



Universidad  
Nacional  
de Loja

## Universidad Nacional de Loja

### Facultad Agropecuaria y de Recursos Naturales

#### Renovables

#### Carrera Ingeniería Agronómica

**Efecto de la aplicación de microorganismos promotores de crecimiento vegetal en el desarrollo y rendimiento de brócoli (*Brassica oleracea* L.) bajo condiciones de campo en la Argelia.**

Trabajo de Integración Curricular  
previo a la obtención del Título de  
Ingeniera Agrónoma.

#### AUTORA:

Gisela Yuleidy Masache Cumbicos.

#### DIRECTOR:

PhD. Klever Iván Granda Mora

Loja - Ecuador

2024



unl

Universidad  
Nacional  
de Loja

## Certificación

**Sistema de Información Académico  
Administrativo y Financiero - SIAAF**

### CERTIFICADO DE CULMINACIÓN Y APROBACIÓN DEL TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR

Yo, **Granda Mora Klever Ivan**, director del Trabajo de Integración Curricular denominado **Efecto de la aplicación de microorganismos promotores de crecimiento vegetal en el desarrollo y rendimiento de brócoli (*Brassica oleracea* L.) bajo condiciones de campo en la Argelia**, perteneciente al estudiante **Gisela Yuleidy Masache Cumbicos**, con cédula de identidad N° **1900817618**. Certifico que luego de haber dirigido el **Trabajo de Integración Curricular** se encuentra concluido, aprobado y está en condiciones para ser presentado ante las instancias correspondientes.

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

Loja, 24 de Agosto de 2023



Escaneé electrónicamente por:  
KLEVER IVAN GRANDA  
MORA

F) -----  
**DIRECTOR DE TRABAJO DE INTEGRACIÓN  
CURRICULAR**



Certificado TIC/TT.: UNL-2023-000666

1/1  
*Educamos para Transformar*

## **Autoría**

Yo, **Gisela Yuleidy Masache Cumbicos**, declaro ser autora del presente Trabajo de Integración Curricular 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 Integración Curricular, en el Repositorio Digital Institucional – Biblioteca Virtual.

**Firma:**

A handwritten signature in blue ink, appearing to read 'Gisela Masache', enclosed within a blue oval scribble.

**Cédula de identidad:** 1900817618

**Fecha:** 01-07-2024

**Correo electrónico:** gisela.masache@unl.edu.ec

**Teléfono:** 0959816119

**Carta de autorización parte de la autora, para consulta, reproducción parcial o total y/o publicación electrónica del texto completo, del Trabajo de Integración Curricular.**

Yo, **Gisela Yuleidy Masache Cumbicos**, declaro ser autora del Trabajo de Integración Curricular denominado: Efecto de la aplicación de microorganismos promotores de crecimiento vegetal en el desarrollo y rendimiento de brócoli (*Brassica oleracea* L.) bajo condiciones de campo en la Argelia, como requisito para optar por el título de Ingeniera Agrónoma, 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 Integración Curricular que realice un tercero.

Para constancia de esta autorización, suscribo, en la ciudad de Loja, a los cinco días del mes de julio de dos mil veinticuatro.



**Firma:**

**Autora:** Gisela Yuleidy Masache Cumbicos

**Cédula:** 1900817618

**Dirección:** Zumbi

**Correo electrónico:** gisela.masache@unl.edu.ec

**Teléfono:** 0959816119

**DATOS COMPLEMENTARIOS:**

**Director del Trabajo de Integración Curricular:** Ing. Klever Iván Granda Mora *PhD*

## **Dedicatoria**

El presente Trabajo Investigativo dedico a mi familia quienes han sido mi inspiración y pilar fundamental en todo momento, de manera especial a mis padres: Sr. Franclin Masache y Mgtr. Mireya Cumbicos, por ser siempre mi motivación, guíadores de vida y educación ya que con su apoyo, esfuerzo y sacrificio han hecho posible que llegue a cumplir esta meta anhelada, de ser una profesional.

A mis hermanos Jhosely M., Jhon M., Jhoan M., que fueron mis confidentes e incondicionales de todos los días.

A mis abuelitos paternos Gonzalo M. y Esperanza Y. y maternos Florentino C. y Eudocia R. por constantemente alentarme, que siempre me tuvieron presente en sus oraciones, me brindaron sus consejos y bendición.

¡Son mi orgullo!

*Gisela Yuleidy Masache Cumbicos*

## **Agradecimiento**

Mi agradecimiento total primeramente a Dios por darme la fortaleza y sabiduría, para poder llegar a desarrollar este Trabajo de Investigación y de tal manera poder culminar esta meta anhelada en mi vida, por regalarme cada uno de estos momentos maravillosos.

A mis padres, por su comprensión y paciencia, que siempre han estado para mí, me han brindado su amor incondicional y apoyo tanto moral como económico durante cada una de las etapas de mi formación, por creer y confiar siempre en mí, gracias por ser mi ejemplo de superación.

A mis hermanos, en especial a Jhon M. quien me ayudó durante el desarrollo de mi Trabajo de Investigación en campo. A mis tíos/as, por aconsejarme, ya que de cierta manera me impulsaban a continuar y no decaer.

A los ingenieros quienes han contribuido en mi formación académica e impartido sus conocimientos y a su vez por guiarme y brindarme su asesoría durante el transcurso de la investigación: Ing. Klever Iván Granda Mora *PhD* en calidad de director e Ing. Ángel Rolando Robles *PhD* como asesor.

Gracias a cada una de las personas que fueron parte de este proceso que me brindaron su ayuda sin interés alguno y estuvieron junto a mí en las distintas adversidades diarias.

Finalmente, agradezco a la Universidad Nacional de Loja conjuntamente con cada uno de los docentes que ejercen en la carrera de Agronomía por permitirme lograr este paso de formación como profesional.

¡Les estimo siempre!

*Gisela Yuleidy Masache Cumbicos*

## Índice de contenidos

<b>Portada</b> .....	<b>i</b>
<b>Certificación</b> .....	<b>ii</b>
<b>Autoría</b> .....	<b>iii</b>
<b>Carta de autorización</b> .....	<b>iv</b>
<b>Dedicatoria</b> .....	<b>v</b>
<b>Agradecimiento</b> .....	<b>vi</b>
<b>Índice de contenidos</b> .....	<b>vii</b>
Índice de tablas .....	x
Índice de figuras.....	xi
Índice de anexos.....	xiii
<b>1. Título</b> .....	<b>1</b>
<b>2. Resumen</b> .....	<b>2</b>
<b>Abstract</b> .....	<b>3</b>
<b>3. Introducción</b> .....	<b>4</b>
3.1. Objetivo general .....	6
3.2. Objetivos específicos.....	6
<b>4. Marco teórico</b> .....	<b>7</b>
4.1. Generalidades del cultivo de brócoli.....	7
4.1.1. Origen y distribución .....	7
4.2. Clasificación taxonómica .....	7
4.3. Características morfológicas .....	7
4.4. Fenología.....	8
4.5. Requerimientos edafoclimáticos .....	8
4.5.1. Agua.....	8
4.5.2. Suelo .....	8
4.5.3. Temperatura .....	9
4.6. Manejo agronómico.....	9
4.6.1. Almacigo y trasplante del cultivo .....	9
4.6.2. Marco de plantación.....	9
4.6.3. Labores culturales .....	9

4.7. Rendimiento .....	10
4.8. Requerimientos nutricionales .....	10
4.9. Fertilización.....	13
4.9.1. Fertilización química.....	13
4.9.2. Fertilización orgánica .....	13
4.9.3. Microorganismos promotores del crecimiento de las plantas (PGPR) .....	15
4.9.4. Características de los microorganismos de interés agrícola.....	15
4.10. Antecedentes .....	17
<b>5. Metodología .....</b>	<b>17</b>
5.1. Descripción del área de estudio.....	17
5.1.1. Localización de estudio .....	17
5.1.2. Condiciones climáticas .....	18
5.2. Tipo y alcance de la investigación .....	18
5.3. Diseño experimental.....	18
5.4. Modelo matemático.....	19
5.5. Tratamientos.....	19
5.6. Características del ensayo .....	20
5.7. Metodología general.....	21
5.7.1. Preparación del terreno .....	21
5.7.2. Trazado de parcelas .....	21
5.7.3. Elaboración de semilleros y trasplante .....	21
5.7.3. Riego.....	21
5.7.4. Control de maleza.....	21
5.7.5. Fertilización y aplicación de microorganismos .....	22
5.8. Metodología por objetivos .....	22
5.8.1. Metodología para el primer objetivo:.....	22
5.8.2. Metodología para el segundo objetivo .....	23
5.9. Análisis estadístico.....	24
<b>6. Resultados.....</b>	<b>25</b>
6.1. Resultados para el primer objetivo .....	25
6.1.1. Propiedades físicas y químicas .....	25
6.2. Resultados del segundo objetivo .....	28

<b>7. Discuciones .....</b>	<b>36</b>
7.1. Discusiones para el primer objetivo .....	36
7.2. Discusiones para el segundo objetivo .....	37
<b>8. Conclusiones.....</b>	<b>41</b>
<b>9. Recomendaciones.....</b>	<b>42</b>
<b>10. Bibliografía .....</b>	<b>43</b>
<b>11. Anexos .....</b>	<b>49</b>

## Índice de tablas

<b>Tabla 1.</b> Clasificación botánica del brócoli.....	7
<b>Tabla 2.</b> Descripción de los tratamientos utilizados en el experimento de campo. ....	20
<b>Tabla 3.</b> Especificaciones del ensayo.....	20
<b>Tabla 4.</b> Datos del peso seco del suelo tanto inicial como final con sus promedios generales. ..	25
<b>Tabla 5.</b> Análisis de las propiedades físicas del suelo antes y después de la aplicación de los microorganismos promotores del crecimiento vegetal. ....	25
<b>Tabla 6.</b> Análisis de la textura del suelo .....	25
<b>Tabla 7.</b> Contenido de macro y micro nutrientes del primer y segundo análisis de suelo. ....	26
<b>Tabla 8.</b> Resultados de pH, materia orgánica y capacidad de intercambio catiónico. ....	26
<b>Tabla 9.</b> Análisis de relaciones, suma de bases y textura del suelo. ....	27
<b>Tabla 10.</b> Resultados de la Prueba de ANAVA para la variable altura de las plantas en las diferentes fechas de evaluación (p valor significativo < 0,05). ....	54
<b>Tabla 11.</b> Resultados de la Prueba de ANAVA para la variable número de hojas en las diferentes fechas de evaluación (p valor significativo < 0,05). ....	54
<b>Tabla 12.</b> Resultados de la Prueba de ANAVA para la variable diámetro de pella en las diferentes fechas de evaluación (p valor significativo < 0,05). ....	55
<b>Tabla 13.</b> Resultados de la Prueba de ANAVA para la variable peso de pella (p valor significativo < 0,05). ....	55

## Índice de figuras

<b>Figura 1.</b> Ubicación del lugar de la investigación en la Quinta Experimental “La Argelia”.....	18
<b>Figura 2.</b> Esquema de distribución d las unidades experimentales en campo con cada tratamiento T1 (testigo), T2 (Chlorella), T3 (Azotobacter), T4 (Pseudomonas), T5 (Azospirillum) y T6 (Químico) con su respectiva repetición. ....	19
<b>Figura 3.</b> Altura (cm) de las plantas de brócoli en distintas fechas de evaluación, durante el ensayo, con los distintos tratamientos aplicados. Las letras en la parte superior, representan las diferencias significativas entre cada tratamiento con un $p>0,05$ . Tratamientos: T1 (Testigo), T2 ( <i>Chlorella</i> ), T3 ( <i>Azotobacter</i> ), T4 ( <i>Pseudomonas</i> ), T5 ( <i>Azospirillum</i> ) y T6 (Fertilizante químico). ....	29
<b>Figura 4.</b> Número de hojas de las plantas de brócoli en distintas fechas de evaluación, durante el ensayo, con los distintos tratamientos aplicados. Las letras en la parte superior, representan las diferencias significativas entre cada tratamiento con un $p>0,05$ . Tratamientos: T1 (Testigo), T2 ( <i>Chlorella</i> ), T3 ( <i>Azotobacter</i> ), T4 ( <i>Pseudomonas</i> ), T5 ( <i>Azospirillum</i> ) y T6 (Fertilizante químico). ....	31
<b>Figura 5.</b> Diámetro de pella de las plantas de brócoli en distintas fechas de evaluación, durante el ensayo, con los distintos tratamientos aplicados. Tratamientos: T1 (Testigo), T2 ( <i>Chlorella</i> ), T3 ( <i>Azotobacter</i> ), T4 ( <i>Pseudomonas</i> ), T5 ( <i>Azospirillum</i> ) y T6 (Fertilizante químico). Las letras en la parte superior, representan las diferencias significativas entre cada tratamiento con un $p>0,05$ . ....	33
<b>Figura 6.</b> Peso de pella de las plantas de brócoli, registrado al final del ensayo, en el momento de la cosecha. Las letras en la parte superior, representan las diferencias significativas entre cada tratamiento con un $p>0,05$ . Tratamientos: T1 (Testigo), T2 ( <i>Chlorella</i> ), T3 ( <i>Azotobacter</i> ), T4 ( <i>Pseudomonas</i> ), T5 ( <i>Azospirillum</i> ) y T6 (Fertilizante químico). ....	34
<b>Figura 7.</b> Rendimiento de las plantas de brócoli, registrado al final del ensayo, en el momento de la cosecha. Las letras en la parte superior, representan las diferencias significativas entre cada tratamiento con un $p>0,05$ . Tratamientos: T1 (Testigo), T2 ( <i>Chlorella</i> ), T3 ( <i>Azotobacter</i> ), T4 ( <i>Pseudomonas</i> ), T5 ( <i>Azospirillum</i> ) y T6 (Fertilizante químico). ....	35
<b>Figura 8.</b> Recolección de muestras iniciales de suelo del terreno donde se estableció el ensayo de trabajo de integración curricular. ....	49
<b>Figura 9.</b> Preparación de semillero y siembra en bandejas. ....	49
<b>Figura 10.</b> Aplicación de los diferentes tratamientos en semillero tanto de los microorganismos como del fertilizante químico. ....	50

<b>Figura 11.</b> Preparación de terreno.....	50
<b>Figura 12 .</b> Delimitación de parcelas en la quinta experimental la Argelia.....	50
<b>Figura 13.</b> Trasplante de plántulas.....	51
<b>Figura 14.</b> Deshierbe de malezas.....	51
<b>Figura 15.</b> Medición de altura y conteo de número de hojas de las pantas de brócoli.....	52
<b>Figura 16.</b> Segunda aplicación de los tratamientos en campo.....	52
<b>Figura 17.</b> Medición de diámetro de pella.....	53
<b>Figura 18.</b> Cosecha de las pellas de brócoli.....	53
<b>Figura 19.</b> Peso de pella.....	54

## **Índice de anexos**

<b>Anexo 1.</b> Evidencias fotográficas .....	49
<b>Anexo 2.</b> Análisis estadísticos en el programa Infostat de las diferentes variables. ....	54
<b>Anexo 3.</b> Análisis de suelo .....	56
<b>Anexo 4.</b> Certificación de traducción de resumen.....	57

## **1. Título**

Efecto de la aplicación de microorganismos promotores de crecimiento vegetal en el desarrollo y rendimiento de brócoli (*Brassica oleracea* L.) bajo condiciones de campo en la Argelia.

## 2. Resumen

El objetivo de la investigación fue Evaluar el efecto de la aplicación de microorganismos promotores del crecimiento vegetal en el desarrollo y rendimiento de brócoli (*Brassica oleracea* L.). La fase práctica se llevó a cabo en la Quinta experimental La Argelia de la Universidad Nacional de Loja, se utilizó un diseño experimental de bloques completamente al azar con seis tratamientos y cinco repeticiones, obteniendo un total de 30 parcelas, los tratamientos empleados fueron T1 (Testigo), T2 (*Chlorella*), T3 (*Azotobacter*), T4 (*Pseudomonas*), T5 (*Azospirillum*) y T6 (Químico), cada unidad experimental constituyó una parcela de 3 m<sup>2</sup>. Se aplicó un análisis estadístico tipo ANOVA con las respectivas pruebas de normalidad y homogeneidad de Tukey al 95 % de confianza, en todas las variables; los resultados indicaron que T6 (Químico) y T3 (*Azotobacter*) tuvieron una influencia directa positivamente en las plantas de brócoli en las variables como altura, número de hojas, diámetro, peso y rendimiento, se encontraron diferencias estadísticamente significativas en comparación al tratamiento T1 (Testigo), así mismo la implementación de los microorganismos mejoraron las propiedades físicas y químicas del suelo; por ende se evidencia que la inoculación de microorganismos promotores de crecimiento vegetal es una alternativa viable para el desarrollo del cultivo de brócoli y de tal manera una buena producción frente a la fertilización química.

**Palabras clave:** *Brassica oleracea* L, *Chlorella*, *Azotobacter*, *Pseudomonas*, *Azospirillum*, desarrollo, rendimiento, microorganismos promotores del crecimiento vegetal.

## **Abstract**

The objective of the research was to evaluate the effect of the application of plant growth-promoting microorganisms on the development and yield of broccoli (*Brassica oleracea* L.). The practical phase was carried out at the Quinta experimental La Argelia of the National University of Loja, a completely randomized block experimental design was used with six treatments and five repetitions, obtaining a total of 30 plots, the treatments used were T1 (Witness), T2 (*Chlorella*), T3 (*Azotobacter*), T4 (*Pseudomonas*), T5 (*Azospirillum*) and T6 (Chemical), each experimental unit constituted a plot of 3 m<sup>2</sup>. An ANOVA-type statistical analysis was applied with the respective Tukey normality and homogeneity tests at 95% confidence, in all variables; The results indicated that T6 (Chemical) and T3 (*Azotobacter*) had a direct positive influence on broccoli plants in variables such as height, number of leaves, diameter, weight and yield, statistically significant differences were found compared to the T1 treatment ( Witness), likewise the implementation of microorganisms improved the physical and chemical properties of the soil; Therefore, it is evident that the inoculation of plant growth-promoting microorganisms is a viable alternative for the development of the broccoli crop and thus good production compared to chemical fertilization.

**Keywords:** *Brassica oleracea* L, *Chlorella*, *Azotobacter*, *Pseudomonas*, *Azospirillum*, development, yield, plant growth promoting microorganisms.

### 3. Introducción

El brócoli (*Brassica oleracea* L.) es una de las hortalizas de mayor importancia a nivel global debido a los beneficios que el consumo de este producto ofrece para la salud humana, contiene cantidades significantes de nutrientes, vitaminas, proteínas y sales minerales (Blanco y Arragan, 2020). En Ecuador la producción de brócoli se encuentra concentrada en 4 provincias, donde principalmente Cotopaxi abarca el 89 % de la superficie productiva, seguida de Chimborazo con el 5 % y Tungurahua e Imbabura. En los últimos años a causa del aumento de la demanda en los mercados nacionales e internacionales se ha incrementado la superficie de siembra de acuerdo al último Censo Nacional Agropecuario, es de 5,520 hectáreas aproximadamente, de las cuales en un 65% son destinadas a la exportación y la otra parte al consumo interno, al igual que la tendencia de producción ya que en el año 2022 alcanzó más de 135 mil toneladas, lo que representa un incremento de 4 % con respecto a 2021, además, este cultivo dinamiza la economía del país generando empleo (MAG, 2023).

El lugar propicio para la siembra de este cultivo es la sierra ecuatoriana, las ventajas geográficas conllevan a producir brócoli de excelente calidad con características físicas notables (Gall, 2009). Sin embargo, para satisfacer las necesidades de una población humana en rápido crecimiento ha generado que los agricultores dependan de la aplicación de fertilizantes químicos, con el fin de lograr mayor rendimiento en los cultivos (González, 2019). Abhilash et al. (2016) mencionaron que los fertilizantes químicos, al no ser manejados de manera correcta, conllevan a deteriorar la calidad de los ecosistemas, causan daños perjudiciales en la salud humana y generan altos costos que no son accesibles para los agricultores.

Las aplicaciones excesivas de compuestos químicos producen impactos negativos como: aumento de las emisiones de gases de efecto invernadero, acidificación del suelo, lixiviación, desequilibrios biológicos, eutrofización, toxicidad de las aguas, contaminación del aire, y en los suelos principalmente variación del pH, deterioro de la estructura del suelo y de la micro fauna (González, 2019), por ende, genera importantes problemas económicos y ambientales. Por lo tanto, existe la necesidad de mantener el uso de biofertilizantes orgánicos para enfrentar los desafíos de sostenibilidad agrícola, que consiste en una mejor nutrición y productividad mundial en constante aumento y considerar nuevos enfoques para una producción sostenible (Domagała y Gastoł, 2018).

En este aspecto se genera el interés de realizar estudios con la aplicación de microorganismos promotores del crecimiento vegetal y buscar alternativas amigables con el medio ambiente y la salud, como la utilización de fuentes de biofertilización, consideradas una de las contribuciones más importantes de la biotecnología y la microbiología a la agricultura moderna (Granda et al., 2017). Dentro de estas fuentes, las algas del género *Chlorella* se presentan como una alternativa válida ya que permiten lograr el aumento en el crecimiento radical, el incremento de biomasa foliar y una mejora en el rendimiento de los cultivos (Smith y Read, 2008).

Otra alternativa es la aplicación de rizobacterias promotoras del crecimiento vegetal (RPCV), que contribuyen sustancialmente a la nutrición de las plantas, tanto en ecosistemas agrícolas como naturales, ya que cada vez son de mayor importancia para el desarrollo de una buena producción, debido a que existe una interacción benéfica entre plantas y microorganismos del suelo en la horticultura, esencial para superar el desafío de aumentar el rendimiento y la calidad de los cultivos, es un camino a la producción sostenible y ecológica (Ruzzi y Aroca, 2015).

Además, los tratamientos con bioestimulantes vegetales microbianos como: algas, bacterias y otros microorganismos representan un enfoque sostenible para mejorar los rasgos deseables de los cultivos, como la germinación uniforme de las semillas, el alto vigor de las plántulas y un extenso sistema radicular. Actualmente, las bacterias *Pseudomonas* spp., *Azotobacter* spp y *Azospirillum* spp. están incluidas principalmente como bioestimulantes vegetales microbianos que aumentan la posibilidad de una acción sinérgica en la promoción del crecimiento de las plantas y la tolerancia al estrés abiótico y mejorar el rendimiento y la calidad nutricional de los cultivos (Cardarelli, 2020).

En este contexto, con la finalidad de ampliar el conocimiento del uso de biofertilizantes como una alternativa agroecológica en el establecimiento de brócoli, la presente investigación consistió en evaluar el efecto de la aplicación de microorganismos promotores del crecimiento vegetal (PCV) *Pseudomonas*, *Azospirillum*, *Azotobacter* y *Chlorella* como complemento a la fertilización edáfica en el desarrollo y rendimiento de *Brassica oleracea* L., del híbrido Coronado F1. Por ende, para lograr este propósito se plantearon los siguientes objetivos.

### **3.1. Objetivo general**

- Evaluar el efecto de la aplicación de microorganismos promotores del crecimiento vegetal en el desarrollo y rendimiento de brócoli (*Brassica oleracea* L.) bajo condiciones de campo en la Argelia.

### **3.2. Objetivos específicos**

- Analizar las propiedades físicas y químicas del suelo antes y después de la aplicación de los microorganismos del suelo.
- Evaluar los parámetros de crecimiento y rendimiento en el brócoli mediante la aplicación de microorganismos promotores del crecimiento vegetal.

## 4. Marco teórico

### 4.1. Generalidades del cultivo de brócoli

#### 4.1.1. Origen y distribución

El brócoli (*Brassica oleracea* L.) es originario de la región oriental del Mediterráneo de Europa. (Vázquez et al., 2020). Se sitúa en los países con clima templado: Asia Menor, Líbano, Siria, etc. Hace aproximadamente 2500 años, los romanos ya cultivaban esta planta, pero la expansión de este cultivo se inicia a partir del siglo XVI. Sin embargo, no fue hasta mediados del siglo XX cuando su producción se desarrolló en Europa y Estados Unidos (Acosta et al., 2018).

### 4.2. Clasificación taxonómica

Según, Vélez y Álava (2021) el brócoli tiene la clasificación botánica que se muestra en la tabla 1.

**Tabla 1.** Clasificación botánica del brócoli.

<b>Reino</b>	Plantae
<b>Division :</b>	Magnoliophyta
<b>Clase :</b>	Magnoliopsida
<b>Sub-clase :</b>	Dilleneidae
<b>Orden :</b>	Capparales
<b>Familia :</b>	Brassicaceae
<b>Género :</b>	<i>Brassica</i>

### 4.3. Características morfológicas

El cultivo de brócoli es anual, tiene una raíz pivotante poco profundo, se ramifica dando lugar a muchas raíces fibrosas dentro de los 30 a 40 cm del suelo, su sistema radicular amplio le admite una alta capacidad de absorción de agua y nutrientes, así como un buen anclaje (Zamora, 2016).

La presentación de sus hojas es verde oscuro, festoneadas y con limbos hendidos, además de ser más pecioladas que las hojas de la coliflor. Los tallos son herbáceos y cilíndricos, relativamente grueso de 3 a 6 cm de diámetro y 20 a 50 cm de alto, en el que se disponen las hojas en forma helicoidal, con entrenudos cortos, los brócolis desarrollan al término de los tallos una masa globulosa de yemas florales (AgroEs, 2017).

Lo conforma una pella, que es una agrupación compacta de flores inmaduras, el color de las inflorescencias es de color verdoso, grisáceo o morado, la cabeza principal (pella) compacta es

de 15 a 20 cm de diámetro y con un peso de 300 a 1 500 g. Las inflorescencias son racemosas y las flores son amarillas (AgroEs,2017). Es de polinización alógama y el fruto es una silicua que presenta un color verde oscuro cenizo que mide en promedio de 3 a 4 mm y que contiene las semillas. La semilla tiene un tamaño pequeño de 2 a 3 mm, de forma redonda. En un gramo, se pueden encontrar hasta 350 semillas (Toledo, 2003).

#### **4.4. Fenología**

Presenta un ciclo biológico de 150 días a 180 días desde la germinación de la semilla para dar origen a una nueva planta, hasta la etapa de maduración de la nueva semilla. El proceso de germinación dura alrededor de 10 a 12 días según la especie a cultivar, en el semillero o almaciguera, deben permanecer las plántulas por un tiempo de 30 días a 35 días antes de realizarse el trasplante a suelo definitivo; desde el trasplante del semillero o almaciguera a la cosecha de la pella del brócoli, transcurren alrededor de 70 días a 100 días, según la variedad utilizada y las condiciones climáticas donde se cultiva; el proceso de maduración de la pella hasta la floración final como tal se realiza aproximadamente entre los 90 días a los 120 días dependiendo de la variedad (Bolea, 2002).

#### **4.5. Requerimientos edafoclimáticos**

Toledo (2003) señala que los factores edafoclimáticos (Agua, suelo y temperatura) son de suma importancia debido a que regulan los procesos fisiológicos y metabólicos.

##### **4.5.1. Agua**

El brócoli presenta un requerimiento permanente de agua, que sea de buena calidad para la obtención de máximos rendimientos. Cuando se presentan altos niveles de salinidad o de elementos tóxicos en el agua de riego, se afecta el potencial de rendimiento del cultivo, lo cual causa la reducción de la calidad del producto (Revelo, 2012).

##### **4.5.2. Suelo**

El brócoli tiene una gran adaptación a diferentes texturas de suelo, siempre que tengan un buen drenaje, habiéndose obtenido buenos rendimientos en suelos arenosos y hasta arcillo limosos, donde se requiere preparar adecuadamente el terreno con una buena cama, para hacer más efectiva la siembra; además es tolerante a suelos con pH entre 6 a 6,8 (Zamora, 2016). Se puede cultivar en varios tipos de suelo; los suelos livianos son perfectos para variedades precoces y los pesados

para variedades tardías. Resiste moderadamente la salinidad, sin embargo, en suelos salinos presenta dificultad en el enraizamiento luego del trasplante (Vallejo, 2013).

#### **4.5.3. Temperatura**

Seminis (2017) menciona que el cultivo de brócoli se da en climas de baja temperatura siendo lo ideal entre 16 y 18 °C; sin embargo, para la germinación de las semillas esta no tiene inherencia, ya que puede oscilar entre los 4 a los 35 °C.

### **4.6. Manejo agronómico**

#### **4.6.1. Almacigo y trasplante del cultivo**

Las semillas deben cubrirse ligeramente con una capa de 1 a 1,5 cm de suelo franco arenoso y regarse con frecuencia para permitir que la planta se forme en 30 a 35 días. Los brotes aparecen entre 5 y 7 días después de la siembra. La siembra debe realizarse preferentemente en almacigueras, bandejas alveoladas, cuando las plantas se encuentren de 3 a 5 hojas verdaderas y alcancen una altura de 10 a 15 cm, el trasplante se debe realizar en el lugar definitivo de la donde se desarrollará el cultivo, de acuerdo al marco de plantación que se utilice por ejemplo 40 cm entre plantas y 65 cm entre surcos (Fundesyram, 2014).

Al momento del trasplante se debe escoger plántulas fuertes con 4 a 6 hojas, evitar deterioros a las raíces y la excesiva compactación del suelo, escoger el momento adecuado para el trasplante no en días soleados y no enterrar profundamente las plántulas de tal manera que el cuello de la planta quede sobre el suelo, no podar las raíces y las hojas, mojar la tierra antes o al momento de trasplantar las plántulas (Cáceres, 2009).

#### **4.6.2. Marco de plantación**

Para plantar una hectárea de brócoli se necesitan de 30.000 a 40.000 plantas, espaciadas entre 0,40 y 0,50 m entre plantas y entre 0,60 y 0,75 m entre hileras. Para un rendimiento total del 95%, el trasplante debe realizarse en suelo húmedo y en días nublados y/o frescos, para garantizar que tenga un prendimiento del 95 % total (Martínez et al., 2021).

#### **4.6.3. Labores culturales**

##### **4.6.3.1. Preparación del terreno**

La preparación del terreno es la fase previa a la siembra. Se recomienda arar el suelo con terrones de tierra existentes para que el suelo quede suelto y tenga cierta capacidad de retener agua sin encharcamientos. El objetivo es tener un suelo esponjoso, especialmente la capa superficial en

la que se va a efectuar la plantación. También se debe efectuar labores con arado de vertedera con una profundidad de 30- 40 cm, y los terrenos deben quedar limpios de restos de plantas no deseadas (Martínez et al., 2021).

#### **4.6.3.2. Control de malezas**

Es importante realizar el control de malezas durante los primeros cuarenta y cinco días después del trasplante es la época crítica para el control de malezas, siendo necesario realizar hasta dos desyerbas; tomando en cuenta la primera a los 15 a 20 días después del trasplante (Martínez et al., 2021).

#### **4.6.3.3. Riego**

Asegurar un abundante suministro de agua es necesario, sobre todo durante la fase de germinación, desarrollo de plántula, al momento de trasplante y durante la etapa de formación de cabeza. En épocas secas, es importante un riego por semana; sin embargo, dependerá del tipo de suelo, de su capacidad de retención de humedad y de su tasa de infiltración. Se puede aplicar tanto riego por aspersión al inicio del cultivo, como instalar riego por cinta o riego por surcos cuando las plantas tengan un mayor tamaño y si no hay limitante de agua, regar hasta la cosecha (Martínez et al., 2021).

#### **4.6.3.4. Aporque y escarda**

A los 10 días de trasplantado se escardilla, se aporca, se recomienda realizar la práctica de la escarda, con el objetivo principal de oxigenar y aflojar el suelo, mejorando su aireación. Es importante realizar las escardas necesarias, más aún cuando se presentan suelos son arcillosos, realizar esta labor antes de cada riego (Valadez, 2006).

### **4.7. Rendimiento**

Una producción de 36.000 kg/ha se considera normal, (Según Ospina, 2007). Indica que el rendimiento por hectárea puede oscilar entre 15 y 25 t/ha y está en función del lugar de cultivo, la variedad y el manejo agronómico que se le dé al cultivo (Galeón, 2006).

### **4.8. Requerimientos nutricionales**

En estudios realizados determinaron que el brócoli en el Ecuador requiere de dosis altas de fertilización, por ende, ha sido necesario encontrar nuevas técnicas de producción agrícolas, que sean tanto sostenibles como sustentables con el pasar del tiempo, para de tal manera poder mantener el ecosistema. Por lo tanto, la reducción en el uso de fertilizantes nitrogenados y

fosforados sintéticos (fuentes inorgánicas) por la fijación biológica del nitrógeno y solubilización biológica del fósforo; ayudara a la reducción de la contaminación del medio ambiente y presentando nuevas alternativas para los productores brocoleros (Nicolalde & Quintana, 2010).

La fertilización es determinante en el rendimiento y productividad de los cultivos. Dentro de los macronutrientes primarios, uno de los más limitantes es el nitrógeno (N). La cantidad a aplicar va a depender del nivel inicial en el suelo, las características físicas y químicas del suelo, el rendimiento esperado, entre otras. Otro factor importante es determinar las variedades que mejor respondan a las condiciones medioambientales de la zona. Si bien es cierto el nitrógeno ayuda al desarrollo de la masa vegetativa la función de este En la planta es importante, al considerar que es uno de los principales elementos que necesita este cultivo (Raya *et al.*, 2019).

Según Pomares et al. (2007) los elementos esenciales para el brócoli son: nitrógeno, fósforo, potasio, calcio, magnesio, azufre y boro.

#### ✓ **Nitrógeno**

Elemento de gran importancia ya que promueve el desarrollo rápido y vigoroso del cultivo, es un elemento básico en el proceso de formación de la pella. La cantidad de nitrógeno absorbido por el brócoli es muy variable según las condiciones edafoclimáticas, técnicas de cultivo y rendimiento (Pomares et al., 2007). El brócoli requiere de 3 o 4 aplicaciones, siendo recomendables tres, la primera se aplica en la preparación base 25 %, la segunda en el inicio de mayor crecimiento que encuentra a los 35 a 50 días después del trasplante y el 35 % restante se suministra en la formación de cabeza (Sakata, 2010).

#### ✓ **Fósforo**

Jaramillo y Díaz (2006) dan a conocer que el fósforo juega un papel clave en la vida de los cultivos ya que es constituyente de la síntesis de ácidos nucleicos, forma parte del ATP, que da energía a la planta, es esencial e influye de manera positiva en el rendimiento de las crucíferas. Lestrangle et al. (2003) mencionan que las aplicaciones de P pueden variar entre 56 y 280 kg ha<sup>-1</sup> P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> kg ha<sup>-1</sup>, de igual manera Maroto et al. (2007) recomienda valores que oscilan entre los 85-100 kg ha<sup>-1</sup> y los 60-80 kg ha<sup>-1</sup>.

La deficiencia de fósforo causa achaparramiento de la planta, las puntas de las hojas se secan y presentan un amarillamiento y una ondulación característica (Bertsch, 2013).

### ✓ **Potasio**

Maroto et al. (2007) indica que el potasio se absorbe en forma iónica ( $K^+$ ) en las plantas a partir de la solución del suelo y en unos casos también directamente desde el complejo arcillo-húmico. Influye directamente sobre la calidad de las pellas en su firmeza y en su sabor (Carranza et al., 2008). La cantidad que absorbe de potasio es más alta que la del nitrógeno, dado este caso, la cantidad de potasio necesaria para el cultivo de brócoli oscila entre los 258-271  $kg\ ha^{-1}$  y los 200-250  $kg\ ha^{-1}$ . Entre los síntomas comunes por falta de potasio se precisan la disminución del crecimiento, la consistencia y los tallos presentan menor resistencia física, y además un menor vigor de crecimiento (Rodríguez et al., 2003).

### ✓ **Magnesio**

El magnesio forma parte de la clorofila, interviene en la síntesis de pigmentos (carotenos y xantofilas), es un activador de las enzimas y presenta mucha movilidad en la planta. El brócoli suele absorber cantidades relativamente altas de magnesio (18  $kg\ ha^{-1}$ ) (Pomares et al., 2007). La deficiencia de magnesio causa clorosis en áreas intravenosas de las hojas inferiores, en el tejido clorótico acontecen manchas necróticas y el crecimiento de la planta se oprime (Seminis, 2004).

### ✓ **Calcio**

El calcio constituye las paredes celulares de los tejidos vegetales, esto confiere a las plantas de brócoli gran resistencia física, tiene efecto neutralizador de los desechos orgánicos e influye en la utilización del potasio, magnesio y boro. El brócoli absorbe cantidades de 30  $kg\ ha^{-1}$  de calcio (Pomares et al., 2007). El calcio es de suma importancia para obtener mayor firmeza de cabezas y su uso es recomendable a partir de los 40 días (Sakata, 2010).

### ✓ **Azufre**

Se absorbe en forma de ion ( $SO_4^{2-}$ ) en las plantas a partir de la solución del suelo al igual que el nitrato, por lo que es susceptible de percollar con el agua de drenaje, es importante para la formación de aceites esenciales a partir de diferentes glucósidos (Pomares et al., 2007). Los requerimientos de azufre del brócoli pueden estar entre 22 y 45  $kg\ ha^{-1}$  (Cerveñansky, 2011).

### ✓ **Boro**

Pomares et al. (2007) menciona que interviene en la síntesis de las proteínas y en diferentes procesos fisiológicos tales como: floración del cultivo, crecimiento del sistema radicular, conformación de frutos, semilla y metabolismo del nitrógeno y de los carbohidratos. Sakata (2010)

cita que el uso de boro es muy importante, se recomienda a razón de 8 a 10 unidades, ayuda a evitar problemas de tallo hueco y oxidación prematura de tallos, ya que dicho problema afecta la calidad de cabezas. La ausencia de boro puede ocasionar enfermedades bacterianas en tallos.

## **4.9. Fertilización**

### **4.9.1. Fertilización química**

En plantaciones de brócoli manejadas con fertilización química para asegurar una buena producción se suele llevar tres ciclos de fertilización con abonos químicos: El primero debe realizarse a los 15 a 20 días después de trasplante con una formulación de 27-5-0, donde el contenido de N será siempre en mayor proporción, aunque las dosis requeridas no son tan grandes, se debe llevar un registro de fertilización desde ese momento y calcular la fertilización para las posteriores fertilizaciones. La segunda aplicación se la realiza a partir de los 30 días, o cuando la planta entre al ciclo de desarrollo vegetativo, en el que será necesario continuar con la aplicación de dosis de fertilizantes en similares formulaciones, como el 15-9-20, incrementando el contenido de potasio y ajustando al mínimo el porcentaje de fósforo, en algunos casos se reajustan las dosis y fuentes nitrogenadas. El tercer ciclo de fertilización se da en el inicio del ciclo de floración o en edades de 45 a 50 días, donde la planta llega al punto máximo de extracción de N, se debe disminuir los contenidos de nitrógeno y en menor escala el de fósforo, incrementando las cantidades de potasio con formulaciones de 12-11-18 (YARA, 2019).

Para que el ciclo de fertilización química sea efectivo se debe elegir la formulación adecuada y que sean asimilados correctamente por la planta, ya que elementos como la Urea aplicados en dosis altas producirán que el programa de fertilización quede fuera de control, incrementando solo el desarrollo vegetativo de la planta y reduciendo su producción (Calvache, 2015).

### **4.9.2. Fertilización orgánica**

La importancia de los abonos orgánicos es que tienen en el suelo es que incrementan la actividad bacteriana, necesarios para el desarrollo y aportar nutrientes a la planta. La incorporación de abonos orgánicos ayuda a la descomposición de los nutrientes presente en el suelo y ayudan a las plantas a asimilar de mejor manera estos elementos necesarios para su desarrollo. Además, incrementan la absorción del agua y mantienen la humedad del suelo. Su acción es prolongada,

duradera y pueden ser utilizados con frecuencia sin dejar secuelas en el suelo y con un gran ahorro económico (Mosquera, 2018).

El valor de materia orgánica que contienen los fertilizantes orgánicos ofrece grandes ventajas que difícilmente pueden lograrse con los fertilizantes químicos. En la actualidad, constituyen un elemento crucial para la regulación de muchos procesos relacionados con la productividad agrícola; sus principales funciones como sustrato son que ayudan al mantenimiento de los niveles originales de materia orgánica del suelo (Medina et al., 2010).

#### **4.9.2.1. Microorganismos del suelo relacionados a la fertilización biológica.**

El estudio de los microorganismos asociados a las plantas es de gran importancia para identificar aquellos microbios que podrían utilizarse en biotecnología para contribuir a un manejo ambiental sustentable. La alternativa que hoy en día se está utilizando, es la aplicación de microorganismos benéficos al suelo que permite un manejo amigable del suelo y obtención de altos rendimientos. Entre ellos se encuentran los bio-inoculantes a base de Bacterias Promotoras de Crecimiento Vegetal (PGPR) de géneros asociados a las raíces de las plantas (Boraste et al., 2009).

La utilización de microorganismos en la preparación de los distintos tipos de biofertilizantes es esencial ya que de acuerdo a la necesidad nutricional de cada tipo de suelo y cultivo se realiza el análisis y elección de una cepa y/o consorcio microbiano para tal fin. Estas preparaciones se caracterizan por contener células vivas o en fase de latencia, cada una con capacidades distintas, dentro de las cuales están: eficiencia en la fijación de nitrógeno, solubilización de fosfato o capacidad celulolítica empleados en la aplicación de semillas, suelo o áreas de composición con el objetivo de aumentar la población microbiana en el suelo y de esta manera acelerar los procesos y aumentar el grado de disponibilidad de nutrientes en una forma que puede ser fácilmente asimilada por la planta.

Las bacterias promotoras de crecimiento en las plantas (PGPR), son un grupo de diferentes microorganismos que pueden incrementar el crecimiento y la productividad vegetal, los géneros más conocidos y utilizados en la agricultura son: *Rhizobium*, *Pseudomonas*, y *Azospirillum*, *Actinoplanes*, *Agrobacterium*, *Azobacter*, *Bacillus*, etc. Las PGPR presentan grandes ventajas para incrementar la productividad de los cultivos, pueden actuar favoreciendo el crecimiento vegetal de manera directa e indirecta (Boraste et al., 2009).

- **Efectos directos:** Fijación de nitrógeno atmosférico, producción y síntesis de sideróforos (es un compuesto quelante de hierro secretado por microorganismos), solubilización de minerales (especialmente fósforo), síntesis de fitohormonas (auxinas, citoquininas y giberelinas) y síntesis de la enzima ACC Deaminasa.
- **Efectos indirectos:** Biocontrol de fitopatógenos (desarrollo óptimo de raíces), producción de antibióticos, reducción de hierro ( $Fe^{+3}$ ), resistencia inducida y enzimas líticas de pared celular fungosa.

La conjunción de ambos mecanismos de acción ha dado como resultado la promoción evidente del crecimiento de plantas; se ha observado un incremento en la emergencia, el vigor y el peso de plántulas, un mayor desarrollo en sistemas radiculares y un incremento hasta de 30% en la producción de algunos cultivos de interés comercial (Rueda-Puente y col., 2009).

#### ***4.9.3. Microorganismos promotores del crecimiento de las plantas (PGPR)***

En la rizosfera existen gran número de microorganismos que establecen relaciones de simbiosis con las plantas. Estos microorganismos intervienen en el ciclo de algunos elementos minerales como el fósforo, el nitrógeno, el carbono, el hierro, etc y favorecen la nutrición de las plantas. A cambio se aprovechan de los exudados de las raíces en forma de ácidos orgánicos, mucílagos, aminoácidos o azúcares (Boraste et al., 2009).

Los PGPR favorecen el crecimiento de las plantas por diferentes mecanismos: síntesis de fitohormonas (fundamentalmente el ácido indolacético), promocionan el crecimiento de la raíz y la proliferación de los pelos radicales, inhiben el crecimiento de microorganismos patógenos y producen sustancias quelantes del hierro (sideróforos) que aumentan su absorción por parte de las plantas. Además, intervienen en la fijación del nitrógeno (bacterias fijadoras de nitrógeno) y aumentan la absorción de agua y nutrientes y la absorción del fósforo (micorrizas). A estos dos últimos grupos vamos a dedicar un apartado especial por su gran importancia en la vida de las plantas y en el desarrollo de una agricultura más sostenible (Boraste et al., 2009).

#### ***4.9.4. Características de los microorganismos de interés agrícola***

##### ***4.9.4.1. Pseudomonas***

Pertenece al Reino: Bacteria, Filo: Proteobacteria, Clase: Gammaproteobacteria, Orden: Pseudomonadales, Familia: Pseudomonadaceae, Género: *Pseudomonas*. Poseen una cápsula de exopolisacáridos que facilita la adhesión celular, la formación de biopelículas y las resguarda de

la fagocitosis o los iones libres formados en la potabilización del agua, agrandando así su patogenicidad. Tienen una cierta habilidad de adaptación que les permite adecuar el hábitat donde se encuentren para utilizar diferentes fuentes como el carbono o el nitrógeno para su nutrición, gracias a su metabolismo (Willey et al., 2013).

#### **4.9.4.2. *Chlorella* spp**

Pertenece al Reino: Plantae, División: Chlorophyta, Clase: Trebouxiophyceae, Orden: Chlorellales, Familia: Chlorellaceae, Género: *Chlorella* spp. Es un alga verde de forma elipsoidal, la misma que crece en forma de células simples. Se cultiva de forma intensiva con fines de alimentación y obtención de metabolitos (Garza et al., 2010). En los últimos años las algas tienen más éxito que los fertilizantes químicos, son consideradas como un producto ecológico debido a que no tienen efectos adversos como los agroquímicos y abonos sintéticos que afectan al ambiente y alteran las propiedades del suelo (Thirumaran et al., 2009).

#### **4.9.4.3. *Azospirillum***

Pertenece al Filo: Pseudomonadota, Clase: Alfaproteobacterias y a la subclase de las alfaproteobacterias. Orden: Rhodospirillales Familia: Azospirillaceae, Género: *Azospirillum* Tarrand tiene la capacidad de atribuir principalmente a la fijación del nitrógeno y producción de fitohormonas. Producen ácido indol-3-acético (AIA), un tipo de auxinas que inducen cambios morfológicos en el sistema radical de las plantas, actúan como moléculas de señalización en la interacción planta-bacteria (Gómez et al., 2014).

El efecto característico en plantas inoculadas con *Azospirillum* es que presentan incremento en la longitud y número de raíces laterales, un mayor número de pelos radicales, incremento en el peso seco de la raíz, y en la respiración celular, entre otros (Spaepen et al., 2009).

Por otro lado, cuando el sistema radical es colonizado por *Azospirillum*, la planta secreta hacia la rizósfera exudados que atraen a muchos microorganismos, como las rizobacterias. La movilidad y la quimiotaxis de estas bacterias permiten que se muevan hacia la raíz, donde se benefician de los exudados como fuente de carbono y a su vez benefician el crecimiento de la planta (Patriquin et al., 1983).

#### **4.9.4.4. *Azotobacter***

Pertenece Filo: Proteobacteria, Clase: Gammaproteobacteria, Orden: Pseudomonadales, Familia: Pseudomonadaceae, Género: *Azotobacter*, microbiológico de bacterias usualmente

móviles, ovales o esféricas, que forman quistes de pared gruesa, y pueden producir grandes cantidades de baba capsulase ha utilizado como biofertilizante desde hace más de un siglo. Las azotobacterias fijan nitrógeno aeróbicamente, elaboran hormonas vegetales, solubilizan fosfatos y también suprimen fitopatógenos o reducen su efecto deletéreo, la aplicación de *Azotobacter* da como resultado un mejor rendimiento (Das, 2019).

#### **4.10. Antecedentes**

Se han realizado investigaciones sobre la aplicación inoculantes microbianos, formulados a base microorganismos como *Pseudomonas*, *Azospirillum*, *Azotobacter*, *Bacillus* y hongos formadores de micorrizas arbusculares (HMA), en cultivos de hortalizas, lo cual determinaron que ayudan a mantener la fertilidad del suelo, promueven la inocuidad de los cultivos, optimizan el rendimiento de las cosechas y favorecen un desarrollo agrícola ecológicamente sostenible.

Flores et al. (2016) valoró el efecto de rizobacterias promotoras de crecimiento (*Bacillus amyloliquefaciens* y *A. halopraeferens*) como complemento a la fertilización edáfica en el rendimiento de *Brassica oleracea*, donde obtuvo aumento de velocidad del crecimiento y del volumen de inflorescencias y mayor producción de hoja de buena calidad y sanidad.

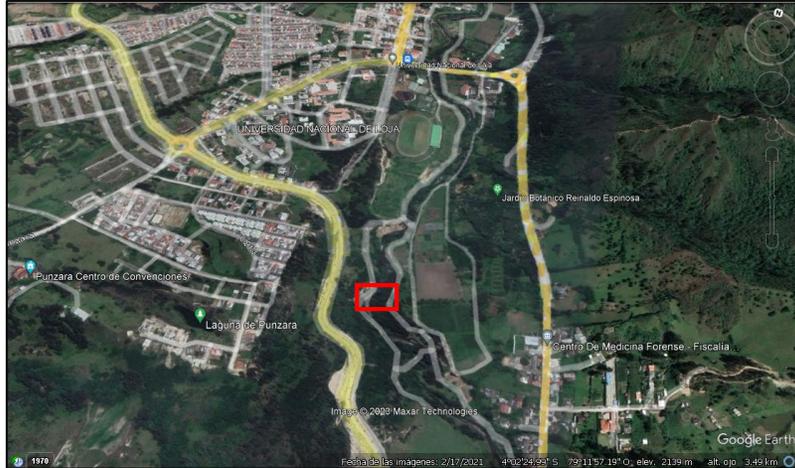
Alfonso y Galán (2006) evaluaron la efectividad de la inoculación de rizobacterias en el crecimiento, desarrollo, rendimiento y colonización del tomate bajo diferentes dosis de fertilización nitrogenada, donde obtuvieron un efecto positivo de la inoculación en el crecimiento de las plántulas, siendo la altura superior en un 23 %; también lograron una eficiencia del 40 % respecto a la fertilización nitrogenada, lo cual no afectó el estado nutricional de las plantas ni el rendimiento agrícola.

## **5. Metodología**

### **5.1. Descripción del área de estudio**

#### **5.1.1. Localización de estudio**

La presente investigación se desarrolló en la Estación Experimental “La Argelia” de la Universidad Nacional de Loja, parroquia San Sebastián, cantón y provincia de Loja. La ubicación geográfica corresponde a las coordenadas geográficas latitud 4° 2'17.52"S y longitud 79°12'0.55"W, a 2 135 m.s.n.m de altitud.



**Figura 1.** Ubicación del lugar de la investigación en la Quinta Experimental “La Argelia”

### 5.1.2. *Condiciones climáticas*

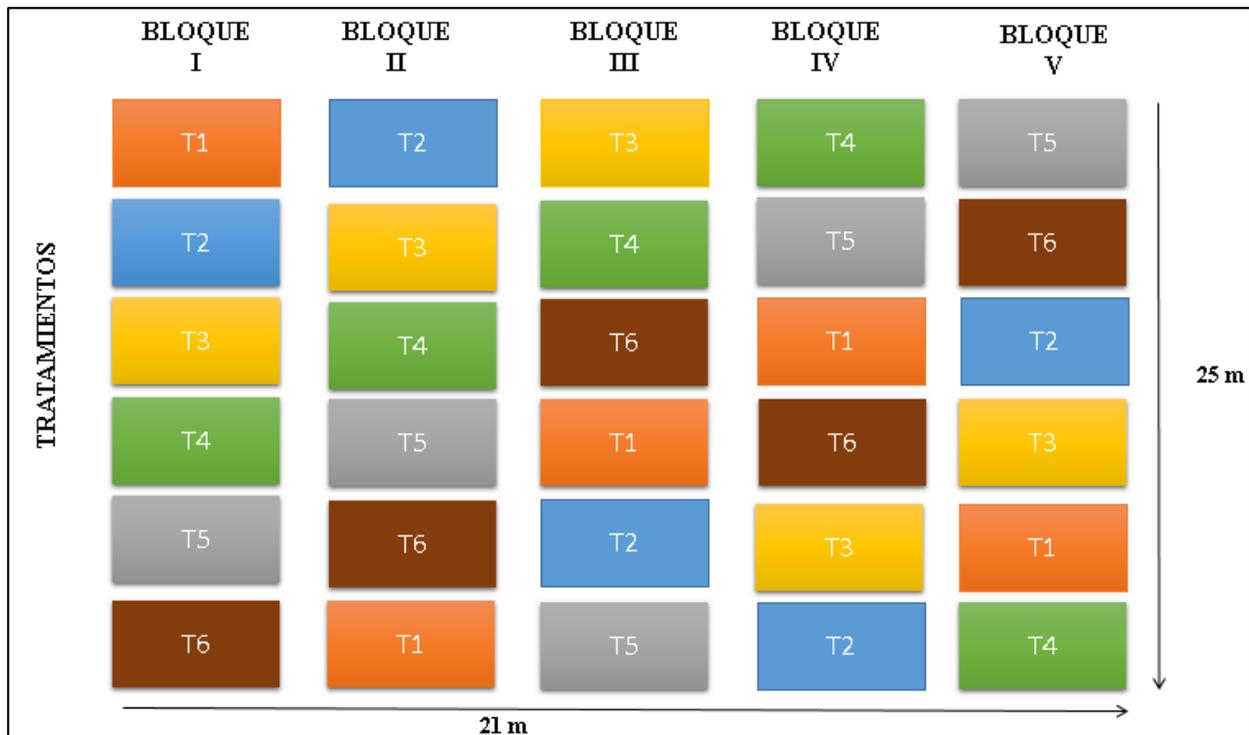
Según el Plan de Ordenamiento Territorial del Municipio de Loja (2020) indica que el sitio de investigación presenta las siguientes condiciones meteorológicas: Precipitación 956,4 mm, temperatura media anual 16,1 °C y evapotranspiración potencial anual de 734,05 mm.

### 5.2. Tipo y alcance de la investigación

La investigación es de tipo experimental cuantitativa ya que contiene un diseño experimental, con diferentes tratamientos a ser evaluados mediante datos numéricos utilizando la estadística para evaluar, comparar y realizar un posterior análisis de los resultados obtenidos; por ende, se debe ejecutar un apropiado manejo de las variables o condiciones de trabajo para obtención de resultados pertinentes. Por otro lado, la investigación tiene un correlacional, comparativo y causal.

### 5.3. Diseño experimental

Bajo un diseño experimental de bloques completos al azar (DBCA) se llevó a cabo la investigación en el cultivo de brócoli (*Brassica oleracea* L.) con seis tratamientos y cinco repeticiones (Figura 2), obteniendo un total de treinta unidades experimentales.



**Figura 2.** Esquema de distribución de las unidades experimentales en campo con cada tratamiento T1 (testigo), T2 (*Chlorella*), T3 (*Azotobacter*), T4 (*Pseudomonas*), T5 (*Azospirillum*) y T6 (Químico) con su respectiva repetición.

Fuente: Autora

#### 5.4. Modelo matemático

El modelo matemático empleado en el diseño es el siguiente:

$$Y_{ijk} = \mu + \alpha_i + \beta_j + \epsilon_{ijk}$$

Donde:

$Y_{ijk}$  = Rendimiento de la unidad experimental

$\mu$  = Media general de observaciones

$\alpha_i$  = Representa el efecto del  $i$ -ésimo nivel del factor A

$\beta_j$  = Representa el efecto del  $j$ -ésimo nivel del factor B

$\epsilon_{ijk}$  = Error experimental

$i = 1, 2, \dots, n$  (tratamientos)

$j = 1, 2, \dots, n$  (replicas)

#### 5.5. Tratamientos

Los tratamientos empleados fueron seis, como se detalla en la tabla 2:

**Tabla 2.** Descripción de los tratamientos utilizados en el experimento de campo.

Nº	SÍMBOLO	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD / DOSIS
1	T1	Testigo	5 mL (agua estéril)
2	T2	<i>Chlorella</i>	5 mL ( $1 \times 10^8$ células/mL)
3	T3	<i>Azotobacter</i>	5 mL ( $1 \times 10^8$ UFC/mL)
4	T4	<i>Pseudomonas</i>	5 mL ( $1 \times 10^8$ UFC/mL)
5	T5	<i>Azospirillum</i>	5 mL ( $1 \times 10^8$ UFC/mL)
6	T6	Químico (Abono completo 10-30-10)	10 g/planta

Fuente: Autora

Se realizaron dos aplicaciones edáficas, la primera aplicación en semilleros y la segunda aplicación a los 30 días después del trasplante en la fase de inducción floral.

### 5.6. Características del ensayo

Cada unidad experimental fue constituida por una parcela experimental de forma rectangular con 30 plantas (Tabla 3).

**Tabla 3.** Especificaciones del ensayo

Descripción	Cantidad
Largo de la parcela	3 m
Ancho de la parcela	3 m
Superficie de la parcela total	9 m <sup>2</sup>
Distancia entre hilera	0,70 m
Distancia entre planta	0,40 m
Número de plantas por parcela	30
Distancia entre bloques	0.5 m
Distancia entre parcelas	0.5 m
Superficie total del ensayo	441 m <sup>2</sup>
Superficie total de parcelas	270 m <sup>2</sup>
Unidades experimentales	30

<b>Número de plantas a evaluar por parcela</b>	8
<b>Número de plantas por bloque</b>	150

Fuente: Autora

## **5.7. Metodología general**

### **5.7.1. Preparación del terreno**

Se utilizó un arado de discos para descompactar y homogeneizar la capa más superficial del suelo y se realizó la nivelación del terreno. A la vez, se eliminó la vegetación presente como maleza, piedras y escombros en el área; para ello se requirió de herramientas como pala, lampa, rastrillo y azadón (Anexo 1) (Figura 11 A).

### **5.7.2. Trazado de parcelas**

De acuerdo con el diseño experimental ya mencionado anteriormente en la figura 2, se trazó las parcelas utilizando estacas, piola y cinta métrica al contorno de todo el ensayo (Anexo 1) (Figura 2B).

### **5.7.3. Elaboración de semilleros y trasplante**

Se realizó un semillero de brócoli híbrido Coronado F1 en 8 bandejas plásticas con capacidad para 128 plantas cada una. Como sustrato se utilizó una mezcla de 2-1-1 (tierra, arena y turba). Las semillas de brócoli se desinfectaron con alcohol al 70 % y se lavaron con agua destilada estéril (Anexo 1) (Figura 9A). Una vez sembradas, se las regó con agua destilada y se cubrieron hasta la emergencia. Cuando las plántulas alcanzaron una altura 5 cm, y con la presencia de tres a cuatro hojas verdaderas fueron trasplantadas de forma manual en campo con las mediciones ya mencionadas anteriormente (Figura 12).

### **5.7.3. Riego**

El riego se aplicó durante los semilleros y en la fase de campo se consideró las condiciones climáticas en el transcurso del ciclo productivo.

### **5.7.4. Control de maleza**

Con la finalidad de evitar la competencia de nutrientes entre las plantas no deseadas con las plantas del cultivo de brócoli para obtener un mejor desarrollo, se realizó el control de deshierba de forma manual con ayuda de herramientas como lampa y rastrillo a los 15, 40 y 65 días después del trasplante (Anexo1) (Figura 14).

### 5.7.5. Fertilización y aplicación de microorganismos

La fertilización química se realizó en la etapa de semillero, se añadió 1g por semilla a base de abono completo NPK (10-30-10) y una segunda aplicación a los 30 días después del trasplante a razón de 10 g/planta.

En cuanto a la inoculación de los microorganismos de *Chlorella*, *Azotobacter*, *Pseudomonas* y *Azospirillum*, se aplicó 5 mL ( $1 \times 10^8$  UFC/mL) de suspensión bacteriana por cada planta, utilizando una pipeta y se realizó en dos aplicaciones: la primera durante la fase de semillero bajo condiciones controladas (Figura 10) y la segunda a los 30 días después del trasplante, en condiciones de campo, vía drench (Figura 16).

## 5.8. Metodología por objetivos

### 5.8.1. Metodología para el primer objetivo:

#### **Analizar las propiedades físicas y químicas del suelo antes y después de la aplicación de los microorganismos del suelo.**

Previo a la preparación del suelo, del sitio de experimentación se realizó un análisis físico y químico del suelo para conocer su fertilidad. Para ello se tomó varias submuestras en forma de zigzag, con la ayuda de un barreno a 20 cm de profundidad, se tomó 1 kg de suelo antes y después de la experimentación, siguiendo la metodología propuesta por el Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT, 1993).

Las muestras fueron enviadas a la Estación Experimental Santa Catalina del INIAP (Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias de Ecuador) en Quito para el análisis correspondiente de las propiedades químicas del suelo, (macronutrientes N, P, K, Ca, Mg, S y micronutrientes B, Cu, Fe, Mn, y Zn, materia orgánica, pH, conductividad eléctrica y capacidad de intercambio catiónico). Del mismo modo, al terminar el ensayo se tomaron submuestras en los tratamientos donde se aplicaron los microorganismos y se implementó la metodología antes mencionada.

En cuanto al análisis correspondiente a las propiedades físicas como: textura del suelo, densidad aparente y porosidad, se tomó cuatro muestras fijas de volumen de suelo al azar antes de iniciar con el ensayo. Así mismo, al final del ensayo se tomó una muestra fija de volumen de suelo de cada repetición (cuatro muestras) en los tratamientos que se realizó la aplicación de los microorganismos con la ayuda de un cilindro metálico de  $100 \text{ cm}^3$ .

Las muestras se llevaron al laboratorio de suelos, aguas y bromatología de la Universidad Nacional de Loja. Estas fueron secadas en horno a 105 °C por 24 horas, se pesó cada muestra y se sacó un promedio de las muestras de cada tratamiento. Para los cálculos correspondientes se utilizó las siguientes formulas:

$$Da = \frac{\text{Peso del suelo seco a } 105^{\circ}\text{C}}{\text{Volumen del cilindro}}$$

$$P(\%) = \left(1 - \frac{Da}{2.65}\right) * 100$$

Da: Densidad aparente del suelo

P: Porosidad (%)

Finalmente, con los resultados obtenidos se comparó, tanto el primer análisis realizado con el segundo para determinar cómo influyó la aplicación de los microorganismos benéficos promotores del crecimiento vegetal sobre las propiedades físicas y químicas del suelo.

### **5.8.2. Metodología para el segundo objetivo**

Evaluar los parámetros de crecimiento y rendimiento en el brócoli mediante la aplicación de microorganismos promotores del crecimiento vegetal en la Argelia.

#### **5.8.2.1. Variables a evaluar**

Se procedió a registrar el valor de las diferentes variables especificadas en el proyecto

- ✓ Altura de plantas (cm)
  - ✓ Número de hojas
  - ✓ Diámetro de la pella (cm)
  - ✓ Peso de la pella (kg)
  - ✓ Rendimiento (kg ha<sup>-1</sup>)
- **Altura de la planta**

Después del trasplante, se procedió a medir cada quince días la altura de las plantas, se evaluaron 8 plantas de forma aleatoria por cada repetición. Para la medición de la altura de la planta se utilizó una regla, desde la base del tallo de la planta hasta el principio de la formación de la pella (Anexo 1) (Figura 15).

- **Número de hojas**

Luego del trasplante, se contó el número de hojas. Se evaluaron 8 plantas por tratamiento (aleatorio) y se realizaron conteos manuales para determinar el número total de hojas por planta de cada tratamiento.

- **Diámetro de la pella (cm)**

Con las mismas 8 plantas del parámetro anterior, se midió con un calibrador el diámetro ecuatorial de la pella (inflorescencia) cada quince días una vez que las plantas empezaron a cuajar, se continuó con la medición hasta la cosecha (Anexo 1) (Figura 17) y se expresó los datos obtenidos cm/pella para luego ser promediados por tratamiento.

- **Peso de la pella (kg)**

El peso de la pella se determinó al momento de la cosecha (Figura 18) y se evaluó mediante una balanza electrónica Camry en kg, donde se procedió a registrar el peso de 8 pellas por cada tratamiento (Anexo 1) (Figura 19).

- **Rendimiento (kg ha<sup>-1</sup>)**

El rendimiento correspondió al peso del total de pellas cosechadas en cada tratamiento y se multiplicó por el número de plantas por hectárea y por repetición, los valores se expresaron en t ha<sup>-1</sup>.

## **5.9. Análisis estadístico**

Previamente, durante el ensayo los datos se registraron y se tabularon en una base de datos de Microsoft Excel. Al finalizar el ensayo, en el programa estadístico de versión libre InfoStat se realizó el análisis de varianzas y las pruebas de normalidad y homogeneidad de datos, para posteriormente determinar las diferencias estadísticas entre los tratamientos, empleando la prueba de Tukey, para realizar una comparación de medias con un nivel de confianza del 95%.

## 6. Resultados

### 6.1. Resultados para el primer objetivo

Analizar las propiedades físicas y químicas del suelo antes y después de la aplicación de los microorganismos del suelo.

#### 6.1.1. Propiedades físicas y químicas

En la tabla 4 se indica el peso seco inicial como el peso seco final del suelo, determinando que el dato inicial del peso seco del suelo es inferior al peso seco final, presentando una diferencia de 6,20 g. Por consiguiente, en la tabla 5 se muestra la densidad aparente del suelo inicial es superior a la densidad final con una diferencia de 0,15 g/cm<sup>3</sup>. En cuanto al porcentaje de poros, en el análisis inicial este mostró que es inferior al del suelo final, con una diferencia de 10, 27 %.

**Tabla 4.** Datos del peso seco del suelo tanto inicial como final con sus promedios generales.

Peso seco del suelo (g)	
Suelo inicial	146,05
Suelo Final	152,25

**Tabla 5.** Análisis de las propiedades físicas del suelo antes y después de la aplicación de los microorganismos promotores del crecimiento vegetal.

Cód. Laboratorio	Cód. Campo	Parámetro analizado	Método	Unidad	Valor
4545	S. I	Densidad aparente	Anillo volumétrico	g/cm <sup>3</sup>	1,45
4546	S. F				1,30
4547	S. I	Porcentaje de poros		%	44,62
4548	S. F				54,89

S.I: suelo inicial; S.F: suelo final

En la tabla 6 se indica la textura del suelo presentada durante el inicio y finalización del ensayo, evidenciando que conservó su textura siendo Franco arcilloso.

**Tabla 6.** Análisis de la textura del suelo

Parámetro	Análisis Inicial	Análisis Final
Textura	Franco arcilloso	Franco arcilloso

En relación al análisis de las propiedades químicas, en la tabla 7 se puede evidenciar el análisis inicial y final del suelo, determinando que, en cuanto al contenido nutricional, los macronutrientes (K, Ca, Mg) presentaron un incremento mínimo de medio y alto, a su vez, (N, P) mostraron un mayor incremento siendo estos altos y (S) presentó una gran disminución de medio a bajo; mientras que de los micronutrientes (Zn) aumentó su valor manteniéndose en alto, (Fe y

Mn) mostraron una gran disminución de medio a bajo y alto, sin embargo (B y Cu) su disminución fue mínima entre bajo y alto. Por otra parte, la suma de bases presentó una mínima variación de disminución.

**Tabla 7.** Contenido de macro y micro nutrientes del primer y segundo análisis de suelo.

Elemento	Símbolo	Unidad	Análisis Inicial		Análisis Final		Incremento/ Disminución
<b>Nitrógeno</b>	N	ppm	67,73	A	69,64	A	+ 1,91
<b>Fósforo</b>	P	ppm	21,42	A	82,63	A	+61,21
<b>Azufre</b>	S	ppm	17,60	M	9,24	B	- 8,36
<b>Boro</b>	B	ppm	0,28	B	0,24	B	- 0,04
<b>Potasio</b>	K	meq/100g	0,26	M	0,29	M	+ 0,03
<b>Calcio</b>	Ca	meq/100g	4,53	A	5,63	A	+ 1,1
<b>Magnesio</b>	Mg	meq/100g	0,77	A	1,22	A	+0,45
<b>Zinc</b>	Zn	ppm	3,5	M	6,0	M	+ 2,5
<b>Cobre</b>	Cu	ppm	5,9	A	4,1	A	- 1,8
<b>Hierro</b>	Fe	ppm	415	A	357	A	- 58
<b>Manganeso</b>	Mn	ppm	24,7	A	15,2	A	- 9,5

Simbología: (A) Alto, (M) Medio, (B) Bajo, Partes por millón (ppm), Materia orgánica (Mo), Incremento (+) y Disminución (-).

En la tabla 7, se muestran los datos del análisis inicial y final del suelo, luego de la aplicación de los microorganismos promotores del crecimiento vegetal, se comparó al finalizar el ensayo. El pH presentó una disminución mínima con un valor diferencial de 0,22 pasando de medio ácido a ácido. En cuanto al contenido de materia orgánica (M.O), mejoró con una diferencia de 0,44 incrementando de medio a alto, al igual que la capacidad de intercambio catiónico (CIC) ya que aumentó con un valor de 2,6.

**Tabla 8.** Resultados de pH, materia orgánica y capacidad de intercambio catiónico.

Elemento	Unidad	Análisis Inicial		Análisis Final	
<b>pH</b>		5,72	Me Ac	5,50	Ac
<b>M.O.</b>	%	1,82	M	2,26	A
<b>CIC</b>	meq/100g suelo	6,54		9,0	

Simbología: (M.O.) Materia orgánica, (CIC) Capacidad de intercambio catiónico, (A) alto, (M) medio, (Ac) ácido.

La Tabla 8 muestra las relaciones de los elementos, suma de bases y textura. Por tanto, en lo que concierne al contenido de la relación Mg/k presentaron un incremento, mientras que el contenido de las variaciones de Ca/Mg y Ca+Mg/k mostraron una disminución en cuanto a sus valores.

**Tabla 9.** Análisis de relaciones, suma de bases y textura del suelo.

<b>ELEMENTO</b>	<b>ANÁLISIS INICIAL</b>	<b>ANÁLISIS FINAL</b>
<b>Ca/Mg</b>	7,27	3,70
<b>Mg/K</b>	2,99	4,28
<b>Ca+Mg/K</b>	24,73	20,15
<b>∑ Bases</b>	6,66	6,04

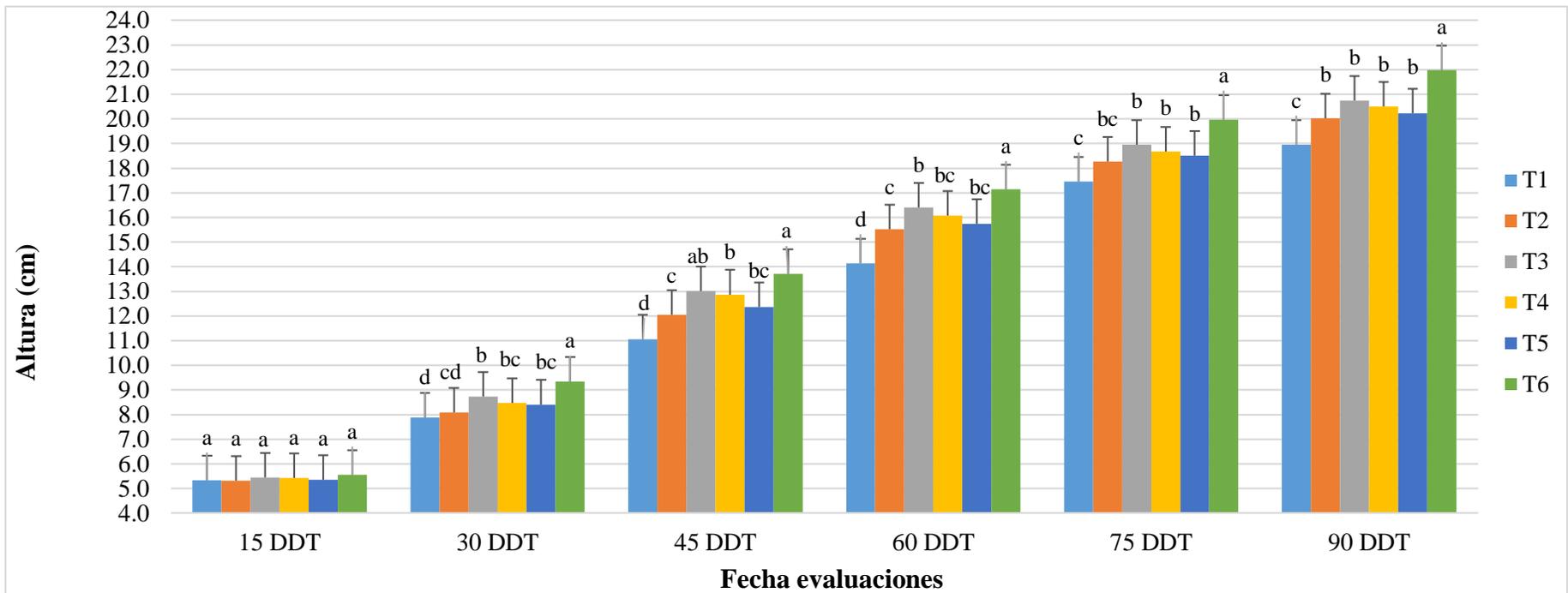
## 6.2. Resultados del segundo objetivo

Evaluar los parámetros de crecimiento y rendimiento en el brócoli mediante la aplicación de microorganismos promotores del crecimiento vegetal en la Argelia.

- **Altura de la planta**

En la figura 3 se observa la altura de las plantas en las distintas fechas de evaluación después del trasplante, evidenciándose que durante la primera evaluación no presentaron diferencias significativas en relación a los tratamientos aplicados, sin embargo, a partir de la segunda hasta la quinta evaluación (75 DDT) incidieron positivamente con mayor altura de las plantas, presentando diferencias significativas entre tratamientos, los cuales fueron: el tratamiento con aplicación de microorganismos T3 y el tratamiento T6 (Químico) y tratamiento T1 (Testigo). No obstante, durante el transcurso de las evaluaciones el tratamiento T4 (*Pseudomonas*) presentó resultados cercanos a T3, mientras que T2 (*Chlorella*) fue diferente estadísticamente en relación a T3 y T6.

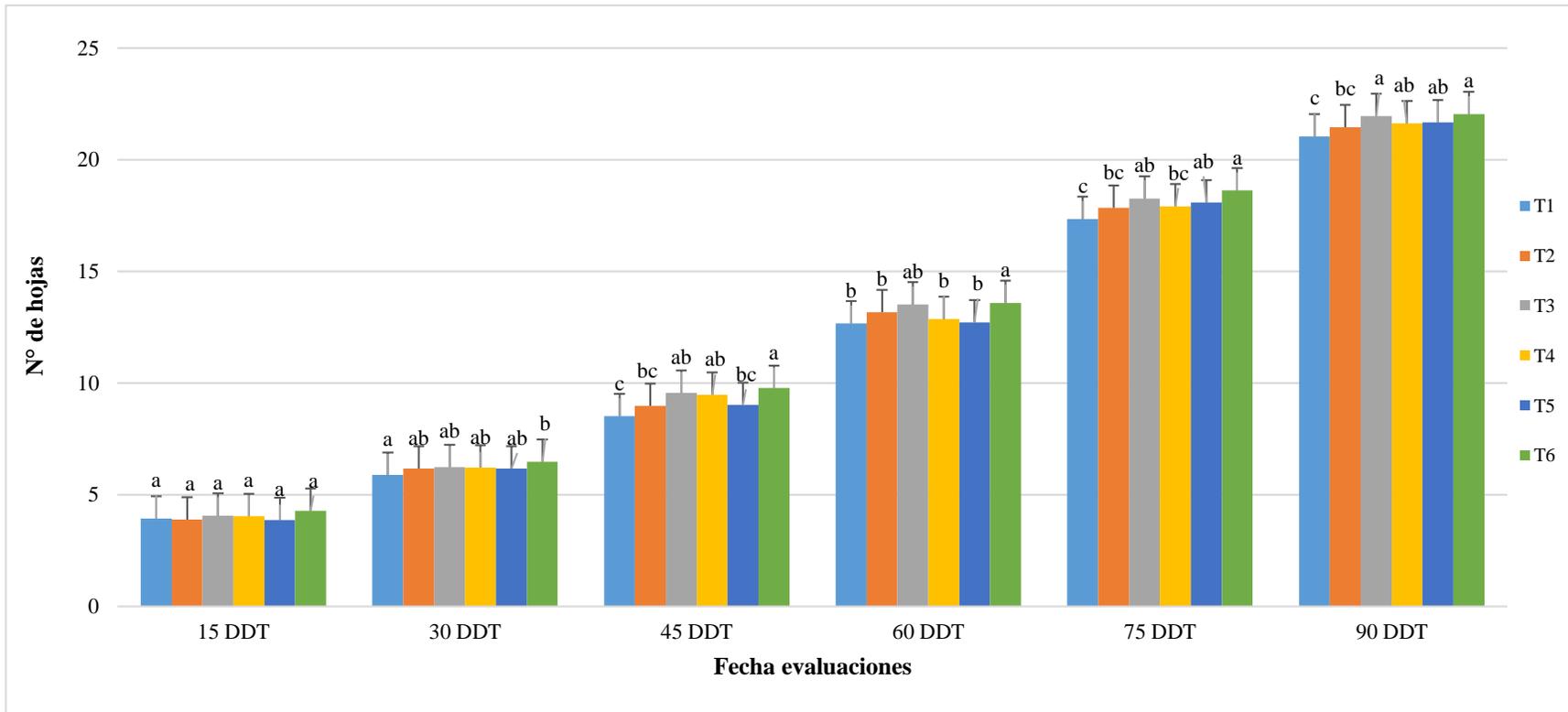
De tal manera que en la última evaluación (90 DDT) se obtuvo alturas de 19 cm (T1), 20 cm (T2), 20.7 cm (T3), 20.5cm (T4), 20.2 cm (T5) y 22 cm (T6). Destacándose el tratamiento T6 (químico) y T3 (*Azotobacter*), los cuales favorecieron con mayores alturas de incremento de las plantas con respecto al T1 (Testigo), dando como resultado diferencias significativas entre los tratamientos, según los análisis realizados de las pruebas de normalidad, homogeneidad y el test de Tukey, donde se pudo determinar diferencias significativas (Anexo 2) (Tabla 9).



**Figura 3.** Altura (cm) de las plantas de brócoli en distintas fechas de evaluación, durante el ensayo, con los distintos tratamientos aplicados. Las letras en la parte superior, representan las diferencias significativas entre cada tratamiento con un  $p > 0,05$ . Tratamientos: T1 (Testigo), T2 (*Chlorella*), T3 (*Azotobacter*), T4 (*Pseudomonas*), T5 (*Azospirillum*) y T6 (Fertilizante químico).

- **Número de hojas**

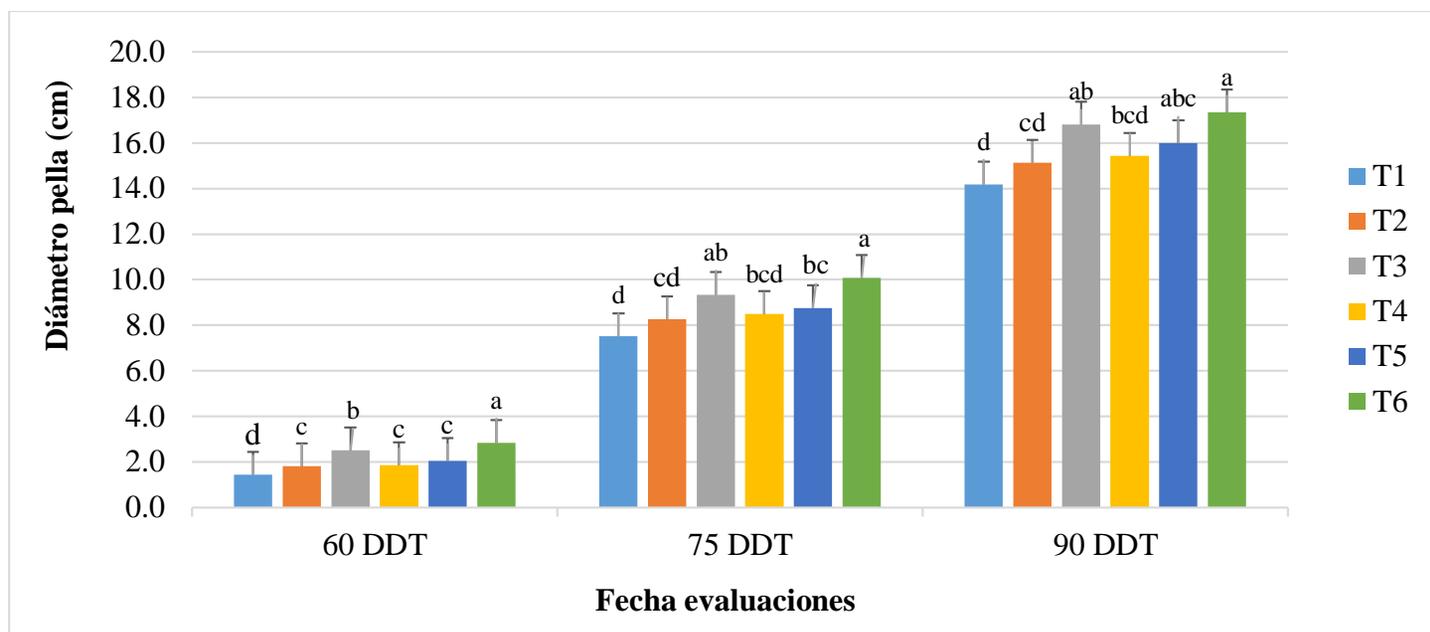
En la primera fecha de evaluación los tratamientos no presentaron diferencias significativas. A partir de la segunda fecha en adelante, se puede observar variaciones con diferencias significativas entre tratamientos. En la segunda y tercera fecha, el tratamiento químico (T6) a base del fertilizante 10-30-10 presentó diferencia significativa con un número mayor de hojas a diferencia del testigo (T1) y de los tratamientos T2, T3, T4. Siendo en la última fecha de evaluación el tratamiento químico T6 y T3 (*Azotobacter*) que influyeron en las plantas de brócoli con un mayor número de hojas (22) en comparación al tratamiento testigo (T1) (Figura 4) revisar (Anexo 2) (Tabla 10).



**Figura 4.** Número de hojas de las plantas de brócoli en distintas fechas de evaluación, durante el ensayo, con los distintos tratamientos aplicados. Las letras en la parte superior, representan las diferencias significativas entre cada tratamiento con un  $p > 0,05$ . Tratamientos: T1 (Testigo), T2 (*Chlorella*), T3 (*Azotobacter*), T4 (*Pseudomonas*), T5 (*Azospirillum*) y T6 (Fertilizante químico).

- **Diámetro de pella**

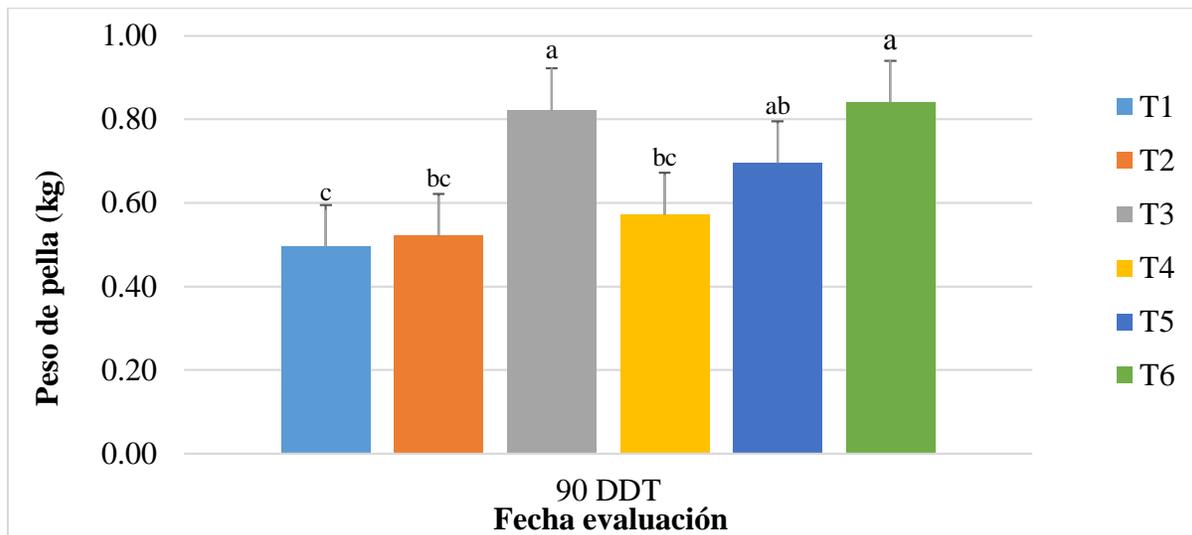
El diámetro de pella de los seis tratamientos evaluados, presentaron diferencias significativas (Figura 5) y se evidenció que en la primera fecha de evaluación a los 60 días después del trasplante destacó el tratamiento químico 10-30-10 (T6), seguidamente el tratamiento con *Azotobacter* (T3), mientras que los tratamientos T2, T4 y T5 no presentaron diferencias significativas a excepción del tratamiento testigo (T1). En la última fecha, la aplicación del tratamiento T6 (fertilizante químico) presentó mayor diámetro de pella en las plantas de brócoli con un total de 17 cm de diámetro, con respecto a los tratamientos con aplicación de los microorganismos, siendo el tratamiento T3 (*Azotobacter*) con 16,8 cm, continuando el tratamiento T5 (*Azospirillum*) con 16 cm, luego el tratamiento T4 (*Pseudomonas*) con 15,4 cm y T2 (*Chlorella*) con un valor de 15,1 cm; Finalmente, el tratamiento T1 (testigo) con 14,2 cm fue el que presentó el diámetro de pella más bajo con respecto a los demás tratamientos.



**Figura 5.** Diámetro de pella de las plantas de brócoli en distintas fechas de evaluación, durante el ensayo, con los distintos tratamientos aplicados. Tratamientos: T1 (Testigo), T2 (Chlorella), T3 (*Azotobacter*), T4 (*Pseudomonas*), T5 (*Azospirillum*) y T6 (Fertilizante químico). Las letras en la parte superior, representan las diferencias significativas entre cada tratamiento con un  $p > 0,05$ .

- **Peso de pella**

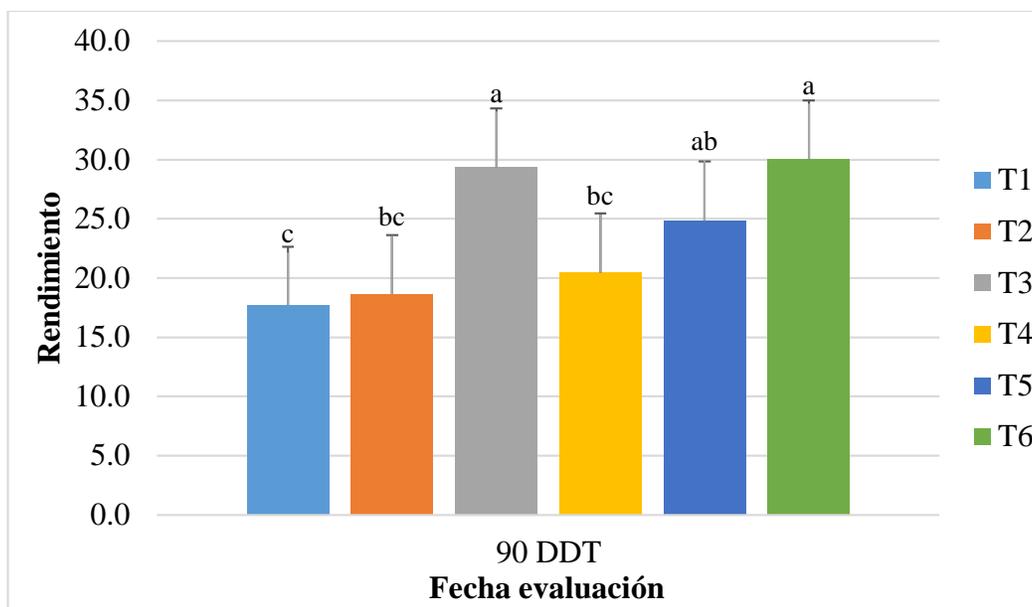
El peso de la pella en el momento de la cosecha (Figura 6), presentaron diferencias significativas (Anexo 2) (Tabla 11) entre los tratamientos con aplicación de los microorganismos a diferencia del tratamiento químico (T6) y testigo (T1). Evidenciándose que el tratamiento T6 (fertilizante químico) presentó el mayor peso de pella con un valor de 0,840 kg, seguidamente el tratamiento T3 (*Azotobacter*) con un valor de 0,821 kg, el tratamiento T5 (*Azospirillum*) con 0,695 kg, luego el tratamiento T4 (*Pseudomonas*) con 0,573 kg y finalmente el tratamiento T2 (*Chlorella*) con 0,522 kg, mientras que el tratamiento T1 (testigo) fue el que menos peso presentó con un valor de 0,495 kg.



**Figura 6.** Peso de pella de las plantas de brócoli, registrado al final del ensayo, en el momento de la cosecha. Las letras en la parte superior, representan las diferencias significativas entre cada tratamiento con un  $p > 0,05$ . Tratamientos: T1 (Testigo), T2 (*Chlorella*), T3 (*Azotobacter*), T4 (*Pseudomonas*), T5 (*Azospirillum*) y T6 (Fertilizante químico).

- **Rendimiento**

En lo que respecta al rendimiento del cultivo de brócoli, en la Figura 7 se muestra las toneladas por hectárea alcanzadas por cada uno de los tratamientos. Se evidenció diferencias significativas entre los tratamientos (Anexo 2) (Tabla 12). Siendo el tratamiento T6 (fertilizante químico) el que presentó el mayor rendimiento agrícola en el cultivo de brócoli con un total de 30  $t ha^{-1}$ , seguido por los tratamientos T3 (*Azotobacter*, 29,4  $t ha^{-1}$ ), T5 (*Azospirillum*, 24,8  $t ha^{-1}$ ), T4 (*Pseudomonas* 20,4  $t ha^{-1}$ ) y T2 (*Chlorella* 18,6  $t ha^{-1}$ ), por el contrario, el tratamiento T1 (testigo) fue el que presentó el rendimiento más bajo con un valor de 17,7  $t ha^{-1}$ .



**Figura 7.** Rendimiento de las plantas de brócoli, registrado al final del ensayo, en el momento de la cosecha. Las letras en la parte superior, representan las diferencias significativas entre cada tratamiento con un  $p > 0,05$ . Tratamientos: T1 (Testigo), T2 (*Chlorella*), T3 (*Azotobacter*), T4 (*Pseudomonas*), T5 (*Azospirillum*) y T6 (Fertilizante químico).

## 7. Discusiones

### 7.1. Discusiones para el primer objetivo

- **Análisis de las propiedades físicas y químicas del suelo**

En la presente investigación se pudo evidenciar que, en base a la aplicación de los microorganismos, correspondiente a las propiedades físicas del suelo, la densidad aparente del análisis inicial con respecto al del final tuvo una variación de disminución, Por ende, nuestro valor está dentro de lo establecido por la FAO (2009), la cual expone que la densidad aparente es un valor que varía con la textura y que el valor de  $D_a$  para suelos no compactados para Franco Arcilloso es de  $1,33 \text{ g/cm}^3$ . Lo cual es semejante a los valores obtenidos de densidad aparente en una investigación por Ramón (2024), quien obtuvo un valor inicial de  $1,49 \text{ g/cm}^3$  y final de  $1,22 \text{ g/cm}^3$ , luego de haber aplicado rizobacterias en el desarrollo vegetativo del cultivo de tomate de riñón (*Solanum lycopersicum* L.). Con referencia a ello, Sumbul et al., (2020) manifiesta que los microorganismos mejoran la estructura del suelo y las propiedades físicas del mismo.

Con respecto a la porosidad del suelo, al final del ensayo aumentó y se evidenció que está dentro del rango de porosidad determinado para suelos medios con un valor de 45 – 55 %, según lo descrito por FAO (2009). Significando nuestros resultados un efecto positivo, según lo manifestado por Morocho & Leiva (2019) que, en caso de presenciar menos poros, se reduce la capacidad de un suelo de contener agua o aire, es por ello que una buena porosidad facilita el flujo de oxígeno hacia las raíces ubicadas en profundidad; mientras mayor sea la porosidad del suelo, mayor será el rendimiento obtenido. Al implementar microorganismos, estos convierten las sustancias orgánicas en nutrientes inorgánicos que pueden ser asimilables por las plantas a través de las raíces, por ende, al aumentar la materia orgánica del suelo incrementa la capacidad de retención de humedad y mejora la estabilidad de los agregados.

Por otra parte, en los resultados de las propiedades químicas, se demostró en la comparación de los análisis de suelo tanto inicial como final, que el pH mostró variación, al igual que el contenido de materia orgánica, capacidad de intercambio catiónico y el contenido de macro y micronutrientes P, K, Fe, Mg, S, Mn, Zn, Cu y MO (Tabla 6 y 7).

El aumento del contenido de los macro y micronutrientes, tanto de N, P, K, Mg, Zn se debe a que como menciona Gándara & Gutiérrez (2023) los microorganismos juegan un papel importante en la regulación de la fertilidad del suelo. La solubilización de potasio y zinc es una de las funciones de *Azotobacter* en el suelo y que promueven el crecimiento vegetal y de tal manera

la producción de ácidos orgánicos en el suelo puede retener cationes Zn y disminuir el pH del suelo circundante. Aasfar et al., (2021) alude que los efectos beneficiosos se pueden atribuir a la biosíntesis de sustancias biológicamente activas, la estimulación de microorganismos rizosféricos, la producción de inhibidores fitopatógenos y una mejor disponibilidad de nutrientes de N, P, Ca y S, a través de la mineralización de residuos orgánicos en el suelo.

La aplicación de *Azotobacter* spp. y otros microorganismos promotores del crecimiento vegetal pueden ser muy beneficiosos debido a que contribuye en la eliminación de diversas tensiones y ayuda a mejorar las propiedades físicas y químicas del suelo (Sumbul et al., 2020). A su vez Kizilkaya, (2009) reafirma lo antes descrito ya que en su investigación pudo determinar que la presencia o incorporación de estos microorganismos a los suelos agrícolas produce beneficios, además es bien conocido efecto sobre las propiedades físico-químicas del suelo, tanto del contenido de materia orgánica, pH, humedad del suelo como de la temperatura del suelo.

## **7.2. Discusiones para el segundo objetivo**

En la presente investigación se evaluó el efecto de la aplicación de microorganismos promotores de crecimiento vegetal en el desarrollo y rendimiento de brócoli bajo condiciones de campo, donde se aplicó *Chlorella*, *Azotobacter*, *Pseudomonas*, *Azospirillum* y un fertilizante químico. Los resultados obtenidos en el estudio demostraron que la aplicación de *Chlorella*, *Azotobacter*, *Pseudomonas*, *Azospirillum* y fertilizante químico al inicio de la fase de experimentación no presentaron diferencias estadísticas significativas entre tratamientos al igual que el tratamiento testigo, sin embargo con el transcurso de los días *Azotobacter* y el tratamiento a base del fertilizante 10-30-10 fueron estadísticamente superiores a los demás tratamientos, presentando diferencia en las variables: altura de la planta, número de hojas, diámetro de la pella, peso de la pella y rendimiento.

Además, se determinó que la aplicación de los tratamientos no influyeron significativamente durante los primeros 15 días después del trasplante durante el desarrollo de las plantas, debido a que se presenciaron fuertes lluvias y vientos los cuales no estaban dentro de los rangos adecuados de los requerimientos del cultivo, por ende, las condiciones climáticas presentadas no fueron favorables para el cultivo, lo cual coincide con Golberg (2010) quien manifiesta que la presencia de constantes lluvias y fuertes vientos causa la disminución del crecimiento y desarrollo de las plantas por la activación de sus mecanismos para hacer frente a

estas situaciones de estrés abiótico a las que se ven sometidas, provocan la pérdida de espesor de la capa fértil del suelo, al actuar como agente erosivo, pudiendo incluso dejar las raíces expuestas.

Con la aplicación del fertilizante completo 10-30-30, una de las razones para que este sea estadísticamente superior en todas las variables a los demás tratamientos, puede ser porque este fertilizante completo, funciona como una fuente óptima de los tres macro nutrientes primarios N-P-K, ya que el nitrógeno (N), fósforo (P) y potasio (K) son los nutrientes primarios necesarios que requieren las plantas para un crecimiento y desarrollo adecuados. Funcionan como una fuente de elementos mayores, estimula el rápido crecimiento, da un color verde intenso a las hojas y mejora la resistencia de los cultivos a la sequía, frío, enfermedades y la capacidad de resistencia a las plagas (Maldonado, 2016).

El N es el motor del crecimiento de la planta, juega un papel importante en el crecimiento vegetativo; por lo tanto, debe permanecer disponible durante la etapa vegetativa (Sánchez et al., 2019). El P es indispensable para la diferenciación de las células y para el desarrollo de los tejidos, que forman los puntos de crecimiento de la planta, aumenta la división celular y estimula el crecimiento de raíces y la floración (Khan et al., 2012). El K es crucial para el crecimiento de la planta, desarrollo, defensa, señalización, procesos de transporte, mejora la absorción de agua y nutrientes, mejora el régimen hídrico de la planta y aumenta su tolerancia a la sequía, heladas y salinidad (Sánchez et al., 2019).

Por ende, con la aplicación edáfica de abono completo 10-30-10 NPK en esta investigación tuvo un efecto positivo que estimuló un mayor número de hojas en las plantas de brócoli, lo cual se relaciona a lo manifestado por Nava et al., (2017) el cual indica que a mayor número de hojas supone una mayor actividad fotosintética y por ende un mayor crecimiento y que aplicar un fertilizante químico edáfico es importante para las etapas iniciales de los cultivos, para el desarrollo y rendimiento óptimo del cultivo, de tal manera que estimula el crecimiento del follaje y de brotes nuevos. Lo que ayuda a soportar condiciones adversas, como falta de la humedad del suelo.

Con respecto a la altura de la planta, los tratamientos con aplicación de los MPCV presentaron mayor altura a comparación del tratamiento Testigo. Sin embargo, el tratamiento T3 (*Azotobacter*) destacó con plantas de mayor altura, lo cual es similar a resultados reportados por Sumbul et al. (2020) en un estudio, el cual encontró que las plantas con aplicación de *Azotobacter* sp. como única fuente de fertilización desarrollaron un promedio de altura entre 20-30 cm al igual

que las plantas tratadas con fertilización química, debido a que este ayuda a la aceleración de la biosíntesis de diversas moléculas orgánicas beneficiosas en el organismo vegetal fortaleciendo a las plantas y les permite luchar contra los factores estresantes y promueve el crecimiento de las plantas. De igual manera en un estudio realizado por Córdova (2023), quien evaluó el efecto de la inoculación de microorganismos promotores del crecimiento vegetal y su influencia en el rendimiento de brócoli bajo invernadero y obtuvo resultados que incidieron positivamente en la altura de las plantas con aplicación de *Azotobacter*, *Pseudomonas* y *Azospirillum* con respecto al Tratamiento testigo, sin embargo, con la aplicación del fertilizante químico 15-15-15 obtuvo resultados que influyeron directamente en la altura de las plantas y fue estadísticamente superior a los tratamientos que aplicó los MPCV.

En cuanto al número de hojas, con la aplicación edáfica de abono completo 10-30-10 NPK en esta investigación tuvo un efecto positivo que estimuló un mayor número de hojas en las plantas de brócoli. En contexto a ello, Nava et al., (2017) manifiesta que a mayor número de hojas supone una mayor actividad fotosintética y por ende un mayor crecimiento para el desarrollo y rendimiento óptimo del cultivo, de tal manera que estimula el crecimiento del follaje y de brotes nuevos. Ayuda a soportar condiciones adversas, como falta de la humedad del suelo. Trabajos similares con aplicación de Fertilizante químico completo 10-30-10, Gavilánez y Ramírez, (2020), evaluaron el comportamiento agronómico del cultivo de brócoli (*Brassica oleracea*) var. avenger sakata con dos abonos orgánicos y a los 60 días se obtuvieron el mayor número de hojas, con un promedio de 12,90 hojas por planta, con resultados inferiores a los demás tratamientos, mientras que en nuestra investigación se obtuvo resultados positivos superiores con un promedio de 14 hojas a los 60 días.

En el diámetro y peso de pella durante el transcurso del desarrollo de la investigación presentaron diferencias significativas entre tratamientos, obteniéndose mayor diámetro (17 cm) y peso (0,840 kg), datos que fueron registrados con el tratamiento del fertilizante químico 10-30-10. De tal manera que los resultados fueron superiores a los presentados por Nicolalde & Quintana, (2018), en el cual evaluaron la utilización de bacterias fijadoras de nitrógeno (*Azotobacter*) y solubilizadoras de fósforo en el cultivo de brócoli, obteniendo 16,32 cm/pella con fertilización química, el cual argumenta que se debe a que el nitrógeno ayuda a aumentar de manera notable de diámetro de las pellas.

El rendimiento, en estudios similares con aplicación de Fertilizante químico completo 10-30-10 NPK, obtuvo 17,42 t ha<sup>-1</sup> frente a MPCV con 16,97 t ha<sup>-1</sup> la cual presentó una mínima de 0,45 t ha<sup>-1</sup>, lo que significa que esta mínima diferencia no es relevante Córdova (2023). La aplicación de *Azotobacter* promueve el rendimiento de los cultivos agrícolas debido a su capacidad para fijar el N atmosférico y al brindar disponibilidad de nutrientes y minerales esenciales para las plantas, especialmente nitrógeno (N) y fósforo (P) (Dar et al., 2021). Se obtuvieron resultados positivos frente a la aplicación del fertilizante químico y testigo, lo cual al tratamiento T3 (*Azotobacter*), se puede deducir la importancia de *Azotobacter* como inoculante microbiano que se ha establecido de manera convincente a través de varios experimentos y un gran número de ensayos de campo Ritika y Utpal (2014) demostraron en su investigación que el uso de *Azotobacter* como biofertilizante aumentó el crecimiento y el rendimiento de varios cultivos en condiciones de campo con un aumento porcentual de hasta el 40 % para el brócoli y del 15–20 % para el maíz en comparación con fertilizantes convencionales.

## 8. Conclusiones

- Las propiedades físicas y químicas del suelo mediante la aplicación de los microorganismos promotores del crecimiento vegetal, presentaron efectos positivos de manera que contribuyeron a mejorar la densidad aparente, porcentaje de poros, el valor nutricional de N, P, K, Ca Mg, Zn, regular el pH, materia orgánica, CIC ya que sus valores se encontraron dentro de los valores establecidos por la FAO y conllevaron a optimizar el rendimiento del cultivo a través del aumento de la disponibilidad de los nutrientes necesarios.
- La aplicación de la fertilización química a base de 10-30-10 correspondiente al tratamiento T6, en las diferentes variables evaluadas como: Altura de la planta, Número de hojas, Diámetro de pella, Peso de pella y Rendimiento produjo los mejores resultados, presentando diferencias significativas, sin embargo, *Azotobacter* (T3) presentó resultados cercanos al tratamiento (T6), siendo superiores con respecto al tratamiento testigo (T1).
- La implementación de biofertilizantes en esta experimentación como *Azotobacter* puede ser una de las alternativas viables, comparadas con el tratamiento químico, ya que mostraron un nivel similar en los resultados de las variables evaluadas. Con ello, se constata que se puede suplir a la fertilización convencional y ser una herramienta útil encaminada para los agricultores que buscan mejorar el rendimiento de sus cultivos de brócoli.

## 9. Recomendaciones

- Aplicar mayor cantidad de concentraciones de los microorganismos (*Chlorella*, *Pseudomonas*, *Azospirillum* y *Azotobacter*) en diferentes etapas del cultivo de brócoli, de tal manera que estos podrían arrojar resultados con mayor impacto frente a productos químicos comerciales y obtener mayores diferencias significativas.
- Promover investigaciones en otros cultivos con aplicación de biofertilizantes a base de los microorganismos promotores del crecimiento vegetal y químicos para demostrar a los agricultores que los productos orgánicos pueden llegar tener un efecto beneficioso y positivo frente a los fertilizantes químicos.

## 10. Bibliografía

- Abhilash, Dubey, R., Tripathi, V., K. Gupta, V., & B. Singh, H. (2016). Plant Growth-Promoting Microorganisms for Environmental Sustainability. *Trends in Biotechnology*, 34(11), 847-850.
- AgroEs. (2017). Brocoli, taxonomía y descripciones botánicas, morfológicas, fisiológicas y ciclo biológico. Obtenido de <http://www.agroes.es/cultivosagricultura/cultivos-huerta-horticultura/broculi/347-broculi-descripcionmorfologia-y-ciclo>
- Ahemad, M., & Kibret, M. (2013). Mechanisms and applications of plant growth promoting rhizobacteria Current perspective. *Journal of King Saud University Science*, 1-20.
- Alfonso, E. T., & Galán, A. L. (2006). Evaluación agrobiológica de la coinoculación micorrizas-rizobacterias en tomate. *Agronomía Costarricense*, 30(1), 65-73.
- Aasfar, A., Bargaz, A., Yaakoubi, K., Hilali, A., Bennis, I., Zeroual, Y., & Meftah Kadmiri, I. (2021). Nitrogen Fixing Azotobacter Species as Potential Soil Biological Enhancers for Crop Nutrition and Yield Stability. *Frontiers in Microbiology*, 12, 628379. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2021.628379>
- Bertha, F. (2013). Absorción de nutrientes por los cultivos. Asociación Costarricense de la Ciencia del Suelo. San José, Costa Rica. 307 p.
- Bolea J. (2002). Cultivo de Coles, Coliflores y Brócolis. Editorial Síntesis. Primera edición. Barcelona – España.
- Boraste, A., Vamsi, K.K., Jhadav, A., Khairnar, Y., Gupta, N., Trivedi, S., Joshi, B. 2009. Biofertilizers: A novel tool for agriculture. *International Journal of Microbiology Research*, 1(2), 23.
- Blanco Chura, A., & Arragan Tancara, F. B. (2020). Concentraciones de Abono Orgánico Líquido Aeróbico (AOLA) en el cultivo de brócoli (*Brassica oleracea*) mediante riego por goteo. *Revista de Investigación e Innovación Agropecuaria y de Recursos Naturales*, 7(2), 66-72.
- Cardarelli, M. (2020). *Tratamientos de semillas con microorganismos y sus efectos beneficiosos en los cultivos*. Bioestimulante.com. <https://www.biostimulant.com/es/seed-treatments-with-microorganisms-and-their-beneficial-effects-on-crops/>

- Cargua, J., Orellana, G., Cuenca, A., & Cedeño, G. (2019). Eficacia de bioestimulantes sobre el crecimiento inicial de plantas de fréjol común (*Phaseolus vulgaris* L.). *Espamciencia*, 14-22.
- Carranza, C., Lancho, O., & Miranda, D. (2008). Comportamiento de los nutrientes en el tejido foliar del brócoli (*Brassica oleracea* var. *Italica*) coronado y repollo (*Brassica oleracea*) híbrido de los cultivados en la Sabana de Bogotá. *Revista Colombiana de ciencias hortícolas*, 2(1), 66-72.
- Cerisola, A. C. (2015). Fertilidad química. Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales, 1-44.
- Cerveñansky, A. (2011). Azufre - Fertilidad. *FAGRO*, 11-12.
- Córdova, G. (2023). Efecto de la inoculación de microorganismos promotores del crecimiento vegetal y su influencia en el rendimiento de brócoli bajo invernadero. [https://dspace.unl.edu.ec/jspui/bitstream/123456789/27786/1/GladysFernanda\\_CórdovaOviedo.pdf](https://dspace.unl.edu.ec/jspui/bitstream/123456789/27786/1/GladysFernanda_CórdovaOviedo.pdf)
- Das, Hong Kong (2019). Azotobacters como biofertilizante. *Avances en microbiología aplicada*, 108, 1-43.
- Esquivel-Cote, R., Gavilanes-Ruiz, M., Cruz-Ortega, R., & Huante, P. (2013). Importancia agrobiotecnológica de la enzima ACC desaminasa en rizobacterias, una revisión. *Revista Fitotecnia Mexicana*, 251-258
- Flores, J. B., Corral, F. J. W., Félix, F. R., Hernández-Montiel, L. G., & Reyes-Pérez, J. J. (2016). Halobacterias promotoras del crecimiento vegetal en *Brassica oleracea* en el noroeste de México. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas* (17), 3509-3519. <https://www.redalyc.org/pdf/2631/263149506010.pdf>
- Fundesyam. (2014). Manejo agronómico del cultivo de brócoli. Fecha de consulta: 08 de agosto de 2021. Obtenido de <http://www.fundesyam.info/biblioteca.php?id=1208>
- Gall, J. L. (2009). *El brócoli en Ecuador : la fiebre del oro. Cultivos no tradicionales, estrategias campesinas y globalización.* Obtenido de <https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/3404583.pdf>
- Gándara, A., & Gutiérrez, M. (2023). Efecto de microorganismos promotores de crecimiento vegetal y yeso agrícola en el cultivo de higo. *CIBA Revista Iberoamericana De Las Ciencias Biológicas Y Agropecuarias*, 12(23), 1 - 21. <https://doi.org/10.23913/ciba.v12i23.116>

- García, Y., Soto, G., Tafu, V., Simbaña, A., Tello, E., & Brito, J. (2016). Efecto de un fertilizante orgánico microalgal en la germinación y crecimiento de plántulas de albahaca (*Ocimum basilicum* L.). *Rev. Unell. Cienc. Tec.*34: 33-39.
- Garza, M., Almaguer, V. R., & Loredó, J. (2010). Bioingeniería aplicada a una columna empacada con *Chorella* sp. Inmovilizada para la remoción de metales pesados. *Ciencia UNAL*, 174-177.
- Gavilánez, T., & Ramirez, J. (2020). EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO AGRONÓMICO DEL CULTIVO DE BRÓCOLI (*Brassica oleracea*) Var. Avenger sakata CON DOS ABONOS ORGÁNICOS. <https://repositorio.utc.edu.ec/bitstream/27000/6924/1/UTC-PIM-000265.pdf>
- Golberg, A. D., (2010). El viento y la vida de las plantas. *Revista de la Facultad de Ciencias Agrarias*, 42(1), 221-243.
- Gómez-Luna, B. E., Hernández-Morales, A., HerreraMéndez, C. H., Arroyo- Figueroa, G., VargasRodríguez, L., & Olalde-Portugal, V. (2012). Aislamiento de bacterias promotoras del crecimiento de la rizósfera de plantas de guayaba (*Psidium guajava*). *Ra Ximhai*, 97-102.
- Gómez, M. M., Mercado, E. C., & Pineda, E. G. (2014). *Azospirillum* una rizobacteria con uso potencial en la agricultura. *Biológicas Revista de La DES Ciencias Biológico-Agropecuarias Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo*, 16(1), 11-18.
- González Paco. (2019). Consecuencias ambientales de la aplicación de fertilizantes. *Asesoría Técnica Parlamentaria*, 1-5.
- Grageda Cabrera, O. A., Díaz-Franco, A., PeñaCabriales, J. J., & Vera-Nuñez, J. A. (2012). Impacto de los biofertilizantes en la agricultura. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 1261-1274.
- Hadas R, Okon Y. 1987. Effect of *Azospirillum brasilense* inoculation on root morphology and respiration in tomato seedlings. *Biol. Fertil. Soils*. 5: 241-247.
- INEC. (2016). Instituto Nacional de Estadística y Censos. Recuperado el 20 de 11 de 2019, de <http://ecuadorencifras.gob.ec/>
- Jaramillo, J., & Díaz, C. (2006). El cultivo de las crucíferas, brócoli, coliflor, repollo, col china. Colombia: Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (Corpoica).

- Kholssi, R., AN Marks, E., Miñón, J., Montero, O., Debdoubi, A., & Rad, C. (2019). Efecto biofertilizante de las suspensiones de *Chlorella sorokiniana* sobre el crecimiento del trigo. *Journal of Plant Growth Regulation*, 38, 644-649.
- Lestrangle, M., Mayberry, K., Koyke, S., & Valencia, J. (2003). Producción de brócoli en California. Centro de información e investigación de Hortalizas, serie producción de hortalizas. Division of Agriculture and Natural Resources.
- MAG. (2023). *Ministerio de Agricultura y Ganadería/ Coordinación General de Información Nacional Agropecuaria*. Obtenido de Boletín Situacional Brócoli 2022: <https://sipa.agricultura.gob.ec/>
- Maldonado, J., Ramírez, J., Méndez, J., & Pérez, N. (2017). El sistema de producción del brócoli desde la perspectiva del campo social de Pierre Bourdieu
- Maldonado, C. A. C. (2016). EVALUACION DE OCHO FERTILIZANTES FOLIARES, EN COMPARACION CON EL ABONO GRANULADO 15-15-15, EN LA PRODUCCION DE BROCOLI (*Brassica oleracea* var. *Italica*), EN EL INSTITUTO DE CIENCIA Y TECNOLOGIA AGRICOLAS (ICTA), LABOR OVALLE, SAN JUAN OLINTEPEQUE, QUETZALTENANGO. <https://www.cytacunoc.gt/wp-content/uploads/2017/10/Carrillo-Maldonado-Carlos-Alberto-2016.pdf>
- Maroto Borrego, J. V., F. Pomares García, C., & Soria, B. (2007). El cultivo de la coliflor y el brócoli. Madrid: Mundi-Prensa.
- Martínez, S. B., Carbone, A. V., & Garbi, M. (2021). PRODUCCIÓN HORTÍCOLA PERIURBANA. *Fenología y bioclimatología de los principales cultivos hortícolas*, 180.
- Medina, L. A., Monsalve, Ó. I., & Forero, A. F. (2010). Aspectos prácticos para utilizar materia orgánica en cultivos hortícolas. *Ciencias Hortícolas*, 4(1), 109-125.
- Municipio de Loja. (2020). *Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial*. ODS. (2022). *Objetivos de Desarrollo Sostenible*.
- Nava, D. T., Castro, E. S., Peña-Cabriales, J. J., & Vera-Núñez, J. A. (2017). Aporte de nitrógeno proveniente de poliniza al cultivo de brócoli (*Brassica oleracea* L.). *Revista de la Facultad de Ciencias Agrarias*.
- Nicolalde, A., & Quintana, D. (2018). "UTILIZACION DE BACTERIAS FIJADORAS DE NITROGENO (*Azotobacter*) Y SOLUBILIZADORAS DE FOSFORA EN EL CULTIVO DE BROCOLI (*Brassica oleracea* var. *Legacy*) EN OTAVALO".

<https://repositorio.utn.edu.ec/bitstream/123456789/264/1/03%20AGP%2096%20ARTICULO%20CIENTIFICO.pdf>

- Patriquin DG, Döbereiner J, Jain DK. 1983. Sites and processes of association between diazotrophs and grasses. *Can. J. Microbiol.* 29: 900-15.
- Pomares, F., Baixauli, C., Bartual, R., & Ribó, M. (2007). *El riego y la fertirrigación de la coliflor y brócoli*. España: Mundi-Prensa
- Pinzón, H., & Isshiki, M. (2001). *El cultivo de algunas hortalizas promisorias en Colombia*. (Primera ed.). Bogotá, Colombia: Editorial Produmedios.
- Pomares, F., Baixauli, C., Bartual, R., & Ribó, M. (2007). *El riego y la fertirrigación de la coliflor y brócoli*. España: Mundi-Prensa
- Probelte. (2019). Fertilización química. Recuperado el 28 de 03 de 2020, de <https://www.probelte.es/noticia/es/fertilizacion-quimica-o-convencional-en-la-agricultura/30>
- Revelo, R. (2012). Perfil de brócoli. Centro de Inteligencia e Información Comercial- CICO de CORPEI. , Ecuador.
- Ritika, B. y Utpal, D. (2014). Biofertilizante, un camino hacia la agricultura orgánica: una revisión. *Afr. J. Microbiol. Res.* 8, 2332–2343. doi: 10.5897/AJMR2013.6374
- Rodríguez, D., Urrego, L., Martínez, P., & Bernal, J. (2003). Evaluación preliminar de dos matrices para la inmovilización de bacterias diazotróficas y solubilizadoras de fosforo aislado de bosque alto andino cundimarcués. Tesis de Microbiología industrial. Colombia: Pontificia Universidad Javeriana.
- Romero L., M. d. (2000). Producción de papa y biomasa microbiana en suelo con abonos orgánicos y minerales. *Agrociencia*, 261-269.
- Ruzzi, M., & Aroca, R. (2015). *Las rizobacterias promotoras del crecimiento vegetal actúan como bioestimulantes en la horticultura*.
- Sakata. (2010). Manejo del brócoli. México. Recuperado el 16 de 12 de 2020, de <http://www.sakata.com.mx/paginas/ptbrocoli.htm>
- Sánchez, J. C., Vásquez, C. B. B., Torres, C. A. L., & Ramírez, L. A. G. (2019). Evaluación de las concentraciones de Nitrógeno, Fósforo y Potasio del biol y biosol obtenidos a partir de estiércol de ganado vacuno en un biodigestor de geomembrana de policloruro de vinilo. <http://www.scielo.org.pe/pdf/arnal/v26n3/a21v26n3.pdf>

- Seminis. (2004). Deficiencias nutricionales. Recuperado el 15 de 12 de 2020, de <https://www.seminis.mx/>
- Seminis. (2017). Algunos consejos para la siembra de brocoli. Obtenido de <http://www.seminis.mx/-algunos-consejos-para-la-siembra-de-brocoli/>
- Shams, A. (2019). Nitrogen Sources and Algae Extract as Candidates for Improving the Growth, Yield and Quality Traits of Broccoli Plants. *J. Plant Production, Mansoura Univ*, 9.
- Spaepen S, Van Derleyden J, Okon Y. 2009. Plant growth-promoting actions of rhizobacteria. *Adv. Bot. Res.* 51:283–320.
- Sumbul, A., Ansari, R. A., Rizvi, R., & Mahmood, I. (2020). Azotobacter: A potential bio-fertilizer for soil and plant health management. *Saudi Journal of Biological Sciences*, 27(12), 3634-3640. <https://doi.org/10.1016/j.sjbs.2020.08.004>
- Thirumaran, G. A. (2009). Effect of Seaweed Liquid Fertilizer on Growth and Pigment Concentration of *Abelmoschus esculentus* (l) medikus. *American-Eurasian Journal of Agronomy*, 2(2), 57-66
- Toledo, J. (2003). Cultivo de brócoli. Lima, Perú: INSTITUTO NACIONAL DE INVESTIGACION AGRARIA
- UNL. (2021). *Universidad Nacional de Loja*. Investigacion proyectos-investigacion sistemas-agropecuarios-sostenibles
- Vélez Duque, P. I., & Álava Murillo, A. (2021). Análisis de los canales de comercialización del brócoli en Ecuador. *Revista Tecnológica - ESPOL*, 33(3), 181-201. <https://doi.org/10.37815/rte.v33n3.857>
- Willey, J., Sherwood, L., & Woolverton, C. (2013). Prescott's Microbiology. McGraw-Hill Education, 1139.
- Zaidi, A., Mohammad, A., Saima, S. K., & Rizvi, S. A. (2015). *Role of plant growth promoting rhizobacteria in sustainable production of vegetables: Current perspective.*
- Zamora, E. (2016). El cultivo del brocoli. México: Universidad Sonora.

## 11. Anexos

### Anexo 1. Evidencias fotográficas



**Figura 8.** Recolección de muestras iniciales de suelo del terreno donde se estableció el ensayo de trabajo de integración curricular.



**Figura 9.** Preparación de semillero y siembra en bandejas.



**Figura 10.** Aplicación de los diferentes tratamientos en semillero tanto de los microorganismos como del fertilizante químico.



**Figura 11.** Preparación de terreno



**Figura 12 .** Delimitación de parcelas en la quinta experimental la Argelia



**Figura 13.** Trasplante de plántulas.



**Figura 14.** Deshierbe de malezas.



**Figura 15.** Medición de altura y conteo de número de hojas de las pantas de brócoli.



**Figura 16.** Segunda aplicación de los tratamientos en campo.



**Figura 17.** Medición de diámetro de pella



**Figura 18.** Cosecha de las pellas de brócoli.



**Figura 19.** Peso de pella

**Anexo 2.** Análisis estadísticos en el programa Infostat de las diferentes variables.

**Tabla 10.** Resultados de la Prueba de ANAVA para la variable altura de las plantas en las diferentes fechas de evaluación (p valor significativo < 0,05).

<b>Cuadro de Análisis de la Varianza (Paramétrica y no paramétrica).</b>						
<b>F.V</b>	<b>15 ddt</b>	<b>30 ddt</b>	<b>45 ddt</b>	<b>60 ddt</b>	<b>75 ddt</b>	<b>90 ddt</b>
	<b>p-valor</b>	<b>p-valor</b>	<b>p-valor</b>	<b>p-valor</b>	<b>p-valor</b>	<b>p-valor</b>
Modelo	0,3472	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001
Tratamiento	0,4181	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001
<b>Normalidad</b>	<b>p (Unilateral)</b>					
Shapiro-Wilks	0,9944	0,9150	0,2727	0,9576	0,4618	0,1341
<b>Homogeneidad de varianza</b>	<b>p-valor</b>	<b>p-valor</b>	<b>p-valor</b>	<b>p-valor</b>	<b>p-valor</b>	<b>p-valor</b>
<b>Prueba de Levene</b>	0,0513	0,0152	0,3027	0,0681	0,1088	0,4241
<b>Kruskal Wallis</b>	<b>p-valor</b>	<b>p-valor</b>	<b>p-valor</b>	<b>p-valor</b>	<b>p-valor</b>	<b>p-valor</b>
<b>H</b>	4,94	25,40				
<b>P</b>	0,4225	0,0001				

**Tabla 11.** Resultados de la Prueba de ANAVA para la variable número de hojas en las diferentes fechas de evaluación (p valor significativo < 0,05).

<b>Cuadro de Análisis de la Varianza (Paramétrica y no paramétrica).</b>						
<b>F.V</b>	<b>15 ddt</b>	<b>30 ddt</b>	<b>45 ddt</b>	<b>60 ddt</b>	<b>75 ddt</b>	<b>90 ddt</b>

	<b>p-valor</b>	<b>p-valor</b>	<b>p-valor</b>	<b>p-valor</b>	<b>p-valor</b>	<b>p-valor</b>
Modelo	0,1102	0,0317	0,0004	0,0119	0,0002	0,0003
Tratamiento	0,555	0,0087	0,0002	0,0025	<0,0001	<0,0001
<b>Normalidad</b>	<b>p (Unilateral)</b>					
Shapiro-Wilks	0,9027	0,6449	0,1380	0,1963	0,5155	0,2162
<b>Homogeneidad de varianza</b>	<b>p-valor</b>	<b>p-valor</b>	<b>p-valor</b>	<b>p-valor</b>	<b>p-valor</b>	<b>p-valor</b>
<b>Prueba de Levene</b>	0,3025	0,2542	0,1076	0,0099	0,0317	0,1356
<b>Kruskal Wallis</b>	<b>p-valor</b>	<b>p-valor</b>	<b>p-valor</b>	<b>p-valor</b>	<b>p-valor</b>	<b>p-valor</b>
<b>H</b>				8,80	20,60	
<b>P</b>				0,0062	0,0009	

**Tabla 12.** Resultados de la Prueba de ANAVA para la variable diámetro de pella en las diferentes fechas de evaluación (p valor significativo < 0,05).

<b>Cuadro de Análisis de la Varianza (Paramétrica y no paramétrica)</b>			
<b>F.V</b>	<b>60 ddt</b>	<b>75 ddt</b>	<b>90 ddt</b>
	<b>p-valor</b>	<b>p-valor</b>	<b>p-valor</b>
Modelo	<0,0001	<0,0001	0,0001
Tratamiento	<0,0001	<0,0001	<0,0001
<b>Normalidad</b>	<b>p (Unilateral)</b>	<b>p (Unilateral)</b>	<b>p (Unilateral)</b>
Shapiro-Wilks	0,3059	0,6997	0,4654
<b>Homogeneidad de varianza</b>	<b>p-valor</b>	<b>p-valor</b>	<b>p-valor</b>
<b>Prueba de Levene</b>	0,5514	0,0063	0,0100
<b>Kruskal Wallis</b>	<b>p-valor</b>	<b>p-valor</b>	<b>p-valor</b>
<b>H</b>		24,50	22,90
<b>P</b>		0,0002	0,0004

**Tabla 13.** Resultados de la Prueba de ANAVA para la variable peso de pella (p valor significativo < 0,05).

<b>Cuadro de Análisis de la Varianza Paramétrica</b>	
<b>F.V</b>	<b>90 ddt</b>
	<b>p-valor</b>
Modelo	0,0002
Tratamiento	<0,0001
<b>Normalidad</b>	<b>p (Unilateral)</b>
Shapiro-Wilks	0,7986
<b>Homogeneidad de varianza</b>	<b>p-valor</b>
<b>Prueba de Levene</b>	0,0224

### Anexo 3. Análisis de suelo



**INSTITUTO NACIONAL DE INVESTIGACIONES AGROPECUARIAS**  
**ESTACION EXPERIMENTAL SANTA CATALINA**  
**LABORATORIO DE ANÁLISIS DE SUELOS PLANTAS Y AGUAS**  
 Panamericana Sur Km. 1. S/N Cutuglagua.  
 Tífs. (02) 3007284 / (02)2504240  
 Mail: laboratorio.dsa@iniap.gob.ec



**INFORME DE ENSAYO No: 23-0281**

<b>NOMBRE DEL CLIENTE:</b> Universidad Nacional de Loja <b>PETICIONARIO:</b> Universidad Nacional de Loja <b>EMPRESA/INSTITUCIÓN:</b> Universidad Nacional de Loja <b>DIRECCIÓN:</b> Loja	<b>FECHA DE RECEPCIÓN DE MUESTRA:</b> 26/07/2023 <b>HORA DE RECEPCIÓN DE MUESTRA:</b> 9:40 <b>FECHA DE ANÁLISIS:</b> 07/08/2023 <b>FECHA DE EMISIÓN:</b> 17/08/2023 <b>ANÁLISIS SOLICITADO:</b> Suelo 3 + CIC+ TEXTURA + NT
--	---

Análisis	Ph	N		P		S		B		K		Ca		Mg		Zn		Cu		Fe		Mn		Ca/Mg		Mg/K		Ca+Mg/K		Σ Bases		MO		CO.		Textura (%)			Clase Textural	IDENTIFICACIÓN		
		ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	Arena	Limo			Arcilla	
23-1400	5,75	Me Ac	41,28	M	12,68	M	8,12	B	0,28	B	0,40	A	4,14	A	1,19	A	2,4	B	4,6	A	388	A	14,1	M	3,47	2,99	13,37	5,73	1,97	M											Muestra 3 km	
23-1401	6,28	LAc	35,94	M	200,67	A	122,95	A	0,95	B	0,37	M	11,64	A	2,72	A	7,5	A	8,7	A	313	A	8,8	M	4,28	7,25	38,29	14,73	2,22	A												Muestra M5 SR
23-1402	6,20	LAc	25,99	B	170,34	A	47,60	A	0,49	B	0,34	M	9,73	A	2,07	A	6,3	M	6,5	A	305	A	7,2	M	4,70	6,10	34,74	12,15	1,93	M											Muestra Suelo Invernadero SR	
23-1403	5,50	Ac	67,73	A	21,42	A	9,24	B	0,24	B	0,29	M	4,53	A	1,22	A	6,0	M	4,1	A	357	A	15,2	A	3,70	4,28	20,15	6,04	1,82	M											Muestra 7 GM	
23-1404	5,01	Ac	124,24	A	233,70	A	68,35	A	0,95	B	0,51	A	6,05	A	2,55	A	18,7	A	4,6	A	1080	A	28,0	A	2,37	4,99	16,84	9,11	4,73	A											Muestra T1 Bloque (1,2 y3 )	
23-1405	4,86	M Ac	92,57	A	153,13	A	69,52	A	1,08	M	0,45	A	5,23	A	2,20	A	8,0	A	4,8	A	937	A	25,8	A	2,38	4,93	16,65	7,87	4,25	A											Muestra T2 Bloque (1,2 y3 )	
23-1406	4,98	M Ac	92,27	A	145,44	A	85,05	A	1,15	M	0,55	A	6,07	A	2,58	A	7,7	A	4,6	A	929	A	25,0	A	2,35	4,72	15,85	9,20	4,80	A											Muestra T3 Bloque (1,2 y3 )	
23-1407	4,60	M Ac	100,02	A	150,73	A	66,41	A	1,03	M	0,52	A	3,69	A	2,12	A	13,3	A	4,3	A	861	A	22,0	A	1,74	4,08	11,16	6,33	4,25	A											Muestra T4 Bloque (1,2 y3 )	
23-1408	5,20	Ac	122,29	A	207,68	A	88,14	A	1,21	M	0,57	A	6,28	A	2,30	A	19,1	A	4,2	A	1081	A	28,2	A	2,73	4,06	15,16	9,15	5,14	A												Muestra T5 Bloque (1,2 y3 )



**INSTITUTO NACIONAL DE INVESTIGACIONES AGROPECUARIAS**  
**ESTACION EXPERIMENTAL SANTA CATALINA**  
**LABORATORIO DE ANÁLISIS DE SUELOS PLANTAS Y AGUAS**  
 Panamericana Sur Km. 1. S/N Cutuglagua.  
 Tífs. (02) 3007284 / (02)2504240



**INFORME DE ENSAYO No: 23-0281**

<b>NOMBRE DEL CLIENTE:</b> Universidad Nacional de Loja <b>PETICIONARIO:</b> Universidad Nacional de Loja <b>EMPRESA/INSTITUCIÓN:</b> Universidad Nacional de Loja <b>DIRECCIÓN:</b> Loja	<b>FECHA DE RECEPCIÓN DE MUESTRA:</b> 26/07/2023 <b>HORA DE RECEPCIÓN DE MUESTRA:</b> 9:40 <b>FECHA DE ANÁLISIS:</b> 07/08/2023 <b>FECHA DE EMISIÓN:</b> 16/08/2023 <b>ANÁLISIS SOLICITADO:</b> CIC
--	---

Nº muestra	K	Ca	Mg	Na	Suma de bases	Saturación de bases	CIC	Identificación de la muestra
	meq/100 g suelo	(%)	meq/100 g suelo					
23-1430	0,20	2,72	0,69	0,17	3,8	42,3	8,9	Muestra Azospirillum M2 EN
23-1431	0,27	2,17	0,60	0,12	3,2	38,3	8,3	Muestra 4KM
23-1432	0,30	7,48	1,79	0,27	9,8	87,1	11,3	Muestra 6 SR. Fréjol
23-1433	0,30	2,63	0,63	0,14	3,7	41,3	9,0	Muestra 8cm. Maíz

**RESPONSABLES DEL INFORME**

## Anexo 4. Certificación de traducción de resumen

Lic. Alexander Masache Escobar, Mgtr.

0987216493

[alexander.masache@educacion.gob.ec](mailto:alexander.masache@educacion.gob.ec)

Loja - Ecuador

Loja, 03 de junio del 2024

El suscrito, Lic. Alexander Masache Escobar, Mgs, **DOCENTE EDUCACIÓN BÁSICA** (registro de la SENESCYT número: 1031-2023-2668502), **ÁREA DE INGLÉS-UNIDAD EDUCATIVA PADRE JULIÁN LORENTE**, a petición de la parte interesada y en forma legal

### CERTIFICA:

Que la traducción del resumen del documento adjunto, solicitado por la señorita: **Gisela Yuleidy Masache Cumbicos** con cédula de ciudadanía N° **1900817618**, cuyo tema de investigación se titula: *“Effect of the application of plant growth promoting microorganisms on the development and yield of broccoli (Brassica oleracea L.) under field conditions in Algeria.” Agronomy Career*, ha sido realizado y aprobado por mi persona, Alexander Masache Escobar, Mgs. Docente de Educación Básica 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 pertinentes, facultando al portador del presente documento, hacer uso legal.



-----  
**Lic. Alexander Masache Escobar, Mgs.**  
**English Professor**