviación estándar.

#### 6.1.5. Contenido de clorofila

A los 8 días, no se encontró significancia para la interacción entre los factores nutrición y frecuencia de aplicación. Sin embargo, al analizar los factores de manera independiente, se observaron diferencias significativas únicamente para el factor frecuencia de

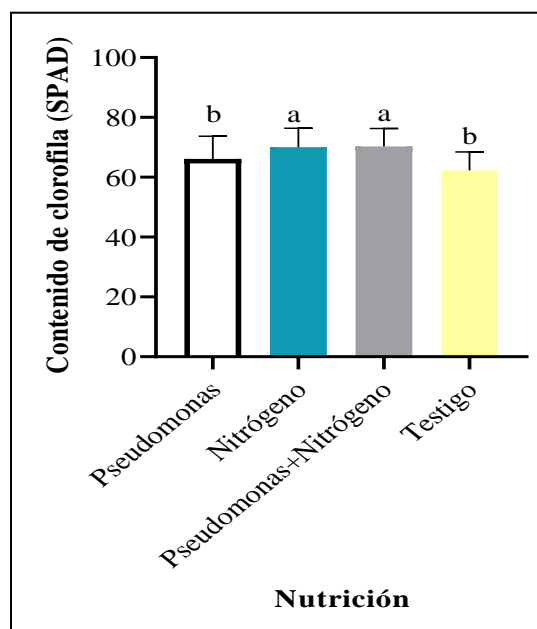


aplicación (Anexo 11). Específicamente, la aplicación realizada a los 8 días destacó como la más efectiva (Figura 14).



**Figura 14.** Contenido de clorofila de romanesco en función de la frecuencia de aplicación. Letras diferentes indican diferencias estadísticas significativas (Tukey,  $p < 0,05$ ). Barras verticales representan desviación estándar.

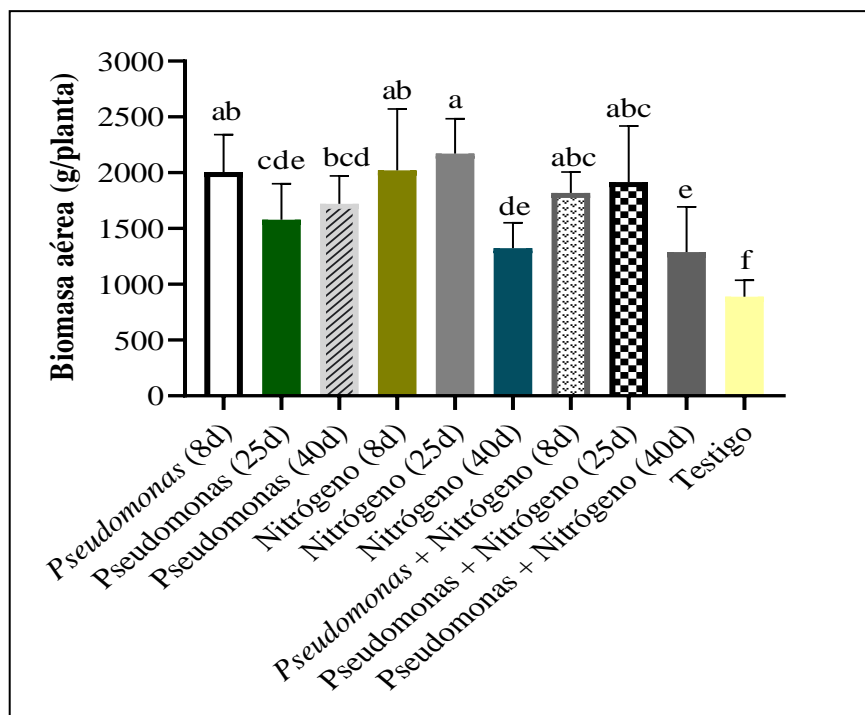
A los 25 días, no se encontraron diferencias significativas ni para la interacción entre los factores ni para su análisis independiente. Por último, a los 40 días no se encontró interacción significativa entre los factores, el análisis independiente mostró diferencias significativas únicamente para el factor nutrición (Anexo 11). En este caso, los tratamientos con Nitrógeno y la combinación de *Pseudomonas* + Nitrógeno fueron los más efectivos (Figura 15).



**Figura 15.** Contenido de clorofila de romanesco en función de nutrición. Letras diferentes indican diferencias estadísticas significativas (Tukey,  $p < 0,05$ ). Barras verticales representan desviación estándar.

### 6.1.6. Biomasa aérea

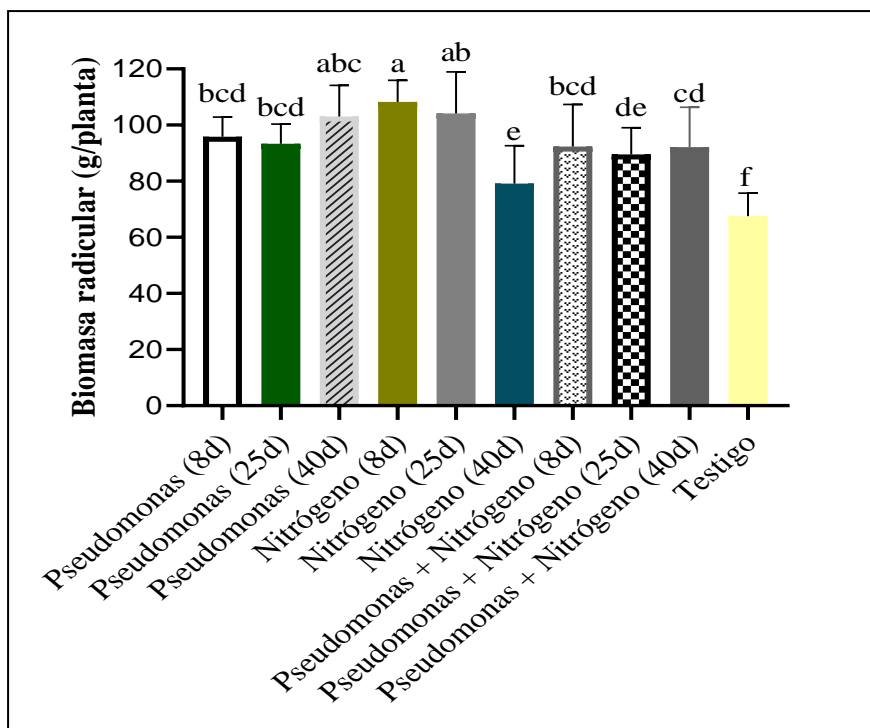
La biomasa mostró diferencias significativas entre los diez tratamientos evaluados. La aplicación con Nitrógeno (25d), presentó una mayor biomasa (2170 g), fue estadísticamente superior a la mayoría de los tratamientos. Un grupo intermedio, compuesto por *Pseudomonas* (8d), Nitrógeno (8d), produjeron una biomasa de 2006 y 2020 g, respectivamente, mientras que Nitrógeno (40d), *Pseudomonas* + Nitrógeno (40d) presentaron valores menores a los demás tratamientos. Por último, el Testigo mostró la menor biomasa (887 g), significativamente inferior a todos los demás tratamientos (Figura 16).



**Figura 16.** Biomasa aérea de romanesco, en función de la aplicación de diferentes tratamientos. Letras diferentes indican diferencias estadísticas significativas (Tukey,  $p < 0,05$ ). Barras verticales representan desviación estándar.

### 6.1.7. Biomasa radicular

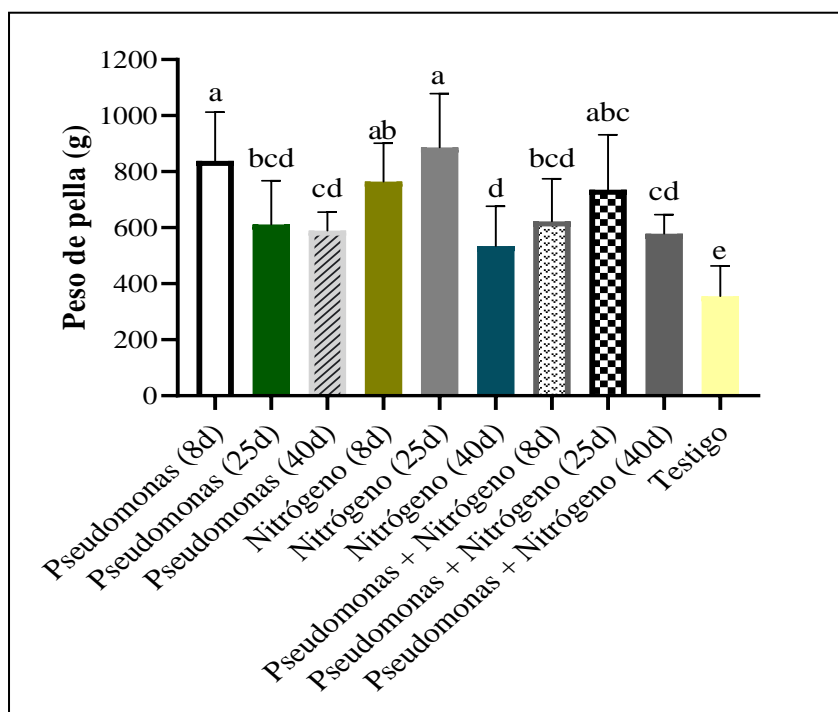
En la Figura 17 se observa que la aplicación con Nitrógeno (8d) destaca con la mayor biomasa radicular (108,22 g), seguido por Nitrógeno (25d). La aplicación de *Pseudomonas* + Nitrógeno (25d) y *Pseudomonas* + Nitrógeno (40) muestran una tendencia decreciente en la biomasa, de igual manera Nitrógeno (40d), mientras el Testigo mostró la menor biomasa radicular en comparación con los demás tratamientos (73,5 g).



**Figura 17.** Biomasa radicular de romanesco en función de la aplicación de diferentes tratamientos. Letras diferentes indican diferencias estadísticas significativas, Tukey ( $p < 0,05$ ). Barras verticales representan desviación estándar.

#### 6.1.8. Peso fresco de las pellas

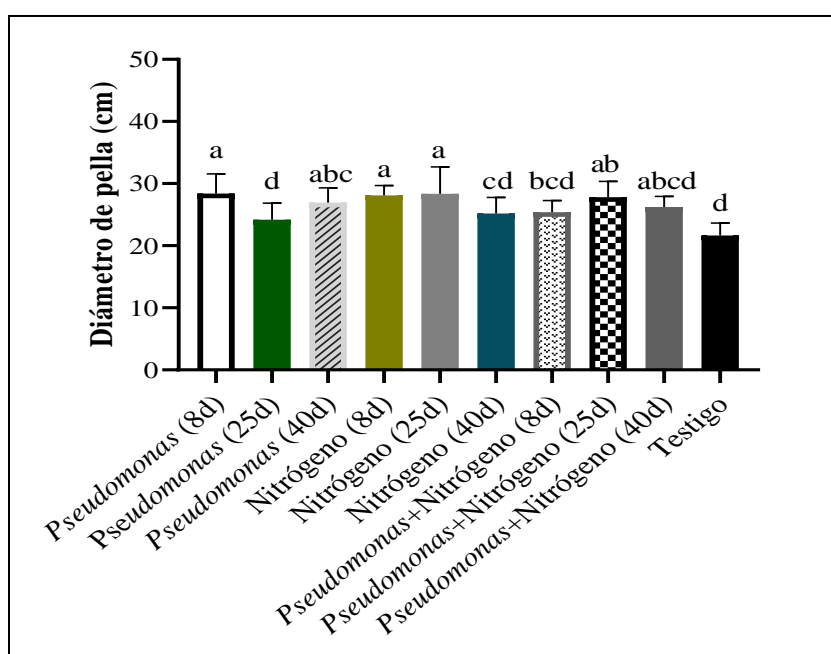
La Figura 18 muestra una variación significativa entre los tratamientos evaluados. Los tratamientos con Nitrógeno (25d) y *Pseudomonas* (8d) destacaron con los mayores pesos de pella, registrando 866,85 g y 838,38 g, respectivamente. Por el contrario, el tratamiento con Nitrógeno (40d) presentó un peso de pella menor. Por último, el Testigo mostró el peso más bajo (355,70 g), siendo significativamente inferior al resto de los tratamientos.



**Figura 18.** Peso de pella de romanesco en función de la aplicación de diferentes tratamientos. Letras diferentes indican diferencias estadísticas significativas (Tukey,  $p < 0,05$ ). Barras verticales representan desviación estándar.

### 6.1.9. Diámetro de la pella

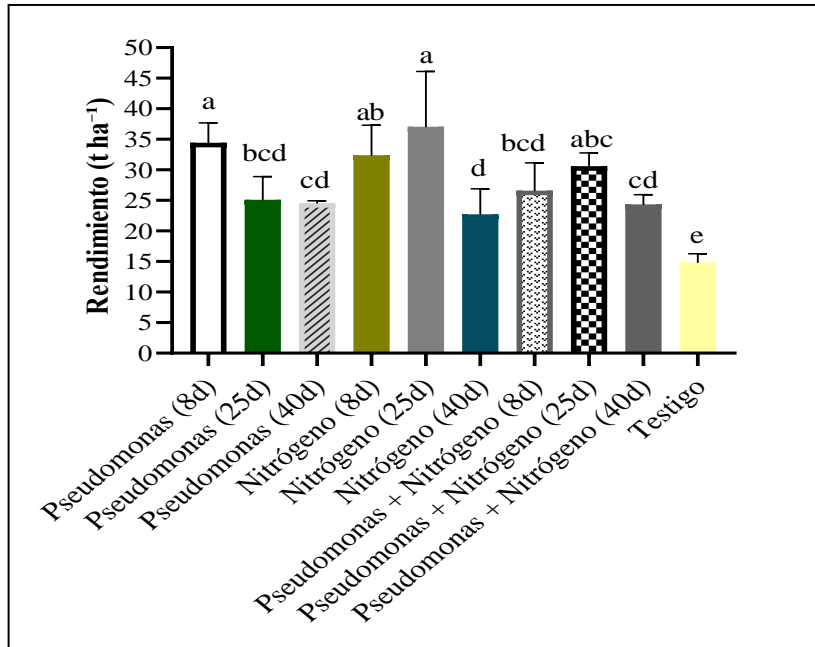
La Figura 19 muestra las variaciones significativas en el diámetro de pella entre los diez tratamientos evaluados. Los tratamientos con *Pseudomonas* (8d), Nitrógeno (8d) y Nitrógeno (25d) registraron los mayores valores de diámetro de pella. En cuanto a la aplicación de *Pseudomonas* + Nitrógeno (25d) presentó un diámetro intermedio. En contraste, los tratamientos con *Pseudomonas* (25d) y el Testigo mostraron los diámetros de pella más reducidos, siendo significativamente inferiores en comparación con el resto de los tratamientos.



**Figura 19.** Diámetro de pella de romanesco en función de la aplicación de diferentes tratamientos. Letras diferentes indican diferencias estadísticas significativas (Tukey,  $p < 0,05$ ). Barras verticales representan desviación estándar.

### 6.1.10. Rendimiento

Se observaron diferencias significativas en el rendimiento entre los distintos tratamientos evaluados. Los tratamientos con *Pseudomonas* (8d) y Nitrógeno (25d) registraron los mayores rendimientos, con  $36 \text{ t ha}^{-1}$  y  $34 \text{ t ha}^{-1}$ , respectivamente, superando significativamente a los demás tratamientos. En contraste, el tratamiento con Nitrógeno (40d) mostró un rendimiento notablemente inferior. Por último, el Testigo presentó el rendimiento más bajo ( $14 \text{ t ha}^{-1}$ ), siendo significativamente menor en comparación con el resto de los tratamientos (Figura 20).

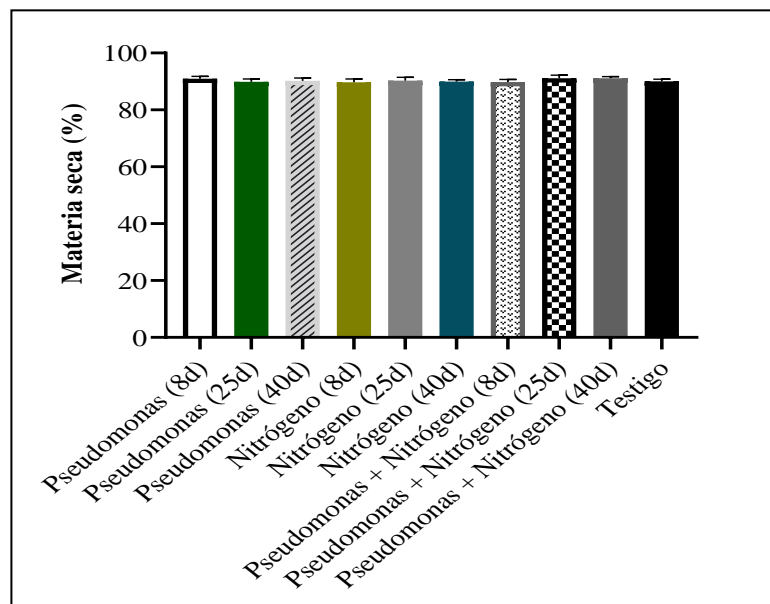


**Figura 20.** Rendimiento de romanesco en función de la aplicación de diferentes tratamientos. Letras diferentes indican diferencias estadísticas significativas (Tukey,  $p < 0,05$ ). Barras verticales representan desviación estándar.

## 6.2. Efecto de *Pseudomonas* sp. y fertilización nitrogenada en la composición bromatológica de la pella de romanesco

### 6.2.1. Materia Seca

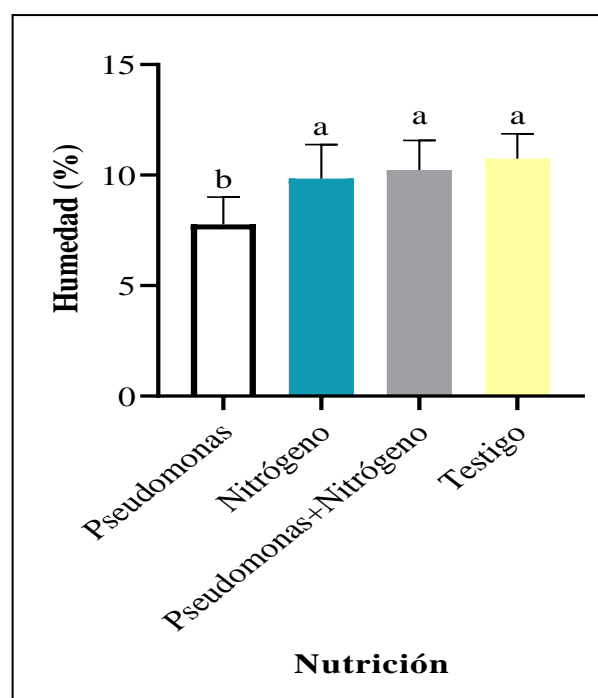
La Figura 21 muestra los porcentajes de materia seca para los diferentes tratamientos. No se encontraron diferencias significativas en la interacción de los factores, ni de manera independiente ( $p > 0.05$ ). Los valores de materia seca se mantuvieron cercanos al 90 % en todos los tratamientos, lo que indica una consistencia en el contenido de sólidos independientemente del tratamiento aplicado.



**Figura 21.** Materia seca de romanesco en función de la aplicación de diferentes tratamientos. No existe diferencia significativa (Tukey,  $p > 0,05$ ). Barras verticales representan desviación estándar.

### 6.2.2. Humedad

Al realizar el análisis estadístico no hubo significancia para la interacción Nutrición y Frecuencia de aplicación. Por ello, de manera independiente se observó el efecto solo para el factor Nutrición sobre el contenido de humedad en los diferentes tratamientos (Anexo 12). El tratamiento con *Pseudomonas* resultó en un menor porcentaje de humedad, significativamente diferente de los demás tratamientos. Por otro lado, los tratamientos con Nitrógeno, *Pseudomonas* + Nitrógeno y el Testigo mostraron porcentajes de humedad cercanos al 10 %, sin diferencias significativas entre ellos (Figura 22).

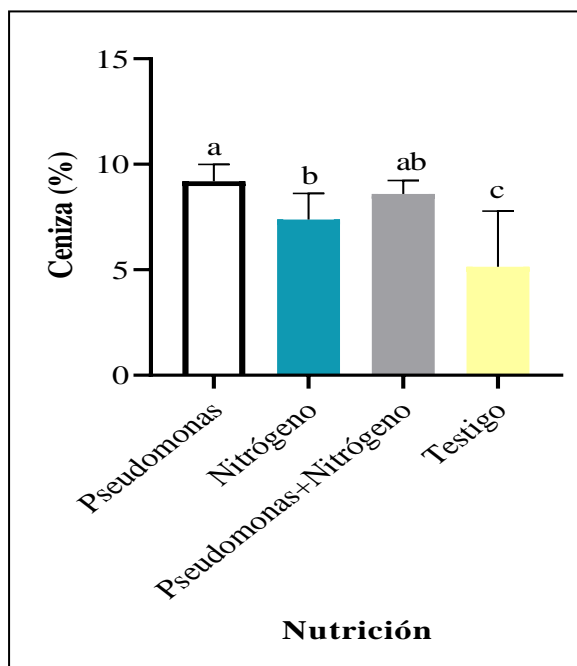


**Figura 22.** Porcentaje de humedad de romanesco en función de la aplicación de diferentes tratamientos. Letras diferentes indican diferencias estadísticas significativas (Tukey,  $p < 0,05$ ). Barras verticales representan desviación estándar.

### 6.2.3. Ceniza

El análisis estadístico no mostró una interacción significativa entre los factores Nutrición y Frecuencia de aplicación ( $p > 0,05$ ). Sin embargo, de manera independiente, el factor Nutrición presentó un efecto significativo (Anexo 13). Los resultados, presentados en la Figura 23, indican que el tratamiento con *Pseudomonas* registró el mayor porcentaje de ceniza, seguido por el tratamiento combinado *Pseudomonas* + Nitrógeno. Por su

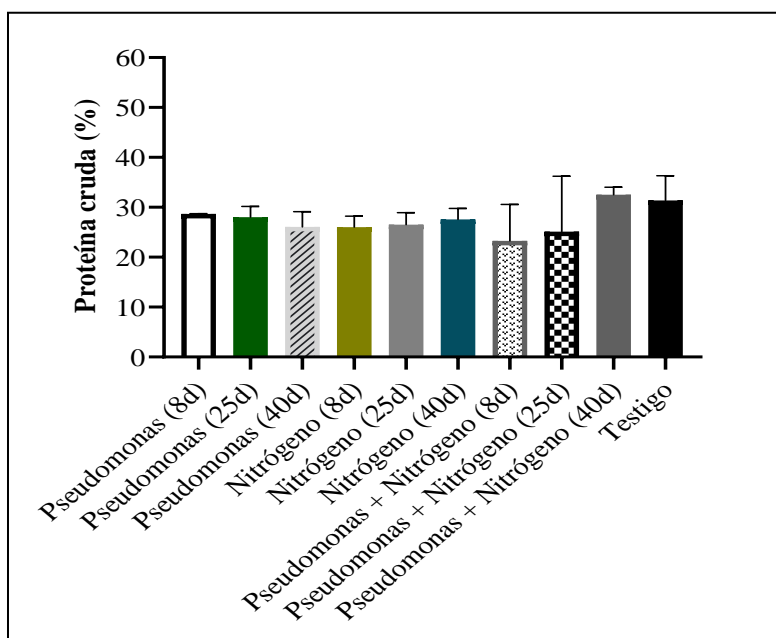
parte, la aplicación de Nitrógeno mostró un valor intermedio, mientras que el Testigo presentó el porcentaje más bajo de ceniza.



**Figura 23.** Porcentaje de ceniza de romanesco en función de la aplicación de diferentes tratamientos. Letras diferentes indican diferencias estadísticas significativas (Tukey,  $p < 0,05$ ). Barras verticales representan desviación estándar.

#### 6.2.4. Proteína Cruda

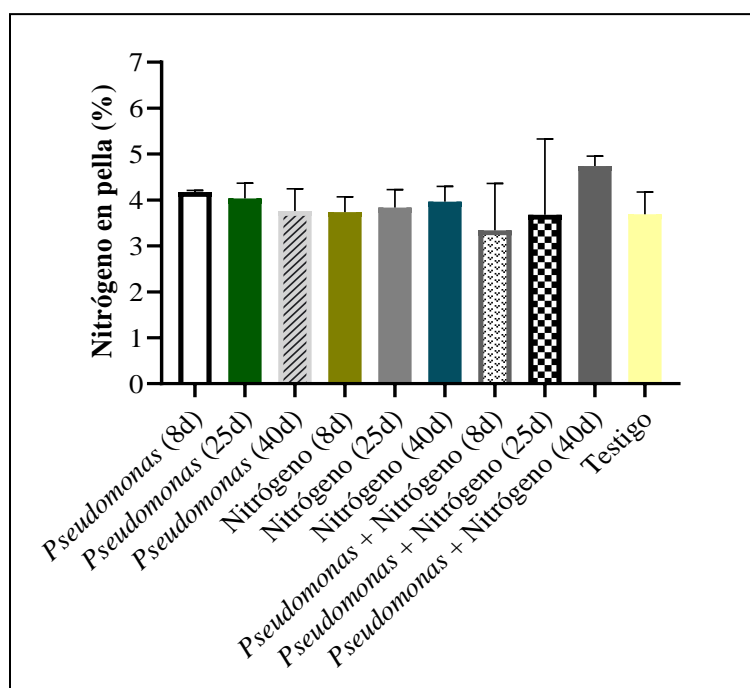
El análisis estadístico no reveló diferencias significativas ni en la interacción los dos factores en estudio, ni de manera independiente. La Figura 24 muestra los porcentajes de proteína cruda para los diferentes tratamientos (T1 a T10), los valores de proteína cruda fluctuaron entre aproximadamente 20 y 30 %.



**Figura 24.** Proteína cruda de romanesco en función de la aplicación de diferentes tratamientos. No existe diferencia significativa (Tukey,  $p > 0,05$ ). Barras verticales representan desviación estándar.

### 6.2.5. Nitrógeno (N) en pella

Además de las variables analizadas (proteína cruda, ceniza, humedad y materia seca), se estimó la acumulación de nitrógeno en la pella a partir del peso seco y el contenido de nitrógeno determinado en el laboratorio. Los resultados mostraron que el contenido de nitrógeno en la pella se mantuvo en un rango cercano al 4 %. Sin embargo, el análisis estadístico no reveló diferencias significativas entre los factores evaluados (Nutrición y Frecuencia de aplicación), ni de manera independiente (Figura 24).



**Figura 25.** Nitrógeno en pella de romanesco en función de la aplicación de diferentes tratamientos. No existe diferencia significativa (Tukey,  $p > 0,05$ ). Barras verticales representan desviación estándar.

### 6.2.6. Análisis de Correlación

La matriz de correlación muestra relaciones significativas ( $p$ -valor  $< 0.05$ ) entre la mayoría de las variables analizadas. La altura de la planta tiene correlaciones positivas débiles a moderadas con todas las variables, siendo más fuertes con el área foliar (0.2679) y el número de hojas (0.2490). El diámetro del tallo presenta correlaciones moderadas con la biomasa radicular (0.2872), biomasa foliar (0.2908) y peso de la pella (0.2989), siendo estas últimas las más destacadas. El número de hojas y el área foliar también muestran correlaciones moderadas con variables como el peso de la pella y el rendimiento. Las variables de biomasa (biomasa radicular y foliar) están fuertemente correlacionadas entre sí (0.6959) y con el peso de la pella (0.6207 y 0.6433, respectivamente). Finalmente, el peso de la pella y el diámetro de la



pella tienen correlaciones muy fuertes con el rendimiento. En general, todas las correlaciones son estadísticamente significativas, excepto las que involucran al contenido de clorofila con la biomasa foliar, peso de la pella, diámetro de la pella y rendimiento t ha<sup>-1</sup>, donde el p-valor es mayor a 0.05 (Tabla 5).

**Tabla 5.** Correlaciones entre parámetros de crecimiento y productivos en romanesco influenciado con nitrógeno y *Pseudomonas*.

<b>Crecimiento y productividad de romanesco</b>	Altura planta	Diámetro tallo	Número de hojas	Área foliar	Contenido clorofila	Biomasa radicular	Biomasa foliar	Peso de pella	Diámetro de pella	Rendimiento t ha <sup>-1</sup>
Altura planta	1	0,0192	0,0007	0,0003	0,0015	0,0258	0,0109	0,0053	0,009	0,0053
Diámetro tallo	0,1744	1	0,0006	0,0004	0,0146	0,0001	0,0001	0	0,0014	0
Número de hojas	0,249	0,2543	1	0,0012	0,0035	0,0076	0,0133	0,0015	0,0028	0,0015
Área foliar	0,2679	0,2629	0,2393	1	0,0047	0,0004	0,0003	0	0,0005	0
Contenido clorofila	0,2353	0,1818	0,2166	0,2098	1	0,0179	0,1449 <sup>ns</sup>	0,121 <sup>ns</sup>	0,058 <sup>ns</sup>	0,1209 <sup>ns</sup>
Biomasa radicular	0,1662	0,2872	0,1983	0,2629	0,1763	1	0	0	0	0
Biomasa foliar	0,1893	0,2908	0,1841	0,2682	0,1091	0,6959	1	0	0	0
Peso de pella	0,2071	0,2989	0,2349	0,333	0,116	0,6207	0,6433	1	0	0
Diámetro de pella	0,1942	0,2369	0,2217	0,2557	0,1415	0,5709	0,5883	0,8446	1	0
Rendimiento t ha <sup>-1</sup>	0,2071	0,2989	0,2349	0,3329	0,116	0,6207	0,6433	1	0,8446	1

ns= No significativo (p-valor > 0.05)

La correlación más destacada es entre proteína cruda y nitrógeno en pella, con un coeficiente de Pearson muy alto y significativo ( $r = 0.9984$ ,  $p$ -valor  $<0.05$ ). Por otro lado, la materia seca muestra una correlación positiva y significativa con el nitrógeno en pella ( $r = 0.3971$ ,  $p = 0.03$ ). En cuanto a la humedad, se observa una correlación negativa y significativa con la ceniza ( $r = -0.5018$ ,  $p = 0.005$ ), lo que indica que, a mayor humedad, menor es el contenido de ceniza. Sin embargo, la humedad no muestra correlaciones significativas con otras variables, como la proteína cruda o el nitrógeno en pella. Finalmente, no se encontraron correlaciones significativas entre la ceniza y otras variables como la proteína cruda o el nitrógeno en pella, lo que indica que el contenido de ceniza no está directamente relacionado con estos parámetros en el cultivo de romanesco (Tabla 6).

**Tabla 6.** Correlaciones entre bromatológicos de la pella de romanesco influenciado con nitrógeno y *Pseudomonas*.

<b>Composición bromatológica de la pella de romanesco</b>	Materia seca	Humedad	Ceniza	Proteína cruda	Nitrógeno en pella
Materia seca	1	0,4059 <sup>ns</sup>	0,143 <sup>ns</sup>	0,061	0,03
Humedad	-0,157	1	0,005	0,378	0,365
Ceniza	0,274	-0,5018	1	0,851	0,789
Proteína cruda	0,346	-0,1669	0,036	1	0
Nitrógeno en pella	0,397	-0,1713	0,051	0,998	1

ns= No significativo ( $p$ -valor  $> 0.05$ )

## 7. Discusión

### **La aplicación de *Pseudomonas* y la fertilización nitrogenada promueve el crecimiento e incrementa la productividad de romanesco**

Los resultados del presente estudio mostraron variaciones en la respuesta de las plantas a los tratamientos nutricionales y a la frecuencia de aplicación de *Pseudomonas* y fertilización nitrogenada en las variables de crecimiento y de productividad. Se observó una dependencia temporal en la respuesta de las plantas, consistente con los hallazgos de Nkebiwe et al. (2016), quienes notaron que los efectos de bioestimulantes y fertilización química pueden no ser evidentes en etapas tempranas del crecimiento. En el estudio, esta dinámica se manifestó en variables como altura de planta, diámetro del tallo y número de hojas, las cuales no presentaron diferencias significativas a los 8 días de ser aplicados los tratamientos. El comportamiento, concuerda con Gholami et al. (2009) sobre el efecto tardío de las rizobacterias promotoras del crecimiento vegetal, lo cual puede ser explicado por la lenta asimilación de nutrientes en las primeras fases del desarrollo vegetal, como Bell (2018), quien, en las primeras etapas de crecimiento (etapa vegetativa temprana), no observó diferencias visibles en el crecimiento de las plantas.

A los 25 y 40 días de ser aplicados los tratamientos, se observaron diferencias significativas en aquellos que combinaban *Pseudomonas* y nitrógeno. Esta interacción podría facilitar la disponibilidad de nutrientes y estimular un crecimiento vegetal más rápido, optimizando la asimilación de nitrógeno, esencial para la síntesis de proteínas y la división celular en etapas de alta demanda nutricional (Mehta et al., 2014; Adesemoye et al., 2009; Kaur y Reddy, 2015). Además, las rizobacterias promotoras del crecimiento vegetal (PGPR), como *Pseudomonas* sp., no solo mejoran la movilización y asimilación de nutrientes, sino que también influyen en la producción de fitohormonas, como auxinas y citoquininas. Esto favorece un desarrollo radicular más robusto y un aumento en la biomasa aérea (Zaidi et al., 2015).

Las *Pseudomonas* spp. son bioestimulantes estudiados debido a su capacidad para mejorar el crecimiento vegetal a través de diversos mecanismos. Estas bacterias presentan una notable adaptabilidad a diferentes entornos agrícolas, colonizando la rizosfera y estableciendo relaciones simbióticas con las plantas hospedantes (Rainey, 2015). Su versatilidad metabólica les permite participar activamente en el ciclo de nutrientes, facilitando la captación y

asimilación de elementos esenciales para el desarrollo vegetal (Raio y Puopolo, 2021). Uno de los principales mecanismos por los cuales *Pseudomonas* spp. actúa como bioestimulante es la producción de fitohormonas y sideróforos, compuestos que estimulan el crecimiento radicular y mejoran la disponibilidad de nutrientes en el suelo (Leontidou et al., 2020). Además, estas bacterias generan metabolitos secundarios con actividad antimicrobiana, lo que les permite competir con otros microorganismos del suelo y contribuir indirectamente a la sanidad de las plantas (Sun et al., 2022). En este estudio, la aplicación de *Pseudomonas* en las primeras etapas del cultivo pudo haber favorecido el desarrollo inicial de las plantas, promoviendo un mayor crecimiento y vigor a través de la mejora en la absorción de nutrientes y la resistencia al estrés ambiental.

El efecto en la altura de plantas por la inoculación con *Pseudomonas*, ha sido reportado por Jiménez et al. (2020), quienes observaron un aumento significativo en la altura de las plantas de la colza (*Brassica napus* L.) cuando se inocularon con *Pseudomonas brassicacearum*  $1 \times 10^9$  UFC/mL. Ellos obtuvieron incrementos de hasta un 22 % en comparación con el control. En el presente estudio, los resultados exponen un patrón similar, con un aumento de aproximadamente 15 % en la altura de las plantas tratadas con *Pseudomonas* sp. en comparación con el tratamiento Testigo. No obstante, es importante puntualizar que no siempre la combinación de bioestimulantes con fertilizantes químicos produce efectos significativos persistentes en el crecimiento vegetal a lo largo del tiempo, por ejemplo, Namvar y Khandan (2015) evaluaron el efecto en colza de la co-inoculación de diferentes dosis de fertilizantes nitrogenados junto con bacterias promotoras del crecimiento vegetal. Aunque encontraron efectos positivos en algunos parámetros de crecimiento, no observaron diferencias consistentes entre los tratamientos a lo largo del tiempo.

En relación con la variable diámetro del tallo, la aplicación de *Pseudomonas* sp., *Pseudomonas* + Nitrógeno destacaron con un mayor incremento en diferentes frecuencias de aplicación lo que podría estar relacionado con la aplicación de microorganismos que se adaptaron al medio y con ello permitió interactuar en el suelo y proporcionó un desarrollo más rápido en esta fase y de igual manera aprovechar el fertilizante nitrogenado (García-Fraile et al., 2015). La respuesta homogénea observada en varios tratamientos puede darse debido a que las plantas en estos grupos ya comenzaron a beneficiarse de los tratamientos aplicados, aunque en menor medida.

El resultado concuerda con la literatura existente, donde se ha demostrado que las rizobacterias, en combinación con fuentes de nitrógeno, pueden aumentar la disponibilidad de nutrientes esenciales, y con ello no solo mejoran la altura, sino también el desarrollo estructural de la planta, como el diámetro del tallo (Shaharoon et al., 2008; Chen et al., 2015). Las aplicaciones tempranas pueden ser efectivas para promover el desarrollo del tallo, lo que proporciona flexibilidad en las prácticas de manejo. El resultado concuerda con el estudio de Vejan et al. (2016) quienes han encontrado que las aplicaciones tempranas fueron efectivas.

El número de hojas y área foliar presentaron un patrón similar, con una respuesta más pronunciada en etapas posteriores, lo que es un indicio más de que la combinación de bioestimulantes y fertilización nitrogenada promueve un crecimiento más vigoroso y una mayor formación de tejido foliar. Por otra parte, la ausencia de interacción significativa entre nutrición y frecuencia de aplicación en la etapa vegetativa temprana, pero su posterior manifestación a los 25 y 40 días, sugiere un efecto acumulativo del nitrógeno en el desarrollo del área foliar. Este fenómeno también ha sido observado por Valenzuela (2024) en un estudio sobre la dinámica del nitrógeno en cultivos de hortalizas. Ellos encontraron que la respuesta del área foliar a la aplicación de nitrógeno se intensifica con el tiempo, mostrando efectos más pronunciados en etapas avanzadas del crecimiento.

Estudios de Díaz et al. (2020) también mostraron que la inoculación con *Pseudomonas* en cultivos hortícolas incrementó significativamente la cantidad de hojas debido a una mayor disponibilidad de nitrógeno y otros nutrientes esenciales como calcio, magnesio, potasio, fósforo entre otros que son críticos para la expansión celular y la formación de nuevos órganos vegetativos. Los hallazgos de Li et al. (2024), quienes afirman que la aplicación temprana de nitrógeno es crucial para establecer un potencial de crecimiento foliar robusto e influye significativamente en el rendimiento final del cultivo. Además, estudios en cultivos de brócoli y otras brassicáceas han demostrado que el crecimiento foliar es altamente dependiente del suministro de nitrógeno, particularmente en las fases de crecimiento vegetativo (Giri et al., 2021). Esto podría explicar por qué los tratamientos con aplicaciones combinadas de *Pseudomonas* y nitrógeno, o con aplicaciones frecuentes de nitrógeno, tuvieron un mayor desarrollo foliar en comparación con aquellos que recibieron aplicaciones limitadas o tardías de nutrientes.

En la variable fisiológica de contenido de clorofila en las etapas tempranas del crecimiento, la frecuencia de aplicación puede ser más crítica que el tipo de nutrición aplicada.

Esto concuerda con los hallazgos de Vafadar et al. (2014), quienes observaron que la inoculación temprana con PGPR estimuló rápidamente la producción de clorofila en las plantas jóvenes. Por otro lado, la ausencia de diferencias significativas a los 25 días, tanto para la interacción como para los factores independientes, podría indicar un período de estabilización en la síntesis de clorofila. Este fenómeno ha sido observado en otros estudios, como el de Tomaszewska-Sowa et al. (2022) y Tanveer et al. (2023), quienes reportaron fases de respuesta variable en el contenido de clorofila a lo largo del ciclo de crecimiento de las plantas.

En cambio, a los 40 días de la aplicación, el tratamiento con nitrógeno fue el más efectivo. La respuesta de las plantas podría explicarse por varios mecanismos, como el efecto acumulativo de la fertilización nitrogenada, ya que, el nitrógeno es un componente esencial de la molécula de clorofila. Con el tiempo, su efecto acumulativo en la síntesis de clorofila puede volverse más evidente, como lo sugieren Muñoz-Huerta et al. (2013) sobre la relación entre el nitrógeno y el contenido de clorofila en las plantas y Shaharoon et al. (2008), sobre el contenido de clorofila en plantas co-inoculadas con PGPR y fertilizantes nitrogenados. Además, los cambios en la fisiología de la planta, a medida que las plantas maduran, su capacidad para sintetizar clorofila y su respuesta a los estímulos externos pueden variar. Esto podría explicar por qué el efecto de la nutrición se vuelve más prominente en etapas más avanzadas del crecimiento, sobre todo la influencia de las PGPR en la fisiología de las plantas como lo sugieren Baset Mia y Shamsuddin (2010).

En cuanto a la biomasa y desarrollo radicular la aplicación de nitrógeno destacó por producir la mayor biomasa. Esto indica la aplicación temprana de nitrógeno puede tener efectos positivos en la acumulación de biomasa Vejan et al. (2016). Luo et al. (2020), quienes observaron que la aplicación temprana de nitrógeno promueve un desarrollo radicular más robusto, establece una base sólida para la absorción de nutrientes y agua durante todo el ciclo de crecimiento, probablemente debido a la estimulación temprana de la división celular, la elongación de la raíz, producción de pelos radiculares y raíces laterales por la producción de fitohormonas como la auxina, citoquinina y giberelina (Ibiene *et al.*, 2012; Salim *et al.*, 2020; Ali *et al.*, 2009; Elekhtyar, 2015). También, López et al. (2023) evaluaron sobre los efectos a largo plazo de la deficiencia de nutrientes y encontraron que la limitación nutricional persistente no solo reduce la biomasa radicular, sino que también altera la arquitectura y funcionalidad del sistema radicular.

En las variables de producción como el peso y diámetro de la pella, la aplicación de *Pseudomonas* y Nitrógeno destacaron. El resultado es coherente con el estudio de Pérez et al. (2019), que demostraron que la disponibilidad de nitrógeno en etapas tempranas del desarrollo favorece la acumulación de biomasa en las partes comestibles de la planta. Por su parte, González y Rojas (2020) reportaron efectos similares en lechuga, donde las aplicaciones tempranas de *Pseudomonas* resultaron en un aumento del peso de las hojas y de la parte comestible de la planta. López y Martínez (2018), quienes observaron que el nitrógeno aplicado temprano permite un crecimiento uniforme y robusto de las estructuras productivas en plantas de coliflor, resultando en pellas más grandes y pesadas. Rodríguez et al. (2021) encontraron resultados similares en brócoli, donde la combinación de bioestimulantes y fertilización resultó en un tamaño y peso intermedio de la inflorescencia en comparación con aplicaciones individuales. Vargas y Contreras (2020) que encontraron que la falta de fertilización nitrogenada o el uso inadecuado de bioestimulantes redujeron el peso y tamaño de las inflorescencias en cultivos de coles. También, Hernández y Fernández (2017) observaron que aplicaciones tardías de nitrógeno no aportan beneficios significativos al rendimiento en coles, pues la planta prioriza otros procesos fisiológicos en etapas avanzadas.

En términos de rendimiento, la aplicación de nitrógeno y *Pseudomonas* se destacaron como los más efectivos, alcanzando 36 y 34 t ha<sup>-1</sup> respectivamente. Estos resultados son coherentes con Adesemoye et al. (2009) y Ahemad y Kibret (2014), quienes demostraron que la combinación de fertilizantes nitrogenados y PGPR optimizó significativamente la productividad de los cultivos. La variabilidad en la productividad entre los diferentes tratamientos sugiere que la respuesta de las plantas a la fertilización y a la inoculación bacteriana es compleja y puede depender de múltiples factores, como lo señalan López et al. (2018).

El tratamiento Testigo mostró el menor rendimiento (14 t ha<sup>-1</sup>). Esta notable diferencia señala la importancia crítica de la nutrición adecuada o la inoculación con microorganismos benéficos para optimizar la productividad de los cultivos. Resultados similares fueron reportados por Bhardwaj et al. (2014), quienes observaron aumentos significativos en el rendimiento de los cultivos con la aplicación de biofertilizantes en comparación con los controles no tratados.

**La aplicación de *Pseudomonas* y la fertilización nitrogenada mejora el contenido de cenizas en la composición bromatológica del romanesco**



No se observaron diferencias significativas en el contenido de materia seca entre los tratamientos, manteniéndose valores alrededor del 90 %. Estos resultados coinciden con los de Bashan et al. (2014), quienes reportaron que la inoculación con rizobacterias promotoras del crecimiento vegetal (PGPR) no siempre altera significativamente el contenido de materia seca en plantas. Esto podría deberse a que los efectos de las PGPR en la biomasa vegetal pueden ser más pronunciados en condiciones de estrés o deficiencia nutricional.

En la evaluación del porcentaje de humedad, el tratamiento con *Pseudomonas* sp. resultó en un menor porcentaje comparado con los otros tratamientos. La reducción en el contenido de humedad observada en el tratamiento con *Pseudomonas* sp. llama la atención y podría estar relacionada con cambios en la fisiología de la planta, como cambios en la regulación osmótica o en la estructura de la pared celular inducidos por las bacterias, ya que *Pseudomonas* spp. pueden producir exopolisacáridos y otros compuestos que alteran las propiedades hidrofílicas de los tejidos vegetales. Estudios previos, como el de Sandhya et al. (2010), también han demostrado que ciertas cepas de *Pseudomonas* pueden inducir tolerancia a la sequía en plantas, lo que podría explicar la menor retención de agua en los tejidos.

Por otra parte, el contenido de ceniza fue mayor en el tratamiento con *Pseudomonas* sp. y en el tratamiento combinado de *Pseudomonas* + Nitrógeno. El aumento en el contenido de ceniza en los tratamientos con *Pseudomonas* sp. sugiere una mejora en la captación y translocación de nutrientes minerales. Esto podría deberse a varios mecanismos, como la producción de sideróforos que aumentan la disponibilidad de hierro, la solubilización de fosfatos o la estimulación del crecimiento de raíces que resulta en una mayor superficie de absorción de minerales. Estos resultados son consistentes con los hallazgos de Esitken et al. (2006), quienes observaron un incremento en la absorción de minerales en plantas inoculadas con PGPR. Esto sugiere que las *Pseudomonas* sp. pueden mejorar la captación y acumulación de nutrientes minerales en los tejidos vegetales.

No se encontraron diferencias significativas en el contenido de proteína cruda entre los tratamientos, lo cual contrasta con algunos estudios, como el de Adesemoye et al. (2009), que han reportado aumentos en el contenido proteico de plantas tratadas con PGPR y fertilización nitrogenada. Esta discrepancia podría deberse a diferencias en las especies de plantas estudiadas, las cepas bacterianas utilizadas o las condiciones ambientales del estudio.

## 8. Conclusiones

- ✓ La aplicación combinada de *Pseudomonas sp.* y fertilización nitrogenada tuvo un efecto positivo significativo en el crecimiento y productividad del romanesco. Los tratamientos que integraron ambos factores, especialmente cuando se aplicaron a los 25 días, promovieron un mayor crecimiento en altura (63,41 cm), diámetro del tallo (25,80 mm) y número de hojas. De manera similar, la aplicación de nitrógeno a los 25 días favoreció un aumento en el área foliar (600 cm<sup>2</sup>) y la biomasa foliar (2170 g). En términos de producción, el mayor peso de la pella se obtuvo con la aplicación de nitrógeno a los 25 días y *Pseudomonas sp.* a los 8 días. Asimismo, los tratamientos con *Pseudomonas sp.* aplicado a los 8 días y nitrógeno a los 25 días alcanzaron los mayores rendimientos, con 36 t ha<sup>-1</sup> y 34 t ha<sup>-1</sup>, respectivamente.
- ✓ Aunque no se observaron diferencias significativas en el contenido de proteína cruda y nitrógeno en la pella entre los tratamientos, la aplicación de *Pseudomonas sp.* mostró un mayor porcentaje de ceniza y un menor porcentaje de humedad. Sin embargo, la composición bromatológica no varió significativamente con la aplicación de nitrógeno o la combinación de ambos factores, lo que indica que estos tratamientos influyen más en el crecimiento y rendimiento que en la composición nutricional de la pella.

## 9. Recomendaciones

- ✓ La fertilización del cultivo de romanesco debe estar integrada por la aplicación combinada de *Pseudomonas sp.* y fertilización nitrogenada. Es particularmente recomendable considerar la aplicación temprana de *Pseudomonas* (8 días después del trasplante) y una aplicación de nitrógeno alrededor de los 25 días después del trasplante para optimizar el crecimiento y la productividad del romanesco.
- ✓ Para futuros estudios, se sugiere profundizar en la investigación de diferentes dosis y momentos de aplicación de *Pseudomonas sp.*, así como su interacción con distintos niveles de fertilización nitrogenada, con el objetivo de optimizar más los parámetros bromatológicos de la calidad de la pella
- ✓ Se recomienda el establecimiento de parcelas demostrativas con otros cultivos de brasicáceas en diferentes zonas de la región para validar y transferir estos resultados a los productores locales. Asimismo, sería valioso llevar a cabo un análisis costo-beneficio para determinar la viabilidad económica de implementar estos tratamientos a escala comercial.

## 10. Bibliografía

- Adeniji, A. A., & Babalola, O. O. (2022). Evaluation of *Pseudomonas fulva* PS9. 1 and *Bacillus velezensis* NWUMFkBS10. 5 as candidate plant growth promoters during maize-Fusarium interaction. *Plants*, *11*(3), 324.
- Adesemoye, A. O., Torbert, H. A., & Kloepper, J. W. (2009). Plant growth-promoting rhizobacteria allow reduced application rates of chemical fertilizers. *Microbial ecology*, *58*, 921-929.
- Ahemad, M., & Kibret, M. (2014). Mechanisms and applications of plant growth promoting rhizobacteria: current perspective. *Journal of King saud University-science*, *26*(1), 1-20.
- Alattas, H., Glick, B. R., Murphy, D. V., & Scott, C. (2024). Harnessing *Pseudomonas* spp. for sustainable plant crop protection. *Frontiers in microbiology*, *15*, 1485197.
- Anas, M., Liao, F., Verma, K. K., Sarwar, M. A., Mahmood, A., Chen, Z. L., ... & Li, Y. R. (2020). Fate of nitrogen in agriculture and environment: agronomic, eco-physiological and molecular approaches to improve nitrogen use efficiency. *Biological research*, *53*, 1-20.
- Bell, J. C., Bound, S. A., & Buntain, M. (2022). Biostimulants in agricultural and horticultural production. *Horticultural reviews*, *49*, 35-95.
- Bhardwaj, D., Ansari, M. W., Sahoo, R. K., & Tuteja, N. (2014). Biofertilizers function as key player in sustainable agriculture by improving soil fertility, plant tolerance and crop productivity. *Microbial cell factories*, *13*, 1-10.
- Bona, E., Cantamessa, S., Massa, N., Manassero, P., Marsano, F., Copetta, A., ... & Berta, G. (2017). Arbuscular mycorrhizal fungi and plant growth-promoting pseudomonads improve yield, quality and nutritional value of tomato: a field study. *Mycorrhiza*, *27*, 1-11.
- Chaudhary, P., Khati, P., Chaudhary, A., Maithani, D., Kumar, G., & Sharma, A. (2021). Cultivable and metagenomic approach to study the combined impact of nanogypsum and *Pseudomonas taiwanensis* on maize plant health and its rhizospheric microbiome. *PLoS One*, *16*(4), e0250574.

- Chen, L., Yang, X., Raza, W., Li, J., Liu, Y., Qiu, M., ... & Shen, Q. (2011). *Trichoderma harzianum* SQR-T037 rapidly degrades allelochemicals in rhizospheres of continuously cropped cucumbers. *Applied microbiology and biotechnology*, 89, 1653-1663.
- Córdova Oviedo, G.F, & Granda Mora, K.I (2024). *Efecto de la inoculación de microorganismos promotores del crecimiento vegetal y su influencia en el rendimiento de brócoli bajo invernadero* [Tesis de grado, Universidad Nacional de Loja]. Repositorio Digital - Universidad Nacional de Loja. [https://dspace.unl.edu.ec/jspui/bitstream/123456789/27786/1/GladysFernanda\\_C%C3%B3rdovaOviedo.pdf](https://dspace.unl.edu.ec/jspui/bitstream/123456789/27786/1/GladysFernanda_C%C3%B3rdovaOviedo.pdf)
- Coskun, D., Britto, D. T., Shi, W., & Kronzucker, H. J. (2017). Nitrogen transformations in modern agriculture and the role of biological nitrification inhibition. *Nature Plants*, 3(6), 1-10. <https://doi.org/10.1038/nplants.2017.74>
- Cumbicos Sarango, N.V, & Robles Carrión, A. R. (2024). *Evaluación de la interacción del consorcio microbiano Pseudomonas sp y Chlorella sp como estimuladores de crecimiento vegetal bajo condiciones in vitro en semillas de tomate (Solanum lycopersicum L.)* [Tesis de licenciatura, Universidad Nacional de Loja]. Repositorio Digital - Universidad Nacional de Loja. [https://dspace.unl.edu.ec/jspui/bitstream/123456789/29649/1/NayeliValeria\\_CumbicosSarango.pdf](https://dspace.unl.edu.ec/jspui/bitstream/123456789/29649/1/NayeliValeria_CumbicosSarango.pdf)
- Farhangi-Abriz, S., Tavasolee, A., Ghassemi-Golezani, K., Torabian, S., Monirifar, H., & Rahmani, H. A. (2020). Growth-promoting bacteria and natural regulators mitigate salt toxicity and improve rapeseed plant performance. *Protoplasma*, 257(4), 1035-1047. <https://doi.org/10.1007/s00709-020-01493-1>
- García-Fraile, P., Menéndez, E., & Rivas, R. (2015). Role of bacterial biofertilizers in agriculture and forestry. *Aims Bioengineering*, 2(3), 183-205.
- Giri, H. N., Sharma, M. D., & Tripathi, K. M. (2021). Effects of nitrogen on growth, yield and postharvest quality of selected cauliflower (*Brassica oleracea*) varieties. *SAARC Journal of Agriculture*, 19(2).
- Guamán-Rivera, S. A., & Flores-Mancheco, C. I. (2023). Seguridad Alimentaria y Producción Agrícola Sostenible en Ecuador. *Revista Científica Zambos*, 2(1), 1-20.

- Hou, M. P., & Oluranti, B. O. (2013). Evaluation of plant growth promoting potential of four rhizobacterial species for indigenous system. *Journal of Central South University*, 20, 164-171.
- Ibiene, A.A., J.U. Agogbua, I.O. Okonko y G.N. Nwachi (2012). Rizobacterias promotoras del crecimiento Plant (PGPR) como biofertilizante: efecto sobre el crecimiento de *Lycopersicum esculentus*. *J. American Sci.*, 8(2): 318-324.
- Ikhajiagbe, B., Ogwu, M. C., Fawehinmi, F. O., & Adekunle, I. J. (2021). Comparative growth responses of *Amaranthus* [L.] species in Humus and Ferruginous Ultisols using plant growth promoting Rhizobacteria (*Pseudomonas* species). *South African Journal of Botany*, 137, 10-18. <https://doi.org/10.1016/j.sajb.2020.09.029>
- Jain, A., Chakraborty, J., & Das, S. (2020). Underlying mechanism of plant–microbe crosstalk in shaping microbial ecology of the rhizosphere. *Acta Physiologiae Plantarum*, 42(1), 8.
- Jalal, A., da Silva Oliveira, C. E., Galindo, F. S., Rosa, P. A. L., Gato, I. M. B., de Lima, B. H., & Teixeira Filho, M. C. M. (2023). Regulatory Mechanisms of Plant Growth-Promoting Rhizobacteria and Plant Nutrition against Abiotic Stresses in Brassicaceae Family. *Life*, 13(1), Article 1. <https://doi.org/10.3390/life13010211>
- Jiménez-Gómez, A., Saati-Santamaría, Z., Kostovcik, M., Rivas, R., Velázquez, E., Mateos, P. F., ... & García-Fraile, P. (2020). Selection of the root endophyte *Pseudomonas brassicacearum* CDVBN10 as plant growth promoter for *Brassica napus* L. crops. *Agronomy*, 10(11), 1788.
- Kandasamy, S., Loganathan, K., Muthuraj, R., Duraisamy, S., Seetharaman, S., Thiruvengadam, R., ... & Ramasamy, S. (2009). Understanding the molecular basis of plant growth promotional effect of *Pseudomonas fluorescens* on rice through protein profiling. *Proteome Science*, 7, 1-8.
- Kloepper, J., & Schroth, M. N. (1978). Plant growth-promoting rhizobacteria on radishes. IV international conference on plant pathogenic bacteria. *France*, 2, 879-882.
- Lavudi, H. N., Jakinala, P., J, S. K., Babu B, N., Srinivas, M., & Katika, M. R. (2023). Chapter 6 - Plant growth promoting rhizobacteria (PGPR): An overview for sustainable agriculture and development. En J. A. Parray, N. Shameem, D. Egamberdieva, & R. Z.

Sayyed (Eds.), *Rhizobiome* (pp. 95-125). Academic Press.  
<https://doi.org/10.1016/B978-0-443-16030-1.00017-1>

- Leontidou, K., Genitsaris, S., Papadopoulou, A., Kamou, N., Bosmali, I., Matsi, T., ... & Mellidou, I. (2020). Plant growth promoting rhizobacteria isolated from halophytes and drought-tolerant plants: Genomic characterisation and exploration of phyto-beneficial traits. *Scientific reports*, *10*(1), 14857.
- Li Zhang, L. Z., Xiong Ying, X. Y., Lu Qiang, L. Q., Shi QiuHuan, S. Q., & Li YouJun, L. Y. (2010). Effects of microbial soil conditioner on tobacco growth and topsoil environment.
- Liu, W., Yang, C., Shi, S., & Shu, W. (2014). Effects of plant growth-promoting bacteria isolated from copper tailings on plants in sterilized and non-sterilized tailings. *Chemosphere*, *97*, 47-53.
- Luo, L., Zhang, Y., & Xu, G. (2020). How does nitrogen shape plant architecture?. *Journal of experimental botany*, *71*(15), 4415-4427.
- Mia, M. B., & Shamsuddin, Z. H. (2010). Rhizobium as a crop enhancer and biofertilizer for increased cereal production. *African journal of Biotechnology*, *9*(37), 6001-6009.
- Muñoz-Huerta, R. F., Guevara-Gonzalez, R. G., Contreras-Medina, L. M., Torres-Pacheco, I., Prado-Olivarez, J., & Ocampo-Velazquez, R. V. (2013). A review of methods for sensing the nitrogen status in plants: advantages, disadvantages and recent advances. *sensors*, *13*(8), 10823-10843.
- Namvar, A., & Khandan, T. (2015). Inoculation of rapeseed under different rates of inorganic nitrogen and sulfur fertilizer: impact on water relations, cell membrane stability, chlorophyll content and yield. *Archives of Agronomy and Soil Science*, *61*(8), 1137-1149.
- Novello, G., Cesaro, P., Bona, E., Massa, N., Gosetti, F., Scarafoni, A., ... & Gamalero, E. (2021). The effects of plant growth-promoting bacteria with biostimulant features on the growth of a local onion cultivar and a commercial zucchini variety. *Agronomy*, *11*(5), 888.

- Pal, S., Singh, H. B., Farooqui, A., & Rakshit, A. (2015). Fungal biofertilizers in Indian agriculture: perception, demand and promotion. *Journal of Eco-friendly Agriculture*, *10*(2), 101-113.
- Pinto, V. E. (2014). *Obtención de plántulas de coliflor (Brassica olerace var. Botrytis) a través de activadores ecológicos* [bachelorThesis]. <https://repositorio.uta.edu.ec:8443/jspui/handle/123456789/7550>
- Rai, A., & Nabti, E. (2017). Plant Growth-Promoting Bacteria: Importance in Vegetable Production. En A. Zaidi & M. S. Khan (Eds.), *Microbial Strategies for Vegetable Production* (pp. 23-48). Springer International Publishing. [https://doi.org/10.1007/978-3-319-54401-4\\_2](https://doi.org/10.1007/978-3-319-54401-4_2)
- Rainey, F., Kämpfer, P., Trujillo, M., Chun, J., DeVos, P., Hedlund, B., & Dedys, S. (2015). *Bergey's manual of systematics of archaea and bacteria* (Vol. 410). W. B. Whitman (Ed.). Hoboken, NJ: Wiley.
- Raio, A., & Puopolo, G. (2021). Pseudomonas chlororaphis metabolites as biocontrol promoters of plant health and improved crop yield. *World Journal of Microbiology and Biotechnology*, *37*(6), 99.
- Rajkumar, M., y Freitas, H. (2008). Efectos de la inoculación de bacterias promotoras del crecimiento de las plantas sobre la absorción de Ni por la mostaza india. *Bioresource Technology*, *99* (9), 3491-3498.
- Rana, M. K. (2017). *Vegetable Crop Science*. CRC Press.
- Saavedra, G., Kehr, E., & Bastías, M. (2023). *Manejo y especies aptas para la agroindustria en la Región de La Araucanía*.
- Sahandi, M. S., Mehrafarin, A., Badi, H. N., Khalighi-Sigaroodi, F., & Sharifi, M. (2019). Improving growth, phytochemical, and antioxidant characteristics of peppermint by phosphate-solubilizing bacteria along with reducing phosphorus fertilizer use. *Industrial Crops and Products*, *141*, 111777.
- Saikia, J., Sarma, R. K., Dhandia, R., Yadav, A., Bharali, R., Gupta, V. K., & Saikia, R. (2018). Alleviation of drought stress in pulse crops with ACC deaminase producing rhizobacteria isolated from acidic soil of Northeast India. *Scientific Reports*, *8*(1), 3560. <https://doi.org/10.1038/s41598-018-21921-w>

- Sainju, U. M., Lenssen, A. W., Caesar-TonThat, T., Jabro, J. D., Lartey, R. T., Evans, R. G., & Allen, B. L. (2012). Dryland soil nitrogen cycling influenced by tillage, crop rotation, and cultural practice. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, 93, 309-322.
- Salim, H. A., Ali, A. F., Alsaady, M. H. M., Saleh, U. N., Jassim, N. H., Hamad, A. R., ... & Hassan, A. F. (2020). Effect of plant growth promoting rhizobacteria (PGPR) on growth of cauliflower (*Brassica oleracea* L. var. botrytis).
- Salim, H.A., A.K. Aziz, M.H. Mahdi, A.F. Ali, M. Ali, M.H. Salman, M.M. Hussein, L.K. Mohammed, M.S. Ahmed, A.Y. Khalil y T.A. Hadi (2018b). Eficacia de los biofertilizantes *Pseudomonas fluorescens* y *Azotobacter chroococcum* sobre el rendimiento de repollo (*Brassica oleracea* L. Var. *Capitata*), Haya: *Saudi J. Life Sci.*, 3 (8): 561-562.
- Salim, H.A., A.K. Aziz, M.H. Mahdi, M.A. Ali, M.H. Salman, M.M. Hussein, L.K. Mohammed, M.S. Ahmed, A.Y. Khalil y T.A. Hadi (2018 a). Efecto de los biofertilizantes *Azotobacter chroococcum* y *Pseudomonas fluorescens* sobre el crecimiento del brócoli (*Brassica oleracea* L. var. *Italica*), *Revista de Avances en Biología.*, 11 (01): 2236-2240.
- Schikora, A., Schenk, S. T., & Hartmann, A. (2016). Beneficial effects of bacteria-plant communication based on quorum sensing molecules of the N-acyl homoserine lactone group. *Plant molecular biology*, 90, 605-612.
- Shaharoon, B., Naveed, M., Arshad, M., & Zahir, Z. A. (2008). Fertilizer-dependent efficiency of Pseudomonads for improving growth, yield, and nutrient use efficiency of wheat (*Triticum aestivum* L.). *Applied microbiology and biotechnology*, 79(1), 147-155.
- Shelden, M. C., & Munns, R. (2023). Crop root system plasticity for improved yields in saline soils. *Frontiers in Plant Science*, 14, 1120583.
- Singh, P., Singh, R. K., Li, H. B., Guo, D. J., Sharma, A., Verma, K. K., ... & Li, Y. R. (2024). Nitrogen fixation and phytohormone stimulation of sugarcane plant through plant growth promoting diazotrophic *Pseudomonas*. *Biotechnology and Genetic Engineering Reviews*, 40(1), 15-35.



- Stoppani, M. I., Martí, H. R., Francescangeli, N., & Wolf, R. (2003). A Nondestructive and Rapid Method for Estimating Leaf Area Broccoli. *Advances in horticultural science [rivista dell'ortoflorofutticoltura italiana]*, 17 (N. 3), 2003, 1000-1003.
- Sun, X., Xu, Z., Xie, J., Hesselberg-Thomsen, V., Tan, T., Zheng, D., ... & Kovács, Á. T. (2022). *Bacillus velezensis* stimulates resident rhizosphere *Pseudomonas stutzeri* for plant health through metabolic interactions. *The ISME journal*, 16(3), 774-787.
- Tanveer, S., Akhtar, N., Ilyas, N., Sayyed, R. Z., Fitriatin, B. N., Perveen, K., & Bukhari, N. A. (2023). Interactive effects of *Pseudomonas putida* and salicylic acid for mitigating drought tolerance in canola (*Brassica napus* L.). *Heliyon*, 9(3).
- Tanwar, A., Aggarwal, A., & Parkash, V. (2014). Effect of bioinoculants and superphosphate fertilizer on the growth and yield of broccoli (*Brassica oleracea* L. var. *Italica* Plenck). *New Zealand Journal of Crop and Horticultural Science*, 42(4), 288-302. <https://doi.org/10.1080/01140671.2014.924537>
- Tinoco Gualán, GM, & Robles Carrión, A. R. (2024). *Efecto de bacterias rizosféricas en la germinación y crecimiento del pimiento (Capsicum annum L.) bajo invernadero* [Tesis de licenciatura, Universidad Nacional de Loja]. Repositorio Digital - Universidad Nacional de Loja. [https://dspace.unl.edu.ec/jspui/bitstream/123456789/29082/1/GabrielaMaritza\\_Tinoco\\_Gualan.pdf](https://dspace.unl.edu.ec/jspui/bitstream/123456789/29082/1/GabrielaMaritza_Tinoco_Gualan.pdf)
- Tomaszewska-Sowa, M., Keutgen, N., Lošák, T., Figas, A., & Keutgen, A. J. (2022). *Pseudomonas syringae* Infection Modifies Chlorophyll Fluorescence in *Nicotiana tabacum*. *Agriculture*, 12(9), 1504.
- Vafadar, F., Amooaghaie, R., & Otrshy, M. (2014). Effects of plant-growth-promoting rhizobacteria and arbuscular mycorrhizal fungus on plant growth, stevioside, NPK, and chlorophyll content of *Stevia rebaudiana*. *Journal of Plant Interactions*, 9(1), 128-136.
- Valenzuela, H. (2024). Optimizing the nitrogen use efficiency in vegetable crops. *Nitrogen*, 5(1), 106-143.
- Vejan, P., Abdullah, R., Khadiran, T., Ismail, S., & Nasrulhaq Boyce, A. (2016). Role of plant growth promoting rhizobacteria in agricultural sustainability—a review. *Molecules*, 21(5), 573.

- Verma, K. K., Joshi, A., Song, X. P., Singh, S., Kumari, A., Arora, J., ... & Li, Y. R. (2024). Synergistic interactions of nanoparticles and plant growth promoting rhizobacteria enhancing soil-plant systems: a multigenerational perspective. *Frontiers in Plant Science*, *15*, 1376214.
- Wailare, A. T., & Kesarwani, A. (2017). Effect of Integrated Nutrient Management on Growth and Yield Parameters of Maize (*zea mays*l.) As well as Soil Physico-chemical Properties.
- Wang, C., Liu, D., & Bai, E. (2018). Decreasing soil microbial diversity is associated with decreasing microbial biomass under nitrogen addition. *Soil Biology and Biochemistry*, *120*, 126-133. <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2018.02.003>
- Wang, P., Marsh, E. L., Ainsworth, E. A., Leakey, A. D., Sheflin, A. M., & Schachtman, D. P. (2017). Shifts in microbial communities in soil, rhizosphere and roots of two major crop systems under elevated CO<sub>2</sub> and O<sub>3</sub>. *Scientific reports*, *7*(1), 15019.
- Xiong, Q., Tang, G., Zhong, L., He, H., & Chen, X. (2018). Response to nitrogen deficiency and compensation on physiological characteristics, yield formation, and nitrogen utilization of rice. *Frontiers in plant science*, *9*, 1075.
- Yildirim E., Karlidag H., Turan M., Dursun A., Goktepe F. (2011). Promoción del brócoli mediante rizobacterias promotoras del crecimiento de las plantas. *Hort. Sci.* *46* :932–936
- Yıldırım, E. (2022). Effects of plant growth-promoting rhizobacteria (PGPR) and different fertilizer combinations on yield and quality properties in cauliflower (*Brassica oleracea* L. var. botrytis). *Akademik Ziraat Dergisi*, *11*(1), 35-46.
- Yoldas, F., Ceylan, S., Yagmur, B., & Mordogan, N. (2008). Effects of Nitrogen Fertilizer on Yield Quality and Nutrient Content in Broccoli. *Journal of Plant Nutrition*, *31*(7), 1333-1343. <https://doi.org/10.1080/01904160802135118>
- Yousaf, M., Li, J., Lu, J., Ren, T., Cong, R., Fahad, S., & Li, X. (2017). Effects of fertilization on crop production and nutrient-supplying capacity under rice-oilseed rape rotation system. *Scientific Reports*, *7*(1), 1270. <https://doi.org/10.1038/s41598-017-01412-0>


- Zaidi, A., Ahmad, E., Khan, M. S., Saif, S., & Rizvi, A. (2015). Role of plant growth promoting rhizobacteria in sustainable production of vegetables: Current perspective. *Scientia Horticulturae*, *193*, 231-239.
- Zamora, E. (2016). *El cultivo de la col de bruselas*. Universidad de Sonora. División de Ciencias Biológicas y de la Salud Departamento de Agricultura y Ganadería Hermosillo-Sonora México.  
<https://dagus.unison.mx/Zamora/COL%20DE%20BRUSELAS-DAG-HORT-012.pdf>
- Zayed, O., Hewedy, O. A., Abdelmoteleb, A., Ali, M., Youssef, M. S., Roumia, A. F., ... & Yuan, Z. C. (2023). Nitrogen journey in plants: From uptake to metabolism, stress response, and microbe interaction. *Biomolecules*, *13*(10), 1443.
- Zou, J., Huang, Y., Qin, Y., Liu, S., Shen, Q., Pan, G., Lu, Y., & Liu, Q. (2009). Changes in fertilizer-induced direct N<sub>2</sub>O emissions from paddy fields during rice-growing season in China between 1950s and 1990s. *Global Change Biology*, *15*(1), 229-242.  
<https://doi.org/10.1111/j.1365-2486.2008.01775>.

## 11. Anexos

### Anexo 1. Semillas de romanesco (*Brassica oleracea* var. romanesco) utilizadas en la investigación



## Anexo 2. Informe del análisis de suelo

 <b>AGROCALIDAD</b> AGENCIA DE REGULACIÓN Y CONTROL FITO Y ZOOSANITARIO	<b>LABORATORIO DE SUELOS, FOLIARES Y AGUAS</b> Vía Interoceánica Km. 14½ y Eloy Alfaro, Granja del MAGAP, Tumbaco - Quito Teléf.: 023828860 Ext. 2080	<b>PGT/SFA/09-FO01</b>
		<b>Rev. 5</b>
	<b>INFORME DE ANÁLISIS DE SUELO</b>	<b>Hoja 1 de 2</b>

Laboratorio de ensayo acreditado por el SAE con acreditación N° SAE LEN 09.003

Informe N°: LN-SFA-E23-4216  
 Fecha emisión Informe: 28/11/2023

### DATOS DEL CLIENTE

**Persona o Empresa solicitante<sup>1</sup>:** Elvis Rene Sarango Correa  
**Dirección<sup>1</sup>:** Zamora Huayco **Teléfono<sup>1</sup>:** 0981257735  
**Provincia<sup>1</sup>:** Loja **Cantón<sup>1</sup>:** Loja **Correo Electrónico<sup>1</sup>:** elvissarango@outlook.com  
**N° Orden de Trabajo:** 11-2023-251  
**N° Factura/Documento:** 012-001-1925

### DATOS DE LA MUESTRA:

<b>Tipo de muestra<sup>1</sup>:</b> Suelo	<b>Conservación de la muestra:</b> Lugar fresco y seco		
<b>Cultivo<sup>1</sup>:</b> Romanesco			
<b>Provincia<sup>1</sup>:</b> Loja	<b>Coordenadas<sup>1</sup>:</b>	<b>X:</b> ---	
<b>Cantón<sup>1</sup>:</b> Loja		<b>Y:</b> ---	
<b>Parroquia<sup>1</sup>:</b> San Sebastián		<b>Altitud:</b> ---	
<b>Muestreado por<sup>1</sup>:</b> Elvis Sarango			
<b>Fecha de muestreo<sup>1</sup>:</b> 07-11-2023	<b>Fecha de inicio de análisis:</b> 15-11-2023		
<b>Fecha de recepción de la muestra:</b> 15-11-2023	<b>Fecha de finalización de análisis:</b> 28-11-2023		

### RESULTADOS DEL ANÁLISIS

CÓDIGO DE MUESTRA LABORATORIO	IDENTIFICACIÓN DE CAMPO DE LA MUESTRA <sup>1</sup>	PARÁMETRO ANALIZADO	MÉTODO	UNIDAD	RESULTADO
SFA-23-4553	LOJA 1	pH a 25 °C	Electrométrico PEE/SFA/06 EPA 9045D	---	6,04
		Materia Orgánica*	Volumétrico PEE/SFA/09	%	4,73
		Nitrógeno*	Volumétrico PEE/SFA/09	%	0,24
		Fósforo*	Colorimétrico PEE/SFA/11	mg/kg	205,3
		Potasio*	Absorción Atómica PEE/SFA/12	cmol/kg	0,71
		Calcio*	Absorción Atómica PEE/SFA/12	cmol/kg	12,24
		Magnesio*	Absorción Atómica PEE/SFA/12	cmol/kg	2,47
		Hierro*	Absorción Atómica PEE/SFA/13	mg/kg	333,9
		Manganeso*	Absorción Atómica PEE/SFA/13	mg/kg	26,21
		Cobre*	Absorción Atómica PEE/SFA/13	mg/kg	8,56
		Zinc*	Absorción Atómica PEE/SFA/13	mg/kg	14,09
		Conductividad Eléctrica*	Conductímetro PEE/SFA/08	dS/m	0,224
		CIC*	Cálculo PEE/SFA/14	cmol/kg	17,46

**Analizado por:** Edison Vega, Paola Morocho, Katty Pastás, Cristina Cuichán

**Nota:** El resultado corresponde únicamente a la muestra entregada por el cliente en esta fecha.

Está prohibida la reproducción parcial de este informe.

<sup>1</sup> Datos suministrados por el cliente: el laboratorio no se responsabiliza por esta información.



**AGROCALIDAD**  
AGENCIA DE REGULACIÓN Y  
CONTROL FITO Y ZOOSANITARIO

**LABORATORIO DE SUELOS, FOLIARES Y AGUAS**

Vía Interoceánica Km. 14½ y Eloy Alfaro, Granja del  
MAGAP, Tumbaco - Quito  
Teléf.: 023828860 Ext. 2080

PGT/SFA/09-FO01

Rev. 5

**INFORME DE ANÁLISIS DE SUELO**

Hoja 2 de 2

**Observaciones:**

- Informe revisado por: Cristina Cuichán
- El laboratorio no es responsable del muestreo por lo que los resultados se aplican a la muestra como se recibió.
- Los ensayos marcados con (\*) NO están incluidos en el alcance de la acreditación del SAE.
- Las interpretaciones que se indican a continuación, están FUERA del alcance de acreditación del SAE.

**INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS - REGIÓN SIERRA**

PARÁMETRO	MO (%)	N (%)	P (mg/kg)	K (cmol/kg)	Ca (cmol/kg)	Mg (cmol/kg)	Fe (mg/kg)	Mn (mg/kg)	Cu (mg/kg)	Zn (mg/kg)
BAJO	<1,0	<0,15	<10,0	<0,20	<1,0	<0,33	<20,0	<5,0	<1,0	<3,0
MEDIO	1,0 - 2,0	0,15 - 0,30	10,0 - 20,0	0,20 - 0,38	1,0 - 3,0	0,33 - 0,66	20,0 - 40,0	5,0 - 15,0	1,0 - 4,0	3,0 - 7,0
ALTO	>2,0	>0,30	>20,0	>0,38	>3,0	>0,66	>40,0	>15,0	>4,0	>7,0

**INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS - REGIÓN SIERRA Y COSTA**

	ÁCIDO	LIGERAMENTE ÁCIDO	PRÁCTICAMENTE NEUTRO	LIGERAMENTE ALCALINO	ALCALINO
pH	≤ 5,5	> 5,5 - 6,5	> 6,5 - 7,5	> 7,5 - 8,0	> 8,0

**INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS - REGIÓN COSTA**

	No Salino (NS)	Ligeramente Salino (LS)	Salino (S)	Muy Salino (MS)
CE* (dS/m)	< 2,0	2,0 - 4,0	4,0 - 8,0	8,0 - 16,0

ENTE: INIAP. 2002



CRISTINA ALEXANDRA  
CUICHÁN QUIMIOLOGA

Quím. Alim. Cristina Cuichán  
Analista de Suelos, Foliar y Aguas 3  
Responsable Técnico del Laboratorio de  
Suelos, Foliar y Aguas

### Anexo 3. Plan de fertilización y cálculo de fertilizante

#### Estimación demanda nutricional

Parámetro	Zona 1	Unidad
N	345,00	kg/ha/año
P2O5	23,00	kg/ha/año
K2O	288,00	kg/ha/año
MgO	11,00	kg/ha/año
CaO	83,00	kg/ha/año
Zn	0,323	kg/ha/año
Fe	0,858	kg/ha/año
Mn	0,297	kg/ha/año
Cu	0,041	kg/ha/año

#### Cálculo de dosis nutricional

Parámetro	Total	Fertilización	Unidad
N	348,00	Fertilizar	kg/ha/año
P2O5	-2143,30	No fertilizar	kg/ha/año
K2O	-430,29	No fertilizar	kg/ha/año
MgO	-866,51	No fertilizar	kg/ha/año
CaO	-7084,51	No fertilizar	kg/ha/año
S	-1468,51	No fertilizar	kg/ha/año
Zn	-113,61	No fertilizar	kg/ha/año

#### Fertilizante empleado

Parámetro	Total	Fertilizantes	Fórmula	Kg/ha
N	<b>348,00</b>	Urea	46-0-0	756,52

Área de terreno
144 m <sup>2</sup>

$$Urea (kg) = \frac{Cantidad\ de\ urea\ (kg)}{10\ 000} * \text{Área del terreno (m}^2\text{)}$$

$$Urea (kg) = \frac{756,52 (kg)}{10\ 000} * 144$$

$$= 10,89\ kg$$

En el terreno se necesita 10,89 kg de Urea que se lo fraccionará en tres momentos

✓ **Requerimientos nutricionales del romanesco por hectárea Bertsch (2009).**

8 días después del trasplante → 13 kg

25 días después del trasplante → 44 kg  
 57 días después del trasplante → 117 kg

✓ **Área de terreno a aplicar**

144 m<sup>2</sup>

✓ **Cálculo de fertilizante para el área de terreno**

**8 días después del trasplante**

13 kg → 10000 m<sup>2</sup>  
 X → 144 m<sup>2</sup>

$$X = 0,18 \text{ kg}$$

**25 días después el trasplante**

44 kg → 10000 m<sup>2</sup>  
 X → 144 m<sup>2</sup>

$$X = 0,64 \text{ kg}$$

**40 días después del trasplante**

117 kg → 10000 m<sup>2</sup>  
 X → 144 m<sup>2</sup>

$$X = 1,68 \text{ kg}$$

8 días después del trasplante → 0,18 kg

25 días después del trasplante → 0,64 kg

40 días después del trasplante → 1,68 kg

**2,5 kg**

✓ **Total, de fertilizante (urea) que se utilizará**

10,89 kg

✓ **Determinar proporción aplicar en campo**

**8 días después del trasplante**

$$\left( \frac{0,18 \text{ kg}}{2,5 \text{ kg}} \right) * 10,89 \text{ kg}$$

$$X = 0,79 \text{ kg}$$

**25 días después del trasplante**

$$\left( \frac{0,64 \text{ kg}}{2,5 \text{ kg}} \right) * 10,89 \text{ kg}$$

$$X = 2,79 \text{ kg}$$

**40 días después del trasplante**



$$\left(\frac{1,68 \text{ kg}}{2,5 \text{ kg}}\right) * 10,89 \text{ kg}$$

$$X = 7,31 \text{ kg}$$

8 días después del trasplante → 0,79 kg

25 días después del trasplante → 2,79 kg

40 días después del trasplante → 7,31 kg

**10,89 kg**

Al sumar todo da un total de 10,89 kg que es lo que se necesita aplicar en los 3 momentos establecidos.

Aplicación	Urea (kg)	<i>Pseudomonas</i> (UFC mL <sup>-1</sup> )
8 días después del trasplante	0,40	1x10 <sup>8</sup>
25 días después del trasplante	1,40	1x10 <sup>8</sup>
40 días después del trasplante	3,65	1x10 <sup>8</sup>
<b>Urea junto con <i>Pseudomonas</i></b>		
8 días después del trasplante	0,40 kg + 1x10 <sup>8</sup> UFC mL <sup>-1</sup>	
25 días después del trasplante	1,40 kg + 1x10 <sup>8</sup> UFC mL <sup>-1</sup>	
40 días después del trasplante	3,65 kg + 1x10 <sup>8</sup> UFC mL <sup>-1</sup>	

#### Anexo 4. Cuantificación de poblaciones microbianas



UNL

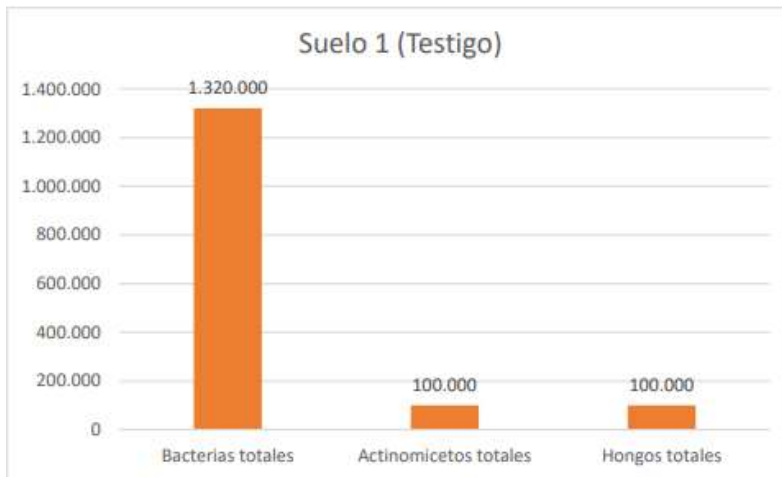
Universidad  
Nacional  
de Loja

LABORATORIO  
SANIDAD VEGETAL



#### SUELO 1 (TESTIGO).

Microorganismos	Microorganismos/g suelo	Porcentaje	Microorganismos/g suelo agrícola fértil REFERENCIALES
Bacterias totales	1.320.000	86,4	1 000 000 - 15 000 000
Actinomicetos totales	100.000	6,58	1 000 - 1 000 000
Hongos totales	110.000	7,02	20 000 - 1 000 000
<b>Total</b>	<b>1.530.000</b>	<b>100</b>	



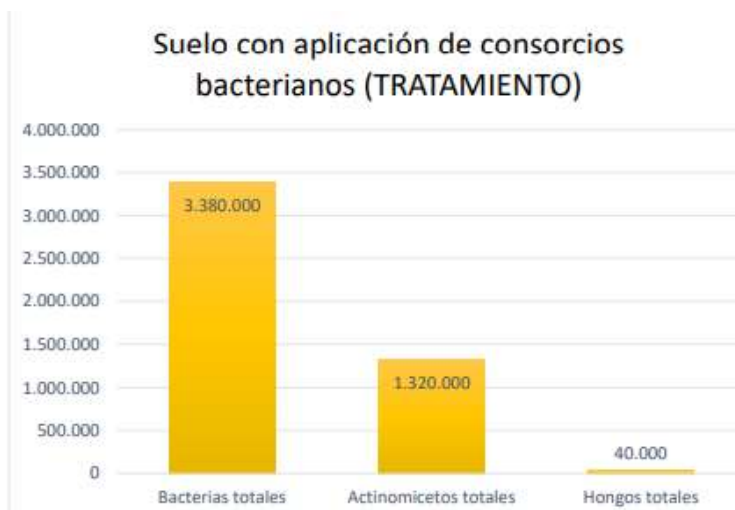
Universidad  
Nacional  
de Loja

LABORATORIO  
SANIDAD VEGETAL



**SUELO CON APLICACIÓN DE CONSORCIOS BACTERIANOS (TRATAMIENTO)**

Microorganismos	Microorganismos/g suelo	Porcentaje	Microorganismos/g suelo agrícola fértil REFERENCIALES
Bacterias totales	3.380.000	71,31	1 000 000 - 15 000 000
Actinomicetos totales	1.320.000	27,85	1 000 - 1 000 000
Hongos totales	40.000	0,84	20 000 - 1 000 000
<b>Total</b>	<b>4.740.000</b>	<b>100</b>	



Ing. Marlon Oswaldo Pineda E., MSc.  
**RESPONSABLE DEL LABORATORIO DE SANIDAD VEGETAL.**



Ing. Byron Luis Becerra M., MSc.  
**TÉCNICO DOCENTE DEL LABORATORIO DE SANIDAD VEGETAL.**

### Anexo 5. Evaluación de variables de crecimiento



### Anexo 6. Evaluación del contenido de clorofila



## Anexo 7. Evaluación de la productividad



## Anexo 8. Determinación de las variables bromatológicas



**Anexo 9. Resultados del análisis de contrastes ortogonales y varianza (ANOVA) para la variable Diámetro de tallo(mm) a los 55 días de evaluación.**

Variable	N	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> Aj	CV
D-T 55 días	180	0,21	0,16	13,97

Variable	N	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> Aj	CV
D-T 55 días	162	0,12	0,06	14,17

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	515,02	11	46,82	4,00	<0,0001
Tratamiento	510,49	9	56,72	4,84	<0,0001
Replica	4,53	2	2,27	0,19	0,8241
Error	1966,90	168	11,71		
Total	2481,92	179			

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	254,43	10	25,44	2,04	0,0325
Factor1	90,69	2	45,34	3,64	0,0285
Factor2	119,21	2	59,61	4,79	0,0096
Replica	1,42	2	0,71	0,06	0,9447
Factor1*Factor2	43,12	4	10,78	0,87	0,4859
Error	1879,39	151	12,45		
Total	2133,82	161			

Tratamiento	Contraste	E.E.	SC	gl	CM	F	p-valor	
Testigo vs Resto		3,99	0,85	257,47	1	257,47	21,99	<0,0001
Total			257,47	1	257,47	21,99	<0,0001	

F.V	SC	gl	CM	F	P-valor
Tratamiento	510,49	9	56,72	4,84	<0,001
Replica	4,53	2	2,27	0,19	0,8241
<b>Nutrición</b>	<b>90,69</b>	<b>2</b>	<b>45,34</b>	<b>3,87</b>	<b>0,0258</b>
<b>Fre. Aplicación</b>	<b>119,21</b>	<b>2</b>	<b>59,61</b>	<b>5,09</b>	<b>0,0096</b>
Nutrición × Fre Apli	43,12	4	10,78	0,92	0,4859
Testigo vs Resto	257,47	1	257,47	21,99	<0,001
Error	1966,9	168	11,71		
Total	2481,92	179			

**Anexo 10. Resultados del análisis de contrastes ortogonales y varianza (ANOVA) para la variable Área foliar (cm<sup>2</sup>) a los 23 días de evaluación.**

Variable	N	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> Aj	CV
Area foliar 23 días	180	0,27	0,22	27,35

Variable	N	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> Aj	CV
Area foliar 23 días	162	0,21	0,16	27,35

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	54557,58	11	4959,78	5,58	<0,0001
Tratamiento	38418,57	9	4268,73	4,80	<0,0001
Replica	16139,01	2	8069,51	9,08	0,0002
Error	149296,74	168	888,67		
Total	203854,32	179			

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	38340,82	10	3834,08	4,07	0,0001
Factor1	25,27	2	12,63	0,01	0,9867
Factor2	14460,79	2	7230,40	7,67	0,0007
Replica	17209,94	2	8604,97	9,13	0,0002
Factor1*Factor2	6644,82	4	1661,20	1,76	0,1395
Error	142373,62	151	942,87		
Total	180714,44	161			

Tratamiento	Contraste	E.E.	SC	gl	CM	F	p-valor	
Testigo vs Resto		32,67	7,41	17287,69	1	17287,69	19,45	<0,0001
Total			17287,69	1	17287,69	19,45	<0,0001	

F.V	SC	gl	CM	F	P-valor
Tratamiento	38418,57	9	4268,73	4,8	<0,0001
Replica	16139,01	2	8069,51	9,08	0,0001
Nutrición	25,27	2	12,63	0,01	0,9867
<b>Fre. Aplicación</b>	<b>14460,79</b>	<b>2</b>	<b>7230,4</b>	<b>8,14</b>	<b>0,0007</b>
Nutrición × Fre Apli	6644,82	4	1661,2	1,87	0,1395
Testigo vs Resto	17287,69	1	17287,69	19,45	<0,0001
Error	149296,74	168	888,67		
Total	203854,32	179			

## Anexo 11. Resultados del análisis de contrastes ortogonales y varianza (ANOVA) para la variable Contenido de clorofila a los 23 y 55 días de evaluación.

### ➤ 23 días

C-C 23 días

Variable	N	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> Aj	CV
C-C 23 días	180	0,22	0,17	6,60

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	490,86	11	44,62	4,23	<0,0001
Replica	15,15	2	7,58	0,72	0,4891
Tratamiento	475,71	9	52,86	5,01	<0,0001
Error	1772,21	168	10,55		
Total	2263,07	179			

Contrastes

Tratamiento	Contraste	E.E.	SC	gl	CM	F	p-valor	
Testigo vs Resto		1,73	0,81	48,55	1	48,55	4,60	0,0334
Total			48,55	1	48,55	4,60	0,0334	

C-C 23 días

Variable	N	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> Aj	CV
C-C 23 días	162	0,21	0,16	6,64

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	437,86	10	43,79	4,07	0,0001
Factor1	61,08	2	30,54	2,84	0,0617
Factor2	280,24	2	140,12	13,02	<0,0001
Replica	10,70	2	5,35	0,50	0,6092
Factor1*Factor2	85,84	4	21,46	1,99	0,0983
Error	1625,03	151	10,76		
Total	2062,89	161			

F.V	SC	gl	CM	F	P-valor
Tratamiento	475,71	9	52,86	4,23	<0,0001
Replica	15,15	2	7,58	0,72	0,4891
Nutrición	61,08	2	30,54	2,89	0,0617
<b>Fre. Aplicación</b>	<b>280,24</b>	<b>2</b>	<b>140,12</b>	<b>13,28</b>	<b>&lt;0,0001</b>
Nutrición × Fre Apli	85,84	4	21,46	2,03	0,0983
Testigo vs Resto	48,55	1	48,55	4,60	0,0334
Error	1772,21	168	10,55		
Total	2263,07	179			

### ➤ 55 días

Variable	N	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> Aj	CV
C-C 55 días	180	0,17	0,12	9,76

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	1558,71	11	141,70	3,20	0,0006
Replica	157,29	2	78,64	1,78	0,1724
Tratamiento	1401,42	9	155,71	3,52	0,0005
Error	7436,85	168	44,27		
Total	8995,56	179			

Contrastes

Tratamiento	Contraste	E.E.	SC	gl	CM	F	p-valor	
Testigo vs Resto		6,53	1,65	689,92	1	689,92	15,59	0,0001
Total			689,92	1	689,92	15,59	0,0001	

C-C 55 días

Variable	N	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> Aj	CV
C-C 55 días	162	0,11	0,06	9,74

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	872,77	10	87,28	1,94	0,0437
Factor1	599,95	2	299,98	6,67	0,0017
Factor2	56,50	2	28,25	0,63	0,5349
Replica	161,27	2	80,64	1,79	0,1699
Factor1*Factor2	55,05	4	13,76	0,31	0,8735
Error	6788,77	151	44,96		
Total	7661,54	161			

F.V	SC	gl	CM	F	P-valor
Tratamiento	1401,42	9	155,71	3,52	0,0005
Replica	157,29	2	78,64	1,78	0,170
<b>Nutrición</b>	<b>599,95</b>	<b>2</b>	<b>299,98</b>	<b>6,78</b>	<b>0,0017</b>
Fre. Aplicación	56,5	2	28,25	0,64	0,5349
Nutrición × Fre Apli	55,05	4	13,76	0,31	0,8735
Testigo vs Resto	689,92	1	689,92	15,59	0,0001
Error	7436,85	168	44,27		
Total	8995,56	179			

## Anexo 12. Resultados del análisis de contrastes ortogonales y varianza (ANOVA) para la variable Humedad.

Variable	N	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> Aj	CV
Humedad	30	0,63	0,40	14,02

Variable	N	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> Aj	CV
Humedad	27	0,63	0,40	14,36

### Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	53,65	11	4,88	2,79	0,0259
Tratamiento	53,53	9	5,95	3,40	0,0129
Replica	0,12	2	0,06	0,03	0,9670
Error	31,44	18	1,75		
Total	85,09	29			

### Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	48,36	10	4,84	2,72	0,0362
Factor1	31,51	2	15,75	8,86	0,0026
Factor2	10,80	2	5,40	3,04	0,0762
Replica	0,55	2	0,28	0,15	0,8579
Factor1*Factor2	5,51	4	1,38	0,77	0,5577
Error	28,45	16	1,78		
Total	76,81	26			

### Contrastes

Tratamiento	Contraste	E.E.	SC	gl	CM	F	p-valor	
Testigo vs Resto		-1,45	0,80	5,72	1	5,72	3,27	0,0872
Total			5,72	1	5,72	3,27	0,0872	

F.V	SC	gl	CM	F	P-valor
Tratamiento	53,53	9	5,95	3,4	0,0129
Replica	0,12	2	0,06	0,03	0,9670
Nutrición	31,51	2	15,75	9,00	0,0026
Fre. Aplicación	10,8	2	5,4	3,09	0,0762
Nutrición × Fre Apli	5,51	4	1,38	0,79	0,5577
Testigo vs Resto	5,72	1	5,72	3,27	0,0872
Error	31,44	18	1,75		
Total	85,09	29			

## Anexo 13. Resultados del análisis de contrastes ortogonales y varianza (ANOVA) para la variable Ceniza.

### Análisis de la varianza

Variable	N	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> Aj	CV
Ceniza	30	0,59	0,34	16,55

Variable	N	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> Aj	CV
Ceniza	27	0,52	0,22	12,42

### Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	46,57	11	4,23	2,38	0,0498
Tratamiento	46,27	9	5,14	2,89	0,0266
Replica	0,30	2	0,15	0,08	0,9206
Error	32,06	18	1,78		
Total	78,62	29			

### Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	18,79	10	1,88	1,73	0,1581
Factor1	15,42	2	7,71	7,10	0,0062
Factor2	1,21	2	0,61	0,56	0,5829
Replica	1,00	2	0,50	0,46	0,6386
Factor1*Factor2	1,16	4	0,29	0,27	0,8946
Error	17,37	16	1,09		
Total	36,17	26			

### Contrastes

Tratamiento	Contraste	E.E.	SC	gl	CM	F	p-valor	
Testigo vs Resto		3,25	0,81	28,48	1	28,48	15,99	0,0008
Total			28,48	1	28,48	15,99	0,0008	

F.V	SC	gl	CM	F	P-valor
Tratamiento	46,27	9	5,14	2,89	0,0266
Replica	0,3	2	0,15	0,08	0,9206
<b>Nutrición</b>	<b>15,42</b>	<b>2</b>	<b>7,71</b>	<b>4,33</b>	<b>0,0062</b>
Fre. Aplicación	1,21	2	0,61	0,34	0,5829
Nutrición × Fre Apli	1,16	4	0,29	0,16	0,8946
Testigo vs Resto	28,48	1	28,48	15,99	0,0008
Error	32,06	18	1,78		
Total	78,62	29			

Lic. Jordy Christian Granda F., Mgs.

0967352473

[chris-gra1993@hotmail.com](mailto:chris-gra1993@hotmail.com)

Loja – Ecuador

Loja, 08 de marzo de 2025

*El suscrito, Lic. Jordy Christian Granda Feijoo, Mgs., **DOCENTE EDUCACIÓN SUPERIOR DEL ÁREA DE INGLÉS - CIS DEL INSTITUTO SUPERIOR TECNOLÓGICO SUDAMERICANO LOJA**, a petición de la parte interesada y en forma legal,*

**CERTIFICA:**

*Que, la traducción del documento adjunto solicitado por el Ing. **Elvis Rene Sarango Correa**, con cedula de ciudadanía No. **1105645269**, cuyo tema de investigación se titula: **Influencia de Pseudomonas sp. y fertilización nitrogenada en el crecimiento y productividad del romanesco (Brassica oleracea var. romanesco) en El Carmen, Loja, Ecuador**, ha sido realizado y aprobado por mi persona, docente de Educación Superior en la enseñanza del inglés como lengua extranjera. El apartado del Abstract es una traducción textual del Resumen aprobado en español.*

*Particular que comunico en honor a la verdad para los fines académicos, facultando al portador del presente documento, hacer el uso legal pertinente.*

***English is a piece of cake!***



Firmado electrónicamente por:  
**JORDY CHRISTIAN  
GRANDA FEIJOO**

*Lic. Jordy Christian Granda Feijoo, Mgs.*

**ENGLISH PROFESSOR**

