



Universidad  
Nacional  
de Loja

# Universidad Nacional de Loja

Facultad Agropecuaria y de Recursos Naturales renovables

## Carrera de Agronomía

**Efecto de microorganismos rizosféricos y microalgas en el cultivo de cebolla (*Allium cepa* L.) en la parroquia Limones, cantón Zapotillo.**

Trabajo de Integración Curricular,  
previa a la obtención del título de  
Ingeniero Agrónomo

### AUTOR:

Brayan Raúl Sánchez Infante

### DIRECTOR:

Ing. Klever Iván Granda Mora PhD.

Loja – Ecuador

2024

Educamos para **Transformar**

## Certificación

Loja, 14 de agosto de 2023

Ing. Klever Iván Granda Mora PhD.

**DIRECTOR DEL TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR**

### **CERTIFICO:**

Que he revisado y orientado todo el proceso de elaboración del Trabajo de Integración Curricular denominado : **Efecto de microorganismos rizosféricos y microalgas en el cultivo de cebolla (*Allium cepa* L.) en la parroquia Limones, cantón Zapotillo**, previo a la obtención del título de **Ingeniero Agrónomo**, de autoría del estudiante **Brayan Raúl Sánchez Infante**, con **cédula de identidad Nro. 0707039590**, una vez que el trabajo cumple con todos los requisitos exigidos por la Universidad Nacional de Loja, para el efecto, autorizo la presentación del mismo para su respectiva sustentación y defensa.



Ing. Klever Iván Granda Mora PhD.

**DIRECTOR DEL TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR**

## **Autoría**

Yo, **Brayan Raúl Sánchez Infante**, declaro ser autor 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:** 

**Cédula de identidad:** 0707039590

**Fecha:** 16 de mayo del 2024

**Correo electrónico:** brayan.r.sanchez@unl.edu.ec

**Teléfono:** 0959846721

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

Yo, **Brayan Raúl Sánchez Infante**, declaro ser autor del Trabajo de Integración Curricular denominado: **Efecto de microorganismos rizosféricos y microalgas en el cultivo de cebolla (*Allium cepa* L.) en la parroquia Limones, cantón Zapotillo**, como requisito para optar por el título de **Ingeniero Agrónomo**, 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 dieciséis días del mes de mayo de dos mil veinticuatro.

**Firma:**



**Autor:** Brayan Raúl Sánchez Infante

**Cédula:** 0707039590

**Dirección:** Zapotillo – Loja

**Correo electrónico:** brayan.r.sanchez@unl.edu.ec

**Teléfono:** 0959846721

**DATOS COMPLEMENTARIOS:**

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

## **Dedicatoria**

El presente trabajo de investigación primeramente se lo dedico a Dios quién fue mi guía durante los días difíciles, gracias a su palabra tuve la fortaleza necesaria para cumplir con esta meta, a mis queridos padres Ángel Jesús Sánchez y Bélgica Infante por su apoyo incondicional, su amor y consejos en todo el proceso de mi formación universitaria. A mis hermanos Dennis y Jamileth por sus palabras de motivación, apoyo y comprensión en todo momento. A mis abuelitos por estar presentes en mi vida, motivarme a cumplir mis sueños y enseñarme que con esfuerzo se puede lograr grandes metas. A todos mis familiares y amigos que estuvieron pendientes cuando más los necesitaba y me compartieron sus conocimientos.

***Brayan Raúl Sánchez Infante***

## **Agradecimiento**

Agradezco a Dios por ayudarme a concluir con esta carrera universitaria, a la Universidad Nacional de Loja y a los docentes de la Carrera de Ingeniería Agronómica por haberme brindado sus conocimientos que me han permitido obtener una excelente formación académica.

A todos los integrantes del proyecto de investigación “Bioproducto mixto con microorganismos benéficos para su aplicación en cultivos hortícolas” quienes han sido un gran apoyo para lograr esta meta. A mi director del Trabajo de Integración Curricular Ing. Iván Granda PhD, por su orientación durante el desarrollo de este trabajo de investigación.

A toda mi familia que ha estado presente durante mi vida universitaria, sus palabras de motivación fueron las que me ayudaron a seguir adelante y cumplir con este objetivo.

***Brayan Raúl Sánchez Infante***

## Índice de contenidos

<b>Portada</b> .....	i
<b>Certificación</b> .....	ii
<b>Autoría</b> .....	iii
<b>Dedicatoria</b> .....	v
<b>Agradecimiento</b> .....	vi
<b>Índice de contenidos</b> .....	vii
Índice de tablas.....	x
Índice de figuras.....	xi
Índice de anexos.....	xii
<b>1. Título</b> .....	1
<b>2. Resumen</b> .....	2
Abstract.....	3
<b>3. Introducción</b> .....	4
<b>Objetivo general</b> .....	6
<b>Objetivos específicos</b> .....	6
<b>4. Marco teórico</b> .....	7
<b>4.1. Generalidades de la cebolla</b> .....	7
<b>4.1.1. Origen del cultivo</b> .....	7
<b>4.2. Taxonomía y morfología</b> .....	7
<b>4.2.1. Taxonomía</b> .....	7
<b>4.2.2. Morfología</b> .....	7
<b>4.3. Fenología</b> .....	8
<b>4.4. Requerimientos edafoclimáticos</b> .....	9
<b>4.5. Fertilización</b> .....	9
<b>4.5.1. Biofertilización con microorganismos rizosféricos</b> .....	9

4.6.2. Fertilización con microalgas .....	11
4.7.3. Fertilización química .....	11
4.8. Antecedentes.....	12
5. Metodología.....	13
5.1. Área de estudio.....	13
5.2.1. Tipo y alcance de investigación.....	13
5.2.2. Diseño experimental.....	14
Fuente: Autor.....	14
5.2.3. Modelo matemático del diseño.....	15
5.2.4. Manejo del cultivo.....	15
5.3. Metodología para el primer objetivo. ....	16
5.3.1. Porcentaje de prendimiento de plantas.....	16
5.3.2. Fenología.....	16
5.3.3. Altura de la planta (Anexo 3).....	16
5.3.4. Número de hojas .....	16
5.4. Metodología para el segundo objetivo. ....	16
5.4.1. Sistema radicular .....	16
5.4.2. Diámetro de bulbo.....	16
5.4.3. Peso de bulbo .....	17
5.4.4. Rendimiento.....	17
5.5. Análisis estadístico .....	17
6. Resultados .....	18
6.1. Resultados del primer objetivo.....	18
6.1.1. Porcentaje de prendimiento de plantas .....	18
6.1.2. Fenología.....	18
6.1.4. Número de hojas .....	20
6.2. Resultados del segundo objetivo.....	21

<b>7. Discusión</b> .....	24
<b>8. Conclusiones</b> .....	30
<b>9. Recomendaciones</b> .....	31
<b>10. Bibliografía</b> .....	32
<b>11. Anexos</b> .....	38

## Índice de tablas

<b>Tabla 1.</b> Clasificación taxonómica de la cebolla. ....	7
<b>Tabla 2.</b> Fases fenológicas en el cultivo de cebolla. ....	8
<b>Tabla 3.</b> Características de cada unidad experimental en la evaluación del efecto de microorganismos rizosféricos y microalgas en el cultivo de cebolla. ....	14
<b>Tabla 4.</b> Descripción de los tratamientos utilizados en el experimento de campo para la evaluación del efecto de microorganismos rizosféricos y microalgas en el cultivo de cebolla. ....	14

## Índice de figuras

<b>Figura 1.</b> Fases fenológicas principales en el cultivo de cebolla. ....	8
<b>Figura 2.</b> Mapa de ubicación de la investigación. ....	13
<b>Figura 3.</b> Diseño experimental. ....	15
<b>Figura 4.</b> Porcentaje de prendimiento de la cebolla con diferentes tratamientos. ....	18
<b>Figura 5.</b> Fenología de la cebolla con diferentes tratamientos ....	19
<b>Figura 6.</b> Altura de la planta con diferentes tratamientos ....	20
<b>Figura 7.</b> Número de hojas en la planta de cebolla con diferentes tratamientos. ....	21
<b>Figura 8.</b> Sistema radicular en cebolla con diferentes tratamientos. ....	21
<b>Figura 9.</b> Diámetro del bulbo en la planta de cebolla con diferentes tratamientos ....	22
<b>Figura 10.</b> Peso del bulbo de cebolla con diferentes tratamientos ....	23
<b>Figura 11.</b> Rendimiento de cebolla con diferentes tratamientos ....	23

## Índice de anexos

<b>Anexo 1.</b> Diseño en campo del cultivo de cebolla.....	38
<b>Anexo 2.</b> Registro de la variable altura a los 20 DDT (Días después del trasplante).....	38
<b>Anexo 3.</b> Crecimiento del cultivo de cebolla.....	39
<b>Anexo 4.</b> Fase de maduración del cultivo de cebolla .....	40
<b>Anexo 5.</b> Cosecha del cultivo de cebolla.....	41
<b>Anexo 6.</b> Medición de variables de la cebolla posterior a la cosecha.....	42
<b>Anexo 7.</b> Peso individual de la cebolla.....	42
<b>Anexo 8.</b> Peso total por tratamiento.....	43
<b>Anexo 9.</b> Certificado de traducción del resumen.....	44

## **1. Título**

Efecto de microorganismos rizosféricos y microalgas en el cultivo de cebolla (*Allium cepa* L.) en la parroquia Limones, cantón Zapotillo.

## 2. Resumen

Se evaluó el efecto de microorganismos rizosféricos y microalgas en el cultivo de cebolla (*Allium cepa L.*) en la parroquia Limones, cantón Zapotillo, Ecuador. Se realizó un experimento de campo con un diseño en bloques completamente al azar, utilizando seis tratamientos: Testigo absoluto, cepas nativas de los géneros *Azotobacter*, *Pseudomonas*, *Azospirillum*, microalgas del género *Chlorella* y Fertilización química NPK. En cuanto al crecimiento, los tratamientos con los microorganismos rizosféricos y el fertilizante químico aceleraron las fases fenológicas, aumentaron la altura de la planta y el número de hojas en comparación con el testigo. Para el desarrollo, los tratamientos con *Pseudomonas*, *Azospirillum*, microalgas y fertilizante químico NPK presentaron un mayor sistema radicular, diámetro y peso de bulbo. En relación al rendimiento, los tratamientos con las cepas nativas rizosféricas y el fertilizante químico superaron al testigo. El tratamiento con fertilizante químico NPK obtuvo el mayor rendimiento (33956,67 kg/ha), seguido por el tratamiento con microalgas (31333,33 kg/ha) y *Azospirillum* (30600 kg/ha), en comparación con el testigo (25333,33 kg/ha). En conclusión, el uso de los microorganismos rizosféricos como *Pseudomonas*, *Azotobacter*, *Azospirillum* y *Chlorella*, además del fertilizante químico, tuvieron un efecto positivo en el crecimiento y rendimiento del cultivo de cebolla. Estos resultados respaldan el uso de microorganismos rizosféricos como una alternativa viable a los fertilizantes químicos, sin comprometer el establecimiento del cultivo.

**Palabras clave:** *microorganismos rizosféricos, microalgas, cebolla, rendimiento, crecimiento vegetal.*

## Abstract

The effect of rhizospheric microorganisms and microalgae was evaluated on the culture of onion (*Allium cepa* L.) in the Limones parish, Zapotillo canton, Ecuador. A field experiment was carried out with a completely randomized block design, using six treatments: Absolute control, native strains of the genera *Azotobacter*, *Pseudomonas*, *Azospirillum*, microalgae of the genus *Chlorella* and NPK chemical fertilization. Regarding growth, treatments with rhizospheric microorganisms and chemical fertilizer accelerated the phenological phases, increased plant height and the number of leaves compared to the control. For development, treatments with *Pseudomonas*, *Azospirillum*, microalgae and NPK chemical fertilizer presented a greater root system, diameter and bulb weight. In relation to yield, the treatments with the native rhizospheric strains and the chemical fertilizer surpassed the control. The treatment with NPK chemical fertilizer obtained the highest yield (33956.67 kg/ha), followed by the treatment with microalgae (31333.33 kg/ha) and *Azospirillum* (30600 kg/ha), compared to the control (25333.33 kg/ha). In conclusion, the use of rhizosphere microorganisms such as *Pseudomonas*, *Azotobacter*, *Azospirillum* and *Chlorella*, in addition to chemical fertilizer, had a positive effect on the growth and yield of the onion crop. These results support the use of rhizospheric microorganisms as a viable alternative to chemical fertilizers, without compromising crop establishment.

**Keywords:** *rhizosphere microorganisms, microalgae, onion, yield, plant growth.*

### 3. Introducción

La cebolla (*Allium cepa* L.) es una de las plantas más cultivadas en el mundo, siendo la segunda hortaliza en importancia económica después de la papa (Amaya & Méndez, 2012). Tiene una gran demanda a nivel mundial y nacional gracias a su variada utilización en la gastronomía internacional, esto la convierte en uno de los alimentos primordiales y complementarios de la canasta familiar (Munzón & Barreto, 2021). Además, constituye una significativa fuente laboral debido a que este cultivo requiere mano de obra para realizar labores como el almácigo y trasplante (INIA, 2017). En Ecuador, reportes del III Censo Agropecuario, indican que existen 2 861 ha de cebolla perla, las zonas que han demostrado tener mayor vocación para este cultivo son las provincias de Manabí, Guayas, Península de Santa Elena y en los valles cálidos de la Sierra (Moreira & Chila, 2016).

La producción agrícola en la actualidad depende principalmente de fertilizantes químicos para aumentar la productividad de las plantas, pero estos tienen efectos no deseados en la biodiversidad del suelo y en el medio ambiente (Hu et al., 2021). Una alternativa a los fertilizantes químicos es utilizar productos biológicos, los cuales se producen a base de microorganismos que viven en el suelo, aunque en bajas poblaciones, pero al incrementar su población mediante la inoculación artificial son capaces de poner a disposición de las plantas una parte importante de los elementos nutritivos que estas requieren para su desarrollo (Alarcon et al., 2020).

Actualmente los agricultores buscan cambiar los productos convencionales por los biofertilizantes cuyo uso radica en la capacidad que presentan para suplementar o movilizar nutrientes con un mínimo de recursos no renovables, que generan procesos microbianos rápidos, que se aplican en pequeñas dosis y permiten solucionar problemas específicos (Carbonell et al., 2016). En el cantón Zapotillo los productores para la fertilización de la cebolla utilizan una excesiva cantidad de fertilizantes químicos, esto ha generado un impacto negativo sobre los suelos, ya que se pierde una gran cantidad de microorganismos benéficos con su uso, esta ha reducido la producción de la cebolla en este lugar.

La aplicación de biofertilizantes se ha extendido hacia el crecimiento de varios productos agrícolas como las hortalizas, además son considerados una fuente alternativa de N en plantaciones de *A. cepa* y pueden convertirse en una opción tecnológica factible para los agricultores, con la cual se busca fortalecer el sector productivo (Zeballos et al., 2015; Trujillo,

2012). Entre los principales biofertilizantes empleados como alternativas al problema de la fertilización es el uso de bacterias rizosféricas conocidas como Rizobacterias Promotoras del Crecimiento Vegetal (PGPR) que usan mecanismos de fijación de nitrógeno, favorecen la toma de nutrientes y mejoran las características morfológicas de las especies vegetales y la estructura del suelo; en la rizósfera los géneros *Azospirillum*, *Azotobacter* y *Pseudomonas* son ampliamente utilizados por sus características como fijadores de nitrógeno, la capacidad de producir índoles y solubilizar fósforo, propiedades que hacen de estos microorganismos potenciales como biofertilizantes (Pérez & Sánchez, 2017; Licea et al., 2020). Otros microorganismos utilizados son las microalgas por su efecto promotor del crecimiento vegetal ligado a su uso como biofertilizantes y bioestimulantes, especialmente asociadas a varios compuestos bioactivos presentes en estos organismos, como polisacáridos, glucósidos, fitohormonas, poliaminas, lípidos, y L-aminoácidos libres (Cordeiro et al., 2022).

Durante los últimos años se ha incentivado la investigación sobre las interacciones planta-microorganismos para que de esta manera se logre reemplazar los agroquímicos por productos altamente eficaces como los biofertilizantes, que contribuyen en la mejora en la productividad de las plantas y son amigables con el medio ambiente (Velasco et al., 2020). La mayor parte de estudios sobre la interacción de las PGPR con las plantas se ha realizado en condiciones de laboratorio e invernadero, y aunque sus efectos benéficos están documentados la información sobre su efecto en campo es escasa (Loredo et al., 2004), por ello la presente investigación se realizó con la finalidad de evaluar el efecto de las bacterias rizosféricas benéficas y microalgas sobre el crecimiento y desarrollo del cultivo de cebolla y con los resultados obtenidos brindar nuevas opciones a los productores para mejorar su producción.

Este proyecto está incluido dentro de los Objetivos de desarrollo sostenible formando parte del ODS 2- HAMBRE CERO, así también, está dentro de la línea de investigación de la Universidad Nacional de Loja conocida como “Sistema de producción agropecuario para la soberanía alimentaria”, en la sublínea de investigación de la Carrera de Agronomía “Tecnología para la producción y posproducción agrícola sostenible” y en el proyecto de investigación denominado “Bioproducto mixto con microorganismos benéficos para su aplicación en cultivos hortícolas”.

### **Objetivo general**

- Evaluar el efecto de microorganismos rizosféricos y microalgas en el cultivo de cebolla (*Allium cepa* L.) en la parroquia Limones, cantón Zapotillo.

### **Objetivos específicos**

- Determinar el efecto de la interacción de microorganismos rizosféricos y microalgas sobre crecimiento y desarrollo en cebolla.
- Analizar la interacción de microorganismos rizosféricos y microalgas sobre el rendimiento del cultivo de cebolla.

## 4. Marco teórico

### 4.1. Generalidades de la cebolla

#### 4.1.1. Origen del cultivo

La cebolla es una de las hortalizas de consumo más antigua, su centro primario de origen se sitúa en Asia Central y tiene como centro secundario el Mediterráneo. Las primeras reseñas históricas se remontan hacia 3 200 a.C., esta fue inicialmente cultivada por los egipcios, griegos y romanos. Además, durante la edad media se desarrolló principalmente en los países mediterráneos, donde se eligieron las variedades de bulbo grande que dieron origen a las variedades modernas (Montenegro & Cárdenas, 2014).

### 4.2. Taxonomía y morfología

#### 4.2.1. Taxonomía

Según Astudillo (2015), la cebolla se clasifica taxonómicamente tal y como se muestra en la Tabla 1.

**Tabla 1.** Clasificación taxonómica de la cebolla.

Reino	Plantae
División	Magnoliophyta
Clase	Liliopsida
Orden	Asparagales
Familia	Liliaceae
Subfamilia	Allioideae
Tribu	Allieae
Género	<i>Allium</i>
Especie	<i>Allium cepa</i> L.

**Fuente:** Astudillo, (2015).

#### 4.2.2. Morfología

La cebolla es una planta bienal, que tiene un sistema radicular fasciculado, corto y poco ramificado, sus raíces son blancas, espesas y simples, el tallo que sostiene la inflorescencia es derecho y posee una altura de 80 a 150 cm, es hueco, con inflamamiento ventrudo en su mitad inferior. El bulbo tiene varias capas gruesas y carnosas en su interior que desempeñan la

función de reserva de sustancias nutritivas necesarias para la alimentación de los brotes, asimismo están recubiertas de membranas secas, delgadas y transparentes de color rojo claro, ovoide y de sabor picante. Las hojas son envainadoras, fistuladas y alargadas. El fruto es una cápsula que contiene las semillas de color negro, angulosas, aplastadas y de superficie rugosa. Las flores son hermafroditas, pequeñas, verdes, blancas o violáceas agrupadas en umbelas (Astudillo, 2015).

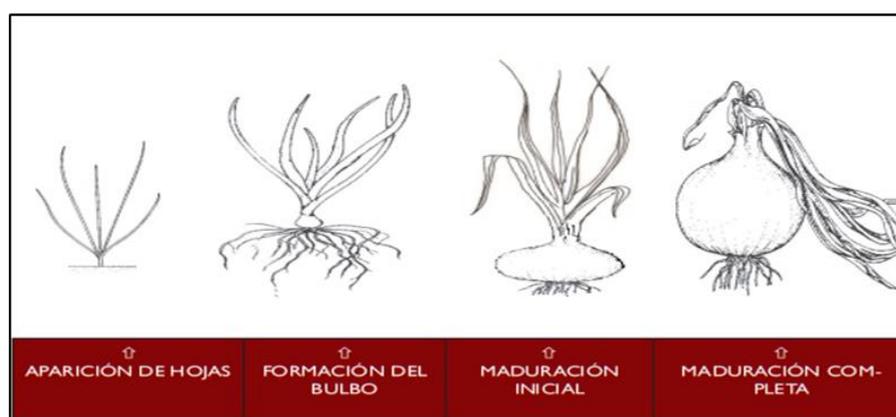
### 4.3. Fenología

Carpio (2019) describe cuatro fases fenológicas en el cultivo de cebolla (Tabla 2, Figura 1).

**Tabla 2.** Fases fenológicas en el cultivo de cebolla.

<b>Aparición de hojas.</b>	A continuación del trasplante las plántulas tienen nuevas hojas de forma tubular que varían entre 12 a 16 hojas dependiendo de la variedad.
<b>Formación del bulbo</b>	Inicia cuando termina la aparición de nuevas hojas y el bulbo comienza a engrosar las hojas modificadas debido a la acumulación de reservas
<b>Maduración inicial</b>	Las hojas comienzan a doblarse y el cultivo empieza a amarillear.
<b>Maduración completa</b>	Los bulbos están sin hojas y listos para comercializar

**Fuente:** Carpio, (2019).



**Figura 1.** Fases fenológicas principales en el cultivo de cebolla.

**Fuente:** Yzarra & López (2017)

#### **4.4. Requerimientos edafoclimáticos**

La cebolla requiere de suelos sueltos y livianos, arcillo arenosos o francos arcillosos, el pH óptimo para la absorción nutrimental fluctúa entre 6 y 7, y es medianamente tolerante a la salinidad. Puede desarrollarse en temperaturas que van desde los 13 a los 24°C y sobre una altura de 500 a 1 800 metros sobre el nivel del mar. La formación y desarrollo del bulbo requiere unas 14 a 16 horas luz. La cebolla se produce en zonas con precipitaciones entre los 500 y 1 200 mm/año, es una planta exigente en cuanto a humedad en el suelo debido a su sistema radicular poco desarrollado y a la poca capacidad de absorción (Mata et al., 2011).

#### **4.5. Fertilización**

##### **4.5.1. Biofertilización con microorganismos rizosféricos**

Los biofertilizantes son productos naturales ecológicos, no tóxicos, la aplicación de biofertilizantes mejora la disponibilidad de nutrientes, el rendimiento y protege el suelo contra la degradación (Talwar et al., 2017). La importancia del uso de biofertilizantes radica en la capacidad que tienen para suplementar o movilizar nutrientes que generan procesos microbianos rápidos. Los microorganismos producen efectos en las condiciones físicas del suelo, puesto que mejoran la estructura y la agregación de las partículas del suelo, reducen su compactación, incrementan los espacios porosos y mejoran la infiltración del agua (Carbonell et al., 2016).

##### **4.5.1.1. *Azotobacter***

*Azotobacter* es un grupo de bacterias aerobias Gram negativas, de vida libre, fijadoras de nitrógeno que habitan en el suelo, tienen forma ovalada o esférica, generalmente son polimórficos y tienen un tamaño entre 2 y 10  $\mu\text{m}$  de largo y entre 1 y 2  $\mu\text{m}$  de ancho. El género *Azotobacter* fue reconocido en 1901 por Beijerinck y sus colaboradores como el primer fijador de nitrógeno aeróbico de vida libre. Estas bacterias explotan el nitrógeno atmosférico para su síntesis de proteína celular, misma que se mineraliza en el suelo, distribuyendo a las plantas de cultivo una parte considerable del nitrógeno disponible de la fuente del suelo. *Azotobacter spp.* es sensible a pH ácido, alta concentración de sal y temperatura (Sumbul et al., 2020). Las bacterias del género *Azotobacter* han sido utilizadas ampliamente en la producción agrícola mundial debido a que aportan a las plantas hasta el 50 % de sus necesidades de nitrógeno

mediante la fijación asociativa del elemento, también suministran sustancias activas estimuladoras del desarrollo vegetal (León et al., 2012).

#### **4.5.1.2. *Pseudomonas***

Las *Pseudomonas* son bacterias aeróbicas gram negativas, móviles con forma de bacilo, debido a su versatilidad metabólica y plasticidad genética están presentes en los diferentes ecosistemas terrestres y acuáticos. Actualmente, el género tiene una gran importancia en el ámbito agrícola debido a la influencia que tienen sobre la promoción del crecimiento, la resistencia sistémica inducida en las plantas y el control de fitopatógenos mediante diferentes mecanismos de acción. Son agentes de control biológico y biofertilizantes que utilizan una extensa gama de exudados de la raíz como fuente de nutrientes, estas se encuentran presente en los suelos de forma abundante, en particular en la rizosfera y son fáciles de cultivar *in vitro* (Sánchez & Guerra, 2022).

Las bacterias del género *Pseudomonas* tienen una gran capacidad para utilizar diversidad de nutrientes, su actividad enzimática las convierte en un grupo de microorganismos muy importante, ya que son responsables de la degradación aeróbica de varios compuestos que se encuentran en diversos ecosistemas. Este género bacteriano constituye una combinación de múltiples mecanismos a través de los cuales ejerce un efectivo control biológico incluyendo el antagonismo directo y la inducción de resistencia en la planta (Pérez Álvarez et al., 2015).

#### **4.5.1.3. *Azospirillum***

El género *Azospirillum* constituye un PGPR que promueve el crecimiento de la planta huésped en asociación con las raíces de la planta mediante varias habilidades bioquímicas como la fijación biológica de nitrógeno y la producción de fitohormonas que estimulan la proliferación del sistema radicular. *Azospirillum* es una bacteria móvil Gram negativa, con forma de espirilo que presenta flagelos polares en el medio líquido (Hong et al., 2019).

Una propiedad principal de *Azospirillum* se basa en la síntesis de fitohormonas y otros compuestos, incluidas auxinas, citoquininas, giberelinas, ácido abscísico, etileno y ácido salicílico. Las fitohormonas afectan al crecimiento de las raíces, lo que permite mejorar la absorción de humedad y nutrientes. Algunas cepas de *Azospirillum* pueden solubilizar el fósforo inorgánico, haciéndolo más disponible para las plantas y el resultado es mayores rendimientos. También hay estudios de que *Azospirillum* ayuda a mitigar el estrés abiótico, al

activar la tolerancia sistémica inducida y además esta bacteria está relacionada con el control biológico de patógenos de plantas (Fukami et al., 2018).

#### **4.5.1.4 Efecto de la interacción planta-microorganismo**

Las comunidades microbianas asociadas con el sistema radicular desempeñan un papel fundamental en el desarrollo de prácticas agrícolas sostenibles, siendo así que la respuesta de las plantas a la inoculación depende de las compatibilidades funcionales en la fisiología y en la bioquímica de la interacción que aporta beneficios importantes para las plantas, como la estimulación del crecimiento y la supresión de enfermedades (Cano, 2011).

#### **4.6.2. Fertilización con microalgas**

Las microalgas son un grupo de microorganismos fotosintéticos que en entornos agrícolas mejoran la fertilidad del suelo, contribuyen al crecimiento y la protección de las plantas. Las microalgas son beneficiosas para el ciclo de nutrientes del suelo y pueden promover el crecimiento de las plantas mejorando la disponibilidad de nutrientes, produciendo sustancias bioactivas como fitohormonas, formando asociaciones de raíces o protegiendo las plantas contra fitopatógenos y plagas a través de la fotosíntesis para la captura de carbono (Alvarez et al., 2021). De todas las microalgas, el género *Chlorella* es el más utilizado para la biofertilización, porque proporciona altas cantidades de macro y micronutrientes, metabolitos y factores promotores del crecimiento, como las citoquininas (Ortiz et al., 2019).

#### **4.7.3. Fertilización química**

Los fertilizantes químicos contienen fórmulas concentradas y solubles, los nutrientes que las plantas requieren fundamentalmente son N, P y K, su uso en la agricultura tiene como ventaja la alta concentración de nutrientes, así como su solubilidad en agua. La fertilización química tiene altos beneficios en los cultivos a los que se les aplique, pero existe el riesgo de ir deteriorando el suelo a largo plazo (Carbonell et al., 2016). El fertilizante edáfico 10-30-10 es de origen químico y se lo aplica en etapas iniciales de los cultivos. Los elementos presentes tienen una alta concentración de fósforo, lo cual permite un mejor fortalecimiento de las plantas ya que interviene en el desarrollo radicular, floración y un mejor desarrollo de los frutos (Cuaical, 2021).

#### 4.8. Antecedentes

En la actualidad existen pocas investigaciones sobre el efecto de microorganismos rizosféricos y microalgas en el cultivo de cebolla a continuación se señala varios antecedentes:

Afify et al. (2019) llevó a cabo un experimento en la finca de la Facultad de Agricultura de la Universidad de Mansoura, Egipto, para estudiar el efecto de la biofertilización bajo diferentes niveles de nitrógeno y potasio sobre el crecimiento y rendimiento de las plantas de cebolla. Los resultados obtenidos mostraron que la inoculación microbiana conduce a un aumento significativo tanto en los parámetros de crecimiento como en la altura del follaje, número de hojas y peso seco, y también mejoró el rendimiento.

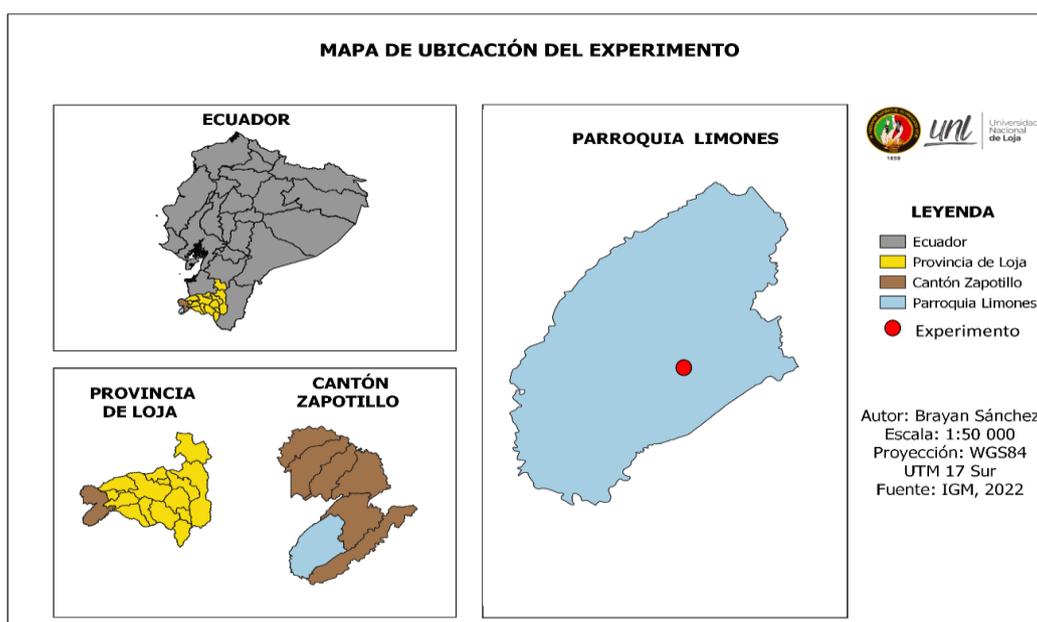
Kurrey et al. (2018) realizó un estudio en Uttar Pradesh, India, para evaluar la respuesta del biofertilizante *Azotobacter* en cebolla, el *Azotobacter* se aplicó antes del trasplante y 30:60 días después del trasplante. Los resultados mostraron un aumento significativo en el porcentaje de germinación, peso del bulbo, diámetro máximo del bulbo, peso seco del bulbo, peso seco de la planta, índice de cosecha y altura de planta.

Balemi et al. (2007) en la India utilizó tres cepas de *Azotobacter* en cebolla, donde encontraron que dos de las cepas (CBD -15 y M-4) en la presencia de 75 kg N ha<sup>-1</sup> mejoraron significativamente el crecimiento y parámetros de rendimiento, contenido de nitrógeno en el bulbo y nitrógeno disponible en el suelo en comparación con el control no inoculado con 100 kg N ha<sup>-1</sup>, logrando un aumento del 13,5 % en el rendimiento comercial debido a la eficacia de *Azotobacter* en comparación con el control.

## 5. Metodología

### 5.1. Área de estudio

La presente investigación se realizó en la parroquia Limones del cantón Zapotillo, geográficamente se ubica en las coordenadas 4° 16' 00" S y 79° 74' 00" O, su altitud oscila entre los 260 y 520 m.s.n.m. (Figura 2), corresponde a una zona de vida bosque espinoso tropical con una temperatura mínima de 17-16 °C y una máxima de 32-35 °C. La precipitación promedio anual es de 709,80 mm (GAD-Limones, 2015).



**Figura 2.** Mapa de ubicación de la investigación del efecto de microorganismos rizosféricos y microalgas en el cultivo de cebolla en la parroquia Limones, cantón Zapotillo.

**Fuente:** elaboración propia.

#### 5.2.1. Tipo y alcance de investigación

La investigación fue de tipo experimental pues se utilizó un diseño experimental con diferentes tratamientos, además se recopiló información cuantificable para ser utilizada en los análisis estadísticos. El alcance de la investigación fue explicativo debido a que se evaluó el efecto de microorganismos rizosféricos y microalgas en el cultivo de cebolla (*A. cepa*) en la parroquia Limones, cantón Zapotillo.

### 5.2.2. Diseño experimental

Se utilizó un diseño en bloques completamente al azar (DBCA) con 6 tratamientos y 3 repeticiones (Figura 3) obteniendo un total de 18 unidades experimentales (UE) (Tabla 3, Tabla 4):

**Tabla 3.** Características de cada unidad experimental en la evaluación del efecto de microorganismos rizosféricos y microalgas en el cultivo de cebolla.

Largo de la parcela	3 m
Ancho de la parcela	1,5 m
Superficie de la parcela total	4,5 m <sup>2</sup>
Distancia entre parcelas	1 m
Unidades experimentales	18

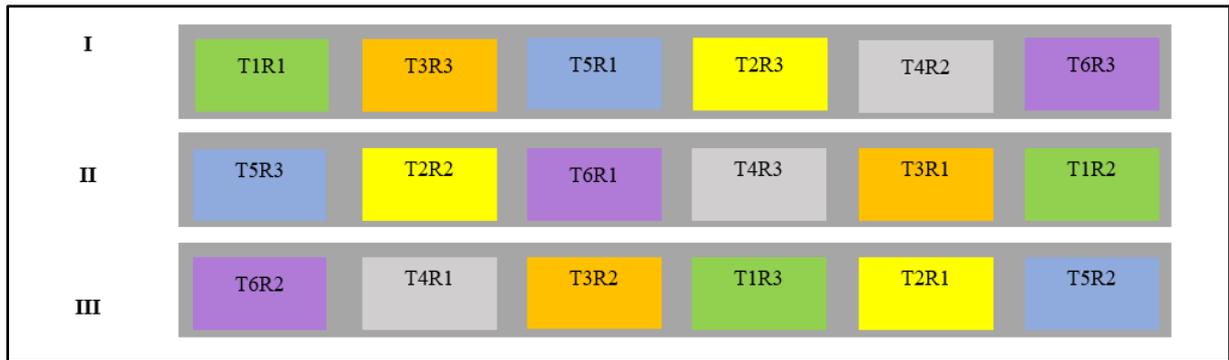
**Fuente:** Autor

**Tabla 4.** Descripción de los tratamientos utilizados en el experimento de campo para la evaluación del efecto de microorganismos rizosféricos y microalgas en el cultivo de cebolla.

Nº	Símbolo	Descripción
1	T1	Testigo
2	T2	<i>Azotobacter</i>
3	T3	<i>Pseudomonas</i>
4	T4	<i>Azospirillum</i>
5	T5	Microalgas <i>Chlorella</i>
6	T6	Químico NPK (10-30-10)

**Fuente:** Autor

Los microorganismos *Azotobacter*, *Pseudomonas*, *Azospirillum* y la microalga *Chlorella* se obtuvieron ya formulados del proyecto de investigación “Bioproducto mixto con microorganismos benéficos para su aplicación en cultivos hortícolas”.



**Figura 3.** Diseño experimental en campo DBCA (Anexo 1) con diferentes tratamientos: T1 (Testigo), T2 (*Azotobacter*), T3 (*Pseudomonas*), T4 (*Azospirillum*), T5 (Microalgas) y T6 (Químico NPK) en el cultivo de cebolla. **Fuente:** Autor

### 5.2.3. Modelo matemático del diseño

Al tratarse de un DBCA se utilizó el siguiente modelo matemático:

$$Y_{ij} = \mu + \tau_i + \beta_j + \varepsilon_{ij}$$

$Y_{ij}$  = Variable respuesta

$\mu$  = Media global de la variable respuesta

$\tau_i$  = Efecto del tratamiento

$\beta_j$  = Efecto del bloque

$\varepsilon_{ij}$  = Error experimental

### 5.2.4. Manejo del cultivo

Primeramente, se preparó el terreno con un tractor agrícola, a continuación, se trazaron las parcelas, se obtuvieron las semillas de cebolla de la variedad camaneja mejorada en un almacén agrícola, se realizó la siembra colocando la semilla en surcos con una distancia entre hileras de 0,30 m y entre plantas de 0,15 m de acuerdo al diseño propuesto para la investigación. También se realizó la eliminación de malezas de forma manual a los 20 días después de la siembra. El riego se desarrolló en toda la etapa del cultivo según el requerimiento hídrico del mismo. La cosecha se hizo en forma manual cuando el cultivo alcanzó su madurez fisiológica arrancando las plantas y recolectando los bulbos de cada parcela experimental.

### **5.3. Metodología para el primer objetivo: Determinar el efecto de la interacción de microorganismos rizosféricos y microalgas sobre crecimiento en cebolla**

En este objetivo se consideró las siguientes variables:

#### **5.3.1. Porcentaje de prendimiento de plantas**

A los 20 días después de la siembra de cada unidad experimental (UE) se contó el número total de plantas prendidas y se estimó el porcentaje (Anexo 2).

#### **5.3.2. Fenología**

El registro de los cambios fenológicos se realizó con base en la escala fenológica descrita por Carpio (2019) cuando el 50 % de las plantas tuvieron cambios en la misma, después de la siembra cada 20 días.

#### **5.3.3. Altura de la planta (Anexo 3)**

Desde el cuello del bulbo hasta el ápice de la hoja más larga se midieron 10 plantas de cada UE con un flexómetro en cm cada 20 días a partir de la evaluación del prendimiento de plantas.

#### **5.3.4. Número de hojas**

Para el número de hojas se hizo el conteo directo cada 20 días de cada UE, se utilizaron las mismas plantas de la variable altura de la planta (Anexo 4).

### **5.4. Metodología para el segundo objetivo: Analizar la interacción de microorganismos rizosféricos y microalgas sobre el desarrollo del cultivo de cebolla.**

En la cosecha (Anexo 5) se registraron las siguientes variables:

#### **5.4.1. Sistema radicular**

Se midió el tamaño de la raíz en cm con un flexómetro, para ello se seleccionaron 10 cebollas de cada UE.

#### **5.4.2. Diámetro de bulbo**

Con un calibrador de Vernier se midió el diámetro de los bulbos de 10 plantas de cada UE, la medición fue en cm (Anexo 6).

### **5.4.3. Peso de bulbo**

Se pesaron los bulbos de las mismas plantas utilizadas en el diámetro del bulbo de cada UE con una balanza digital, la unidad de medida fue en gramos (Anexo 7).

### **5.4.4. Rendimiento**

El rendimiento se expresó en kg por parcela neta (Anexo 8), para esto se pesó con una balanza la producción total de la parcela neta de cada tratamiento y luego se transformaron a kg/ha.

### **5.5. Análisis estadístico**

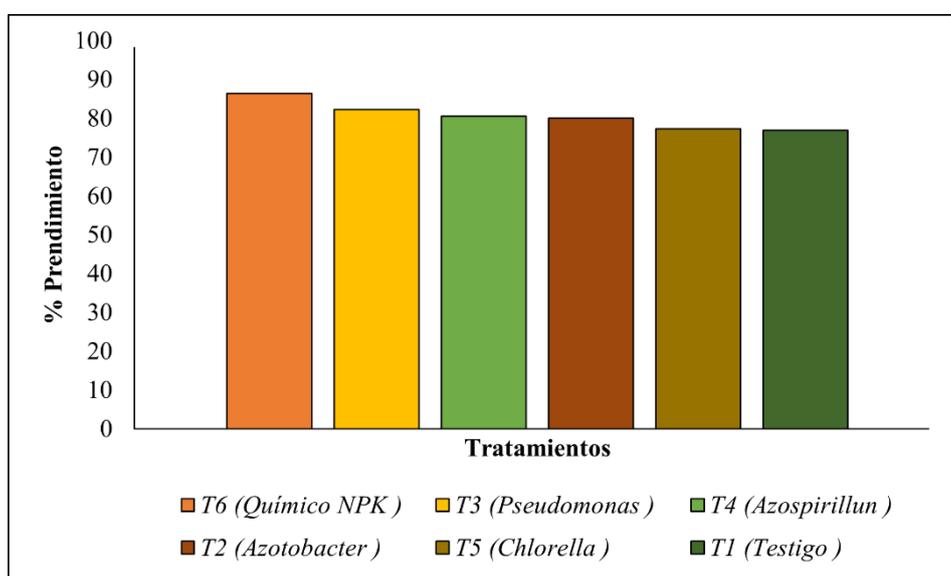
Los datos recopilados del experimento se tabularon en Microsoft Excel, su análisis estadístico se hizo mediante el programa Infostat versión libre, se comprobaron los supuestos de normalidad de los datos y se realizó un análisis de varianza (ANOVA) para conocer el efecto de microorganismos rizosféricos y microalgas en el cultivo de cebolla, para las diferencias significativas entre los tratamientos se aplicó un test de Tukey (95 %), así se determinó el mejor tratamiento.

## 6. Resultados

### 6.1. Resultados del primer objetivo

#### 6.1.1. Porcentaje de prendimiento de plantas

El porcentaje de prendimiento de la cebolla (Figura 4) a los 20 días después del trasplante (DDT) resultó mayor en los tratamientos T6 (Químico NPK) con un valor del 86,39 % y T3 (*Pseudomonas*) con 82,22 %, mientras que el tratamiento T1 (Testigo) solo obtuvo el 76,94 %, sin embargo, no se encontraron diferencias estadísticas significativas entre los tratamientos.



**Figura 4.** Porcentaje de prendimiento de la cebolla con diferentes tratamientos: T1 (Testigo), T2 (*Azotobacter*), T3 (*Pseudomonas*), T4 (*Azospirillum*), T5 (Microalgas) y T6 (Químico). Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0,05$ ).

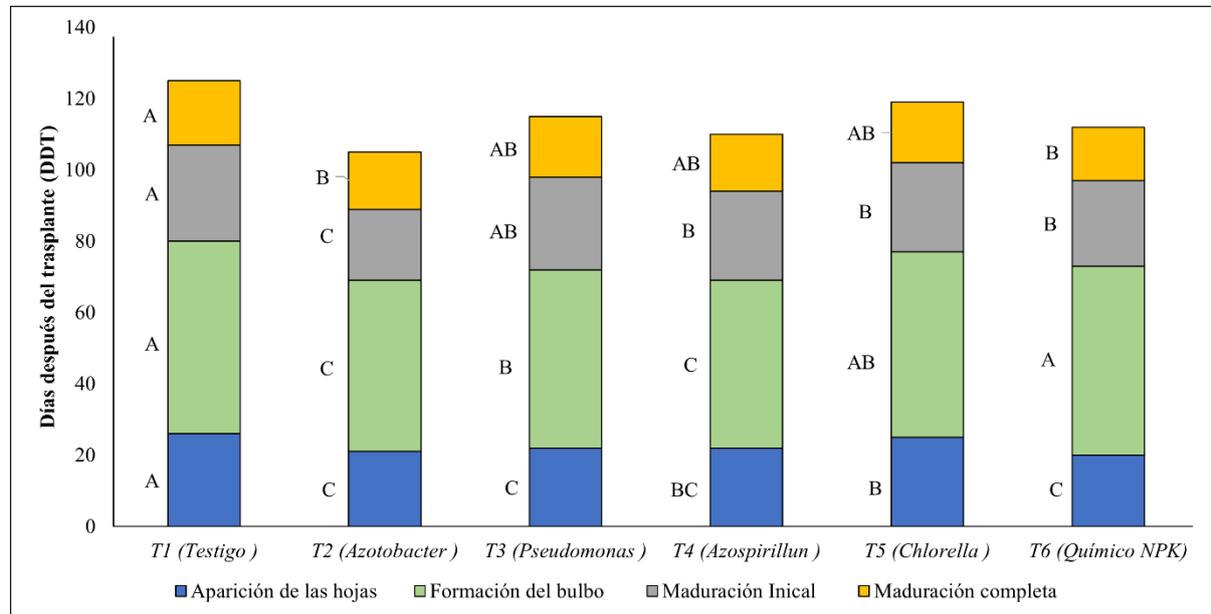
#### 6.1.2. Fenología

La duración de las fases fenológicas en el cultivo de cebolla presentó diferencias estadísticas significativas (Figura 5). En la fase de aparición de las hojas el tratamiento T1 (Testigo) tuvo un mayor número de días y los tratamientos T2 (*Azotobacter*), T3 (*Pseudomonas*), T4 (*Azospirillum*), T5 (*Chlorella*) y T6 (Químico NPK) presentaron menor número de días de aparición de las hojas.

En las fases de formación del bulbo, maduración inicial y maduración completa los tratamientos T2 (*Azotobacter*), T3 (*Pseudomonas*), T4 (*Azospirillum*), T5 (*Chlorella*) y T6

(Químico NPK) presentaron un menor número de días y en el tratamiento T1 (Testigo) se observó mayores días en cada fase.

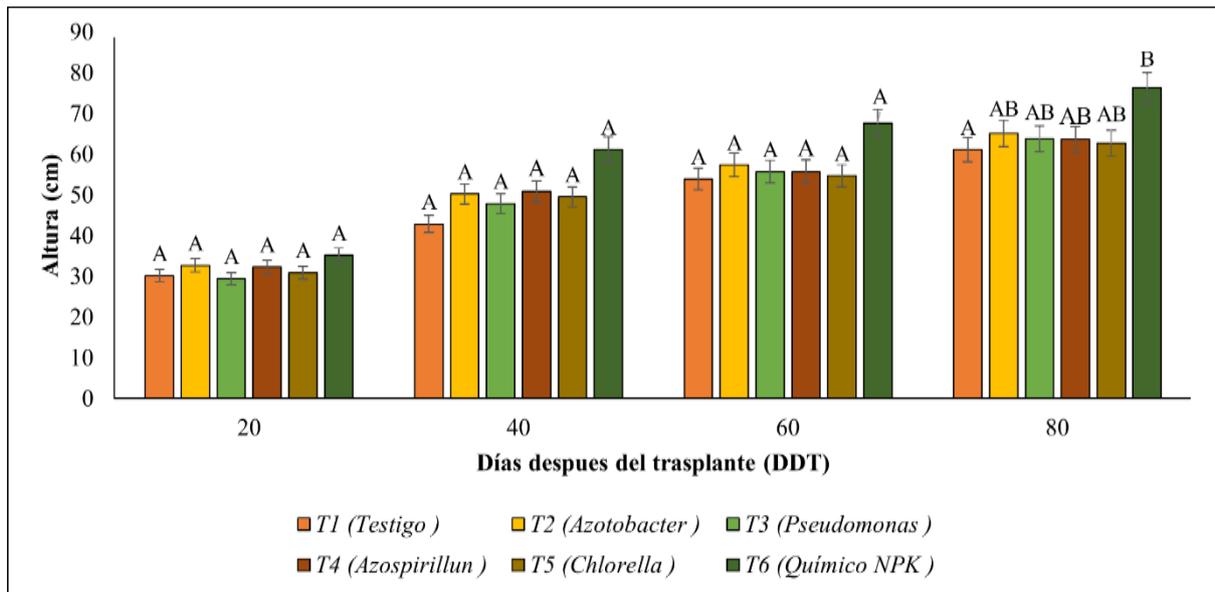
El tratamiento T2 (*Azotobacter*) presentó una menor duración de las fases fenológicas del cultivo (105 días), mientras que el tratamiento T1 (Testigo) mostró una mayor duración de las fases fenológicas (125 días).



**Figura 5.** Fenología de la cebolla con diferentes tratamientos: T1 (Testigo), T2 (*Azotobacter*), T3 (*Pseudomonas*), T4 (*Azospirillum*), T5 (Microalga *Chlorella*) y T6 (Químico).

### 6.1.3. Altura de la planta

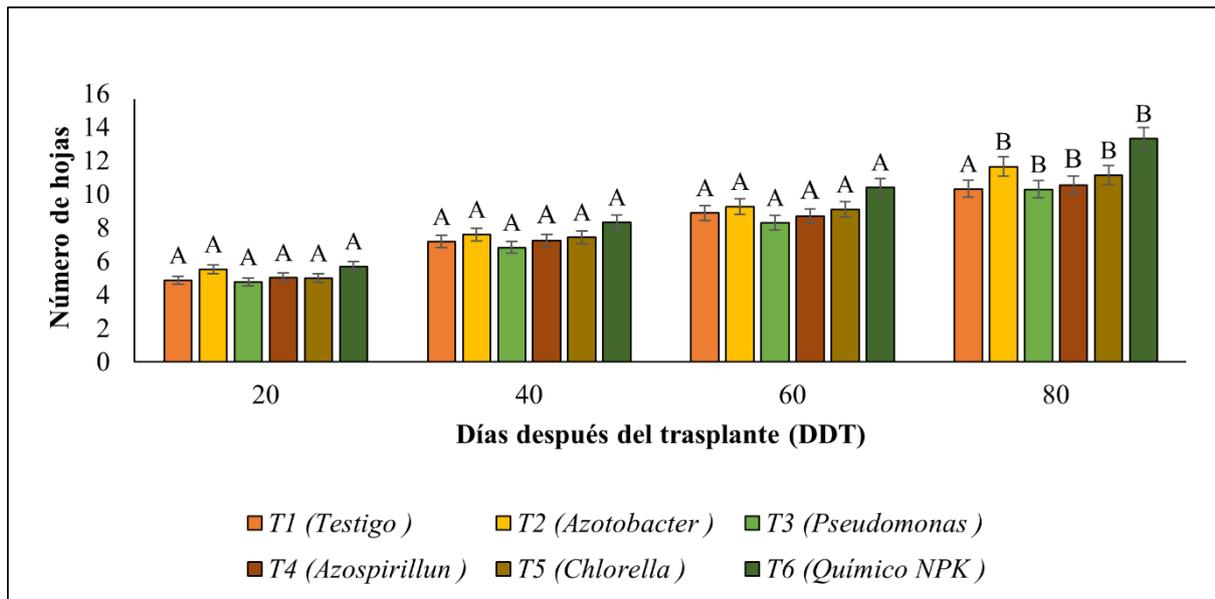
La altura de las plantas de cebolla se vio influenciada por los diferentes tratamientos, principalmente al final del ciclo de cultivo a los 80 días después del trasplante (DDT). En esta etapa, los tratamientos T6 (Químico NPK) y T2 (*Azotobacter*) alcanzaron las mayores alturas con 76.27 cm y 65.16 cm respectivamente, superando significativamente al tratamiento control T1 (Testigo) que solo llegó a 61.16 cm (Figura 6). Sin embargo, en las evaluaciones previas a los 20, 40 y 60 DDT, no se encontraron diferencias estadísticas entre los tratamientos en cuanto a la altura de las plantas. Todos los tratamientos mostraron un aumento gradual en la altura a medida que avanzaba el tiempo después del trasplante, pero la aplicación de fertilizante químico NPK y la inoculación con la bacteria *Azotobacter* promovieron un mayor crecimiento en altura al final del ciclo de cultivo.



**Figura 6.** Altura de la planta de cebolla con diferentes tratamientos T1 (Testigo), T2 (*Azotobacter*), T3 (*Pseudomonas*), T4 (*Azospirillum*), T5 (Microalgas *Chlorella*) y T6 (Químico). Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0,05$ ).

#### 6.1.4. Número de hojas

En la variable número de hojas se presentó diferencias significativas solo a los 80 DDT, los tratamientos T2 (*Azotobacter*), T3 (*Pseudomonas*), T4 (*Azospirillum*), T5 (Microalgas) y T6 (Químico) presentaron entre 11 y 13 hojas, a diferencia del tratamiento T1 (Testigo) que presentó un valor de 9 hojas. En las evaluaciones realizadas a los 20, 40 y 60 DDT no se encontraron diferencias estadísticas significativas, en la Figura 7 se observa que a los 20 DDT hay un promedio de 5 a 6 hojas, en cambio a los 40 DDT de 7 a 8 hojas y a los 60 DDT de 9 a 10 hojas.

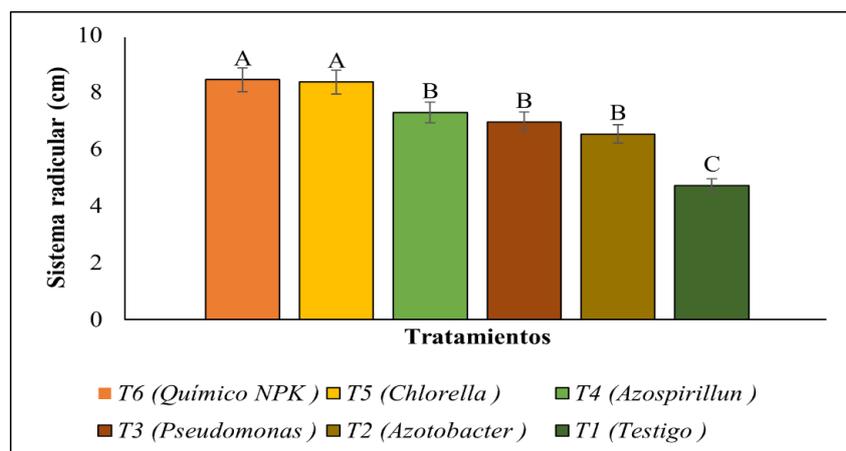


**Figura 7.** Número de hojas en la planta de cebolla con diferentes tratamientos: T1 (Testigo), T2 (*Azotobacter*), T3 (*Pseudomonas*), T4 (*Azospirillum*), T5 (Microalgas) y T6 (Químico). Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0,05$ ).

## 6.2. Resultados del segundo objetivo

### 6.2.1. Sistema radicular

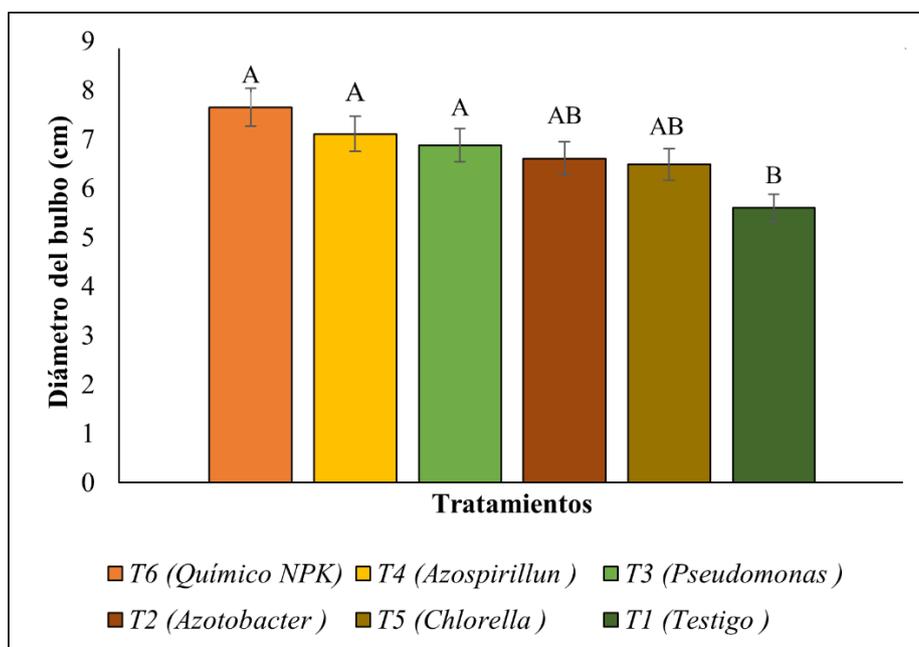
En la Figura 8 se observó que el tratamiento T6 (Químico) con un valor de 8,43 cm y el T5 (Microalgas) con 8,35 cm tienen una mayor longitud del sistema radicular respecto a los demás tratamientos, el tratamiento T1 (Testigo) alcanzó una menor longitud de 4,71 cm, en el análisis se encontró estadísticas significativas en la longitud del sistema radicular.



**Figura 8.** Sistema radicular en cebolla con diferentes tratamientos: T1 (Testigo), T2 (*Azotobacter*), T3 (*Pseudomonas*), T4 (*Azospirillum*), T5 (Microalgas) y T6 (Químico). Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0,05$ ).

### 6.2.2. Diámetro del bulbo

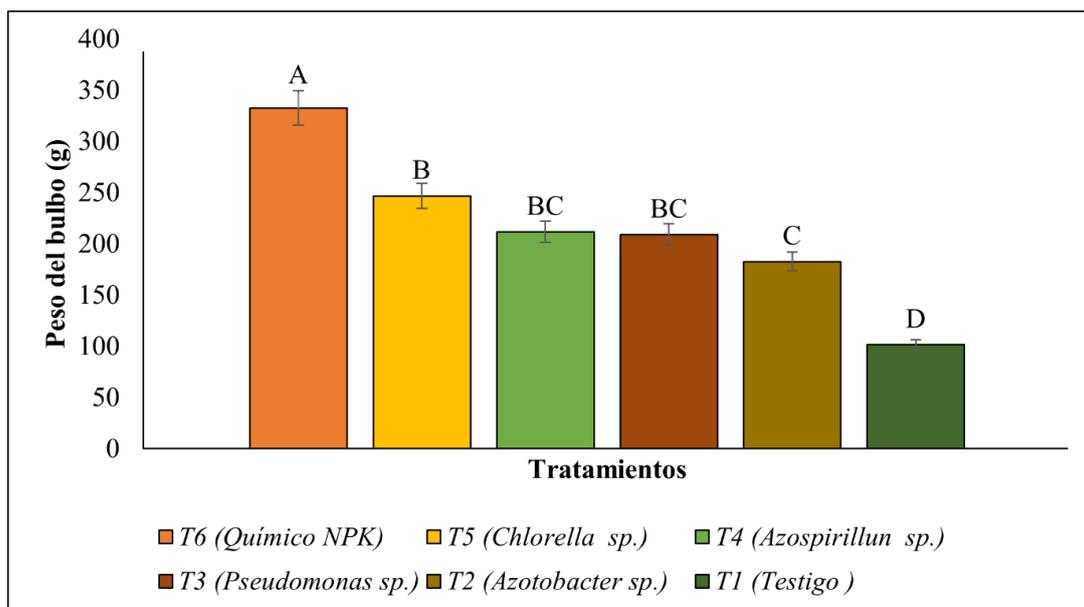
En el diámetro del bulbo se encontraron diferencias significativas entre los tratamientos, donde T6 (Químico), T4 (*Azospirillum*) y T3 (*Pseudomonas*) presentaron un mayor diámetro con 7,65 7,11 y 6,88 cm respectivamente, mientras que el tratamiento T1 (Testigo) con 5,60 cm tuvo un menor diámetro del bulbo (Figura 7).



**Figura 9.** Diámetro del bulbo en la planta de cebolla con diferentes tratamientos: T1 (Testigo), T2 (*Azotobacter*), T3 (*Pseudomonas*), T4 (*Azospirillum*), T5 (Microalgas) y T6 (Químico). Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0,05$ ).

### 6.2.3. Peso de bulbo

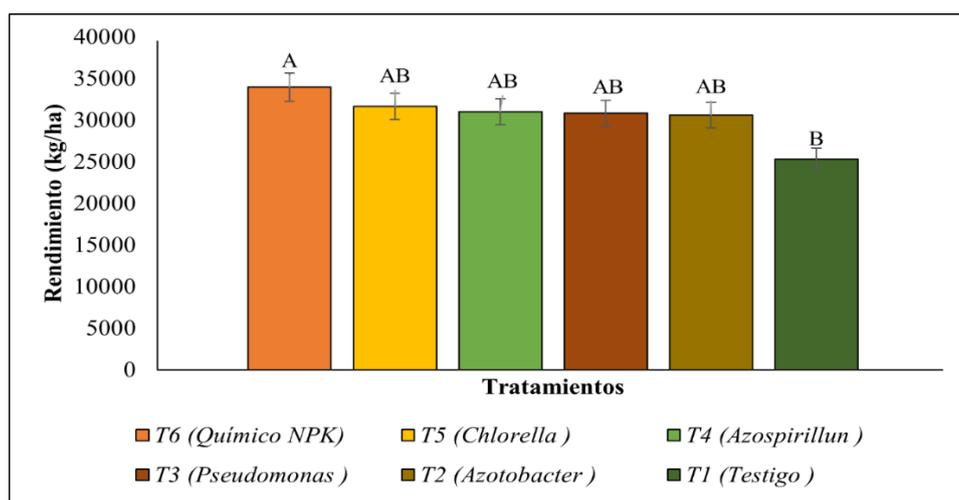
El peso del bulbo presentó diferencias significativas entre los tratamientos. El T6 (Químico NPK) presentó el mayor peso con 332,75 g, seguido del T5 (Microalgas) con 246,94 g y el T4 (*Azospirillum*) con 211,72 g. El T1 (Testigo) presentó el menor peso con 101,57 g (Figura 10).



**Figura 10.** Peso del bulbo de cebolla con diferentes tratamientos: T1 (Testigo), T2 (*Azotobacter*), T3 (*Pseudomonas*), T4 (*Azospirillum*), T5 (Microalgas) y T6 (Químico). Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0,05$ ).

#### 6.2.4. Rendimiento

En la Figura 11, el análisis estadístico del rendimiento mostró estadísticas significativas de los tratamientos. Los tratamientos T6 (Químico NPK), T5 (Microalgas), T4 (*Azospirillum*), T3 (*Pseudomonas*) y T2 (*Azotobacter*) presentaron un mayor rendimiento superior al tratamiento T1 (Testigo). El tratamiento T6 (Químico NPK) presentó un rendimiento de 33956,67 kg/ha, mientras que el tratamiento T1 (Testigo) 25333,33 kg/ha.



**Figura 11.** Rendimiento de cebolla con diferentes tratamientos: T1 (Testigo), T2 (*Azotobacter*), T3 (*Pseudomonas*), T4 (*Azospirillum*), T5 (Microalgas) y T6 (Químico). Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0,05$ ).

## 7. Discusión

- **Prendimiento de plantas**

Los resultados concuerdan con los hallazgos de diversos autores que informaron el efecto de la inoculación con rizobacterias promotoras del crecimiento vegetal (PGPR, por sus siglas en inglés) y la aplicación de fertilizantes químicos en el establecimiento de cultivos. Por ejemplo, Dey et al. (2022) reportaron un incremento significativo en el porcentaje de prendimiento de plántulas de cebolla al inocular con la cepa *Pseudomonas fluorescens* OG, alcanzando un 92% de prendimiento en comparación con el 78% del control sin inoculación.

Asimismo, Sadeghian y Hadi (2021) observaron que la aplicación de fertilizantes químicos NPK mejoró el porcentaje de prendimiento de plántulas de cebolla en comparación con el tratamiento control. Estos autores atribuyeron este efecto a la disponibilidad adecuada de nutrientes esenciales para el establecimiento y desarrollo inicial de las plántulas.

Sin embargo, es importante destacar que, en el presente estudio, no se encontraron diferencias estadísticas significativas entre los tratamientos evaluados en cuanto al porcentaje de prendimiento. Esto podría sugerir que, si bien los tratamientos T3 (*Pseudomonas*) y T6 (Químico NPK) presentaron los mejores valores, la variabilidad inherente al ensayo no permitió establecer una superioridad estadística contundente.

- **Fenología**

La duración de las fases fenológicas en el cultivo de cebolla mostró diferencias significativas entre los tratamientos. Los tratamientos T2 (*Azotobacter*), T3 (*Pseudomonas*), T4 (*Azospirillum*), T5 (*Chlorella*) y T6 (Químico NPK) presentaron un menor número de días en las fases de aparición de hojas, formación del bulbo, maduración inicial y maduración completa en comparación con el tratamiento T1 (Testigo).

Estos resultados concuerdan con los hallazgos de Saharan y Nehra (2011), quienes reportaron que la aplicación de biofertilizantes como *Azotobacter*, *Pseudomonas* y *Azospirillum* aceleró el desarrollo fenológico del cultivo de cebolla en comparación con el control sin tratamiento. Esto puede atribuirse a la capacidad de estos microorganismos para mejorar la disponibilidad de nutrientes y promover el crecimiento vegetal (Vessey, 2003).

Por otro lado, los resultados contrastan con los obtenidos por Abdalla et al. (2014), quienes no encontraron diferencias significativas en la duración de las fases fenológicas del

cultivo de cebolla tratado con biofertilizantes y fertilizantes químicos. Estas diferencias pueden deberse a las condiciones ambientales, el tipo de suelo, las cepas microbianas utilizadas y las dosis aplicadas.

Es importante mencionar que la duración de las fases fenológicas tiene implicaciones en el manejo del cultivo, como la programación de riegos, aplicación de fertilizantes y control de plagas y enfermedades (Brewster, 2008). Por lo tanto, la aceleración o retraso de estas fases puede afectar la planificación y ejecución de prácticas agronómicas, lo que a su vez puede influir en el rendimiento y la calidad del cultivo.

- **Altura de la planta**

La altura de la planta es un indicador del crecimiento vegetal y está estrechamente relacionada con el rendimiento final del cultivo. En el presente estudio, se encontraron diferencias significativas en la altura de las plantas de cebolla entre los tratamientos evaluados a los 80 días después del trasplante (DDT).

Los resultados son consistentes con los reportados por algunos autores que han investigado el efecto de los fertilizantes químicos y las PGPR en el crecimiento de las plantas de cebolla. Por ejemplo, Sharbat et al. (2022) encontraron que la aplicación de fertilizantes NPK aumentó significativamente la altura de las plantas de cebolla en comparación con el control sin fertilización. De manera similar, Gholami et al. (2019) demostraron que la inoculación con *Azotobacter* mejoró la altura de las plantas de cebolla debido a la promoción del crecimiento vegetal y la síntesis de fitohormonas.

Es importante destacar que, en el presente estudio, no se encontraron diferencias significativas en la altura de las plantas durante las evaluaciones realizadas a los 20, 40 y 60 DDT. Esto sugiere que los efectos de los tratamientos se hicieron más evidentes en etapas más avanzadas del cultivo, lo cual concuerda con los hallazgos de Bae et al. (2021), quienes observaron un impacto más notable de las PGPR en la altura de las plantas de cebolla después de los 60 DDT.

- **Número de hojas**

El número de hojas es un parámetro importante que influye en la capacidad fotosintética de las plantas y, por lo tanto, en su crecimiento y desarrollo. En el presente estudio, se

encontraron diferencias significativas en el número de hojas de las plantas de cebolla entre los tratamientos evaluados a los 80 DDT.

Estos hallazgos son respaldados por diversos estudios que han investigado el efecto de las PGPR y los fertilizantes en el desarrollo foliar de la cebolla. Por ejemplo, Anwar et al. (2020) reportaron un aumento significativo en el número de hojas de plantas de cebolla inoculadas con *Azospirillum* y *Pseudomonas* en comparación con el control sin inoculación. Estos autores atribuyeron este efecto a la producción de fitohormonas y la facilitación de la absorción de nutrientes por parte de las PGPR.

Asimismo, Abdelhameed et al. (2022) demostraron que la aplicación de fertilizantes NPK promovió el desarrollo de un mayor número de hojas en las plantas de cebolla, lo cual se tradujo en un incremento en el rendimiento del cultivo. Estos autores sugirieron que la mayor disponibilidad de nutrientes esenciales, como el nitrógeno, favoreció la formación y crecimiento de las hojas.

Es importante destacar que, en el presente estudio, no se observaron diferencias significativas en el número de hojas durante las evaluaciones realizadas a los 20, 40 y 60 DDT. Esto podría indicar que los efectos de los tratamientos sobre el desarrollo foliar se manifestaron principalmente en etapas más avanzadas del cultivo, coincidiendo con los hallazgos de Khan et al. (2019), quienes reportaron un impacto más evidente de las PGPR en el número de hojas de cebolla después de los 70 DDT.

Además, el número de hojas es un indicador importante del crecimiento y desarrollo del cultivo, y puede influir en la capacidad fotosintética y, por lo tanto, en el rendimiento final (Brewster, 2008). Un mayor número de hojas puede resultar en una mayor interceptación de la radiación solar y una mayor producción de biomasa (Marcelis et al., 1998). Sin embargo, es necesario considerar otros factores, como la calidad del bulbo y la resistencia a plagas y enfermedades, al evaluar el efecto del número de hojas en el rendimiento final.

- **Sistema radicular**

El desarrollo del sistema radicular es fundamental para el crecimiento y la productividad de las plantas, ya que determina la capacidad de absorción de agua y nutrientes del suelo. En el presente estudio, se observaron diferencias significativas en la longitud del sistema radicular de las plantas de cebolla entre los tratamientos evaluados.

Los resultados concuerdan con los reportados por algunos autores donde informaron el impacto de los fertilizantes químicos y los biofertilizantes en el desarrollo radicular de las plantas de cebolla. Por ejemplo, Sarkar et al. (2021) demostraron que la aplicación de fertilizantes NPK mejoró significativamente la longitud y el peso del sistema radicular de la cebolla en comparación con el control sin fertilización. Estos autores atribuyeron este efecto a la mayor disponibilidad de nutrientes esenciales para el crecimiento y desarrollo de las raíces.

Por otro lado, Gupta et al. (2020) reportaron un aumento en la longitud y la densidad de las raíces de cebolla al inocular con microalgas como *Chlorella*, lo cual se atribuyó a la producción de fitohormonas y compuestos promotores del crecimiento por parte de estos microorganismos.

Es importante mencionar que un sistema radicular bien desarrollado no solo contribuye a una mejor absorción de agua y nutrientes, sino también a una mayor resistencia al estrés abiótico, como la sequía y la salinidad (Shahbaz et al., 2020). Esto resalta la importancia de implementar estrategias de manejo que promuevan un desarrollo radicular óptimo, como la aplicación de fertilizantes y biofertilizantes.

Así mismo, un sistema radicular más desarrollado puede mejorar la capacidad de las plantas para absorber agua y nutrientes del suelo, lo que a su vez puede influir en el crecimiento y rendimiento del cultivo (Brewster, 2008). Además, un sistema radicular más extenso puede aumentar la tolerancia de las plantas a condiciones de estrés, como la sequía o la baja disponibilidad de nutrientes (Marschner, 2012).

- **Diámetro del bulbo**

El diámetro del bulbo es un parámetro clave que determina el rendimiento y la calidad comercial de la cebolla. En el presente estudio, se encontraron diferencias significativas en el diámetro del bulbo entre los tratamientos evaluados.

Los resultados son consistentes con los reportados por diversos autores que han investigado el efecto de los fertilizantes químicos y las PGPR en el desarrollo del bulbo de la cebolla. Por ejemplo, Shahin et al. (2021) demostraron que la aplicación de fertilizantes NPK mejoró significativamente el diámetro del bulbo en comparación con el control sin fertilización, lo cual se atribuyó a una mayor disponibilidad de nutrientes esenciales para el desarrollo del bulbo.

Por otro lado, Saha et al. (2020) reportaron un aumento en el diámetro del bulbo de cebolla al inocular con PGPR como *Azospirillum* y *Pseudomonas*, lo cual se atribuyó a la producción de fitohormonas y la facilitación de la absorción de nutrientes por parte de estos microorganismos.

Es importante destacar que un mayor diámetro del bulbo no solo influye en el rendimiento, sino también en la calidad y el valor comercial del producto final. Los bulbos de mayor tamaño suelen ser más valorados en el mercado y pueden alcanzar precios más altos (Abdelhameed et al., 2022).

- **Peso del bulbo**

El peso del bulbo es uno de los parámetros más importantes en la producción de cebolla, ya que influye directamente en el rendimiento y la calidad del producto final. En el presente estudio, se observaron diferencias significativas en el peso del bulbo entre los tratamientos evaluados.

Estos resultados son consistentes con los reportados por numerosos autores que han investigado el efecto de los fertilizantes químicos, las PGPR y los biofertilizantes en el peso del bulbo de la cebolla. Por ejemplo, Abdelhameed et al. (2022) demostraron que la aplicación de fertilizantes NPK aumentó significativamente el peso del bulbo en comparación con el control sin fertilización.

Asimismo, Wani et al. (2020) reportaron un incremento en el peso del bulbo de cebolla al inocular con la PGPR *Azospirillum*, lo cual se atribuyó a la promoción del crecimiento vegetal y la facilitación de la absorción de nutrientes por parte de este microorganismo.

Por otro lado, Sharma et al. (2021) encontraron que la aplicación de microalgas como biofertilizante mejoró el peso del bulbo de cebolla en comparación con el control, lo cual se atribuyó a la síntesis de compuestos promotores del crecimiento y el aporte de nutrientes por parte de estos microorganismos.

Cabe destacar que un mayor peso del bulbo no solo se traduce en un mayor rendimiento, sino también en una mejor calidad comercial del producto. Los bulbos más pesados suelen ser más atractivos para el consumidor y pueden alcanzar precios más altos en el mercado (Khan et al., 2021).

- **Rendimiento**

El rendimiento es el parámetro final que determina la rentabilidad y el éxito de un cultivo. En el presente estudio, se observaron diferencias significativas en el rendimiento de la cebolla entre los tratamientos evaluados.

Los resultados son respaldados por numerosos estudios que han investigado el impacto de los fertilizantes químicos, las PGPR y los biofertilizantes en el rendimiento de la cebolla. Por ejemplo, Tiwari et al. (2021) reportaron un aumento significativo en el rendimiento de cebolla al aplicar fertilizantes NPK, lo cual se atribuyó a una mayor disponibilidad de nutrientes esenciales para el desarrollo del cultivo.

Asimismo, Youssef et al. (2020) demostraron que la inoculación con PGPR como *Azospirillum* mejoró el rendimiento de la cebolla en comparación con el control sin inoculación, lo cual se relacionó con la promoción del crecimiento vegetal y la facilitación de la absorción de nutrientes por parte de estos microorganismos.

Por otro lado, Bali et al. (2019) encontraron que la aplicación de microalgas como biofertilizante incrementó significativamente el rendimiento de la cebolla en comparación con el control, lo cual se atribuyó al aporte de nutrientes y la síntesis de compuestos promotores del crecimiento por parte de estos microorganismos.

Cabe mencionar que un mayor rendimiento no solo se traduce en mayores ingresos económicos para los productores, sino también en una mayor disponibilidad de alimentos para satisfacer la demanda creciente de la población mundial. Además, un rendimiento óptimo puede contribuir a una mayor eficiencia en el uso de recursos como el agua, la tierra y los insumos agrícolas (Iqbal et al., 2020).

La contribución de este estudio radica en proporcionar evidencia sólida sobre los beneficios de la aplicación de fertilizantes químicos NPK, PGPR como *Azospirillum*, y biofertilizantes como las microalgas en el incremento del rendimiento de la cebolla. Estos hallazgos respaldan la importancia de implementar estrategias de manejo integradas que combinen diferentes insumos para optimizar la productividad del cultivo y contribuir a la seguridad alimentaria.

## 8. Conclusiones

- La aplicación de fertilizantes químicos NPK (T6) proporcionó los mejores resultados generales en el cultivo de cebolla, con un mayor rendimiento de 33956,67 kg/ha, así como valores superiores en parámetros clave como altura de planta, número de hojas, sistema radicular, diámetro y peso de bulbos, en comparación con el tratamiento control (T1).
- La inoculación con la rizobacteria promotora del crecimiento vegetal (PGPR) *Pseudomonas* (T3) también mostró resultados sobresalientes, destacando su efecto positivo en el prendimiento de plantas, aceleración del desarrollo fenológico, y mejora en el diámetro de los bulbos de cebolla.
- Los tratamientos con biofertilizantes como *Azotobacter* (T2), *Azospirillum* (T4) y microalgas *Chlorella* (T5) demostraron su potencial para incrementar el rendimiento del cultivo de cebolla, superando al tratamiento control (T1) en diversos parámetros evaluados, como altura de planta, número de hojas, sistema radicular, diámetro y peso de bulbos.

## **9. Recomendaciones**

- Considerar el momento de aplicación de las Rizobacterias Promotoras del Crecimiento Vegetal (PGPR) para que estos microorganismos aporten en la biofertilización desde las etapas iniciales del cultivo.
- Elegir un adecuado lugar de siembra debido a que las PGPR no se pueden emplear donde se ha utilizado insecticidas ya que estas requieren de condiciones ambientales favorables para su propagación.
- Es necesario realizar más investigaciones para optimizar la selección de cepas microbianas, las dosis y los momentos de aplicación de biofertilizantes y fertilizantes químicos en el cultivo de cebolla, así como evaluar el impacto ambiental y económico de estas prácticas.

## 10. Bibliografía

- Abdalla, M. M., El-Sanouni, I. A., & El-Sawy, M. B. (2014). Effect of some bio and mineral fertilizers on growth, productivity and storability of onion (*Allium cepa* L.) crop under sandy soil conditions. *Alexandria Journal of Agricultural Research*, 59(2), 83-94.
- Abdelhameed, M. T., Sadak, M. S., & El-Monem, A. A. A. (2022). Effect of nitrogen, phosphorus and potassium fertilizers on growth, yield and quality of onion (*Allium cepa* L.). *Agronomy*, 12(3), 572.
- Afify, A., Hauka, F., & Elsawah, A. (2019). Plant Growth-Promoting Rhizobacteria enhance Onion (*Allium cepa* L.) productivity and minimize requisite chemical fertilization. *Environment, Biodiversity and Soil Security*, 0(0), 0-0. <https://doi.org/10.21608/jenvbs.2019.6002.1036>
- Alarcon, J., Recharte, D., Yanqui, F., & Moreno, S. (2020). Fertilizar con microorganismos eficientes autóctonos tiene efecto positivo en la fenología, biomasa y producción de tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill). *Scientia Agropecuaria*, 11(1), 67-73. <https://doi.org/10.17268/sci.agropecu.2020.01.08>
- Alvarez, A. L., Weyers, S. L., Goemann, H. M., Peyton, B. M., & Gardner, R. D. (2021). Microalgae, soil and plants: A critical review of microalgae as renewable resources for agriculture. *Algal Research*, 54, 102200. <https://doi.org/10.1016/j.algal.2021.102200>
- Amaya, J., & Méndez, E. F. (2012). Growth of onion (*Allium cepa* L.) var. «Red Arequipeña» due to fertilization NxK. *Scientia agropecuaria*, 07-14. <https://doi.org/10.17268/sci.agropecu.2012.01.01>
- Angulo, V., Sanfuentes, E., Rodríguez, F., & Sossa, K. (2014). Caracterización de rizobacterias promotoras de crecimiento en plántulas de *Eucalyptus nitens*. *Revista Argentina de Microbiología*, 54. [https://doi.org/10.1016/S0325-7541\(14\)70093-8](https://doi.org/10.1016/S0325-7541(14)70093-8)
- Anwar, M., Patra, D. D., & Chand, S. (2020). Plant growth promotion and yield enhancement of onion (*Allium cepa* L.) using bioinoculants. *Journal of Plant Nutrition*, 43(19), 2942-2954.
- Arrieta, Y., Domínguez, J. T., & Palacio, D. (2019). Comportamiento morfológico del Maíz inoculado con *Azotobacter chroococcum* a dosis reducida de fertilizante nitrogenado. 21. <https://www.redalyc.org/journal/6378/637869113003/637869113003.pdf>
- Astudillo, R. (2015). Diferentes sustancias nutritivas en el cultivo de cebolla roja (*Allium cepa*) con sustrato de tierra de banco, tierra de sembrado y humus. [Tesis Ingeniero Agrónomo, UTEC] Repositorio institucional-UTEC
- Aycaya, G. (2012). Influencia de la biofertilización con *Azotobacter chroococcum* en la producción y calidad de cebolla rosada (*Allium cepa* L.) en el valle de Locumba. [Tesis Biólogo Microbiólogo, UNJBG] Repositorio institucional - UNJBG
- Bae, H., Park, J., Kim, S., Lee, S., & Lim, Y. (2021). Effects of plant growth-promoting rhizobacteria on growth and yield of onion (*Allium cepa* L.) in field conditions. *Horticulture, Environment, and Biotechnology*, 62(1), 61-70.

- Bali, S., Suleyman, A., & Naeem, M. (2019). Use of microalgae as biofertilizer for sustainable agriculture: A review. *Sustainability*, 11(23), 6667.
- Balemi, T., PAL, N., & Saxena, A. (2007). Response of onion (*Allium cepa* L.) to combined application of biological and chemical nitrogenous fertilizers. *Acta agriculturae Slovenica*, 89. <https://doi.org/10.2478/v10014-007-0013-y>
- Brewster, J. L. (2008). Onions and other vegetable alliums (Vol. 15). CABI.
- Camelo, M., Vera, S. P., & Bonilla, R. R. (2011). Mecanismos de acción de las rizobacterias promotoras del crecimiento vegetal. *Ciencia y Tecnología Agropecuaria*, 12(2), Art. 2. [https://doi.org/10.21930/rcta.vol12\\_num2\\_art:227](https://doi.org/10.21930/rcta.vol12_num2_art:227)
- Cano, M. (2011). INTERACCIÓN DE MICROORGANISMOS BENÉFICOS EN PLANTAS: Micorrizas, *Trichoderma* spp. Y *Pseudomonas* spp. UNA REVISIÓN. [http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0123-42262011000200003](http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0123-42262011000200003)
- Carbonell, L., Rodríguez, D., & Carralero, A. (2016). Evaluación de la fertilización química y biológica en el cultivo de la cebolla bajo condiciones edafoclimáticas. Estudio de caso. Dilemas contemporáneos: Educación, Política y Valores. <https://dilemascontemporaneoseducacionpoliticayvalores.com/index.php/dilemas/article/view/470>
- Carpio, A. (2019). Evaluación de la fauna insectil de la cebolla (*Allium cepa* L.) cv. "Roja de Camaná" en tres zonas de la provincia de Camaná. . [Tesis Ingeniero Agrónomo, UNSA] Repositorio institucional-UNAS
- Castellanos, J. Z., Vargas-Tapia, P., Ojodeagua, J. L., Hoyos-Vázquez, G., Méndez-Aguilar, F., Albores-Velasco, B., & Rivera-Peña, A. (2004). Producción de plántulas de cebolla. *Revista Fitotecnia Mexicana*, 27(4), 333-338.
- Cordeiro, E. C. N., Mógor, Á. F., de Oliveira Amatussi, J., Mógor, G., de Lara, G. B., & Marques, H. M. C. (2022). Microalga Biofertilizer Triggers Metabolic Changes Improving Onion Growth and Yield. *Horticulturae*, 8(3), Article 3. <https://doi.org/10.3390/horticulturae8030223>
- Cuaical, C. (2021). Evaluación de la aplicación de fosfito de potasio con abonos orgánicos en el desarrollo del cultivo de arveja (*Pisum sativum*) variedad San Isidro en el cantón Montúfar, provincia del Carchi. [Tesis Ingeniero Agrónomo, UPEC] Repositorio institucional - UPEC
- Dey, S., Chandra, S., Ghosh, A., & Saha, M. (2022). Evaluation of growth and yield enhancement of onion (*Allium cepa* L.) by using *Pseudomonas fluorescens* OG as a bio-inoculant. *Scientific Reports*, 12(1), 1-13.
- Fukami, J., Cerezini, P., & Hungria, M. (2018). *Azospirillum*: Benefits that go far beyond biological nitrogen fixation. *AMB Express*, 8(1), 73. <https://doi.org/10.1186/s13568-018-0608-1>

- Gholami, A., Shahsavani, S., & Nezarat, S. (2019). The effect of plant growth promoting rhizobacteria (PGPR) on germination, seedling growth and yield of maize. *World Journal of Microbiology and Biotechnology*, 25(12), 2077-2086.
- Gómez-Merino, F. C., Trejo-Téllez, L. I., Castellanos-Villegas, A. E., García-Guzmán, G., Falcón-Ramírez, E., & Herrera-Méndez, C. H. (2014). Efecto de biofertilizantes y fertilizantes químicos sobre el crecimiento y rendimiento de cebolla. *Revista Chapingo Serie Horticultura*, 20(3), 279-289.
- González, A., Almaraz, J., Ferrera, R., Rodríguez, M., Taboada, O., Trinidad, A., Alarcón, A., & Arteaga, R. (2017). Caracterización y selección de rizobacterias promotoras de crecimiento en plántulas de chile poblano (*Capsicum annuum* L.). *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*, 33(3), 463-474. <https://doi.org/10.20937/RICA.2017.33.03.09>
- Grover, M., Bodhankar, S., Sharma, A., Sharma, P., Singh, J., & Nain, L. (2021). PGPR Mediated Alterations in Root Traits: Way Toward Sustainable Crop Production. *Frontiers in Sustainable Food Systems*, 4. <https://doi.org/10.3389/fsufs.2020.618230>
- Gupta, V., Ratha, S. K., Sood, A., Chaudhary, V., & Prasanna, R. (2020). Boosting seed germination and seedling growth of onion (*Allium cepa* L.) using bioinoculants and microalgal biofertilizers. *Rhizosphere*, 15, 100217.
- Hong, L., Orikasa, Y., Sakamoto, H., & Ohwada, T. (2019). Plant Tissue Localization and Morphological Conversion of *Azospirillum brasilense* upon Initial Interaction with *Allium cepa* L. *Microorganisms*, 7(9). <https://doi.org/10.3390/microorganisms7090275>
- Hu, H., Chen, Q., & He, J. (2021). The end of hunger: Fertilizers, microbes and plant productivity. *Microbial Biotechnology*, 15(4), 1050-1054. <https://doi.org/10.1111/1751-7915.13973>
- INIA. (2017). Manual de producción de cebolla. Boletín INIA N° 380. Santiago, Chile
- Iqbal, M. A., Hamid, A., Ahmad, T., Siddiqui, M. H., Khaliq, T., & Ahmed, Z. I. (2020). Integrated use of bio and synthetic fertilizers on the growth, yield and phosphorus use efficiency of onion crop. *Sustainability*, 12(8), 3121.
- Khan, M. I. R., Fatma, M., & Goyal, M. (2021). Impact of plant growth-promoting rhizobacteria on growth, yield and quality of onion (*Allium cepa* L.). *Journal of Plant Nutrition*, 44(13), 1975-1990.
- Khan, M. I. R., Fatma, M., Masood, A., & Khan, N. A. (2019). Beneficial effects of plant growth-promoting rhizobacteria on growth, yield and quality of onion (*Allium cepa* L.). *Journal of Plant Growth Regulation*, 38(4), 1310-1322.
- Kurrey, D., Lahre, M., & Pagire, G. (2018). Effect of *Azotobacter* on growth and yield of onion (*Allium cepa* L.). *Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry*. <https://www.phytojournal.com/archives/2018/vol7issue1/PartP/7-1-170-753.pdf>

- León, Y., Hernández, J., Rodríguez, N., & Martínez, R. (2012). Aplicación de *Azotobacter chroococcum* en la producción de plántulas de tabaco negro. *Cultivos Tropicales*, 33(2), 29-32.
- Licea, J., Quiroz, J., & Hernández, J. (2020). Impacto De *Azospirillum* Brasilense, Una Rizobacteria Que Estimula La Producción Del Ácido Indol-3-Acético Como El Mecanismo De Mejora Del Crecimiento De Las Plantas En Los Cultivos Agrícolas. *Revista Boliviana de Química*, 37(1), 34-39.
- Loredo, C., López, L., & Espinosa, D. (2004). Bacterias promotoras del crecimiento vegetal asociadas con gramíneas: Una revisión. *Terra Latinoamericana*, 22(2), 225-239.
- Marcelis, L. F. M., Heuvelink, E., & Goudriaan, J. (1998). Modelling biomass production and yield of horticultural crops: a review. *Scientia Horticulturae*, 74(1-2), 83-111. [https://doi.org/10.1016/S0304-4238\(98\)00083-7](https://doi.org/10.1016/S0304-4238(98)00083-7)
- Marschner, P. (2012). *Marschner's mineral nutrition of higher plants* (3rd ed.). Academic Press.
- Mata, H., Patishtán J., Vázquez E., & Ramírez M. (2011). Fertirrigación del cultivo de cebolla con riego por goteo en el sur de Tamaulipas. Primera Edición INIFAP. Campo Experimental Las Huastecas Villa Cuauhtémoc, Tamaulipas : 185 pp.
- Montenegro, C., & Cárdenas, R. (2014). Producción de semillas de cebolla (*Allium cepa* L.), una realidad en Santa Cruz del Norte, Mayabeque. *Cultivos Tropicales*, 35(4), 5-12.
- Moreira, B., & Chila, M. (2016). Fertilización foliar con biol en cebolla de bulbo (*Allium cepa* L.) valorando rendimiento. *Ciencias Agronómicas*. <https://core.ac.uk/download/pdf/159379042.pdf>
- Munzón, M., & Barreto, J. (2021). RESPUESTA DEL CULTIVO DE CEBOLLA PERLA (*Allium cepa* L.) A LA FERTILIZACIÓN ORGÁNICA, CANTÓN CUMANDÁ, PROVINCIA DE CHIMBORAZO. *OIDLES*. *Desarrollo Local y Economía Social*, 24-38. <https://doi.org/10.51896/OIDLES/JZDC5632>
- Ortiz, M. L., Sandoval, K., & Solarte, L. (2019). *Chlorella*, ¿un potencial biofertilizante? *ORINOQUIA*, 23(2), 71-78.
- Palomeque, B., Cano, P., Preciado, P., Rodríguez, J., Moreno, A., & Reyes, J. (2020). Rizobacterias promotoras del crecimiento vegetal en la agricultura sustentable. [https://www.researchgate.net/publication/344292349\\_Rizobacterias\\_promotoras\\_del\\_crecimiento\\_vegetal\\_](https://www.researchgate.net/publication/344292349_Rizobacterias_promotoras_del_crecimiento_vegetal_)
- Pérez Álvarez, S., Coto Arbelo, O., Echemendía Pérez, M., & Ávila Quezada, G. (2015). *Pseudomonas fluorescens* Migula, ¿control biológico o patógeno?: *Pseudomonas fluorescens*, biological control or pathogen? *Revista de Protección Vegetal*, 30(3), 225-234.
- Pérez, J., & Sánchez, D. (2017). Caracterización y efecto de *Azotobacter*, *Azospirillum* y *Pseudomonas* asociadas a *Ipomoea Batatas* del Caribe Colombiano. <https://www.redalyc.org/journal/776/77654661005/html/>

- Sadeghian, S. Y., & Hadi, M. H. S. (2021). Effect of different levels of chemical fertilizers on establishment and yield of onion. *Journal of Plant Nutrition*, 44(7), 971-982.
- Saha, S., Chakraborty, U., & Bhattacharya, P. M. (2020). Effect of plant growth-promoting rhizobacteria (PGPR) on seed germination and seedling growth of onion (*Allium cepa* L.). *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences*, 9(4), 2525-2539.
- Saharan, B. S., & Nehra, V. (2011). Plant growth promoting rhizobacteria: a critical review. *Life Sciences and Medicine Research*, 21(1), 30.
- Sánchez, R., & Guerra, P. (2022). *Pseudomonas* spp. Benéficas en la agricultura. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, 13(4), 715-725. <https://doi.org/10.29312/remexca.v13i4.2799>
- Sarkar, D., Mandal, B., Shikha, & Kundu, M. C. (2021). Influence of nitrogen, phosphorus and potassium on growth, yield and quality of onion (*Allium cepa* L.). *Journal of Plant Nutrition*, 44(5), 623-638.
- Sharbat, M., Kolahi, M., Mohammadi, M., & Sabouri, A. (2022). Effect of different levels of nitrogen, phosphorus and potassium fertilizers on growth, yield and quality of onion (*Allium cepa* L.). *Acta Agriculturae Slovenica*, 119(1), 63-71.
- Shahin, M. G., Shams, A. S., Zakaria, A. M., & El-Komy, M. M. (2021). Effect of nitrogen, phosphorus and potassium fertilization on growth, yield, and quality of onion. *Agronomy*, 11(5), 878.
- Shahbaz, M., Mushtaq, Z., & Shahzad, S. M. (2020). Management of root system architecture for enhancing nutrient use efficiency in field crops. In *Plant Roots: Nutrient Acquisition and Utilization* (pp. 143-168). Springer, Singapore.
- Sharma, S. K., Srivastava, P. C., Goud, V. V., & Archana, G. (2021). Microalgal biofertilizers for sustainable agriculture: A review. *Algal Research*, 56, 102301.
- Sulbaran, J., Barrios, R., López, M., & Ferrer, J. (2012). Beneficios de los biofertilizantes en cebolla. Rendimientos, costos de producción y socialización de resultados. 21, 47-50. [https://www.researchgate.net/publication/350558579\\_Beneficios\\_de\\_los\\_biofertilizantes\\_en\\_cebolla\\_Rendimientos\\_costos\\_de\\_produccion\\_y\\_socializacion\\_de\\_resultados\\_Parte\\_II](https://www.researchgate.net/publication/350558579_Beneficios_de_los_biofertilizantes_en_cebolla_Rendimientos_costos_de_produccion_y_socializacion_de_resultados_Parte_II).
- 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>
- Talwar, D., Singh, K., & Walia, S. S. (2017). Influence of biofertilizers on Microbial Count and Nutrient uptake of kharif onion (*Allium cepa* L.). *International Journal of Agriculture, Environment and Biotechnology*, 10, 289. <https://doi.org/10.5958/2230-732X.2017.00036.5>

- Tiwari, S. P., Srivastava, S., & Singh, C. S. (2021). Effect of nitrogen, phosphorus and potassium on growth and yield of onion (*Allium cepa* L.). *Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry*, 10(2), 1556-1559.
- Velasco, A., Castellanos, O., Acevedo, G., & Rodríguez, A. (2020). Bacterias rizosféricas con beneficios potenciales en la agricultura. [https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0187-57792020000300333#B33](https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0187-57792020000300333#B33)
- Vera, V. (2016). Evaluación de la eficacia de tres dosis de fertilizante químico en el rendimiento de cuatro cultivares de cebolla colorada (*Allium cepa* l.). [Tesis Ingeniero Agrónoma, ESPOCH] Repositorio institucional- ESPOCH
- Vessey, J. K. (2003). Plant growth promoting rhizobacteria as biofertilizers. *Plant and Soil*, 255(2), 571-586. <https://doi.org/10.1023/A:1026037216893>
- Wani, S. A., Fatima, K., & Qadri, M. I. (2020). Influence of *Azospirillum* bioinoculant on growth, yield and quality of onion (*Allium cepa* L.). *Vegetos*, 33(2), 287-295.
- Youssef, M. M., Mohaseb, M. A. A., & El-Sayed, W. S. (2020). Influence of plant growth promoting rhizobacteria on growth, productivity and quality of onion (*Allium cepa* L.). *Journal of Plant Production*, 11(7), 655-661.
- Yzarra W., & López F., (2017). Manual de observaciones fenológicas producción de cebolla. SENAMHI, Perú. 99 pp.

## 11. Anexos



**Anexo 1.** Diseño en campo del cultivo de cebolla.



**Anexo 2.** Registro de la variable altura a los 20 DDT (Días después del trasplante).



**Anexo 3.** Crecimiento del cultivo de cebolla.



**Anexo 4.** Fase de maduración del cultivo de cebolla



**Anexo 5.** Cosecha del cultivo de cebolla



**Anexo 6.** Medición de variables de la cebolla posterior a la cosecha.



**Anexo 7.** Peso individual de la cebolla.



**Anexo 8.** Peso total por tratamiento

Lic. Alexander MasacheEscobar, Mgs

0987216493

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

Loja - Ecuador

Loja, 12 de mayo del 2024

El suscrito, 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: **Brayan Raúl Sánchez Infante** con cédula de ciudadanía N° **0707039590**, cuyo tema de investigación se titula: *“Effect of rhizosphere microorganisms and microalgae on the cultivation of onion (Allium cepa L.) in the Limones parish, Zapotillo canton”*, 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 pertinente.



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

**Anexo 9.** Certificado de traducción del resumen.