



Universidad  
Nacional  
de Loja

## Universidad Nacional de Loja

### Facultad Agropecuaria y de Recursos Naturales Renovables

#### Carrera de Ingeniería Agronómica

# Efecto de la aplicación de microorganismos bioestimulantes sobre el crecimiento, rendimiento del cultivo de col (*Brassica oleracea* L.) y las propiedades del suelo bajo condiciones de campo en la quinta experimental la Argelia

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

#### AUTOR:

Kelvin David Matailo Cuenca

#### DIRECTOR:

Ing. Klever Iván Granda Mora PhD.

Loja – Ecuador

2024



UNL

Universidad  
Nacional  
de Loja

Sistema de Información Académico  
Administrativo y Financiero - SIAAF

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

Yo, Granda Mora Kiever Ivan, director del Trabajo de Integración Curricular denominado Efecto de la aplicación de microorganismos bioestimulantes sobre crecimiento, rendimiento del cultivo de col (*Brassica oleracea* L.) y las propiedades del suelo bajo condiciones de campo en la quinta experimental la Argella, perteneciente al estudiante KEVIN DAVID MATAILO CUENCA, con cédula de identidad N° 1150386202. 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 ser considerado pertinente, a/la señores 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



KEVIER IVAN MORAN  
MORA

F) \_\_\_\_\_  
DIRECTOR DE TRABAJO DE INTEGRACIÓN  
CURRICULAR



Certificado TIC/TT.: UNL-2023-000667

## **Autoría**

Yo, **Kelvin David Matailo Cuenca**, declaro ser el autor del presente Trabajo de Integración Curricular y eximo expresamente a la Universidad Nacional de Loja y a sus representantes jurídicos de posibles reclamos o acciones legales por el contenido de la misma. Adicionalmente acepto y autorizo a la Universidad Nacional de Loja, la publicación de mi Trabajo de Integración Curricular en el repositorio Institucional - Biblioteca Virtual.

**Firma:**

A handwritten signature in blue ink, consisting of several stylized, overlapping loops and lines, positioned to the right of the word 'Firma:'.

**Cédula:** 1150586202

**Fecha:** 07/10/2024

**Correo:** kelvin.matailo@unl.edu.ec

**Teléfono:** 0993275674

**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, **Kelvin David Matailo Cuenca**, declaro ser autor del Trabajo de Integración Curricular denominado: **Efecto de la aplicación de microorganismos bioestimulantes sobre el crecimiento, rendimiento del cultivo de col ( *Brassica oleracea* L.) y las propiedades del suelo bajo condiciones de campo en la quinta experimental la Argelia**, como requisito para optar al 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 de la siguiente manera 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, en la ciudad de Loja, a los siete días del mes de octubre del dos mil veinticuatro.

**Firma:**



**Autor:** Kelvin David Matailo Cuenca

**Cédula de identidad:** 1150586202

**Fecha:** Ciudadela los electricistas parte alta

**Correo:** [kelvin.matailo@unl.edu.ec](mailto:kelvin.matailo@unl.edu.ec)

**Teléfono:** 0993275674

**DATOS COMPLEMENTARIOS**

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

## **Dedicatoria**

El presente Trabajo de Investigación se lo dedico, principalmente a Dios, quien siempre me acompaño en este largo camino y me ha guiado hasta lograr cumplir esta meta, brindándome fuerza y sabiduría para poder llegar hasta este momento tan especial de mi formación profesional.

A mis padres Víctor Matailo y Mélida Cuenca quien siempre estuvieron ahí brindándome su apoyo incondicional, siendo el pilar fundamental para poder salir adelante y nunca dejarme solo en los momentos más difíciles, en especial se la dedico a mi padre quien dio todo lo mejor de el con la finalidad de que logre salir adelante, lamentablemente la vida me lo arrebató y no podrán ver que logre lo que tanto anhelaba, pero me quedo conforme porque sé que donde sea que esté se van a sentir orgullosos de mi esto va por ti también mi viejito.

A mis hermanos Víctor, Lenin y Anthony por su aprecio, apoyo y motivación incondicional durante toda mi vida universitaria, por estar en los momentos de caídas y ayudarme a levantar con palabras de aliento, a mis sobrinos Susana, Melanie, Nicolas y Lyan por darme aquel amor incondicional siendo los que motivan mi vida. A mis abuelitos María y Manuel al igual que a mis ángeles del cielo mis abuelitos paternos Manuel y Mariana, gracias por siempre darme su bendición, por orar por mí y darme el mejor ejemplo de sacrificio, amor y fuerza lo cual me ayudo a convertirme en una persona preparada.

Finalmente, a toda mi familia especialmente a mis tías, tíos y demás familiares quienes nunca me dejaron solo y a pesar de la distancia siempre me apoyaron en todo el proceso mi de formación profesional se los estima demasiado.

***Kelvin David Matailo Cuenca***

## **Agradecimiento**

Mi agradecimiento incondicional en especial a la Universidad Nacional de Loja, y a todos los docentes de la carrera de Agronomía quienes me permitieron formarme de la mejor manera en esta excelente carrera, y por compartir todos sus conocimientos a través de la hermosa virtud como la enseñanza.

De igual manera, agradezco a todo el equipo de investigación del proyecto “Bioproducto mixto con microorganismos benéficos para su aplicación en cultivos hortícolas” especialmente a mi tutor PhD. Klever Iván Granda Mora quien me ayudo y guio con la impartición de sus conocimientos, con lo cual fue posible lograr este Trabajo de Investigación de manera eficiente y oportuna.

A mi docente de la materia de Trabajo de Integración Curricular, la Dr. Marina Mazón principal colaboradora de la redacción y desarrollo, quien con su conocimiento, apoyo, enseñanza, humildad y colaboración me guió para lograr culminar con esta meta.

Finalmente agradezco a mis amigos quienes siempre estuvieron presentes y me apoyaron de manera oportuna durante todo este proceso, en especial a María del Carmen quien siempre estuvo ahí presente brindándome su mano amiga en todo momento y dándome fuerzas y ánimos en las duras pruebas de la vida.

***Kelvin David Matailo Cuenca***

## 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>
Abstract.....	3
<b>3. Introducción</b> .....	<b>4</b>
Objetivo General:.....	6
Objetivos Específicos: .....	6
<b>4. Marco Teórico</b> .....	<b>7</b>
4.1. El cultivo de col .....	7
4.1.1. Origen y distribución del cultivo de col .....	7
4.1.2. Clasificación taxonómica .....	7
4.1.3. Características morfológicas .....	8
4.1.4. Fenología.....	9
4.1.5. Requerimientos del cultivo .....	10
4.1.6. Importancia económica y alimenticia .....	11
4.2. Microorganismos bioestimulantes .....	12
4.2.1. Azospirillum spp.....	12
4.2.2. Azotobacter spp.....	13
4.2.3. Pseudomonas spp. ....	14
4.3. Importancia de los microorganismos en la agricultura .....	15

4.4.	Propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo.....	15
4.4.1.	Propiedades físicas .....	15
4.4.2.	Propiedades químicas.....	16
4.4.3.	Propiedades biológicas.....	19
4.5.	Antecedentes .....	20
<b>5.</b>	<b>Metodología.....</b>	<b>21</b>
5.1.	Localización de la zona de estudio .....	21
5.2.	Metodología general .....	22
5.2.1.	Tipo de investigación .....	22
5.2.2.	Diseño experimental .....	22
5.2.3.	Diseño experimental en campo .....	23
5.2.4.	Modelo matemático.....	24
5.2.5.	Manejo de la investigación .....	24
5.3.	Metodología para el primer objetivo específico: .....	26
5.3.1.	Prendimiento .....	26
5.3.2.	Altura de la plántula al trasplante.....	27
5.3.3.	Altura de la plántula .....	27
5.3.4.	Número de hojas.....	27
5.3.5.	Diámetro de la pella (cm).....	27
5.3.6.	Peso de la pella (kg) .....	27
5.3.7.	Rendimiento (t/ha) .....	27
5.4.	Metodología para el segundo objetivo específico:.....	27
5.4.1.	Propiedades físicas .....	28
5.4.2.	Propiedades Químicas.....	28
5.4.3.	Propiedades Biológicas .....	28
5.5.	Análisis estadístico.....	29
<b>6.</b>	<b>Resultados .....</b>	<b>30</b>
6.1.	Resultados para el primer objetivo .....	30
6.1.1.	Altura al trasplante .....	30
6.1.2.	Prendimiento después del trasplante .....	31
6.1.3.	Número de hojas .....	31
6.1.4.	Altura de la planta .....	33
6.1.5.	Diámetro (cm) .....	34
6.1.6.	Peso (kg) .....	34

6.1.7.Rendimiento .....	35
6.2. Resultados para el segundo objetivo.....	36
6.2.1.Propiedades físicas.....	36
6.2.2.Propiedades químicas.....	36
6.2.3.Propiedades biológicas.....	39
<b>7. Discusiones .....</b>	<b>40</b>
7.1. Discusiones para el primer objetivo.....	40
7.2. Discusiones para el segundo objetivo .....	46
<b>8. Conclusiones .....</b>	<b>49</b>
<b>9. Recomendaciones .....</b>	<b>50</b>
10. Bibliografía.....	51
<b>11. Anexos .....</b>	<b>65</b>

## Índice de tablas

<b>Tabla 1.</b> Clasificación taxonómica del cultivo de col.....	7
<b>Tabla 2.</b> Niveles de capacidad de intercambio catiónico.....	17
<b>Tabla 3.</b> Porcentaje de saturación de bases.....	18
<b>Tabla 4.</b> Relaciones cationes con su interpretación .....	18
<b>Tabla 5.</b> Delineamiento del diseño experimental para la evaluación de microorganismos bioestimulantes sobre el cultivo de col en la Quinta Experimental la Argelia.....	23
<b>Tabla 6.</b> Clase textural del suelo etapa final del cultivo .....	36
<b>Tabla 7.</b> Datos de promedios generales del peso seco del suelo inicial y final. ....	36
<b>Tabla 8.</b> Resultados del análisis de las propiedades físicas del suelo antes y después de la aplicación de microorganismos bioestimulantes. ....	36
<b>Tabla 9.</b> Resultados de las propiedades químicas del suelo antes y después de la aplicación de microorganismos bioestimulantes. ....	38
<b>Tabla 10.</b> Análisis de suma de bases, saturación y capacidad de intercambio catiónico antes y después de la aplicación de microorganismos bioestimulantes.....	38
<b>Tabla 11.</b> Unidades formadoras de colonias (hongos).....	39
<b>Tabla 12.</b> Análisis sobre las propiedades biológicas del suelo antes y después de la aplicación de microorganismos bioestimulantes. ....	39

## Índice de figuras

<b>Figura 1.</b> Mapa de ubicación geográfica del área de estudio .....	21
<b>Figura 2.</b> Diseño experimental de campo para evaluar la aplicación de microorganismos bioestimulantes en el cultivo de col.....	23
<b>Figura 3.</b> Efecto de la aplicación de microorganismos bioestimulantes, más un tratamiento químico (NPK) y un testigo a los 22 días después de la siembra. Medias con una letra común no son significativamente diferentes mediante la prueba de tukey ( $p > 0,05$ ).....	30
<b>Figura 4.</b> Prendimiento de plántulas de col a condiciones de campo a los 8 días después del trasplante. Medias con una letra común no son significativamente diferentes mediante la prueba de Tukey ( $p > 0,05$ ).....	31
<b>Figura 5.</b> Evaluación del número de hojas en plantas de col, con la aplicación de microorganismos bioestimulantes, NPK y testigo desde los 15 hasta los 75 días después del trasplante.....	32
<b>Figura 6.</b> Evaluación del número de hojas en plantas de col, con la aplicación de microorganismos bioestimulantes, NPK y testigo a los 75 días después del trasplante. Medias con una letra común no son significativamente diferentes mediante la prueba de tukey ( $p > 0,05$ ). .....	32
<b>Figura 7.</b> Dinámica de crecimiento en plantas de col, con la aplicación de microorganismos bioestimulantes, NPK y un testigo desde los 15 hasta los 75 días después del trasplante.....	33
<b>Figura 8.</b> Evaluación de la altura en plantas de col, con la aplicación de microorganismos bioestimulantes, NPK y testigo a los 75 días después del trasplante. Medias con una letra común no son significativamente diferentes mediante la prueba de tukey ( $p > 0,05$ ). ..	33
<b>Figura 9.</b> Evaluación del diámetro de las cabezas de col, con la aplicación de microorganismos bioestimulantes, NPK y testigo, datos registrados en la etapa final del cultivo la cosecha. Medias con una letra común no son significativamente diferentes mediante la prueba de tukey ( $p > 0,05$ ). .....	34
<b>Figura 10.</b> Evaluación del peso de las cabezas de col, con la aplicación de microorganismos bioestimulantes, NPK y testigo, datos registrados en la etapa final del	

cultivo la cosecha. Medias con una letra común no son significativamente diferentes mediante la prueba de tukey ( $p > 0,05$ ). ..... 35

**Figura 11.** Evaluación del rendimiento del cultivo de col, con la aplicación de microorganismos bioestimulantes, NPK y testigo. Medias con una letra común no son significativamente diferentes mediante la prueba de tukey ( $p > 0,05$ ). ..... 35

## **Índice de anexos**

<b>Anexo 1.</b> Desinfección de semilleros y mezcla de sustrato turba y tierra.....	65
<b>Anexo 2.</b> Siembra en semilleros y colocación en bolsas negras. ....	65
<b>Anexo 3.</b> Arado del terreno mediante tractor y delimitación del área de trabajo.....	65
<b>Anexo 4.</b> Elaboración de caminos y parcelas.....	66
<b>Anexo 5.</b> Aplicación de microorganismos en semillero y en condiciones de campo. ..	66
<b>Anexo 6.</b> Cuidados y riego de semilleros.....	66
<b>Anexo 7.</b> Evaluación de plántulas para trasplante y toma de la primera variable.....	67
<b>Anexo 8.</b> Trasplante a condiciones de campo .....	67
<b>Anexo 9.</b> Evaluación del crecimiento y toma de datos .....	68
<b>Anexo 10.</b> Cosecha de cabezas de col.....	68
<b>Anexo 11.</b> Toma de datos luego de la cosecha.....	68
<b>Anexo 12.</b> Análisis de las UFC (Hongos y Bacterias) .....	69
<b>Anexo 13.</b> Datos estadísticos de las variables en la etapa de desarrollo del cultivo .....	69
<b>Anexo 14.</b> Datos estadísticos del rendimiento en la etapa final del cultivo .....	70
<b>Anexo 15.</b> Análisis de las propiedades del suelo .....	70
<b>Anexo 16.</b> Certificado de traducción del resumen .....	71

## **1. Título**

Efecto de la aplicación de microorganismos bioestimulantes sobre el crecimiento, rendimiento del cultivo de col (*Brassica oleracea* L.) y las propiedades del suelo bajo condiciones de campo en la quinta experimental la Argelia.

## 2. Resumen

Los problemas que afectan a la baja producción y rendimiento del cultivo de las brassicaceae son los factores climáticos, la baja fertilidad del suelo suelos compactos, alta incidencia de plagas y enfermedades, y el no usar semilla mejorada. Para enfrentar estas situaciones se hace uso de estrategias, como uso de pesticidas y fertilizantes sintéticos, sin tener en cuenta que estos aumentan los costos de producción. Este trabajo tuvo como objetivo evaluar el crecimiento, rendimiento del cultivo de col y las propiedades del suelo, antes y después de la aplicación de microorganismos bioestimulantes en la Quinta La Argelia de la Universidad Nacional de Loja. Para la implementación del ensayo se realizó un DBCA donde se evaluaron 5 tratamientos con 5 repeticiones, los cuales consistieron en: T1 (*Azospirillum* spp.), T2 (*Azotobacter* spp.), T3 (*Pseudomonas* spp.), T4 (Fertilización química) y T5 (Testigo). Se evaluaron variables de crecimiento como (altura al trasplante, porcentaje de prendimiento, altura de la planta, número de hojas, diámetro pella, peso pella) y rendimiento, además de las propiedades del suelo. Para analizar el efecto de los tratamientos se evaluó mediante un Análisis de Varianza (ANOVA) con pruebas de comparación múltiple (Tukey al 0,05%). Los resultados obtenidos mediante la aplicación de microorganismos fueron satisfactorios en el cultivo de col, donde aportaron al incremento de los parámetros productivos, en especial el T2 el cual obtuvo los mayores resultados en altura de 35,69 cm, diámetro de la pella 69,87 cm, peso de la pella 2,28 kg y un rendimiento de 86,67 t/ha en comparación con el tratamiento testigo. En cuantos a los resultados obtenidos acerca de las propiedades del suelo, se evidenció que las propiedades químicas incrementaron en macro y micronutrientes, así como la MO en 0,29 % y CIC en 1,64 meq/100g de suelo; las propiedades biológicas (bacterias) también incrementaron en 170 UFC/ml; para las propiedades físicas sus valores tanto en densidad aparente de 0,1 g/cm<sup>3</sup>, como en porcentaje de porosidad de 3,92%, aumentaron en relación a los valores iniciales.

**Palabras clave:** Rendimiento, brassicaceae, microorganismos bioestimulantes, incremento, productivos y propiedades del suelo.

## **Abstract**

The problems that affect the low production and yield of cabbage crops are climatic factors, low soil fertility, compact soils, high incidence of pests and diseases, and not using improved seeds. To confront these situations, strategies are used, such as the use of pesticides and synthetic fertilizers, without taking into account that these increase production costs. This work had as its objective to evaluate the growth, yield of the cabbage crop and soil properties, before and after the application of biostimulant microorganisms in the Quinta La Argelia of the National University of Loja. For the implementation of the trial, a DBCA was carried out where 5 treatments were evaluated with 5 repetitions, which consisted of: T1 (*Azospirillum* spp.), T2 (*Azotobacter* spp.), T3 (*Pseudomonas* spp.), T4 (Chemical fertilization) and T5 (Witness). Growth variables such as (height at transplant, percentage of attachment, plant height, number of leaves, pellet diameter, pellet weight) and yield were evaluated, in addition to soil properties. To analyze the effect of the treatments, it was evaluated using an Analysis of Variance (ANOVA) with multiple comparison tests (Tukey at 0.05%). The results obtained through the application of microorganisms were satisfactory in the cabbage crop, where they contributed to the increase in productive parameters, especially T2 which obtained the highest results in height of 35.69 cm, diameter of the pellet 69.87 cm, pellet weight 2.08 kg and a yield of 86.67 t/ha compared to the control treatment. Regarding the results obtained about the properties of the soil, it was evident that the chemical properties increased in macro and micronutrients, as well as the OM by 0.29% and CEC by 1.64 meq/100g of soil; biological properties (bacteria) also increased by 170 CFU/ml; For the physical properties, their values both in apparent density of 0.1 g/cm<sup>3</sup>, and in percentage of porosity of 3.92%, increased in relation to the initial values.

**Keywords:** Yield, brassicaceae, biostimulant microorganisms, increase, productivity and soil properties.

### 3. Introducción

El cultivo de col (*Brassica oleracea*), es considerado de gran importancia en la producción mundial de alimentos, debido al aumento de la demanda principalmente por algunos países como Alemania, Estados Unidos, Japón y China (Aguilar-Flores et al., 2021), de igual manera es considerado indispensable en la dieta alimentaria por sus altos valores nutritivos; tales como minerales, vitaminas, fibras y por su alta productividad y adaptabilidad (Kant et al. 2016). Es popular en la región ecuatoriana ya que se adapta fácilmente a las regiones tanto de clima templado como frío, llegando a desarrollarse de manera importante en las provincias de Cotopaxi, Chimborazo, Tungurahua e Imbabura (Morocho, 2016). Según la FAO (2022), actualmente se estima una producción de 287 351 a 293 512 kg/ha en el rendimiento y de 69 853 916 a 70 862 165 toneladas en la producción desde 2011 hasta el 2020, en el Ecuador para la producción y el rendimiento se logró alcanzar porcentajes de 61 882 kg/ha y 16,95 t/ha.

A pesar del incremento de producción, el rendimiento no alcanza a cubrir la demanda nacional y mundial (Morocho, 2016). Entre los principales factores que afectan a la producción y tamaño del cultivo de col están la densidad de siembra y la fertilización nitrogenada, los cuales interactúan entre sí y, con el ambiente del cultivo y con los cultivares (Aguilar et al. 2021). Además, las incidencias provocadas por plagas, enfermedades y las necesidades nutricionales han hecho que de alguna manera los productores abusen de los productos químicos, pero sin tener en cuenta los problemas que esto conlleva, debido a que estos con el pasar del tiempo llegan a generar deterioro en las propiedades del suelo (Antonio, 2007).

Hoy en día se ha visto necesario la implementación de prácticas agrícolas que satisfagan las necesidades de producción y que promuevan un equilibrio en los ecosistemas. Esto se puede lograr por medio de prácticas amigables con el medio ambiente, como el uso de biofertilizantes (Filho et al., 2011). Las bacterias promotoras del crecimiento vegetal o (BPCV), son un grupo de bacterias benéficas que colonizan el sistema radical de las plantas y son empleadas como biofertilizantes, ya que promueven el crecimiento vegetal a través de mecanismos como la fijación biológica de nitrógeno, solubilización del fosfato, síntesis de reguladores del crecimiento, sideróforos y antibióticos para control de algunos fitopatógenos (Moreno Reséndez et al., 2018). El uso de los bioestimulantes cada día va en aumento, debido a que este no pretende reemplazar a la fertilización química sino más bien complementarla ya que estimulan los procesos naturales para mejorar la

absorción y la eficiencia de nutrientes repercutiendo de forma positiva en el rendimiento y calidad de las cosechas (Shahrajabian et al., 2021).

El uso de BPCV como ingrediente activo en la biofertilización, los cuales están compuestos o bio-formulados con microorganismos vivos, y pueden ser aplicados de manera foliar, en riego o al suelo; ayudando a promover el desarrollo de las plantas; a través, de mecanismos directos e indirectos (Chávez-Díaz et al., 2020). Otros tipos de microorganismos son cada vez más demandados debido a su uso en la agricultura para el control biológico de plagas y enfermedades (Berg et al., 2017). Entre los géneros bacterianos más empleados en la producción de biofertilizantes destacan *Rhizobium*, *Bacillus*, *Azospirillum*, *Azotobacter*, *Pseudomonas* entre otros (Dohrmann et al., 2013).

El uso de microorganismos está siendo implementado, en particular para la producción de cultivos hortícolas y recuperación de suelos contaminados y degradados, principalmente en Europa y Estados Unidos, aunque también su utilización está aumentando en Latinoamérica. La tendencia actual es la utilización de microorganismos benéficos para incrementar la producción de los diferentes cultivos hortícolas (Covacevich, 2015).

Estos biofertilizantes son capaces de acelerar la mayoría de procesos microbianos en pequeñas unidades agrícolas (Alarcon et al., 2020). Brindando varias ventajas: no contaminan el medio ambiente; ayudan a la conservación y contribuyen una fuente de nutrientes al suelo, específicamente, a partir de la solubilización de fosfatos y la fijación de nitrógeno (Beltrán-Pineda & Bernal-Figueroa, 2022). Sin embargo, no se ha evaluado el efecto conjunto de estos microorganismos bioestimulantes sobre el cultivo de col y sobre las propiedades del suelo.

La presente propuesta de investigación se justifica en razón de que está vinculada a la línea de investigación de la Universidad Nacional de Loja, denominada “Sistemas agropecuarios sostenibles para la soberanía alimentaria”. Así mismo, se vincula al plan de estudio de la Carrera de Agronomía que posee la sublínea de investigación: “Tecnologías para la producción y posproducción agrícola sostenible”, con lo cual, contribuye a la disminución de brechas en el rendimiento de los cultivos, procesos productivos ineficientes, así como, al efecto de estrés de tipo bióticos y abióticos. También esta investigación, tiene relación directa con el doceavo Objetivo de Desarrollo Sostenible (ODS 12) denominado “Producción y consumo responsable” de las Naciones

Unidas, pues incrementar la producción de col juega un papel importante en la erradicación del hambre y desnutrición, debido a que es un producto considerado de alto valor nutritivo. De igual manera la presente investigación se encuentra vinculado al proyecto de investigación denominada “Bioproducto mixto con microorganismos benéficos para su aplicación en cultivos hortícolas”

Por tal motivo, en esta investigación se pretende aportar con información precisa y actual sobre las nuevas formas de producir, los cuales se basan en una agricultura sostenible, mediante el uso de microorganismos benéficos con la finalidad de obtener productos de calidad y mejorar de alguna manera las propiedades del suelo, logrando minimizar la contaminación por efecto de los agroquímicos y al mismo tiempo poder beneficiar al desarrollo económico del agricultor al disminuir los costos de producción.

### **Objetivos:**

#### **Objetivo General:**

“Evaluar el efecto de la aplicación de microorganismos bioestimulantes sobre el crecimiento, rendimiento del cultivo de col (*Brassica oleracea* L.) y las propiedades del suelo bajo condiciones de campo en la Quinta experimental la Argelia

#### **Objetivos Específicos:**

- Determinar el efecto de la aplicación de microorganismos bioestimulantes sobre el crecimiento y rendimiento del cultivo de col (*Brassica oleracea* L.) bajo condiciones de campo en la quinta experimental la Argelia
- Analizar el efecto de la aplicación de microorganismos bioestimulantes sobre las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo.

## 4. Marco Teórico

### 4.1.El cultivo de col

#### 4.1.1. Origen y distribución del cultivo de col

Es una planta conocida desde la antigüedad, la cual se origina de la planta salvaje *Brassica oleracea* L., procedente de la región mediterránea y, desde tiempos remotos se ha cultivado en Italia, Malta y Egipto (Rivera Martínez et al., 2014). Este cultivo es una de las hortalizas más consumidas en el Ecuador por su contenido de fibra, vitaminas A, B, C, además de carbohidratos y minerales como magnesio, potasio y fósforo (Rodríguez & Zumba, 2021)

Debido a que el cultivo de col se desarrolla fácilmente en climas templados o fríos este se adapta de mejor manera en la serranía ecuatoriana, en especial en las provincias de Chimborazo, Cotopaxi, Tungurahua, Azuay, Cañar y Loja (Cunuhay & Vivas, 2017). Por sus características prefiere de climas con temperaturas de entre 13 a 18 °C. Además, posee una excelente adaptabilidad a los climas fríos e incluso puede tolerar ligeras heladas de hasta 7 °C (López, 2010).

#### 4.1.2. Clasificación taxonómica

La col es una especie perteneciente a la familia de las Brassicaceae, al género *Brassica* el cual tiene una amplia distribución mundial, con un total de 3 500 especies (Aguilar-Flores et al., 2021). De acuerdo al Sistema Integrado de Información Taxonómica, la col tiene la siguiente clasificación Tabla 1.

**Tabla 1:** Clasificación taxonómica del cultivo de col.

<b>Reino</b>	Plantae
<b>Subreino</b>	Viridiplantae
<b>Infrareino</b>	Streptophyta
<b>Superdivisión</b>	Embriophita
<b>División</b>	Tracheophyta
<b>Subdivisión</b>	Spermatophytina
<b>Clase</b>	Magnoliopsida
<b>Superorden</b>	Rosanae
<b>Orden</b>	Brassicales
<b>Familia</b>	Brassicaceae
<b>Género</b>	<i>Brassica</i> L.
<b>Especies</b>	<i>Brassica oleracea</i> L.

### **4.1.3. Características morfológicas**

Son plantas bianuales cultivadas como anuales, por lo que requieren de un periodo de verano para florecer; se caracterizan por poseer un tallo comprimido, con hojas de color verde que varían en forma, color y textura según los diferentes cultivares (Fernández León, 2013).

Jaramillo & Díaz (2006) presentan las siguientes características morfológicas del cultivo de col:

#### **4.1.3.1. Raíz**

Posee una raíz principal pivotante, que penetra considerablemente en el suelo y cuya finalidad primordial es servir de anclaje a la planta; de esta raíz se deriva un sistema secundario o fasciculado, para la obtención de agua y nutrientes. El 80% de las raíces se encuentra entre los 5 y 30 cm de profundidad.

#### **4.1.3.2. Tallo**

Son generalmente herbáceos erguidos, cortos, poco ramificados, que adquieren una consistencia leñosa. No sobrepasan los 30 cm, de altura; debido a que el crecimiento en longitud se detiene en un estado temprano.

#### **4.1.3.3. Hojas**

Son alternas, simples, sin estípulas, con frecuencia lobuladas de color verde glauco o rojizas, de bordes ligeramente aserrados, con forma más o menos oval, y en el caso de algunas coles, son ásperas al tacto y aspecto rizado.

#### **4.1.3.4. Cabeza**

Como consecuencia de la hipertrofia de la yema vegetativa germinal y de la disposición envolvente de las hojas superiores, se forma una cabeza compacta de hojas muy apretadas que constituye la parte comestible; allí la planta acumula reservas nutritivas y en caso de no ser colectadas, estas reservas se movilizarán para la alimentación de la planta, necesaria para la emisión del talamo floral.

#### **4.1.3.5. Flores**

Se forman generalmente en racimos terminales, los cuales se desarrollan a partir del tallo principal. Son de color amarillas, hipóginas, compuestas de cuatro sépalos y cuatro pétalos, formando una abertura terminal en forma de cruz; tienen seis estambres, cuatro largos y dos cortos; un estilo corto con estigma en forma de cabezuela; un ovario súpero con dos celdas ovulares y un óvulo por celda.

#### **4.1.3.6. Fruto**

Es una cápsula llamada silicua, tiene dehiscencia longitudinal a través de una hendidura de las paredes a lo largo de la línea placentaria al momento de la madurez fisiológica, para la dispersión natural de las semillas.

#### **4.1.3.7. Semilla**

Pequeña de 5 – 110 cm de diámetro; de forma globular, superficie lisa y de tonalidades cafés en su completa madurez.

#### **4.1.4. Fenología**

Según Fuente y Pérez (2003) el cultivo de col se encuentra comprendido por dos ciclos de vida: la fase vegetativa, la cual inicia con el desarrollo de raíces, hojas y tallos, culmina con la producción de un tallo que actúa como órgano de reserva. Aquí es donde tiene inicio la fase reproductiva y esta concluye con la producción de una o más tallos florales.

##### **4.1.4.1. Fase vegetativa**

La fase de crecimiento vegetativo es considerada la más importante para los productores, además de ser la única que se cumple de manera natural, debido a las condiciones climáticas apropiadas. Esta se divide en cuatro etapas:

##### **4.1.4.1.1. Primera etapa**

Tiene una duración entre 8 – 10 días, inicia con la germinación de las semillas y termina cuando estas presenten de 3 - 4 hojas verdaderas, momento óptimo para el trasplante. Durante esta etapa las plantas desarrollan su sistema radicular y las primeras hojas verdaderas.

#### **4.1.4.1.2. Segunda etapa**

Inicia en la fase de trasplante, luego de haber recuperado el estrés del trasplante, las plantas entran en una etapa de rápido aumento de biomasa, además de eleva área foliar, sistema radical y tallo.

#### **4.1.4.1.3. Tercera etapa**

También conocida como etapa de preformación de cabeza, la planta continua con la producción de hojas y cuando esta tenga 12 hojas, las hojas originadas hasta ese momento no formarán parte de la cabeza, solo algunas que fueron producidas durante la última etapa se doblarán ligeramente para formar una capa protectora.

#### **4.1.4.1.4. Cuarta etapa**

Su principal característica es la producción de hojas sin peciolo, que se superponen para formar una bola (pella), las cuales crecen rápidamente, permitiendo el desarrollo de más hojas suculentas hasta que la cabeza alcance el tamaño apropiado para la cosecha.

#### **4.1.4.2. Fase reproductiva**

Requiere del estímulo de bajas temperaturas, las cuales son las encargadas de activar los procesos fisiológicos que finalizan con la producción de uno o más tallos florales en los que tendrá origen la inflorescencia.

#### **4.1.5. Requerimientos del cultivo**

Para (Ruiz Corral et al., 2020) los rangos optimos para un excelente desarrollo y crecimiento el cultivo de col son los siguientes:

##### **4.1.5.1. Requerimientos climáticos**

- **Altitud:** Entre 800 a 2 800 msnm, con un óptimo entre 1 500 y 2 000 msnm.
- **Fotoperiodo:** Requiere de días largos para inducción de la floración.
- **Radiación solar:** Es una planta exigente en luz, sobre todo al establecer los semilleros, por lo general se requieren 20 000 lux para un buen crecimiento de las hojas.
- **Temperatura:** El crecimiento ocurre entre temperaturas ligeramente arriba de 0°C y los 25°C, con un rango óptimo de 15-24°C, resiste a temperaturas hasta de -6°C y acelera su floración a temperaturas por debajo de los 10°C.

- **Precipitación:** Requiere entre 380 y 500 mm de agua por ciclo vegetativo.
- **Humedad relativa:** La col es exigente en humedad del aire debido a su desarrollo foliar, su requerimiento oscila entre 60 y 90%.

#### 4.1.5.2. Requerimientos edáficos

- **Profundidad de suelo:** requiere una profundidad de suelo entre 25-35 cm.
- **Textura:** suelos de textura franca o franca-limosa, pero bien drenados, prefiere suelos de textura limo-arenosa
- **Drenaje:** Requiere de suelos con buen drenaje.
- **pH:** no tolera suelos ácidos, su pH oscila entre 6,5 y 7,5.
- **Fertilización química:** Para producir  $29 \text{ t ha}^{-1}$ , se requiere un promedio de  $121 \text{ kg/ha}^1$  de N,  $32 \text{ kg/ha}^{-1}$  de  $\text{P}_2\text{O}_5$ ,  $106 \text{ kg/ha}^{-1}$  de  $\text{K}_2\text{O}$ ,  $5 \text{ kg/ha}^{-1}$  de  $\text{MgO}$ ,  $21 \text{ kg/ha}^{-1}$  de  $\text{CaO}$  y  $21 \text{ kg/ha}^{-1}$  de S, se estima que en una hectárea de cultivo de col se extraen 200-300 kg de N, 85-100 kg  $\text{P}_2\text{O}_5$ , 250-500 kg  $\text{K}_2\text{O}$ .

#### 4.1.6. Importancia económica y alimenticia

##### 4.1.6.1. Importancia económica

La producción de hortalizas en el Ecuador se destaca por su importancia económica, el cultivo de col se ha convertido de manera gradual en un producto de mayor importancia, ya que se lo puede cultivar de manera casera en pequeñas o medianas superficies y su cosecha se la comercializa en los supermercados de las ciudades y unas pequeñas cantidades son destinadas para mercados locales (Amaya Ruiz, 2002).

Además, de ser usado como producto alimenticio, posee cierto valor medicinal, debido, a que ayuda al tratamiento externo de heridas, úlceras de la piel, quemaduras, por sus propiedades cicatrizantes. De igual manera, las hojas de la col pueden ser usadas como forraje para el ganado o picado como alimento de aves de corral (Reyes-Pérez et al., 2017).

##### 4.1.6.2. Importancia alimenticia

La col es una verdura que tiene un gran valor dietético debido a su baja cantidad en grasas y rica como fuente de calcio, potasio, proteínas vegetales y vitaminas A y C. Además, de ser rica en vitamina A y ácido ascórbico, con cantidades apreciables de

riboflavina, niacina, Fe y Ca (López, 2010). También es importante por su alto contenido en fibra (soluble e insoluble), lo que favorece el tránsito intestinal y ayuda a combatir el estreñimiento, además de contribuir a la prevención de diversas enfermedades (Rivera Martínez et al., 2014).

(Rivera Martínez et al., 2014) mencionan que cien gramos de col contienen 2,2 gramos de proteína, 4,1 de carbohidratos, 1,5 de fibras, 49 miligramos de Calcio 130 unidades internacionales de vitamina A y 47 miligramos de vitamina C. Por sus diferentes cualidades lo convierte a este en un producto recomendable para incorporar en la dieta familiar.

## **4.2. Microorganismos bioestimulantes**

Son considerados como sustancias o productos que contiene microorganismos vivos y que, al ser aplicado al suelo, semillas o raíces de las plantas, coloniza la rizosfera y promueve el crecimiento vegetal a través del incremento de la provisión o disponibilidad de nutrientes para la planta (Anahita et al., 2017). Estos productos contienen cepas seleccionadas de microorganismos benéficos del suelo o de la planta, cultivadas de manera artificial en laboratorio y formuladas en soportes adecuados, de tal manera que llegan a mejorar la fertilidad del suelo y la productividad de los cultivos (Berg et al., 2017). Estos productos han sido utilizados durante décadas, pero actualmente se está buscando otro enfoque con el fin de generar soluciones que tengan el menor impacto posible en el ecosistema que se apliquen, además de ser productos de fácil comercialización (Horche, 2019).

### **4.2.1. *Azospirillum* spp.**

#### **4.2.1.1. Definición y clasificación**

Es un género de bacterias de vida libre, gramnegativas (Sangoquiza Caiza et al., 2018). Hasta la actualidad se han identificado 15 especies de *Azospirillum*, se encuentran ampliamente distribuidas a nivel mundial, donde la mayoría han sido detectadas en zonas templadas, tropicales y subtropicales (Domingues Duarte et al., 2020).

#### **4.2.1.2. Importancia**

Las bacterias de este género poseen la capacidad de fijar N<sub>2</sub> atmosférico, para luego proporcionar a las plantas nitrógeno asimilable además de promover la liberación

de hormonas, como (AIA) y auxinas, lo que da como resultado una estimulación para la ramificación de las raíces y desarrollo de pelos radiculares (33-40%) (Kapulnik et al., 2008). Además, de estar involucradas en una mejor absorción de minerales y agua para las plantas contribuyendo al crecimiento y aumento del rendimiento de los cultivos (Omar et al., 2015).

#### **4.2.1.3. Uso en la agricultura**

Estas especies son capaces de promover la producción agrícola en diferentes suelos y condiciones climáticas. El efecto sobre las plantas parece ocurrir al inicio del desarrollo y la intensidad de dicho efecto depende de las condiciones del medio ambiente, del suelo, de la especie vegetal, de las formas de cultivo y de la concentración óptima del inóculo ( $1 \times 10^5$  a  $1 \times 10^8$ ) UFC unidades formadoras de colonias (Omar et al., 2015). Los aumentos son significativos en varios parámetros de crecimiento, los cuales en numerosos casos elevan el rendimiento del cultivo desde un 5% hasta un 30%, cuando reemplazan a fertilizantes con alto contenido de N (Okon & Labandera-Gonzalez, 2004).

#### **4.2.2. *Azotobacter* spp.**

##### **4.2.2.1. Definición y clasificación**

Es un género de bacterias de vida libre, Gramnegativas que tienen la capacidad de fijar nitrógeno atmosférico, dentro de este género se encuentran al menos 7 especies clasificadas (Sumbul et al., 2020). Se encuentran ampliamente distribuidas en distintos entornos ambientales como suelo, agua, superficies de hojarasca y la rizosfera de las plantas (Mazinani & Asgharzadeh, 2014).

##### **4.2.2.2. Importancia**

El uso de *Azotobacter* como biofertilizante puede incrementar tanto el crecimiento como rendimiento de cultivos en hortalizas hasta un (40%) y gramíneas (15-20%) en comparación a los fertilizantes tradicionales (Zavala et al., 2020). Estos organismos son utilizados como bioinoculantes y como fijadores de nitrógeno ya que tienen la capacidad de crecer rápidamente y fijar grandes cantidades de nitrógeno; es capaz de convertir el nitrógeno atmosférico en amoníaco, para que luego este sea utilizado por las plantas (Sumbul et al., 2020).

#### **4.2.2.3. Uso en la agricultura**

Su uso es de vital importancia en la producción agrícola debido a que tiene la eficiencia de fijar alrededor de 20 kg de N/ha/por año y, por lo tanto, puede ser aplicada de manera satisfactoria en la producción de cultivos como una alternativa para la reducción y uso de fertilizantes nitrogenados minerales (Escobar et al., 2011). Su aplicación en cultivos de importancia agrícola puede reducir la necesidad de fertilizantes N hasta en un 50% (Romero-Perdomo et al., 2017).

#### **4.2.3. *Pseudomonas spp.***

##### **4.2.3.1. Definición y clasificación**

Son bacterias aeróbicas, Gramnegativas, contienen aproximadamente 191 especies (Kumar et al., 2017). Por sus características genéticas y sus amplias capacidades metabólicas pueden estar distribuidas en diversos ambientes y llegar a colonizar diferentes tipos de suelos (Álvarez-García et al., 2020).

##### **4.2.3.2. Importancia**

Tienen la capacidad de fomentar el crecimiento de las plantas mediante sus diversos mecanismos como la solubilización de P, la producción de hormonas y sideróforos. Además, posee ciertas características como ser un buen biocontrolador, puede adherirse a las partículas del suelo y proliferar en la rizosfera, utilizar los exudados de las raíces y las semillas y la prototrofia, rápida colonización de la rizosfera, crecer rápidamente (Chaudhari et al., 2017).

Este género actúa en las plantas de dos formas, directamente por la supresión de patógenos, e indirectamente a través de la secreción de fitohormonas y vitaminas, o por el incremento de la absorción de minerales por la planta (Hernández-Rodríguez, 2004).

##### **4.2.3.3. Uso en la agricultura**

Las bacterias de este género pueden ejercer un efecto directo en las plantas a través de la síntesis de fitohormonas, vitaminas, estimulación de la germinación de semillas y emergencia de plántulas, inhibición de la síntesis de etileno y solubilización de fósforo inorgánico (Santoyo et al., 2012).

En virtud de su capacidad de adaptación fisiológica y versatilidad metabólica, son un agente clave del cambio de suelo en los agroecosistemas, con efectos positivos, en cuanto a tolerancia a altos contenidos de sales, además, aumento en el rendimientos de cultivos y mejoras la calidad del suelo (Brown, 2010).

### **4.3. Importancia de los microorganismos en la agricultura**

Los se pueden emplear para el desarrollo de bioproductos, como biofertilizantes, fitoestimuladores, biofungicidas o bioplaguicidas (Cruz-Cárdenas et al., 2021). La mayoría de estos contienen una o varias cepas con diferentes mecanismos de acción, por lo que pueden emplearse en diferentes etapas del ciclo del cultivo; sin embargo, es necesario desarrollar la formulación, producción y los sistemas de administración adecuados para garantizar la supervivencia y el establecimiento efectivo en la planta (Pérez & Casas, 2005).

Los productos a base de microorganismos contienen principios activos, que actúan sobre la fisiología de las plantas aumentando su desarrollo y mejoran su productividad en la calidad del fruto, además de contribuir a mejorar la resistencia de las especies vegetales, ante diversas enfermedades (González et al., 2012).

### **4.4. Propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo**

El suelo juega un papel importante en la sostenibilidad de los ecosistemas tanto naturales como agrarios. Además, de servir como soporte a todos los seres vivos tanto, vegetales como animales, a los que suministra el agua y los nutrientes que necesitan (Espejo Serrano, 2016). Tienen varias características que se clasifican en propiedades físicas, químicas y biológicas. La primera describe su estructura y utilización del suelo ya que estas determinan su capacidad de oxígeno, movimiento del agua, penetración de raíces y el comportamiento químico y biológico del mismo (Velázquez et al., 2022).

#### **4.4.1. Propiedades físicas**

Determinan en gran medida, la capacidad de muchos de los usos como la rigidez y fuerza de sostenimiento, la facilidad para la penetración de las raíces, la aireación, la capacidad de drenaje y de almacenamiento de agua, la plasticidad, y la retención de nutrientes (Velázquez et al., 2022). Entre sus principales características encontramos: estructura, densidad aparente, estabilidad de agregados, infiltración, profundidad conductividad hidráulica y capacidad de almacenamiento (Cruz et al., 2004).

#### **4.4.1.1.La textura**

Representa el porcentaje en el cual se encuentran los elementos que constituyen al suelo; arena gruesa, arena media, arena fina, limo y arcilla. Un suelo posee una buena textura cuando proporciona los elementos necesarios que le dan la posibilidad de ser un soporte capaz para favorecer la fijación del sistema radicular y nutrición de plantas (Urriola S., 2020).

#### **4.4.1.2.Estructura**

Hace referencia al arreglo y la organización de las partículas constitutivas del suelo, se la considera una propiedad física compleja debido a que es condicionada parcialmente por propiedades intrínsecas, como la textura y composición mineralógica, y por factores extrínsecos, como el tipo de uso y sistema de manejo a que este sometido el suelo (Aguirre, 2023).

#### **4.4.1.3.Densidad Aparente**

Es la relación entre la masa del suelo seco y el volumen total del mismo, incluyendo el espacio poroso. Es una característica más importantes del suelo, a través de ella, se puede calcular el espacio poroso, transformar la humedad gravimétrica en volumétrica, conocer el peso de la capa arable, para calcular láminas de riego, etc (Aguirre, 2023).

#### **4.4.1.4.Porosidad**

Esta propiedad hace referencia al sistema de espacios vacíos o poros del suelo, el cual impacta directamente sobre el balance del agua, difusión de gases y el crecimiento radicular. Es una de las propiedades que, con mayor facilidad, sufre alteración por las operaciones de labranza y manejo del suelo (Aguirre, 2023).

#### **4.4.2. *Propiedades químicas***

Se ven influenciadas en la disponibilidad de nutrientes, el crecimiento de las plantas, el destino de los contaminantes, la actividad biológica, entre otras. Entre las principales propiedades químicas tenemos: pH, materia orgánica, capacidad de intercambio catiónico, saturación de bases, suma de bases, macro y micronutrientes (Cruz et al., 2004).

#### 4.4.2.1. pH

Es el indicador principal de los nutrientes para las plantas, expresa el grado de acidez del suelo, es decir la concentración (en forma logarítmica) de iones de hidrógeno ( $H^+$ ) que existen en el suelo (Soto & Desamparados, 2018). Los valores del pH en el suelo varían entre 3,5 muy ácidos y 9,5 muy alcalinos; suelos ácidos menores a 5,5 tienden a presentar grandes cantidades de aluminio y manganeso, y suelos muy alcalinos mayores a 8,5 tienden a dispersarse (FAO, 2023).

#### 4.4.2.2. Materia orgánica

Son todos los materiales orgánicos que se encuentran en los suelos sea cual sea su origen o estado de descomposición, representa del 95% al 99% del total de peso seco de los seres vivos, contiene aproximadamente un 5% de nitrógeno (Tortora et al., 2007). La materia orgánica del suelo cumple un papel relevante en el mantenimiento y la mejora de las propiedades físicas, químicas y biológicas (Julca-Otiniano et al., 2006).

#### 4.4.2.3. CIC (Capacidad de intercambio catiónico)

El CIC es la carga eléctrica negativa de las arcillas y materia orgánica del suelo, varía dependiendo del pH, en función del tipo de arcilla. Es importante debido a que se puede conocer el porcentaje de saturación de bases o cantidad relativa de bases en el suelo lo cual determinara su fertilidad (López Báez et al., 2019)

Representa la cantidad de cationes que las superficies pueden retener ( $Ca^{++}$ ,  $Mg^+$ ,  $Na^+$ ,  $K^+$ ,  $NH_4^+$ , etc.). Estos son intercambiados por otros cationes o iones de hidrogeno presentes en el suelo y liberados por las raíces, el nivel de CIC indica las características del suelo a retener cationes, disponibilidad y cantidad de nutrientes a la planta, su pH potencial, etc. (Tabla 2). Valores bajos de CIC en el suelo indican baja habilidad para retener nutrientes, arenoso o pobre en materia orgánica (FAO, 2023).

**Tabla 2.** Niveles de capacidad de intercambio catiónico

<b>CIC Total</b>	<b>Nivel</b>	<b>Valoración</b>
meq/100g		
0 - 10	Muy bajo	Suelo muy pobre
10 - 20	Bajo	Suelo pobre
20 - 35	Medio	Suelo medio
35 - 45	Medio - alto	Suelo rico
>de 45	Alto	Suelo muy rico

#### 4.4.2.4.Saturación de bases

Es la suma de los cationes principales (Ca, Mg, Na y K) con respecto a la CIC realizados en el análisis de suelos. El resto del valor hasta el 100% estará ocupado por hidrogeniones ( $H^+$ ) y otras bases. Cuanto más básico sea el suelo, mayor será el porcentaje de saturación de las bases; cuanto más alto sea el porcentaje de saturación, mayores posibilidades de retener cationes(Tabla 3) (Valero, 2004). Cuando el pH del suelo es 7 (neutro) su saturación de bases llega a un 100% y significa que no se encuentran iones de hidrógeno en los coloides; tiene una estrecha relación con el pH del suelo. Se utiliza únicamente para calcular la cantidad de limo requerida en un suelo ácido para neutralizarlo (FAO, 2023).

**Tabla 3.** Porcentaje de saturación de bases

<b>Saturación</b>	<b>Valoración</b>
< 50%	Suelo muy ácido
50% - 90%	Suelo medio
>90%	Suelo saturado de bases

#### 4.4.2.5.Suma de bases

Hace referencia a la suma de cationes como (Ca, Mg, Na y K) expresada en  $cmol^+/kg$ ; nos indica cual es el grado de resistencia al cambio de pH que posee el suelo, ante un determinado valor de acidez. La importancia de conocer los niveles de (Ca, Mg, K y Na) a un valor determinado de pH, está en que no todos los suelos tienen la misma respuesta ante igual grado de acidez (Filippi, 2011).

(Moro, 2015) nos presenta los valores óptimos de las relaciones de los cationes, para los análisis de suelo (Tabla 4).

**Tabla 4.** Relaciones cationes con su interpretación

<b>Relación Ca/mg</b>	<b>Valoración</b>
< 1	Deficiencia de Ca
1 – 2	Bajo nivel de Ca respecto al Mg
2 - 5	Ideal
> 5	Deficiencia de Mg
<b>Relación Mg/K</b>	
< 1	Deficiencia de Mg
1 – 3	Aceptable

3	Ideal
3 – 8	Aceptable
> 18	Deficiencia de K
<b>Relación Ca/K</b>	<b>Valoración</b>
< 30	Adecuado
> 30	Deficiencia de K
<b>Relación Ca + Mg/K</b>	<b>Valoración</b>
< 40	Adecuado para K
> 40	Deficiencia de K

#### 4.4.2.6. Macro y micronutrientes

Las plantas requieren un aporte equilibrado de algunos nutrientes fundamentales para que esta obtenga un crecimiento normal. Entre los 16 nutrientes esenciales para un óptimo desarrollo de las plantas tenemos los macros y micro nutrientes dependiendo de su requerimiento para el crecimiento de las plantas. Los macronutrientes son aquellos que las plantas necesitan en grandes cantidades como: Carbono, Hidrógeno, Nitrógeno, Fósforo, Potasio, Calcio, Magnesio y Azufre. Por otro lado, los micronutrientes se requieren en pequeñas cantidades, su insuficiencia puede dar lugar a carencia y su exceso a toxicidad, entre ellos tenemos: Hierro, Zinc, Manganeso, Boro, Cobre, Molibdeno y Cloro (FAO, 2023).

#### 4.4.3. *Propiedades biológicas*

Es la ciencia encargada del estudio de los organismos presentes en el suelo, que actúan sobre este modificando su composición, su estructura y funcionamiento (Cruz-O'Byrne et al., 2023). Los suelos están llenos de organismos vivos como bacterias, hongos, insectos, lombrices y otros; los cuales mientras desarrollan su vida van prestando un servicio muy útil ayudando a mantener la calidad del suelo. Son los encargados de descomponer la materia orgánica, ayudando a unir las partículas del suelo para formar los agregados; suelos con una actividad biológica muy alta tienden a tener pocos problemas con plagas y enfermedades (Lee, 2023).

#### **4.5. Antecedentes**

Pilatuña Quishpe et al. (2021) realizó un trabajo donde evaluaron la eficiencia agronómica de aislados de microorganismos de diferentes suelos con cultivos nativos andinos, para la germinación y el crecimiento de plántulas de tomate y lechuga. Se seleccionaron bacterias del género *Azotobacter* sp., donde se observó un adelanto significativo en cuanto a la germinación de 3-4 días. Además, se evidenció un aumento en altura de las plantas y número de hojas, tanto en tomate como lechuga en comparación con el tratamiento sin inocular.

Romero et al., (2016) con el objetivo de proponer biotecnologías para la producción sustentable de almácigos de hortalizas, evaluó alternativas de nutrición en plántulas de brócoli, cebolla, lechuga y tomate, donde inocularon bacterias del género *Azospirillum* sp., Encontrando diferencias significativas en altura, área foliar, peso seco, diámetro del fruto y peso del bulbo, la aspersión foliar de los microorganismos promotores del crecimiento vegetal, constituyen una alternativa promisoriosa y viable para la producción de plántulas de hortalizas.

Aguilar et al. (2021) evaluaron el desarrollo y producción de la col (*Brassica oleracea* var. Royal vantage) bajo diferentes presiones osmóticas y biofertilizada con consorcios bacterianos. Las semillas inoculadas con consorcios bacterianos presentaron un mayor porcentaje de emergencia (100%), así como la tasa de emergencia más alta (20,5), en comparación las sin inoculadas. Así como, plantas más altas y con un tallo de mayor diámetro; el peso de la biomasa fresca y la acumulación de materia seca se duplicaron en las plantas inoculadas.

## 5. Metodología

### 5.1. Localización de la zona de estudio

La presente investigación se desarrolló en La Quinta Experimental Docente la Argelia (QEDA) de la Universidad Nacional de Loja, perteneciente al barrio La Argelia del cantón y provincia de Loja (Figura 1). Su localización geográfica es de  $4^{\circ}02'19,2''S$  -  $79^{\circ}12'00,6''W$ , con una altitud de 2150 m.s.n.m. Según Holdridge (1967), ecológicamente la Estación Experimental “La Argelia - Loja”, corresponde a una zona de vida Bosque seco montano bajo (bs-Mb) (Luzón, 2016). La zona de estudio presenta una temperatura promedio de  $18^{\circ}C$ , precipitación media anual de 1 058 mm. Sus suelos generalmente son ácidos con un pH de 4,5 a 6,0 y de clase textural tipo franco limoso.



Figura 1. Mapa de ubicación geográfica del área de estudio

## **5.2. Metodología general**

Primeramente y antes de la implementación del cultivo se procedió a realizar el análisis correspondiente de las propiedades del suelo, para ello en el área a implementar el cultivo se recolectó un total de 10 submuestras de 100 g a 20 cm de profundidad a manera de zigzag, para finalmente mezclar todas estas submuestras y formar una sola muestra de 1 kg que se envió al laboratorio certificado del Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias (INIAP) para los respectivos análisis de las propiedades físicas, químicas y biológicas.

Para la preparación del terreno se desarrollaron labores como recolección de malas hierbas o desperdicios de la siembra anterior, con el fin de dejar el terreno libre de impurezas (anexo 3). Luego se procedió a la delimitación de la zona a implementar el cultivo, para diseñar las diversas parcelas y caminos. Se utilizaron semillas de col (var. capitata) las cuales tienen un porcentaje de germinación del 95%, estas fueron sembradas en bandejas de germinación o semilleros, para su posterior traslado a condiciones de campo. Por último, se hizo la aplicación de los diferentes tratamientos tanto en fase de semillero como a condiciones de campo.

### **5.2.1. Tipo de investigación**

La presente investigación es de tipo experimental, debido a que se estudió la recopilación de información y toma de datos, de manera cuantitativa y posteriormente, esta información fue analizada estadísticamente. Por otro lado, el alcance de la investigación fue de tipo exploratorio, además de ser comparativo causal debido a que se busca conocer el efecto de la aplicación de los microorganismos sobre el cultivo de col.

### **5.2.2. Diseño experimental**

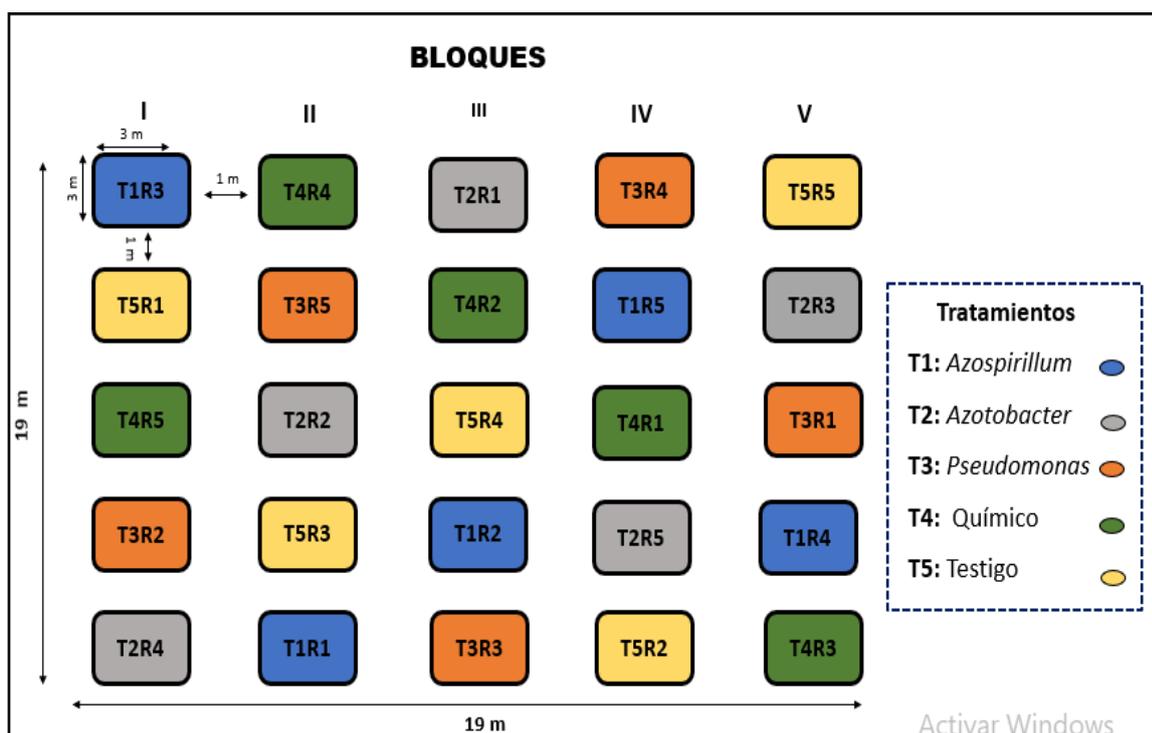
El presente ensayo se estableció mediante un diseño de bloques completamente al azar (DBCA), en un área de 361 m<sup>2</sup> donde se diseñó un total de 5 tratamientos con 5 repeticiones cada uno, dando un total de 25 parcelas. Cada UE representó un área de 9 m<sup>2</sup>, en la cual sus dimensiones fueron de 3 m de ancho por 3 m de largo, además de una distancia de 1 m entre cada parcela. Cada parcela estuvo conformada por 35 plantas, con un marco de plantación de 40 cm entre planta y 60 cm entre hilera, dando un total de 875 plantas en toda la superficie plantada (Tabla 5).

**Tabla 5.** Delineamiento del diseño experimental para la evaluación de microorganismos bioestimulantes sobre el cultivo de col en la Quinta Experimental la Argelia.

Diseño	Cantidad
Número de tratamientos	5
Número de repeticiones por tratamiento	5
Número total de tratamientos	25
Número de plantas por tratamiento	35
Número total de plantas	875
Distancia de parcelas	3m x 3m
Distancia entre planta	40 cm
Distancia entre surcos	60 cm
Distancia entre parcelas	1m
Unidad experimental	1 parcela
Largo del terreno	19 m
Ancho del terreno	19 m
Superficie total de terreno	361 m <sup>2</sup>

### 5.2.3. Diseño experimental en campo

Se estableció un total de 5 tratamientos donde se evaluó el efecto de 3 microorganismos bioestimulantes (*Pseudomonas* spp., *Azospirillum* spp., *Azotobacter* spp.), además, de un tratamiento químico (NPK) y un tratamiento testigo (Figura 2).



**Figura 2.** Diseño experimental de campo para evaluar la aplicación de microorganismos bioestimulantes en el cultivo de col.

#### 5.2.4. Modelo matemático

Al tratarse de un diseño de bloques completamente al azar (DBCA), se utilizó el siguiente modelo matemático:

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

Donde:

$Y_{ij}$  = Variable respuesta

$\mu$  = Media global de la variable respuesta

$\tau_i$  = Efecto del tratamiento

$\beta_j$  = Efecto del bloque

$\varepsilon_{ij}$  = Error experimental

#### 5.2.5. Manejo de la investigación

##### 5.2.5.1. Elaboración de semillero y siembra

Para la fase de semillero se utilizó el invernadero de la quinta experimental La Argelia de la Universidad Nacional de Loja, donde se hizo la recolección de tierra de montaña para la esterilización y su posterior preparación de sustrato para la siembra, el cual fue 1-1 tierra + turba (anexo 1). Una vez listo el sustrato y humedecido se lo procedió a colocar en las bandejas germinadoras, en la cual se colocó dos semillas de col por cada alveolo, los primeros 3 días las bandejas fueron colocadas dentro de fundas negras con la finalidad de conservar humedad y acelerar la germinación (anexo 2). Para luego continuar con sus cuidados hasta que las plantas estén en condiciones adecuadas y puedan ser llevadas a condiciones de campo (anexo 6).

##### 5.2.5.2. Aplicación de microorganismos bioestimulantes en dos momentos (semillero y campo)

Las cepas de los microorganismos bioestimulantes a utilizarse (*Azospirillum*, *Azotobacter*, *Pseudomonas*), se encontraron en una concentración de  $1 \times 10^8$  UFC/ml y fueron obtenidas del laboratorio de biotecnología de la Universidad Nacional de Loja, su aplicación se dio en dos momentos al igual que el tratamiento químico (NPK 10-30-10):

**Primer momento:** En la fase de semillero en el día uno de la siembra 1 ml de solución por cada alveolo.

**Segundo momento:** En fase de campo se aplicó a los 30 días después del trasplante en la base del tallo y parte del suelo, en una dosis de 100 ml de cada tratamiento por bomba de 20L (anexo 5).

### **5.2.5.3. Delimitación del terreno**

Con la ayuda de una piola, una cinta, estacas y herramientas, se procedió a delimitar el área donde se implementó el experimento, considerando las medidas de todas las UE y caminos, considerando las siguientes medidas 19 m de largo por 19 m de ancho.

### **5.2.5.4. Elaboración de caminos y parcelas**

Días antes del trasplante, con la ayuda de piolas y estacas, se procedió a marcar las diferentes parcelas y los caminos, con las dimensiones establecidas, para luego delimitar los caminos a 20 cm de profundidad por 1 m de ancho, las parcelas se las emparejaron con la ayuda de un listón de madera con el fin que estas queden a un mismo nivel (anexo 4).

### **5.2.5.5. Trasplante**

Para realizar esta actividad primeramente se evidenció que las plantas se encontraran en condiciones adecuadas para poder ser llevadas al campo, esto se dio cuando las plantas presentaron una altura significativa y dos hojas verdaderas, una vez en el campo se procedió a trasplantar según sus respectivos tratamientos (anexo 7 y 8).

### **5.2.5.6. Riego**

Para el sistema de riego se hizo uso aspersores, los cuales fueron utilizados con una frecuencia de una vez a la semana o cuando el cultivo requería de riego, durante un periodo de 20 minutos.

### **5.2.5.7. Control de malezas y aporque**

Esta labor se realizó cuando se evidenció las plantas invasoras, además cuando fue necesario se realizó el aporque correspondiente.

### **5.2.5.8. Cosecha**

Cuando se evidenció que más del 50% de las cabezas de col (compactas, pero sin reventarse) alcanzaron su tamaño y consistencia, antes que alcancen su punto de madurez, se realizó la cosecha correspondiente (anexo 10).

### **5.2.5.9. Manejo integrado de plagas y enfermedades**

Para el MIP se realizó un control de las principales plagas presentes en el cultivo de col como el gusano cortador (*Agrotis ipsilon*) y el pulgón de la col (*Brevicoryne brassicae*) para lo cual se utilizó un producto de origen natural de nombre comercial Neem-X, el cual es un insecticida-nematicida de origen botánico, con su ingrediente activo Azadirachtina, su principal efecto sobre larvas es el bloqueo del proceso de metamorfosis, además de provocar malformaciones en cualquiera de los estadios. Se realizó un total de 4 aplicaciones, las dos primeras en la etapa de crecimiento cada 8 días, y en la fase final la formación del repollo se realizó las otras 2 aplicaciones, en dosis de 60 ml/bomba.

Para el control de Botritis (*Botrytis cinerea*), la cual se presentó en la etapa final del cultivo se realizó un control cultural a base de reducir la cantidad de riego y limpieza de malas hierbas al contorno de las plantas.

### **5.3. Metodología para el primer objetivo específico:**

**“Determinar el efecto de la aplicación de microorganismos bioestimulantes sobre el crecimiento y rendimiento del cultivo de col (*Brassica oleracea* L.) bajo condiciones de campo en la quinta experimental la Argelia”**

Para dar cumplimiento a este objetivo se seleccionaron 10 plantas al azar de cada UE eliminando el efecto borde de cada parcela; al trasplante se midió la altura de la planta. Para las demás variables se evaluaron en las 10 plantas seleccionadas luego de los 15 días DDT y a partir de ahí se midieron con frecuencia quincenal hasta la etapa de cosecha; en estas se evaluaron las variables de diámetro, peso de la pella y rendimiento al momento de la cosecha (anexo 9).

#### **5.3.1. Prendimiento**

Se contabilizó el número de plantas que lograron mantenerse luego del trasplante. Donde se dio la relación del número de plantas trasplantadas por el número de plantas vivas de cada UE.

### **5.3.2. Altura de la plántula al trasplante**

Esta variable se midió con una cinta métrica, desde el cuello de la misma hasta la punta del ápice, donde se determinó la altura (cm) de las plantas al momento de ser trasplantadas en campo.

### **5.3.3. Altura de la plántula**

Se realizaron mediciones periódicas (15, 30, 45, 60, 75) DDT durante el ensayo, con la ayuda de un flexómetro determinando la altura (cm), hasta que inicie la formación de la cabeza.

### **5.3.4. Número de hojas**

Se realizó un conteo manual del número de hojas de las 10 plantas por UE, se llevó a cabo a los (15, 30, 45, 60, 75) DDT hasta el inicio de la fase final la formación de la pella.

### **5.3.5. Diámetro de la pella (cm)**

Se midió el diámetro ecuatorial de la pella una vez que estas llegaron a la parte final la cosecha, con la ayuda de una cinta métrica y estos datos se expresaron en cm/pella para luego ser promediados por tratamiento.

### **5.3.6. Peso de la pella (kg)**

Se efectuó con una balanza electrónica Camry en gramos donde se tomó el peso de cada pella, esta variable se llevó a cabo al momento de la cosecha (anexo 11).

### **5.3.7. Rendimiento (t/ha)**

El rendimiento correspondió al peso del total de pellas cosechadas en cada tratamiento, los valores se expresaron en t/ha.

## **5.4. Metodología para el segundo objetivo específico:**

### **“Analizar el efecto de la aplicación de microorganismos bioestimulantes sobre las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo”**

Se tomaron muestras de suelo de 1 kg antes y después de la experimentación, tomando en cuenta la metodología propuesta por el (CIAT, 1993). Para la toma de muestras se utilizó el patrón de muestreo zig – zag en punto homogéneos a una misma distancia, con una profundidad de 20 cm. Donde se tomaron pequeñas submuestras para luego mezclar y obtener una muestra general de 1 kg; de igual manera para la fase final del ensayo se tomaron muestras de los tratamientos donde se realizó la aplicación

microorganismo bioestimulantes. Estas muestras fueron enviadas al Laboratorio de Suelos y Aguas del Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias (INIAP) para el análisis de las propiedades:

#### **5.4.1. Propiedades físicas**

Se analizó la densidad aparente y porosidad, se tomó una muestra general del suelo con 3 repeticiones al inicio de la siembra y al final de la investigación, se tomaron 3 muestras por cada tratamiento. Para la toma de muestras se requirió de un cilindro de 100 cm<sup>3</sup>, las muestras fueron llevadas al laboratorio de suelos, aguas y bromatología de la Universidad Nacional de Loja, para ser secadas en un horno a 105 °C por un periodo de 24 horas, para luego ser pesada cada muestra y sacar un promedio por cada tratamiento. Para los cálculos se utilizó las fórmulas propuestas por el CIAT (1993).

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

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

#### **5.4.2. Propiedades Químicas**

Se tomaron en cuenta macronutrientes (N, P, K, Ca, Mg, S) y micronutrientes (B, Cu, Fe, Mn, y Zn) además, de materia orgánica, pH y capacidad de intercambio catiónico del suelo en el área de experimentación.

#### **5.4.3. Propiedades Biológicas**

Se realizaron diluciones seriadas de las muestras de suelo desde 10<sup>-1</sup> hasta 10<sup>-7</sup> en condiciones estériles (cámara de flujo laminar). Se utilizó tubos de ensayo estériles que contenían 9 ml de agua destilada cada uno. Los hongos se sembraron en medio de Agar Papa Dextrosa (PDA) de la dilución 10<sup>-4</sup> y 10<sup>-5</sup> y para bacterias se sembraron en medio Agar nutriente de la solución 10<sup>-7</sup>. El volumen de inoculación fue de 0.01 ml/placa o 100 µl, las cuales fueron incubadas durante 7 días para los hongos a 28 °C y 2 días para bacterias a temperatura de 30 °C. La cuantificación de colonias para bacterias y hongos se realizó mediante la siguiente fórmula:

UFC/ml: Unidades Formadoras de Colonias por mililitro

$$UFC/gs = \frac{(\frac{\sum N^{\circ}CpC}{N^{\circ}C})}{V} * \frac{1}{FD}$$

**Donde:**

**UFC/gs:** Unidades formadoras de colonias por gramo de suelo

**$\sum N^{\circ}CpC$ :** Sumatoria del número de colonias por cada caja petri (número probable de microorganismos).

**$N^{\circ}C$ :** Número de cajas Petri

### 5.5. Análisis estadístico

Los datos obtenidos fueron tabulados en Microsoft Excel, para luego ser analizados estadísticamente mediante el software InfoStat versión libre. Se verificaron los supuestos de normalidad y homogeneidad de varianza para cada una de las variables, mediante un análisis de varianza (ANOVA) para poder determinar si los tratamientos tienen efectos significativos sobre la variable respuesta, usando un nivel de significancia  $p < 0,05$ , para determinar cuál es el mejor tratamiento realizó una prueba de comparación de Tukey con un nivel de confianza del 95 %.

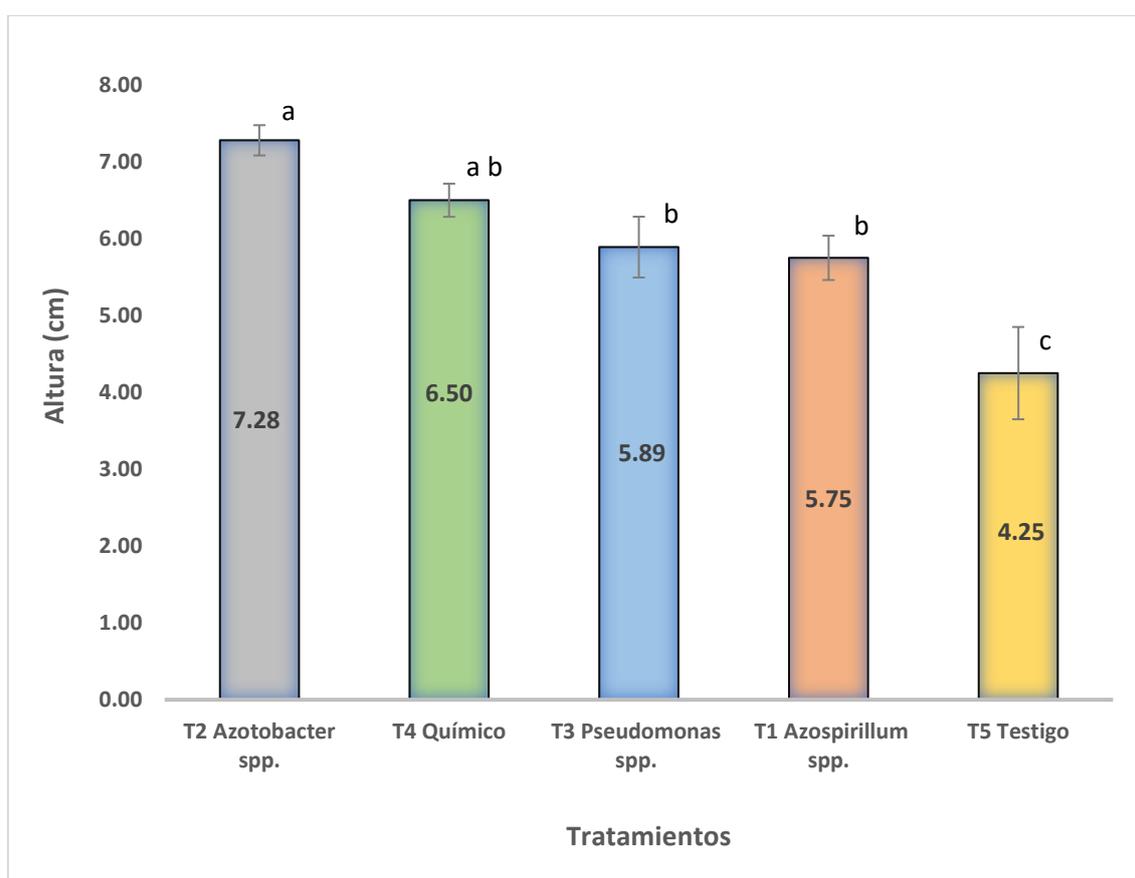
## 6. Resultados

### 6.1. Resultados para el primer objetivo

Determinar el efecto de la aplicación de microorganismos bioestimulantes sobre el crecimiento y rendimiento del cultivo de col (*Brassica oleracea* L.) bajo condiciones de campo en la quinta experimental la Argelia.

#### 6.1.1. Altura al trasplante

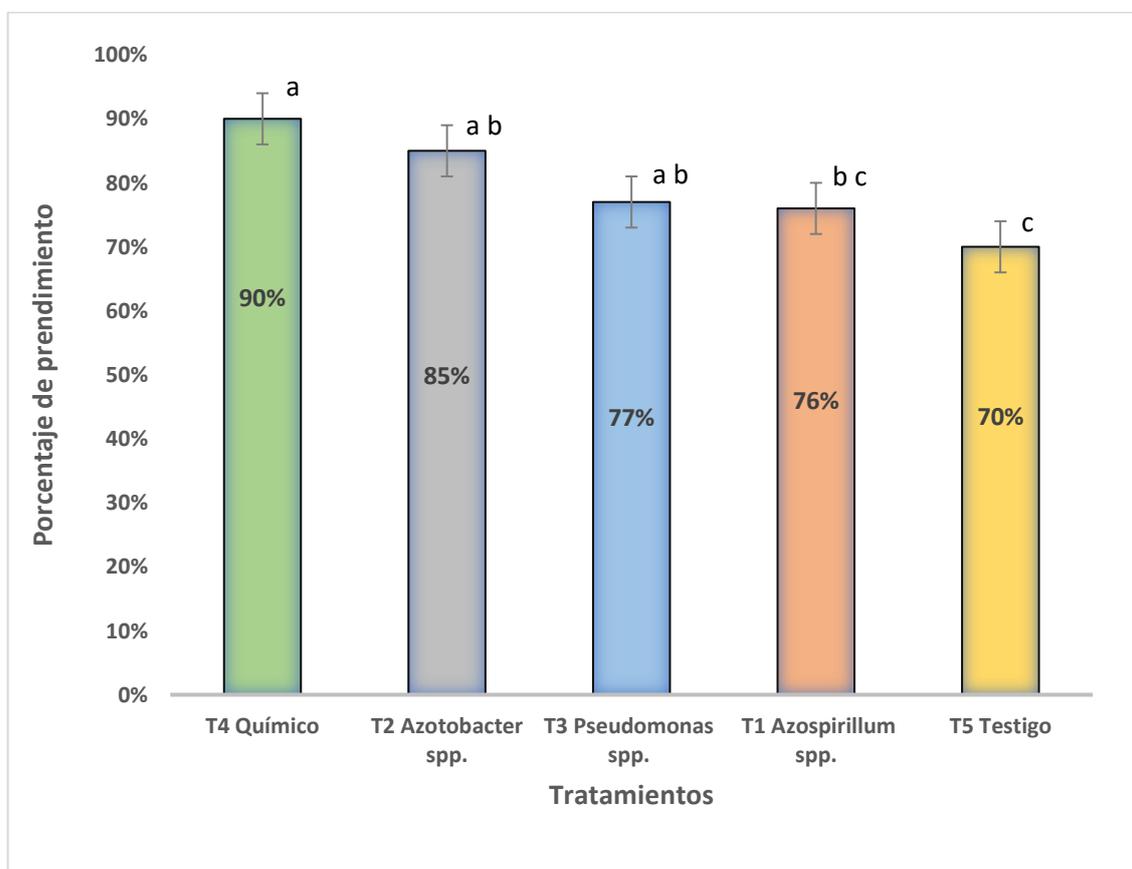
En la variable altura de la planta antes del trasplante se obtuvo efectos altamente significativos ( $p < 0,0001$ ), los tratamientos con aplicación de microorganismos bioestimulantes en especial T2 (*Azotobacter*) presentó la mayor altura con 7,28 cm; presentando diferencias con los tratamientos T1 (*Azospirillum*), T3 (*Pseudomonas*) y T5 (Testigo), el cual presentó la menor altura con 4,25 cm (Figura 3).



**Figura 3.** Efecto de la aplicación de microorganismos bioestimulantes, más un tratamiento químico (NPK) y un testigo a los 22 días después de la siembra. Medias con una letra común no son significativamente diferentes mediante la prueba de tukey ( $p > 0,05$ ).

### 6.1.2. Prendimiento después del trasplante

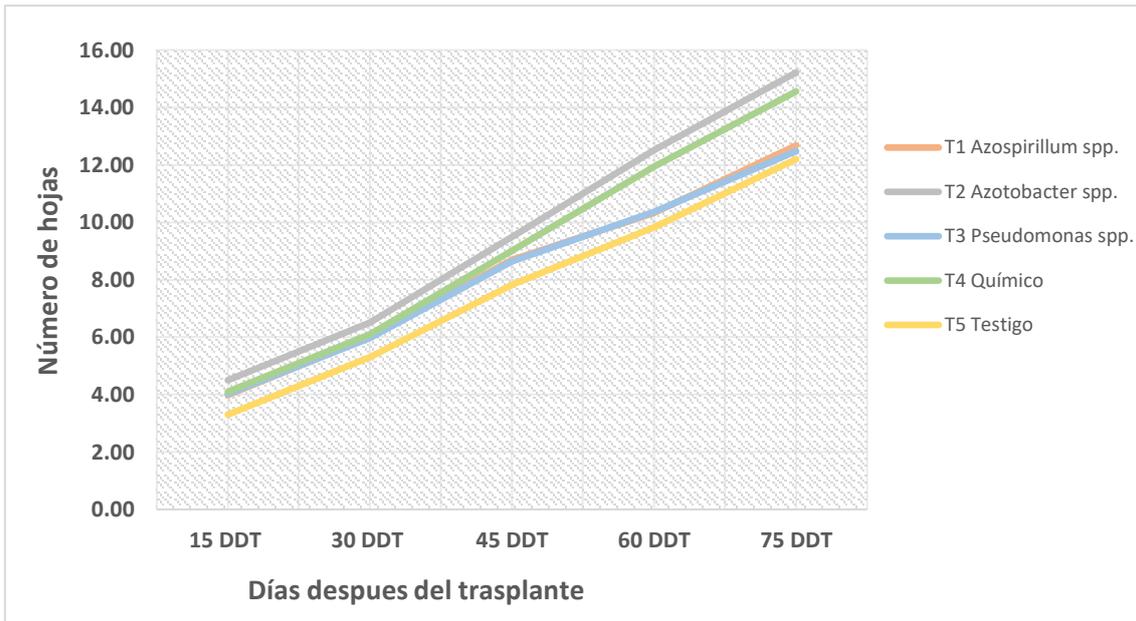
Para el porcentaje de prendimiento de las plantas de col en los distintos tratamientos, el T4 y T2 presentaron diferencias altamente significativas ( $p < 0,001$ ), con un porcentaje de prendimiento del 90 y 85% respectivamente presentando diferencias con el T1 y T5 que solo llegaron a obtener un porcentaje de prendimiento del 76% y 70% respectivamente (Figura 4).



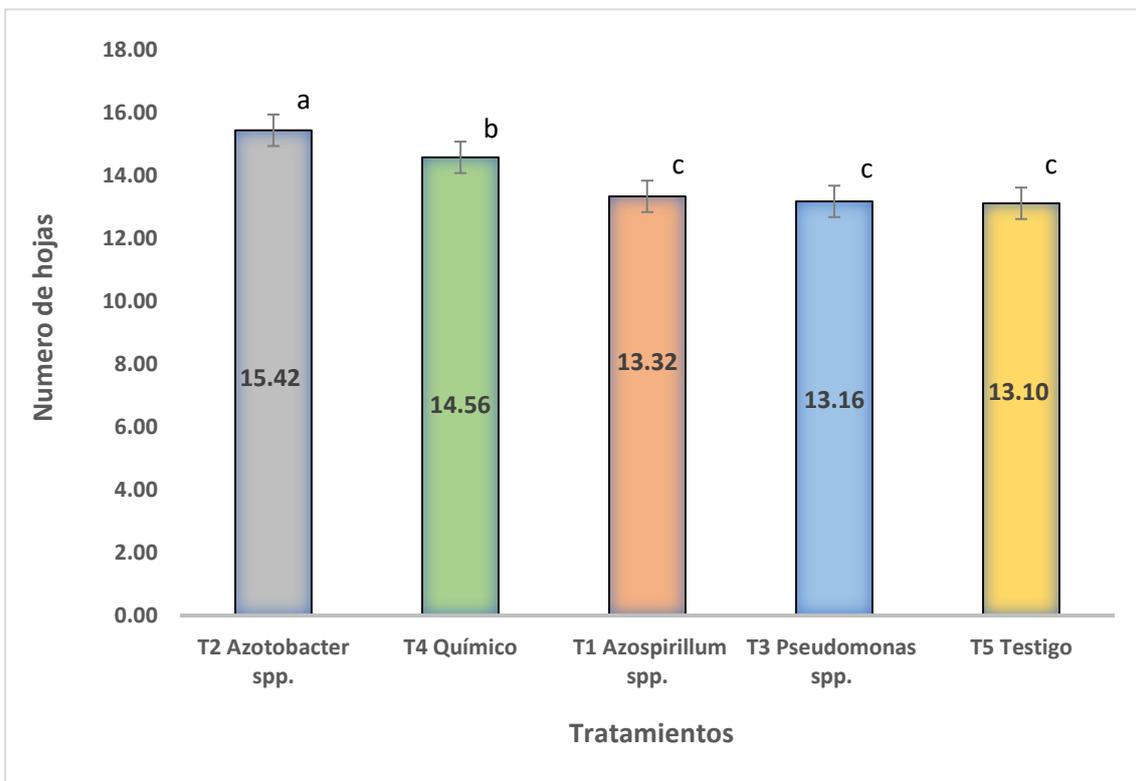
**Figura 4.** Prendimiento de plántulas de col a condiciones de campo a los 8 días después del trasplante. Medias con una letra común no son significativamente diferentes mediante la prueba de Tukey ( $p > 0,05$ ).

### 6.1.3. Número de hojas

Como se muestra en la (Figura 5) todos los tratamientos presentaron mayor número de hojas en comparación con el testigo. En base a los valores obtenidos, en la (Figura 6) se puede evidenciar los efectos altamente significativos ( $p < 0,0001$ ), el T2 obtuvo el mayor número de hojas (15, 42) a los 75 días después del trasplante; presentando diferencias significativas con los tratamientos T4, T3, T1 y T5 quienes presentaron el menor número de hojas.



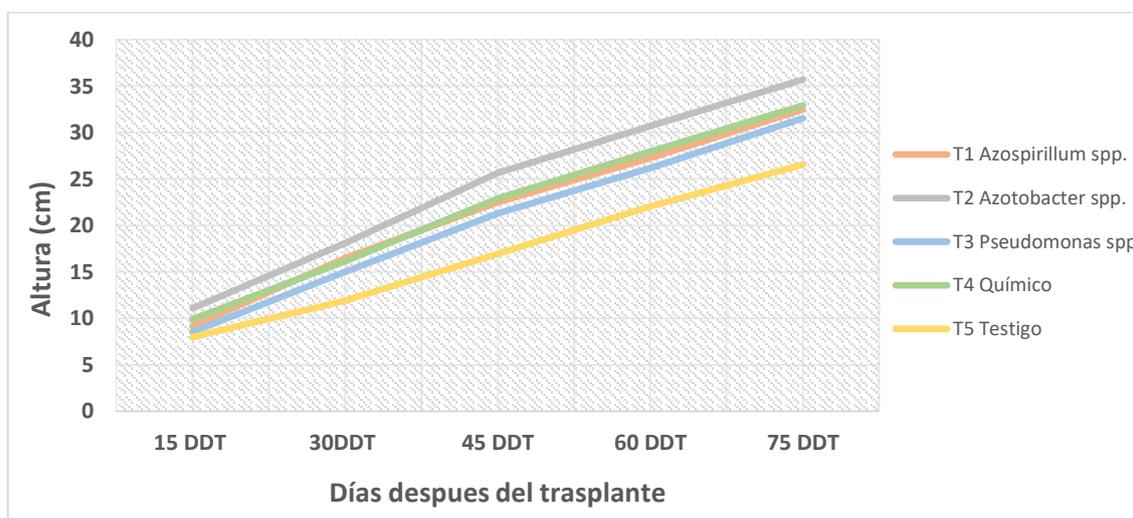
**Figura 5.** Evaluación del número de hojas en plantas de col, con la aplicación de microorganismos bioestimulantes, NPK y testigo desde los 15 hasta los 75 días después del trasplante.



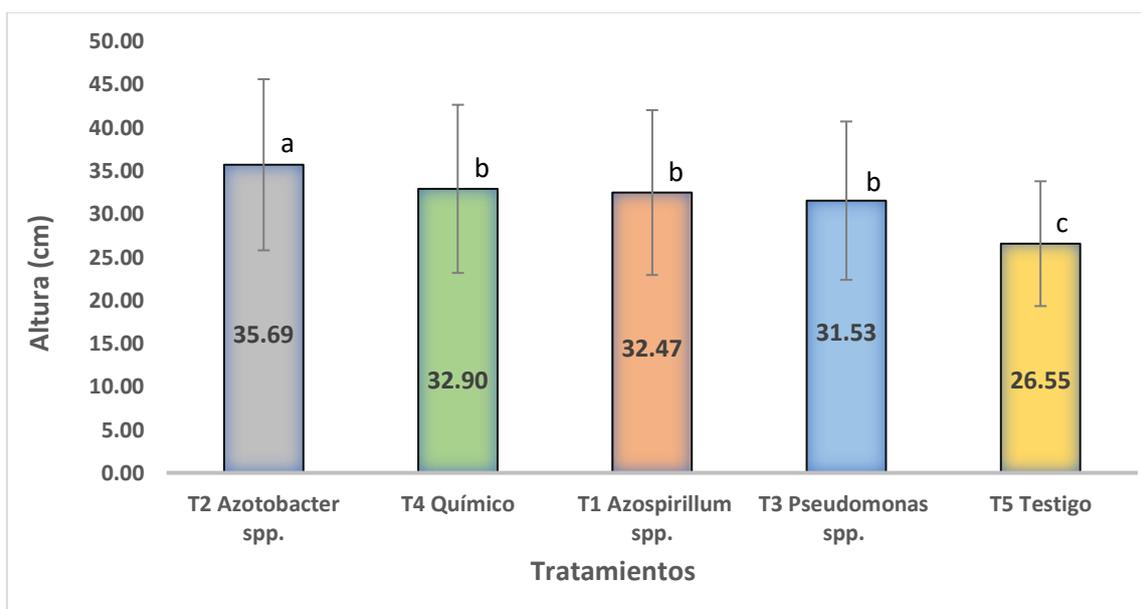
**Figura 6.** Evaluación del número de hojas en plantas de col, con la aplicación de microorganismos bioestimulantes, NPK y testigo a los 75 días después del trasplante. Medias con una letra común no son significativamente diferentes mediante la prueba de tukey ( $p > 0,05$ ).

#### 6.1.4. Altura de la planta

Como se muestra en la (Figura 7) la mayoría de los tratamientos presentaron mayor altura en comparación con el tratamiento testigo. En la (Figura 8) se evidencia los efectos altamente significativos ( $p < 0,0001$ ), el T2 contribuyó para que las plantas de col presenten mayor altura que en promedio fue de 36 cm a los 75 días después del trasplante; mientras que los tratamientos T4, T1, T3 y T5 presentaron los valores más bajos.



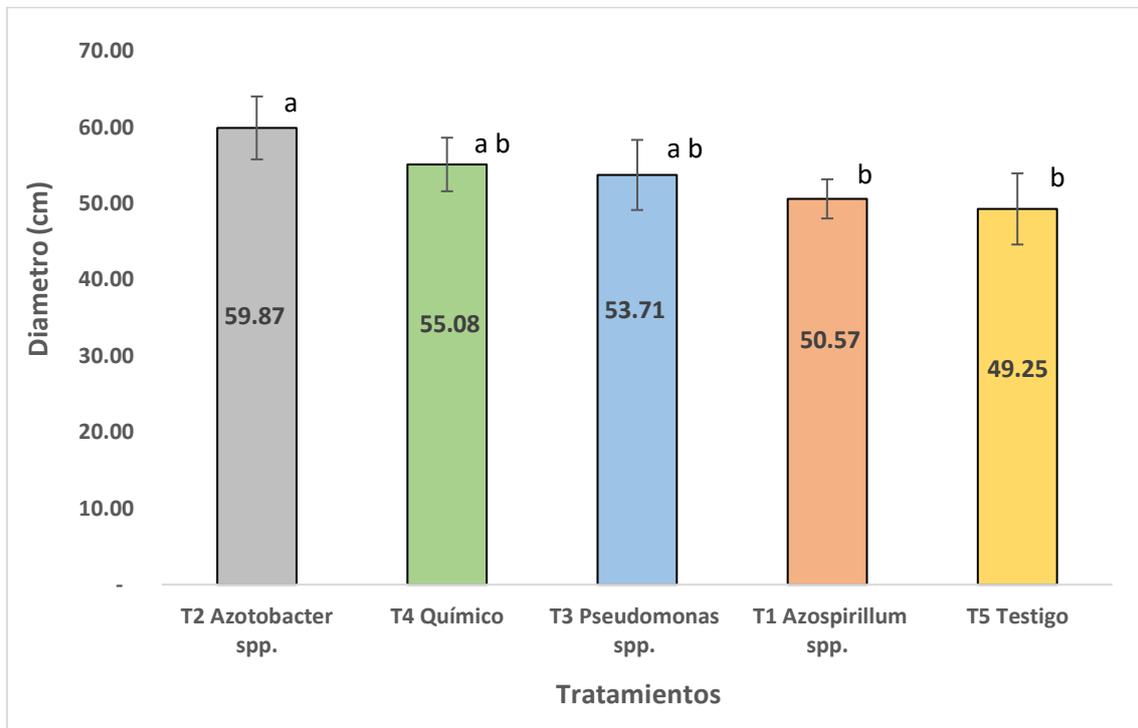
**Figura 7.** Dinámica de crecimiento en plantas de col, con la aplicación de microorganismos bioestimulantes, NPK y un testigo desde los 15 hasta los 75 días después del trasplante.



**Figura 8.** Evaluación de la altura en plantas de col, con la aplicación de microorganismos bioestimulantes, NPK y testigo a los 75 días después del trasplante. Medias con una letra común no son significativamente diferentes mediante la prueba de tukey ( $p > 0,05$ ).

### 6.1.5. Diámetro (cm)

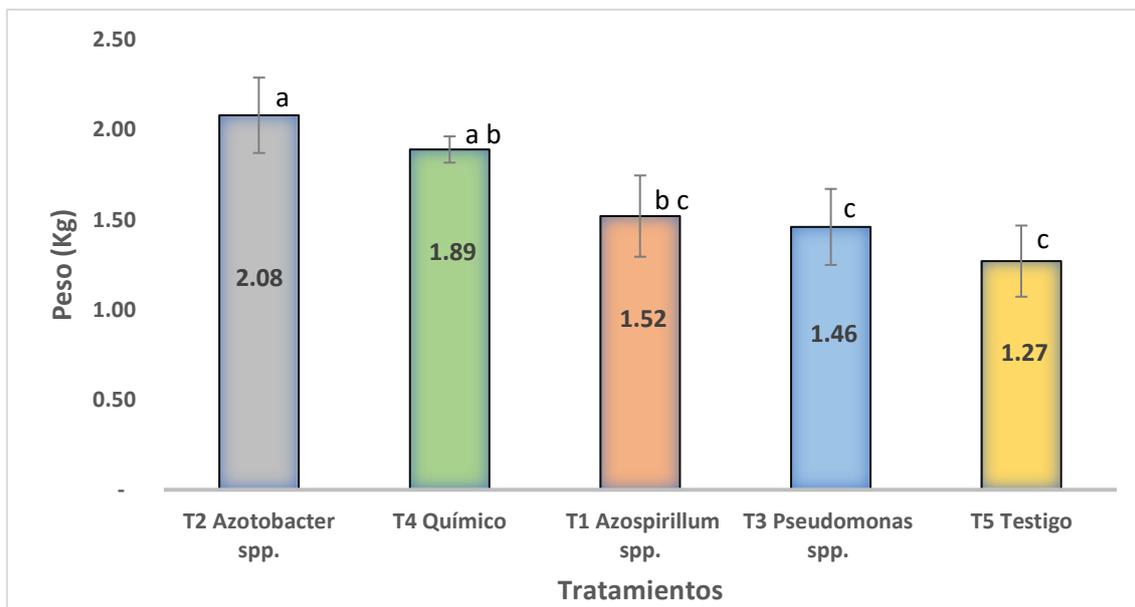
En base a los datos obtenidos (figura 9), se observa que en la variable del diámetro de la pella se obtuvo resultados altamente significativos ( $p < 0,001$ ), dado que el T2 presentó un mayor diámetro con 59,87 cm a los 145 días después del trasplante; presentando diferencias con los tratamientos T1 y T5 que mostraron diámetros de la pella de 50.57 cm y 49.25 cm respectivamente.



**Figura 9.** Evaluación del diámetro de las cabezas de col, con la aplicación de microorganismos bioestimulantes, NPK y testigo, datos registrados en la etapa final del cultivo la cosecha. Medias con una letra común no son significativamente diferentes mediante la prueba de tukey ( $p > 0,05$ ).

### 6.1.6. Peso (kg)

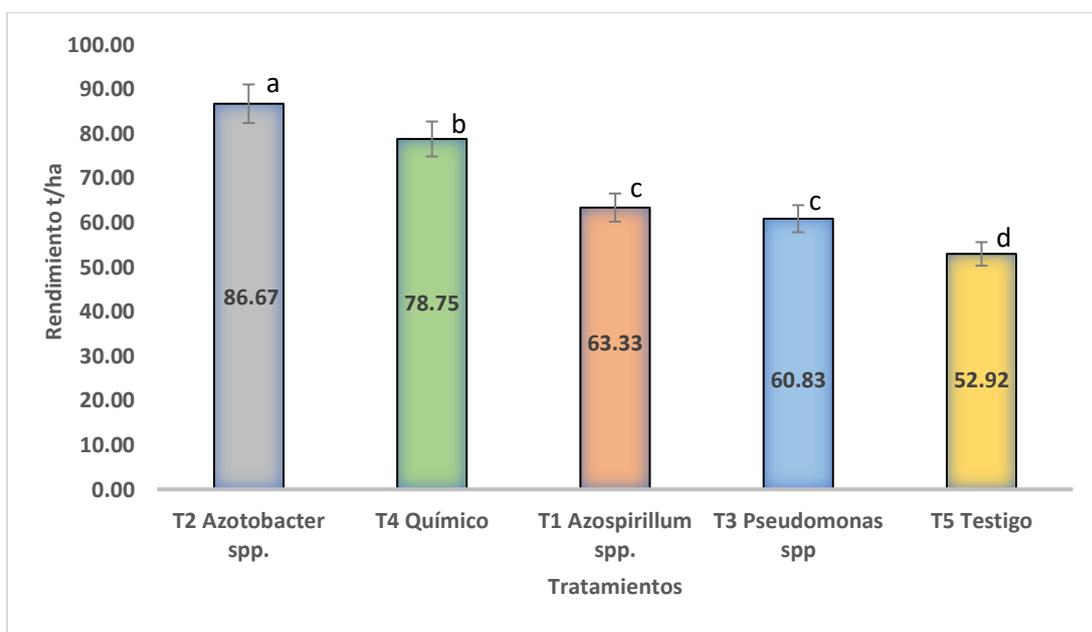
En la figura 10 con relación al peso de la pella se observa que los tratamientos con la aplicación de los microorganismos bioestimulantes y el (NPK) químico presentaron los valores más significativos de 2,28 y 2,02 kg respectivamente, mientras que el tratamiento testigo, presentó los valores más bajos, en ambos casos a los 145 días después del trasplante.



**Figura 10.** Evaluación del peso de las cabezas de col, con la aplicación de microorganismos bioestimulantes, NPK y testigo, datos registrados en la etapa final del cultivo la cosecha. Medias con una letra común no son significativamente diferentes mediante la prueba de tukey ( $p > 0,05$ ).

### 6.1.7. Rendimiento

La figura 11 muestra que los tratamientos con la aplicación de los microorganismos bioestimulantes y el (NPK) químico presentaron rendimientos significativamente mayores de 86,77 t/ha y 78,75 t/ha en comparación con el tratamiento testigo que llegó a presentar promedios de 52,92 t/ha en la etapa de cosecha.



**Figura 11.** Evaluación del rendimiento del cultivo de col, con la aplicación de microorganismos bioestimulantes, NPK y testigo. Medias con una letra común no son significativamente diferentes mediante la prueba de tukey ( $p > 0,05$ ).

## 6.2. Resultados para el segundo objetivo

### “Analizar el efecto de la aplicación de microorganismos bioestimulantes sobre las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo”

#### 6.2.1. Propiedades físicas

La tabla 6 muestra los resultados con relación a el análisis de la clase textural del suelo en la etapa final del cultivo.

**Tabla 6.** Clase textural del suelo etapa final del cultivo

Textura %			
Arena	Limo	Arcilla	Clase textural
33	28	39	Franco arcillosa

Según los datos obtenidos, la (tabla 7) muestra el peso del suelo seco inicial es inferior al peso del suelo seco final con una diferencia del 11,09 g. Además, la (tabla 8) indica la densidad aparente del suelo final es superior a la del suelo inicial con una diferencia de 0,1 g/cm<sup>3</sup>. Por ende, el porcentaje de poros del suelo final fue superior al del suelo inicial con una diferencia del 3,92%.

**Tabla 7.** Datos de promedios generales del peso seco del suelo inicial y final.

Peso seco del suelo		
Suelo Inicial	(TI)	139,56 g
Suelo final	(TF)	150,65 g

**Tabla 8.** Resultados del análisis de las propiedades físicas del suelo antes y después de la aplicación de microorganismos bioestimulantes.

Cod. Laboratorio	Cod. Campo	Parámetro analizado	Método	Unidad	Valor
4540	TI (SA)	Densidad aparente	Anillo volumétrico	g/cm <sup>3</sup>	1,40
4540	TI (SA)	Porcentaje de poros	Cálculo	%	43,24
4543	TF (SD)	Densidad aparente	Anillo volumétrico	g/cm <sup>3</sup>	1,50
4543	TF (SD)	Porcentaje de poros	Cálculo	%	47,16

SA: suelo antes; SD: suelo después del ensayo

#### 6.2.2. Propiedades químicas

El pH del suelo registrado en el sitio de experimentación mostró una disminución mínima con la aplicación de los microorganismos bioestimulantes al final del ensayo, el cual fue ligeramente ácido. Mientras que los macronutrientes como el N, P, S, K y Ca la

mayoría tuvieron un aumento mínimo, por otra parte, el (Mg) fue el único elemento que no tuvo un aumento en su valor final. En cuanto a los micronutrientes (B, Zn, Cu, Fe, Mn) se puede observar que en todos los casos existe un aumento leve en sus elementos, al igual que la materia orgánica.

En base a las relaciones Ca/Mg incrementaron sus valores luego de la aplicación de los microorganismos bioestimulantes, la relación Ca + Mg/K lograron elevar sus valores luego de la aplicación con el tratamiento biológico, logrando mantenerse en adecuado. Por otra parte, la relación Mg/K mantuvo sus valores antes y después de la aplicación, manteniéndose en aceptable.

En la (tabla 10) se observa los valores antes y después de la aplicación de los microorganismos bioestimulantes acerca de la saturación de bases que es la suma de los iones (Ca, Mg, K y Na), los cuales se encuentra presentes en el suelo, llegando a incrementar su CIC en 1,64.

**Tabla 9.** Resultados de las propiedades químicas del suelo antes y después de la aplicación de microorganismos bioestimulantes.

Análisis		N	P	S	B	K	Ca	Mg	Zn	Cu	Fe	Mn	Ca/Mg	Mg/K	Ca+Mg/ K	Σ Bases	Mo	Identificación
Unidad	pH	ppm	Ppm	Ppm	ppm	meq/ 100g	meq/ 100g	meq/ 100g	ppm	ppm	ppm	ppm				meq/ 100g	%	
23_1420	5,75	41,28	12,68	8,12	0,28	0,40	4,14	1,19	2,4	4,6	388	14,1					1,97	Muestra 1 SI
	L Ac	M	M	B	B	A	A	A	B	A	A	M	3,47	2,99	13,37	5,73	M	
23_1400	5,72	69,64	82,63	17,60	0,28	0,26	5,63	0,77	3,5	5,9	415	24,7					2,26	Muestra 2 SF
	Me Ac	A	A	M	B	M	A	A	M	A	A	A	7,27	2,99	24,73	6,66	A	
<b>Incremento</b>	- 0,03	28,36	69,95	9,48	0	0,14	1,49	- 0,42	1,1	1,3	27	10,6	3,8	0	11,36	0,93	0,29	

**Interpretación.** MeAc = medio Acido, L Ac = liger. Acido, A = Alto, M = Medio, B = Bajo, ppm = Partes por millón, meq/100g = milequivalentes por 100g de suelo y Mo = materia orgánica. Muestra 1 SI: Suelo inicial y Muestra 2 SF: Suelo final después del ensayo.

**Tabla 10.** Análisis de suma de bases, saturación y capacidad de intercambio catiónico antes y después de la aplicación de microorganismos bioestimulantes.

N°	K	Ca	Mg	Na	Suma de bases	Saturación de bases	CIC	Identificación
Muestra	meq/100g	meq/100g	meq/100g	meq/100g	meq/100g	(%)	meq/100g	
23_1430	0,22	2,01	0,55	0,10	2,88	43,2	6,66	Muestra 1 SA
23_1431	0,27	2,17	0,60	0,12	3,2	38,3	8,3	Muestra 2 SD

### 6.2.3. Propiedades biológicas

#### 6.2.3.1. Hongos

Con respecto a los datos obtenidos en cada caja Petri podemos observar en la (tabla 11), que valores vistos de la UFC no pueden ser utilizadas debido a que no cumplen con la cantidad permitida debido a que el rango aceptado para contar colonias en una placa para hongos esta entre 25 y 250, ya que se ha reportado poca exactitud en conteos por debajo de 25 colonias por placa, al ser menor el número de colonias aumenta el error exponencialmente (Ramírez et al., 2017).

**Tabla 11.** Unidades formadoras de colonias (hongos)

Hongos	Dilución	T0 Antes ensay	T1 <i>Azospirillum</i> spp	T2 <i>Azotobacter</i> spp	T3 <i>Pseudomonas</i> spp	T4 Químico	T5 Testigo
Caja P1	10 <sup>-4</sup>	3	3	4	3	1	2
Caja P2	10 <sup>-5</sup>	2	4	4	3	1	2
<b>Promedio (UFC)</b>		2.5	3.5	4	3	1	2

#### 6.2.3.2. Bacterias

En base a los datos reportados en la (tabla 12), podemos observar que los tratamientos con aplicación de los microorganismos, *Azotobacter* spp., *Azospirillum* spp. y *Pseudomonas* spp., presentaron un mayor número de unidades formadoras de colonias, a comparación de los demás tratamientos donde no se aplicó nada como el testigo y químico.

**Tabla 12.** Análisis sobre las propiedades biológicas del suelo antes y después de la aplicación de microorganismos bioestimulantes.

N° Tratamientos	UFC/ml	Decimal	Notación científica
T0 Antes ensayo	55	550 000 000	5,5×10 <sup>8</sup>
T1 <i>Azospirillum</i> spp	143	1 430 000 000	1,43×10 <sup>9</sup>
T2 <i>Azotobacter</i> spp	225	2 250 000 000	2,25×10 <sup>9</sup>
T3 <i>Pseudomonas</i> spp	167	1 950 000 000	1,95×10 <sup>9</sup>
T4 Químico	59	590 000 000	5,9×10 <sup>8</sup>
T5 Testigo	68	620 000 000	6,2×10 <sup>8</sup>

## 7. Discusiones

### 7.1. Discusiones para el primer objetivo

En la presente investigación se analizó el efecto de la aplicación de microorganismos bioestimulantes sobre el crecimiento, rendimiento del cultivo de col bajo condiciones de campo. La altura antes del trasplante, porcentaje de prendimiento, número de hojas, altura de la planta, diámetro de la pella, peso de la pella y el rendimiento presentaron diferencias significativas a los 75 y 145 DDT, con respecto al tratamiento testigo. Los resultados expuestos coinciden con los reportados por otros investigadores, quienes también destacan los beneficios de la inoculación de microorganismos bioestimulantes en cultivos hortícolas.

Para la variable de altura antes del trasplante (cm), tomada a los 22 DDS todos los tratamientos presentaron diferencias significativas ente ellos y con él testigo, con la mayor altura de 7,28 cm, a comparación del testigo que solo alcanzó los 4,25 cm, estos datos no concuerdan por los reportados por Aguilar et al. (2021), quienes en su estudio denominado desarrollo y producción del cultivo de col var. Royal vantage, bajo diferentes presiones osmóticas y biofertilizada con consorcios bacterianos AA (*Azospirillum* + *Acinetobacter*) y RC (*Raoultella* + *Chromobacterium*), llegaron a obtener alturas superiores a los 12 cm luego de los 25 DDS, sin embargo, los resultados son superiores debido a que la aplicación de los consorcios bacterianos más los diferentes valores de presión osmótica indujeron de manera positiva en el desarrollo del cultivo de col.

De igual manera estos resultados obtenidos en el estudio no concuerdan con los obtenidos por (Guzmán, 2021), donde evaluó la eficiencia de los microorganismos de montaña (MM) en el Cultivo de Repollo var. capitata, llegando a obtener alturas superiores a los 10 cm, en las plantas bioestimuladas presentando diferencia significativa con el tratamiento testigo que solo alcanzó los 5 cm, a los 25 DDS. Estos datos se dan debido a que la aplicación de MM se realizó cada 15 días, utilizando una dosis de 4 cm<sup>3</sup> de MM diluidos en 15 litros de agua. Además, este tipo de microorganismos poseen una serie de características que los convierten en uno de los mejores biofertilizantes de uso agrícola debido a que aceleran la germinación, descomponen la MO, contienen efectos hormonales promoviendo el desarrollo de las plantas y mejoran las características biológicas y físicas del suelo (Rolando, 2014).

Con relación a la variable de porcentaje de prendimiento en los tratamientos donde se aplicó los microorganismos y el químico presentaron diferencias significativas con valores superiores al 90% y 85% al cabo de los 8 y 15 DDT, en comparación con el testigo absoluto que solo logró alcanzar el 70% de prendimiento; estos datos concuerdan con los obtenidos por (Muñoz Vera, 2018), quien en su investigación evaluó la eficacia del biofertilizante orgánico “Biol mineralizado” en el rendimiento del cultivo de col morada en la zona de Babahoyo, obtuvo porcentajes de germinación del 90,3% a los 15 DDT, en una dosis de 25,2 l/ha, cabe recalcar que a mayor dosis mayor es el prendimiento de las plántulas ya que con dosis de 58,8 l/ha obtuvo porcentajes del 98,3%.

En cuanto a la altura de las plantas, el tratamiento que presentó diferencias significativas sobre los demás tratamientos fue el T2, el cual presentó alturas superiores a los demás tratamientos desde las primeras mediciones obteniendo una altura en la última medición de 35,69 cm, en comparación con el T5 Testigo que logró obtener una altura de 26,55cm, en evaluaciones realizadas a los 15, 30, 45, 60 y 75 DDT. Estos datos discrepan con los obtenidos por Corrales (2023), quien evaluó el efecto del uso de biofertilizantes comerciales a base de *Azotobacter* spp. mezclado con tres niveles diferentes de un fertilizante inorgánico, sobre los parámetros productivos y rendimiento de la col var. Gloria, en su evaluación realizada a los 30, 60 y 90 DDT el tratamiento a base de *Azotobacter* solo presentó alturas de 14,89 cm y el testigo de 13,42 cm en la primera medición, mientras que en la última medición los valores fueron de 48,11 y 46,14 cm; se utilizaron dosis de 10 g/L mezclados en agua y las plántulas próximas al trasplante fueron sumergidas durante 20 minutos, además se aplicó biofertilizantes cada 15 días.

De igual manera estos resultados no concuerdan con los obtenidos por Chandel et al. (2021), quien evaluó la influencia del N, P, K y biofertilizantes a base de *Azotobacter* spp, BSF y BSP en el crecimiento y atributos de rendimiento del repollo var. capitata, con un total de 16 tratamientos con una sola aplicación, donde obtuvieron resultados que los fertilizantes (N, P y K), junto con los biofertilizantes solos o en combinación, tuvieron un efecto significativo sobre el crecimiento, el rendimiento y las características cualitativas del repollo en comparación con el control, siendo el mejor tratamiento el T7 (75 % NPK + *Azotobacter* + BSF + BSP) con alturas de 34,60 y 46,07 cm a los 30 y 60 DDT, a comparación del testigo que presentó alturas de 28,30 y 38,33 cm.

Por otra parte, estos resultados concuerdan con los obtenidos por (Córdova Oviedo, 2023) quien en su estudio denominado efecto de la inoculación de microorganismos promotores del crecimiento vegetal y su influencia en el rendimiento del brócoli evaluaron la aplicación de cepas de microorganismos (*Azotobacter* spp, *Azospirillum* spp, y *Pseudomonas* spp) y un tratamiento químico con aplicaciones de 1 ml por planta en una sola aplicación; llegando a obtener alturas superiores desde el momento de la siembra hasta la cosecha en comparación con el tratamiento testigo.

En cuanto a los resultados obtenidos para el número de hojas, los tratamientos que presentaron diferencias significativas fue donde se aplicó microorganismos bioestimulantes y el químico, con valores de 15,42 y 14,56 hojas, a comparación del testigo que solo obtuvo un total de 13,10 hojas, estos resultados son superiores a los reportados por Asmal & Jachero (2024), donde evaluaron el efecto de tres bioestimulantes (LisToo, Cytokin y Biozime) en el rendimiento del cultivo de repollo con diferentes dosis (0 – 0,25 – 0.50 – 1 cm<sup>3</sup>, 250 cm<sup>3</sup>/ha y 0,5 l/ha) y diferentes abonos (Polinaza, Urea + Polinaza, Bocashi y sin abono), dando un total de 24 tratamientos, a los 60 DDT el tratamiento que presentó un mayor número de hojas fue el T14: Polinaza + urea + dosis 2 (LisToo 0,25 cm<sup>3</sup> ) con 14 hojas, a diferencia del testigo, que presentó un menor número de hojas con 11.

Por otro lado, estos datos no concuerdan con los reportados por Salim (2018), donde evaluó el efecto de los biofertilizantes *Azotobacter croococcus* y *Pseudomonas fluorescens* sobre el crecimiento de brócoli, con diferentes dosis de 0,08 – 0,14 y 0,28 g/planta, adicional de un tratamiento control con tres repeticiones cada uno, según los datos reportados el tratamiento que obtuvo el mayor número de hojas 23,4 fue con dosis de 0,28 g/planta a comparación del tratamiento control que obtuvo 17,9 hojas por planta. Estos resultados se dan debido a que *Azotobacter* spp. es una bacteria aeróbica y heterótrofa con capacidad de fijar nitrógeno de forma no simbiótica (Becking, 2006) además, de sintetizar antibióticos, sustancias promotoras del crecimiento vegetal, exopolisacáridos, vitaminas y producción de pigmentos (Setubal et al., 2009). *Pseudomonas* spp. está asociada con la rizosfera y es capaz de ejercer un efecto beneficioso sobre el crecimiento y se considera el grupo más prometedor para el crecimiento de las plantas (Mantilla et al., 2009).

De Igual manera estos datos, discrepan con los resultados obtenidos por (Gómez Montalván, 2023), donde estudio la evaluación de microorganismos rizosféricos y ácido salicílico sobre el crecimiento, desarrollo y rendimiento de lechuga bajo condiciones de estrés, reflejaron que la aplicación de microorganismos a base de cepas de (*Azotobacter* spp, *Azospirillum* spp, y *Pseudomonas* spp), no presentaron diferencias significativas entre los tratamientos pero si con el testigo llegando a presentar un mayor número de hojas 12 a los 70 DDT, el tratamiento control solo alcanzó las 10 hojas.

En base a los resultados obtenidos para la variable de diámetro de la pella el tratamiento que presentó diferencias significativas fue el que tuvo aplicación de microorganismos bioestimulantes con 59,87 cm, en comparación con el testigo que obtuvo 49,25 cm, estos datos son superiores a los reportados por Corrales (2023), donde evaluó el efecto que producen las plantas con el uso de biofertilizantes a base de (*Azotobacter*) solo o combinado con tres dosis de NPK, sobre los parámetros productivos y rendimiento de col var. Gloria, para la aplicación del biofertilizante se usaron 10g/L combinados en agua donde se sumergieron las plantas que iban a ser trasplantadas por un periodo de 20 min, adicional hicieron aplicaciones cada 15 días en los respectivos tratamientos. Para el fertilizante inorgánico aplicaron la mitad de la dosis al trasplante y la otra mitad en dos momentos a los 25 y 50 días después del trasplante, llegando a obtener diámetros de pellas de 20,5 cm con el tratamiento a base *Azotobacter* + NPK 120-60-60.

Los datos conseguidos en la investigación son superiores a los obtenidos por Kant et al. (2019), donde estudio la aplicación de microbios y fertilizantes sobre el crecimiento y rendimiento del repollo var. capitata, donde utilizó diferentes niveles de fertilizantes a base de NPK (F1-80:40:40, F2-120:60:60, F3-160:80:80, F4-200:100:100 y F5-240:120:120 kg/ha) y microbios a base *Azotobacter* spp. y *Azospirillum* spp. llegando a obtener resultados más altos con la combinación de NPK (200-100-100) y *Azospirillum* spp. presentando un diámetro de 24,41 cm. La combinación de fertilizantes ofrece una gran oportunidad para aumentar la producción de cultivos a menor costo, el grado de beneficio de estos microorganismos depende de su número y su eficiencia, pero sin embargo, esto se ve influenciado de los factores ambientales y del suelo (Sánchez et al., 2022).

Estos resultados también difieren con los obtenidos por Asmal & Jachero (2024), donde evaluaron el efecto de tres bioestimulantes (LisToo, Cytokin y Biozime) en el

rendimiento del cultivo de repollo con diferentes dosis (0 – 0,25 – 0.50 – 1 cm<sup>3</sup>, 250 cm<sup>3</sup>/ha y 0,5 l/ha) y diferentes abonos (Polinaza, Urea + Polinaza, Bocashi y sin abono), llegando a obtener como mejor tratamiento el T14: Polinaza + urea + dosis 2 (LisToo 0,25 cm<sup>3</sup>) con 27,57 cm, en comparación del testigo, que presentó un menor diámetro con 17,85 cm. Estos resultados se dan debido a que el bioestimulante LisToo; contiene fitohormonas, aminoácidos, ácidos orgánicos, quelatos, macro y micronutrientes (Mujtar & Cáceres, 2018).

Respecto a los resultados obtenidos para el peso de la pella, el tratamiento que presentó diferencia significativas fueron con la aplicación de microorganismos bioestimulantes y el NPK con pesos de 2,08 y 1,89 cm respectivamente, a comparación del tratamiento testigo que solo obtuvo 1,27 kg, estos datos son inferiores a los obtenidos por Corrales (2023), donde evaluó el efecto que producen las plantas con el uso de biofertilizantes a base de (*Azotobacter*) solas o combinado con diferentes dosis de NPK, sobre los parámetros productivos y rendimiento de col var. Gloria, con el mejor tratamiento el T3 *Azotobacter* + NPK (120-60-60) logrando obtener pesos de 4,2 kg y con *Azotobacter* solo 2,6 kg. La aplicación de esta bacteria promueve el rendimiento de los cultivos agrícola debido a su capacidad para fijar el N atmosférico y brindar disponibilidad de nutrientes y minerales esenciales para las plantas, especialmente nitrógeno y fósforo (Hamid Dar et al., 2020).

Por otra parte, estos datos son superiores a los presentados por Chandel et al. (2021) quienes evaluaron la influencia del N, P, K y biofertilizantes a base de *Azotobacter* spp, BSF y BSP en el crecimiento y atributos de rendimiento del repollo var. capitata, llegando a obtener el mayor peso de 1,84 kg con el T7 (75 % NPK + *Azotobacter* + BSF + BSP) a comparación del tratamiento testigo que solo presentó 1,04 kg. Esto se da debido a que los diferentes niveles de N favorecen a la absorción de nutrientes y la utilización efectiva de estos para un mayor crecimiento vegetativo y liberación de compuestos orgánico ricos en energía por parte de los biofertilizantes que aumentan el crecimiento y las actividades de auxinas (Kumar et al., 2017).

De igual manera estos datos no concuerdan con los obtenidos por Asmal & Jachero (2024), en donde evaluaron el efecto de tres bioestimulantes con diferentes dosis y abonos, llegando a obtener pesos del repollo con el mejor tratamiento T14: Polinaza

+ urea + dosis 2 (LisToo 0,25 cm<sup>3</sup> ) con 3,94 kg, a comparación del tratamiento testigo que presentó un peso de repollo con 1,46 kg.

En base a los resultados obtenidos para el rendimiento, los tratamientos que presentaron mayor promedio fueron con la aplicación de microorganismos a base de *Azotobacter* y el NPK con 86,67 y 76,75 t/ha respectivamente, en comparación del tratamiento testigo absoluto 52,92 t/ha, estos resultados discrepan con los obtenidos por Corrales (2023), el cual evaluó el efecto de la fertilización de las plantas de col con cepas de *Azotobacter* spp. más diferentes dosis de NPK, sobre el rendimiento encontrando valores máximos con las plantas tratadas a base *Azotobacter* + F2-120-60-60 NPK kg/ha, llegando a obtener un rendimiento de promedio de 116,8 t/ha, mientras que el resto de los tratamientos presentaron promedios bajos, el tratamiento a base de *Azotobacter* solo presentó un rendimiento de 66,9 t/ha. Estos resultados se dan debido los biofertilizantes a base de *Azotobacter* son recomendados como complemento de la fertilización química con N con el fin de mejorar la disponibilidad de nutrientes en el suelo, proporcionar algunos metabolitos durante el crecimiento y minimizar el uso de fertilizantes inorgánicos (Hindersah et al., 2020).

Estos datos son inferiores a los presentados por Nuñez (2020), el cual evaluó tres dosis de microorganismos eficientes en el rendimiento de cultivo de repollo var. Capitata, con aplicaciones a los 7, 15 y 21 ddt, donde el T3=200 ml de EM + 3L de agua, obtuvo los mejores resultados en el crecimiento de la planta llegando a obtener un rendimiento de 109,115 t/ha.

Nina (2014), en su estudio de evaluación microorganismos eficientes mezclados con compost en el cultivo de col obtuvo resultados superiores, logrando que los tratamientos con microorganismos aceleren la transformación de los desechos orgánicos para convertirlo en compost, nutriendo al cultivo de manera eficaz; utilizó una dosis de 5L de microorganismos eficientes activados por cada tonelada de compost, siendo su dosis más eficiente 56,5 L de EM en 11,3 t de compost, siendo este tratamiento el más efectivo obteniendo como un rendimiento de 118,27 t/ha.

En la rizosfera están presentes diferentes géneros bacterianos entre los que se destacan los géneros *Azospirillum* spp. *Azotobacter* spp. y *Pseudomonas* spp. los cuales son ampliamente utilizados por sus características de ser fijadores de nitrógeno, su

capacidad de producir índoles y solubilizar fósforo, propiedades que hacen de estos microorganismos potenciales como biofertilizantes (Pérez & Sánchez, 2017).

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

Para los resultados obtenidos acerca de las propiedades físicas del suelo (densidad aparente) antes y después de la aplicación de los microorganismos bioestimulantes en la etapa inicial se obtuvo  $1,40 \text{ cm}^3/\text{g}$  y al final  $1,50 \text{ cm}^3/\text{g}$  incrementando en  $0,1 \text{ cm}^3/\text{g}$ , estos datos son idénticos a los reportados por Torres et al. (2012) quienes evaluaron el uso de tierra del piedemonte como biofertilizante y su efecto sobre las propiedades físicas, químicas y bacterias rizosferas, llegando a obtener valores de  $1,24 \text{ cm}^3/\text{g}$  y  $1,35 \text{ cm}^3/\text{g}$  en el cultivo de tomate y lechuga con una sola aplicación.

Además son similares a los resultados obtenidos por Orozco et al. (2016), en su estudio evaluaron las propiedades físicas, químicas y biológicas de un suelo con biofertilización a base de microorganismos en una concentración de  $1 \times 10^8$  UFC/ml además de un tratamiento con fertilización química llegaron a obtener valores de  $1,40 \text{ cm}^3/\text{g}$  y  $1,45 \text{ cm}^3/\text{g}$  al inicio y final de la evaluación.

Por otra parte, para los resultados obtenidos para porosidad antes y después de la aplicación de microorganismos estos presentaron valores de  $43,24 \%$  y  $47,16 \%$ , estos resultados concuerdan con los reportados por Orozco et al. (2016) quienes al utilizar microorganismos realizaron evaluaciones a las propiedades del suelo presentando valores de  $43,20 \%$  y  $47,20 \%$  antes y después de la aplicación. Estos resultados se dan debido a que el uso de microorganismos ayuda a la descomposición de residuos orgánicos, reduciendo su compactación e incrementando los espacios porosos, logrando una mejor absorción de agua y evitando la erosión (Recharte, 2015).

Para los resultados obtenidos acerca de las propiedades químicas del suelo, tanto en la fase inicial como final, donde la mayoría de los elementos lograron incrementar N  $38,36 \text{ ppm}$ ; P  $69,99 \text{ ppm}$ ; K  $0,14 \text{ meq}/100\text{g}$ ; Ca  $1,49 \text{ meq}/100\text{g}$ ; MO,  $0,29\%$  y CIC  $1,64 \text{ meq}/100\text{g}$ ; para el caso del pH y Mg estos disminuyeron en  $-0,03\%$  y  $-0,42 \text{ meq}/100\text{g}$  respectivamente, además, de obtener un aumento de CIC de  $1,64 \text{ meq}/100\text{g}$ . Estos resultados son similares a los presentados por Jaurixje et al. (2013) en el cual evaluó el efecto de la adición de microorganismos bioestimulantes sobre las propiedades del suelo en dos diferentes texturas franco y arcilloso, llegando a obtener un aumento al final de la

evaluación en el suelo de textura franca MO 1,3%; pH 0,04%; P 0,1 ppm y K, 27,8 meq/100g.

Estos resultados se dan debido a que la bacteria *Azotobacter* spp. tienen la ventaja de ser una excelente alternativa en la recuperación y mejora de suelos (Verma et al., 2014), así mismo la producción de hormonas de crecimiento como auxinas y giberelinas mejorando el crecimiento de las raíces, dando como resultado una mayor nodulación, fijación de nitrógeno y una mejora de las propiedades físicas y químicas del suelo (Sumbul et al., 2020).

En cuanto a los resultados obtenidos sobre las propiedades biológicas considerando primeramente los hongos, se encontró una baja población de UFC, lo cual concuerda con lo expresado por Ramos & Zúñiga, (2015) cuando se presenta una baja población, los factores que intervienen principalmente son la temperatura, pH, humedad, disponibilidad de oxígeno y la adición de nutrientes inorgánicos, afectando de una u otra manera el desarrollo adecuado de los mismos. Por otra parte, estos resultados mantienen lo mencionado por Pavone, (2022) quien indica que para contar un cierto número de colonias y esta pueda ser contable existe el intervalo contable, el cual es el máximo y mínimo número de colonias presentes en una placa. Este valor se verá influenciado por el tipo de microorganismo aplicado, además por el manejo del suelo y es aceptable entre 25 - 250 colonias, para el caso de hongos lo recomendable está entre 10 – 100 colonias.

En cuanto a las bacterias se evidenció que el tratamiento que presentó una mayor población fue *Azotobacter* spp, con  $2,25 \times 10^9$  UFC/ml, *Pseudomonas* spp,  $1,95 \times 10^9$  UFC/ml y finalmente *Azospirillum* spp,  $1,43 \times 10^9$  UFC/ml, estos resultados son inferiores a los reportados por Arteaga et al. (2017) donde evaluaron la influencia de la aplicación del bioestimulante Limplant a base de microorganismos benéficos sobre algunos indicadores biológicos del suelo llegando a presentar valores de  $3,54 \times 10^6$  UFC/ml, además aislaron géneros de bacterias entre las que se encontraban *Pseudomonas* spp.  $4,2 \times 10^4$  UFC/ml, *Azotobacter* spp. con  $6,6 \times 10^3$  UFC/ml y *Azospirillum* spp.  $6,0 \times 10^3$  UFC/ml. Debido a que este género de bacterias durante su metabolismo y proceso de descomposición de materia orgánica aportan sustancias biológicamente activas como hormonas vitaminas y aminoácidos esenciales para el desarrollo óptimo de las plantas (Morocho et al, 2019).

Por otra parte, los resultados obtenidos son similares a los presentados por Osorio, (2009) donde evidenció el efecto de la aplicación de rizobacterias promotoras del crecimiento vegetal sobre las propiedades del suelo, llegando a obtener al final del ensayo valores de  $3,2 \times 10^8$  UFC/ml y  $5,3 \times 10^7$  UFC/ml con aplicaciones de 1 y 2 ml/planta respectivamente. Lo cual mantiene lo mencionado por Luna et al. (2013) quienes mencionan que los microorganismos bioestimulantes se caracterizan por su capacidad de solubilizar minerales y nutrientes, por producir sustancias reguladoras de crecimiento e incrementar el volumen de la raíz, inducción de resistencia de patógenos, la inhibición del crecimiento de organismos patógenos del suelo (Jha & Saraf, 2015),

## 8. Conclusiones

- La aplicación de microorganismos bioestimulantes en el cultivo de col, influyeron significativamente en las variables evaluadas, el T2 (*Azotobacter* spp.) presentó los mejores resultados en relación al control absoluto, en los parámetros de crecimiento como altura antes del trasplante 7,28 cm, porcentaje de prendimiento 90%, número de hojas 15,42 hojas, altura de la planta 35,69 cm; así como en la fase de cosecha las variables de peso de la pella 2,28 kg, diámetro de la pella 59,87 cm y rendimiento de 86,67 t/ha.
- Se determinó que las propiedades del suelo aumentaron sus valores con relación al análisis inicial, las propiedades químicas incrementaron sus valores en macro y micro nutrientes (N 28,36%, P 69,95%, K 0,14%, S 9,48%, Ca 1,49%, Zn 1,1%, Cu 1,3%, Fe 27% y Mn 10,6% así como también M.O en 0,28 y CIC en 1,64 meq/100g, en las propiedades biológicas (bacterias) también incrementaron en 170 UFC/ml; al igual que las propiedades físicas en sus valores tanto en densidad aparente de 0,1 g/cm<sup>3</sup>, como en porcentaje de porosidad de 3,92%.

## **9. Recomendaciones**

- Realizar futuras investigaciones acerca de la aplicación de microorganismos solos o combinados en cultivos hortícolas, de tal manera que se logre determinar más a fondo los beneficios en la producción desde un punto de vista ecológico.
- Incentivar a los agricultores a hacer uso de productos amigables con el medio ambiente, así como microorganismos bioestimulantes debido a que incrementan los rendimientos de los cultivos, además de mejorar las propiedades del suelo.

## 10. Bibliografía

- Aguilar-Flores, I. M., Espinosa-Victoria, D., Carcaño-Montiel, M., & Rodríguez-Mendoza, M. de las N. (2021). Desarrollo y producción de la col ( Brassica oleracea var. Royal vantage) bajo diferentes presiones osmóticas y biofertilizada con consorcios bacterianos. *Terra Latinoamericana*, 39. <https://www.redalyc.org/journal/573/57366066018/html/>
- Aguirre, P. (2023). *Fisica Del Suelo | PDF | Partículas | Suelo*. Scribd. <https://es.scribd.com/document/40070385/Fisica-Del-Suelo>
- Alarcon, J., Recharte, D., Yanqui, F., Moreno, S., & Buendía, M. (2020). Fertilizing with native efficient microorganisms has a positive effect on the phenology, biomass and production of tomato (*Lycopersicum esculentum* Mill). *Scientia Agropecuaria*, 11(1), 67-73. <https://doi.org/10.17268/sci.agropecu.2020.01.08>
- Álvarez-García, J.-A., Santoyo, G., & Rocha-Granados, M. del C. (2020). *Pseudomonas fluorescens*: Mecanismos y aplicaciones en la agricultura sustentable. *Revista Latinoamericana de Recursos Naturales*, 16(1), 01-10.
- Amaya Ruiz, F. P. (2002). *Evaluacion de dos laminas de riego y dos niveles de fertilizacion en el cultivo de col bruselas \ (Brassica oleracea, var. Lunet) \. \ El Quinche-Pichincha 401 Quito (Ecuador)*. <https://acortar.link/SgQzDC>
- Anahita, K., Zarei, M., & Ronaghi, A. (2017). Effect of PGPR, Phosphate Sources and Vermicompost on Growth and Nutrients Uptake by Lettuce in a Calcareous Soil. *Journal of Plant Nutrition*, 41, 00-00. <https://doi.org/10.1080/01904167.2017.1381727>
- Antonio, J. (2007). *FARMER PRODUCTION WITH HIGH EXTERNAL INPUTS: THE CABBAGE*. 3.
- Arteaga, M., Garcés, N., Novo, R., Guridi, F., Pino, J. A., Acosta, M., Pasos, M., & Besú, D. (2017). INFLUENCIA DE LA APLICACIÓN FOLIAR DEL

BIOESTIMULANTE LIPLANT SOBRE ALGUNOS INDICADORES BIOLÓGICOS DEL SUELO: INFLUENCE OF LIPLANT BIOESTIMULANT SYSTEMATIC APPLICATION ON SOME SOIL BIOLOGICAL INDICATORS. *Revista de Protección Vegetal*, 22(2), 110-117.

Asmal Molina, J. M., & Jachero Pauta, C. G. (2024). *Efecto de tres bioestimulantes en el rendimiento de col repollo (Brassica oleracea var. Capitata) como suplemento a la fertilización mineral, orgánica y prevención de la Hernia de la col (Plasmodiophora brassicae) en San Joaquín Azuay* [bachelorThesis, Universidad de Cuenca]. <http://dspace.ucuenca.edu.ec/handle/123456789/43788>

Becking, J. (2006). The Family Azotobacteraceae. En *Prokaryotes* (Vol. 6, pp. 759-783). [https://doi.org/10.1007/0-387-30746-X\\_26](https://doi.org/10.1007/0-387-30746-X_26)

Beltrán-Pineda, M. E., & Bernal-Figueroa, A. A. (2022). Biofertilizantes: Alternativa biotecnológica para los agroecosistemas. *Revista Mutis*, 12(1), Article 1. <https://doi.org/10.21789/22561498.1771>

Berg, G., Köberl, M., Rybakova, D., Müller, H., Grosch, R., & Smalla, K. (2017). Plant microbial diversity is suggested as the key to future biocontrol and health trends. *FEMS Microbiology Ecology*, 93(5). <https://doi.org/10.1093/femsec/fix050>

Brown, D. (2010). Un modelo matemático de la red de detección de quórum Gac/Rsm en *Pseudomonas fluorescens*. *Biosystems*, 101(3), 200-212. <https://doi.org/10.1016/j.biosystems.2010.07.004>

Chandel, Y., Singh, B. N., Singh, K. P., Thakur, L., & Bali, B. (2021). *Influence of N, P, K and biofertilizers on growth and yield attributes of Cabbage (Brassica oleracea var. Capitata L.)*.

Chaudhari, B. L., Patil, S. N., Paradeshi, J. S., Chaudhari, M. A., & Chaudhari, C. S. (2017). Premier Biocontrol Traits of Pseudomonads: Siderophores, Phenazines or

What Else? En D. G. Panpatte, Y. K. Jhala, R. V. Vyas, & H. N. Shelat (Eds.), *Microorganisms for Green Revolution: Volume 1: Microbes for Sustainable Crop Production* (pp. 351-390). Springer. [https://doi.org/10.1007/978-981-10-6241-4\\_18](https://doi.org/10.1007/978-981-10-6241-4_18)

Chávez-Díaz, I. F., Zelaya Molina, L. X., Cruz Cárdenas, C. I., Rojas Anaya, E., Ruíz Ramírez, S., Santos Villalobos, S. de los, Chávez-Díaz, I. F., Zelaya Molina, L. X., Cruz Cárdenas, C. I., Rojas Anaya, E., Ruíz Ramírez, S., & Santos Villalobos, S. de los. (2020). Consideraciones sobre el uso de biofertilizantes como alternativa agro-biotecnológica sostenible para la seguridad alimentaria en México. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, *11*(6), 1423-1436. <https://doi.org/10.29312/remexca.v11i6.2492>

Córdova Oviedo, G. F. (2023). *Efecto de la inoculación de microorganismos promotores del crecimiento vegetal y su influencia en el rendimiento de brócoli bajo invernadero* [bachelorThesis, Loja]. <https://dspace.unl.edu.ec//handle/123456789/27786>

Corrales, P. (2023). *Efecto del uso de biofertilizantes sobre los parámetros productivos y rendimiento de col (Brassica oleracea var. Capitata L.)* [masterThesis]. <https://repositorio.uta.edu.ec:8443/jspui/handle/123456789/38799>

Cruz, A. B., Barra, J. E., Castillo, R. F. del, & Gutiérrez, C. (2004). La calidad del suelo y sus indicadores: *Ecosistemas*, *13*(2), Article 2. <https://www.revistaecosistemas.net/index.php/ecosistemas/article/view/572>

Cruz-Cárdenas, C. I., Zelaya Molina, L. X., Sandoval Cancino, G., Santos Villalobos, S. de los, Rojas Anaya, E., Chávez Díaz, I. F., Ruíz Ramírez, S., Cruz-Cárdenas, C. I., Zelaya Molina, L. X., Sandoval Cancino, G., Santos Villalobos, S. de los, Rojas Anaya, E., Chávez Díaz, I. F., & Ruíz Ramírez, S. (2021). Utilización de

- microorganismos para una agricultura sostenible en México: Consideraciones y retos. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, 12(5), 899-913.  
<https://doi.org/10.29312/remexca.v12i5.2905>
- Cruz-O'Byrne, R., Piraneque, N., & Aguirre, S. (2023). *Introducción a la biología y microbiología de suelos*. <https://doi.org/10.21676/9789587465747>
- Cunuhay, K. E., & Vivas, M. M. (2017). Evaluación agronómica de hortalizas de hoja, col china (*Brassica campestris*) y perejil (*Petroselinum crispum*) con fertilizantes orgánicos. *UTCiencia*, 2(1), Article 1.
- Dohrmann, A. B., Küting, M., Jünemann, S., Jaenicke, S., Schlüter, A., & Tebbe, C. C. (2013). Importance of rare taxa for bacterial diversity in the rhizosphere of Bt- and conventional maize varieties. *The ISME Journal*, 7(1), 37-49.  
<https://doi.org/10.1038/ismej.2012.77>
- Domingues Duarte, C. F., Cecato, U., Trento Biserra, T., Mamédio, D., Galbeiro, S., Domingues Duarte, C. F., Cecato, U., Trento Biserra, T., Mamédio, D., & Galbeiro, S. (2020). *Azospirillum* spp. En gramíneas y forrajeras. Revisión. *Revista mexicana de ciencias pecuarias*, 11(1), 223-240.  
<https://doi.org/10.22319/rmcp.v11i1.4951>
- Escobar, C., Horna, Y., Carreño, C., & Mendoza, G. (2011). Characterization of native strains of *Azotobacter* spp. And its effect on growth of *Lycopersicon esculentum* Mill. "Tomato" in Lambayeque. *Scientia agropecuaria*, 39-49.  
<https://doi.org/10.17268/sci.agropecu.2011.01.05>
- Espejo Serrano, R. (2016). La Agricultura de Conservación, herramienta para potenciar el papel del suelo como sumidero de CO<sub>2</sub> atmosférico y defender a los suelos agrícolas de la erosión. *Agricultura de conservación: AC*, 33, 90-97.

- Fernández León, M. F. (2013). *Evolución de los parámetros de calidad físico-química y funcional de distintas brassicas sometidas a diferentes tratamientos postcosecha* [Http://purl.org/dc/dc/mitype/Text, Universidad de Extremadura].  
<https://dialnet.unirioja.es/servlet/tesis?codigo=25852>
- Filho, A. B. C., Luiz-Cavarianni, R., Castro, J. C. C. de-, & Mendoza-Cortez, J. W. (2011). Crecimiento y producción de repollo en función de la densidad de población y nitrógeno. *Agrociencia*, 45(5), 573-582.
- Filippi, R. D. (2011). *Mejoramiento de los Niveles de Fertilidad de los Suelos en Predios Lecheros*. 7.
- Gómez Montalván, E. X. (2023). *Efecto de microorganismos rizosféricos y ácido salicílico sobre el crecimiento, desarrollo y rendimiento de lechuga bajo condiciones de estrés* [bachelorThesis, Loja].  
<https://dspace.unl.edu.ec/handle/123456789/26705>
- González, L. G., Falcón, A., Jiménez, M. C., Jiménez, L., Silvente, J., & Terrero, J. C. (2012). Evaluación de tres dosis del bioestimulante Quitosana en el cultivo de pepino (*Cucumis sativus*) en un periodo tardío. *Revista Amazónica Ciencia y Tecnología*, 1(2), 42-48.
- Guía Técnica Cultivo de Repollo. (s. f.). *CENTA*. Recuperado 20 de mayo de 2023, de <https://www.centa.gob.sv/download/guia-tecnica-cultivo-de-repollo/>
- Guzmán, B. (2021). *Análisis de la Eficiencia de los Microorganismos de Montaña en el Cultivo de Repollo (Brassica Oleracea var. Capitata) en la Vereda Soagá, Finca los Pinos(Ubaté-Cundinamarca)* [Bachelor thesis, Universidad Santo Tomás].  
<https://repository.usta.edu.co/handle/11634/34765>

- Hamid Dar, G., Dar, S., Bhat, R., Dervash, M., & Dar, Z. (2020). *Azotobacter as Biofertilizer for Sustainable Soil and Plant Health Under Saline Environmental Conditions* (pp. 231-254). [https://doi.org/10.1007/978-3-030-48771-3\\_14](https://doi.org/10.1007/978-3-030-48771-3_14)
- Hernández-Rodríguez, A. (s. f.). *Aplicación de Rizobacterias para Inducir Resistencia en los Sistemas Frijol (Phaseolus vulgaris L.) – Colletotrichum lindemuthianum (Sacc. Y Magnus) Lams.-Scrib. Y Tomate (Lycopersicon esculentum Mill.)— Botrytis cinerea Pers.:Fr.*
- Hindersah, R., Kamaluddin, N. N., Samanta, S., Banerjee, S., & Sarkar, S. (2020). Role and perspective of Azotobacter in crops production. *SAINS TANAH - Journal of Soil Science and Agroclimatology*, 17(2), Article 2. <https://doi.org/10.20961/stjssa.v17i2.45130>
- Horche, I. (2019). Nueva generación de bioinductores y bioestimulantes de origen microbiológico. *Phytoma España: La revista profesional de sanidad vegetal*, 309, 68-70.
- Jaurixje, M., Torres, D., Mendoza, B., & Henríquez, M. (2013). *PROPIEDADES FÍSICAS Y QUÍMICAS DEL SUELO Y SU RELACIÓN CON LA ACTIVIDAD BIOLÓGICA BAJO DIFERENTES MANEJOS EN LA ZONA DE QUÍBOR, ESTADO LARA.*
- Jha, C. K., & Saraf, M. (2015). *Plant growth promoting Rhizobacteria (PGPR): A review.*
- Julca-Otiniano, A., Meneses-Florián, L., Blas-Sevillano, R., & Bello-Amez, S. (2006). *LA MATERIA ORGÁNICA, IMPORTANCIA Y EXPERIENCIAS DE SU USO EN LA AGRICULTURA.*
- KANT, K., Singh, D., & Prasad, V. (2016). Effect of microbial inoculants and chemical fertilizers on yield and economics of hybrid cabbage (*Brassica oleracea* var.

- Capitata). *THE ASIAN JOURNAL OF HORTICULTURE*, 11, 338-343.  
<https://doi.org/10.15740/HAS/TAJH/11.2/338-343>
- Kant, K., Singh, D., & Prasad, V. M. (2019). Effect of Microbes and Fertilizers on Growth and Yield of Cabbage (*Brassica oleracea* L. var. Capitata). *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences*, 8(12), 2204-2212.  
<https://doi.org/10.20546/ijcmas.2019.812.262>
- Kapulnik, Y., Sarig, S., Nur, I., Okon, Y., Kigel, J., & Henis, Y. (1981). Yield Increases in Summer Cereal Crops in Israeli Fields Inoculated with *Azospirillum*. *Experimental Agriculture*, 17(2), 179-187.  
<https://doi.org/10.1017/S0014479700011431>
- Kumar, A., Verma, H., Singh, V., Singh, P., Singh, S., Ansari, W., Yadav, A., Singh, P., & Pandey, K. (2017). Role of *Pseudomonas* sp. In Sustainable Agriculture and Disease Management. En *Agriculturally Important Microbes for Sustainable Agriculture* (pp. 195-215). [https://doi.org/10.1007/978-981-10-5343-6\\_7](https://doi.org/10.1007/978-981-10-5343-6_7)
- Lee, S. (2023). *Introducción a los Suelos: La Calidad de los Suelos*.  
<https://extension.psu.edu/introduccion-a-los-suelos-la-calidad-de-los-suelos>
- López Báez, W., Reynoso Santos, R., López Martínez, J., Villar Sánchez, B., Camas Gómez, R., García Santiago, J. O., López Báez, W., Reynoso Santos, R., López Martínez, J., Villar Sánchez, B., Camas Gómez, R., & García Santiago, J. O. (2019). Caracterización físico-química de suelos cultivados con maíz en Villaflores, Chiapas. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, 10(4), 897-910.  
<https://doi.org/10.29312/remexca.v10i4.1764>
- López, M. F. G. (2010). *ESTUDIO BIOAGRONÓMICO DE 20 CULTIVARES DE COL (Brassica oleracea L. var. Capitata), ESPOCH, CANTÓN RIOBAMBA, PROVINCIA DE CHIMBORAZO.*

- Luna Martínez, L., Martínez Peniche, R. A., Hernández Iturriaga, M., Arvizu Medrano, S. M., & Pacheco Aguilar, J. R. (2013). Caracterización de rizobacterias aisladas de tomate y su efecto en el crecimiento de tomate y pimiento. *Revista fitotecnia mexicana*, 36(1), 63-69.
- Mantilla-Paredes, A. J., Cardona, G. I., Peña-Venegas, C. P., Murcia, U., Rodríguez, M., & Zambrano, M. M. (2009). Distribución de bacterias potencialmente fijadoras de nitrógeno y su relación con parámetros fisicoquímicos en suelos con tres coberturas vegetales en el sur de la Amazonia colombiana. *Revista de Biología Tropical*, 57(4), 915-927.
- Mazinani, Z., & Asgharzadeh, A. (2014). Genetic diversity of Azotobacter strains isolated from soils by amplified ribosomal DNA restriction analysis. *Cytology and Genetics*, 48(5), 293-301. <https://doi.org/10.3103/S0095452714050041>
- Moreno Reséndez, A., García Mendoza, V., Reyes Carrillo, J. L., Vásquez Arroyo, J., & Cano Ríos, P. (2018). Rizobacterias promotoras del crecimiento vegetal: Una alternativa de biofertilización para la agricultura sustentable. *Revista Colombiana de Biotecnología*, 20(1), 68-83. <https://doi.org/10.15446/rev.colomb.biote.v20n1.73707>
- Moro, A. (2015, noviembre 26). *Relaciones catiónicas y su interpretación en los análisis de suelos*. AQM Laboratorios. <https://aqmlaboratorios.com/relaciones-cationicas-analisis-de-suelos/>
- Mujtar, E., & Cáceres, S. (2018). *MANUAL PARA LA ELABORACIÓN DE BIOFERTILIZANTE A PARTIR DE DESECHOS AGROPECUARIOS*.
- Muñoz Vera, G. I. (2018). “Evaluación de la eficacia del biofertilizante orgánico «Biol mineralizado» en el rendimiento del cultivo de col morada (*Brassica oleracea*) en

- la zona de Babahoyo*” [bachelorThesis, Babahoyo: UTB,2018].  
<http://dspace.utb.edu.ec/handle/49000/5182>
- Nina Carlo, O. A. (2014). Efecto del abonamiento con dos tipos de preparación de compost en el rendimiento de cuatro variedades de repollo (*Brassica oleracea* L. var. Capitata) en K’ayra—Cusco. *Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco*. <https://repositorio.unsaac.edu.pe/handle/20.500.12918/979>
- Núñez Saravia, C. M. (2020). Evaluación de tres dosis de microorganismos eficientes en el rendimiento de cultivo de repollo *Brassica oleracea* var. Capitata. *Repositorio Institucional - UCV*. <https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/54411>
- Okon, Y., & Labandera-Gonzalez, C. A. (1994). Agronomic applications of *azospirillum*: An evaluation of 20 years worldwide field inoculation. *Soil Biology and Biochemistry*, 26(12), 1591-1601. [https://doi.org/10.1016/0038-0717\(94\)90311-5](https://doi.org/10.1016/0038-0717(94)90311-5)
- Omar, R. P. E., Jesús, O. G., Manuel, B. H. J., Jesús, L. E., Bernardo, M. A., Guillermo, H. M. L., Gabriela, A. M. A., & Dolores, V. D. R. (2015). *Los fertilizantes biológicos en la agricultura*. 10(1).
- Orozco Corral, A. L., Valverde Flores, M. I., Martínez Téllez, R., Chávez Bustillos, C., Benavides Hernández, R., Orozco Corral, A. L., Valverde Flores, M. I., Martínez Téllez, R., Chávez Bustillos, C., & Benavides Hernández, R. (2016). Propiedades físicas, químicas y biológicas de un suelo con biofertilización cultivado con manzano. *Terra Latinoamericana*, 34(4), 441-456.
- Osorio, N. (2009). Microorganismos del suelo y su efecto sobre la disponibilidad y absorción de nutrientes por las plantas. En Sociedad Colombiana de la Ciencia del Suelos & Centro Nacional de Investigaciones de Café (Eds.), *Materia orgánica biología del suelo y productividad agrícola: Segundo seminario regional comité*

*regional eje cafetero* (pp. 43-71). Cenicafé.

[https://doi.org/10.38141/10791/0003\\_3](https://doi.org/10.38141/10791/0003_3)

Pavone, D. (2022, diciembre 21). *Recuento de Unidades Formadoras de Colonias (UFC)*

*en placas de agar—Eduvita*. <https://www.eduvitaweb.com/recuento-ufc-agar/>

Pérez, J., & Casas, M. (2005). ESTUDIO DE LA INTERACCIÓN PLANTA-

Azospirillum EN EL CULTIVO CAÑA DE AZÚCAR (*Saccharum* sp.). *Cultivos*

*Tropicales*, 26(4), 13-19.

Pérez-Pazos, J. V., & Sánchez-López, D. B. (2017). Caracterización y efecto de

Azotobacter, Azospirillum y Pseudomonas asociadas a Ipomoea Batatas del

Caribe Colombiano. *Revista Colombiana de Biotecnología*, 19(2), 35-46.

<https://doi.org/10.15446/rev.colomb.biote.v19n2.69471>

Pilatuña Quishpe, M. F., González-Parra, M. M., Mero García, M. E., Risco Arias, D.,

Pilatuña Quishpe, M. F., González-Parra, M. M., Mero García, M. E., & Risco

Arias, D. (2021). Evaluación agronómica de bacterias fijadoras de nitrógeno

aisladas de suelos andinos en plántulas de lechuga y tomate. *Investigación*

*Agraria*, 23(1), 47-52.

<https://doi.org/10.18004/investig.agrar.2021.junio.2301680>

*Propiedades Químicas | Portal de Suelos de la FAO | Organización de las Naciones*

*Unidas para la Alimentación y la Agricultura*. (s. f.). Recuperado 13 de marzo de

2024, de [https://www.fao.org/soils-portal/soil-survey/clasificacion-de-](https://www.fao.org/soils-portal/soil-survey/clasificacion-de-suelos/sistemas-numericos/propiedades-quimicas/es/)

[suelos/sistemas-numericos/propiedades-quimicas/es/](https://www.fao.org/soils-portal/soil-survey/clasificacion-de-suelos/sistemas-numericos/propiedades-quimicas/es/)

Ramírez, J., Parra, J., & Alvarez, A. (2017). Análisis de técnicas de recuento de

Microorganismos. *Mente Joven*, 6, 01-08. [https://doi.org/10.18041/2323-](https://doi.org/10.18041/2323-0312/mente_joven.0.2017.3665)

[0312/mente\\_joven.0.2017.3665](https://doi.org/10.18041/2323-0312/mente_joven.0.2017.3665)

- Ramos, E., & Zúñiga, D. (2015). EFECTO DE LA HUMEDAD, TEMPERATURA Y PH DEL SUELO EN LA ACTIVIDAD MICROBIANA A NIVEL DE LABORATORIO. *Ecología Aplicada*, 7(1-2), 123. <https://doi.org/10.21704/rea.v7i1-2.367>
- Recharte Pineda, D. C. (2015). Evaluación de microorganismos eficientes autóctonos en el rendimiento del cultivo de tomate (*Lycopersicon esculentum*, mill) en San Gabriel – Abancay. *Repositorio Institucional - UTEA*. <https://renati.sunedu.gob.pe/handle/sunedu/3216610>
- Reyes-Pérez, J. J., Luna-Murillo, R. A., Murillo-Amador, B., Nieto-Garibay, A., Hernández-Montiel, L. G., & Preciado-Rangel, P. (2017). *USO DE VERMICOMPOST Y COMPOST DE JACINTO DE AGUA*. 42.
- Rivera Martínez, L. E., Fornaris Rullán, G. J., Robles Vázquez, W., Semidey Laracuenta, N., Armstrong, A., Rosa Márquez, E., Comas, M., Rojas, N., & Conty, L. (2014). *Conjunto tecnológico para la producción de repollo*. <https://hdl.handle.net/20.500.11801/2591>
- Rodríguez, V., & Zumba, D. (2021). Influencia de tres variedades de col (*Brassica oleracea*) en la elaboración de chucrut. *Ecuadorian Science Journal*, 5(3), 99-111.
- Rolando, T. (2014, noviembre 6). *Resultados uso de microorganismos de montaña en agricultura en MAG Cartago. E tomate 2014*. <https://es.slideshare.net/slideshow/resultados-uso-de-microorganismos-de-montaa-en-agricultura-en-mag-cartago-congreso-de-tomate-2014/41216992>
- Romero-Perdomo, F., Abril, J., Camelo, M., Moreno-Galván, A., Pastrana, I., Rojas-Tapias, D., & Bonilla, R. (2017). *Azotobacter chroococcum* as a potentially useful bacterial biofertilizer for cotton (*Gossypium hirsutum*): Effect in reducing N

- fertilization. *Revista Argentina de Microbiología*, 49(4), 377-383.  
<https://doi.org/10.1016/j.ram.2017.04.006>
- Ruiz Corral, J., García, G., ACUÑA, I., Flores, H., & Ojeda, G. (2020). *REQUERIMIENTOS AGROECOLÓGICOS DE CULTIVOS 2da Edición*.
- Salim, H. A. (2018). Effect of Bio-Fertilizers Azotobacter Chroococcum and Pseudomonas Fluorescens on Growth of Broccoli (Brassica Oleracea L. Var. Italica). *JOURNAL OF ADVANCES IN BIOLOGY*, 11, 2236-2240.  
<https://doi.org/10.24297/jab.v11i1.7590>
- Sánchez, M., Ruíz-Sánchez, E., Muñoz-Rodríguez, D., Chan Cupul, W., Medina-Dzul, K., Sánchez, M., Ruíz-Sánchez, E., Muñoz-Rodríguez, D., Chan Cupul, W., & Medina-Dzul, K. (2022). Efecto de inoculantes microbianos en los compuestos bioactivos y actividad antioxidante del chile xcat'ik (Capsicum annum L.). *Biotecnia*, 24(3), 123-131. <https://doi.org/10.18633/biotecnia.v24i3.1691>
- Sangoquiza Caiza, C. A., Viera Tamayo, Y., & Yáñez Guzmán, C. F. (2018). Respuesta biológica de aislados de Azospirillum spp. Frente a diferentes tipos de estrés. *Centro Agrícola*, 45(1), 40-46.
- Santoyo, G., Orozco-Mosqueda, Ma. del C., & Govindappa, M. (2012). Mechanisms of biocontrol and plant growth-promoting activity in soil bacterial species of Bacillus and Pseudomonas: A review. *Biocontrol Science and Technology*, 22(8), 855-872.  
<https://doi.org/10.1080/09583157.2012.694413>
- Setubal, J. C., dos Santos, P., Goldman, B. S., Ertesvåg, H., Espin, G., Rubio, L. M., Valla, S., Almeida, N. F., Balasubramanian, D., Cromes, L., Curatti, L., Du, Z., Gody, E., Goodner, B., Hellner-Burris, K., Hernandez, J. A., Houmiel, K., Imperial, J., Kennedy, C., ... Wood, D. (2009). Genome Sequence of Azotobacter vinelandii, an Obligate Aerobe Specialized To Support Diverse Anaerobic

- Metabolic Processes. *Journal of Bacteriology*, 191(14), 4534-4545.  
<https://doi.org/10.1128/JB.00504-09>
- Shahrajabian, M. H., Chaski, C., Polyzos, N., Tzortzakis, N., & Petropoulos, S. (2021). Sustainable Agriculture Systems in Vegetable Production Using Chitin and Chitosan as Plant Biostimulants. *Biomolecules*, 11, 819.  
<https://doi.org/10.3390/biom11060819>
- Soto, S., & Desamparados, M. (2018). *pH del suelo*.  
<https://riunet.upv.es/handle/10251/102382>
- 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>
- Tanya Morocho, M., Leiva-Mora, M., Tanya Morocho, M., & Leiva-Mora, M. (2019). Microorganismos eficientes, propiedades funcionales y aplicaciones agrícolas. *Centro Agrícola*, 46(2), 93-103.
- Torres, D., López, M., Contreras, J., Henríquez, M., Acevedo, I., & Agurto, C. (2012). Uso de la tierra del piedemonte del estado Lara, Venezuela y su efecto sobre propiedades físicas, químicas y bacterias rizosféricas. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, 3(7), 1375-1388.
- Tortora, G. J., Funke, B. R., & Case, C. L. (2007). *Introducción a la microbiología*. Ed. Médica Panamericana.
- Urriola S., L. A. (2020). ¿Por qué estudiar las propiedades físicas del suelo? *Revista Semillas del Este*, 1(1), Article 1.
- Valero, S. G. (1994). *Interpretación de análisis de suelos*.
- Velazquez, R. V., Holguín, W. D. V., Loor, R. I. P., & Muñoz, K. I. D. (2022). Determinación de las propiedades físicas y químicas de los suelos agrícolas de la

parroquia El Esfuerzo del cantón Santo Domingo de los Tsáchilas: Determination of the physical and chemical properties of agricultural soils. *Revista Científica Sinapsis*, 2(21), Article 21. <https://doi.org/10.37117/s.v2i21.534>

Verma, J. P., Yadav, J., Tiwari, K. N., & Jaiswal, D. K. (2014). Evaluación de las actividades promotoras del crecimiento vegetal de cepas microbianas y su efecto sobre el crecimiento y el rendimiento del garbanzo ( *Cicer arietinum* L.) en la India. *Soil Biology and Biochemistry*, 70, 33-37. <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2013.12.001>

Zavala, J., Alcarraz, M., & Julian, J. (2020). Evaluación para la producción de *Azotobacter* sp. Promotor de crecimiento para cultivos de *Coffea arabica*. *Ciencia e Investigación*, 23(1), Article 1. <https://doi.org/10.15381/ci.v23i1.18751>

## 11. Anexos



**Anexo 1.** Desinfección de semilleros y mezcla de sustrato turba y tierra.



**Anexo 2.** Siembra en semilleros y colocación en bolsas negras.



**Anexo 3.** Arado del terreno mediante tractor y delimitación del área de trabajo



**Anexo 4.** Elaboración de caminos y parcelas.



**Anexo 5.** Aplicación de microorganismos en semillero y en condiciones de campo.



**Anexo 6.** Cuidados y riego de semilleros.



**Anexo 7.** Evaluación de plántulas para trasplante y toma de la primera variable.



**Anexo 8.** Trasplante a condiciones de campo





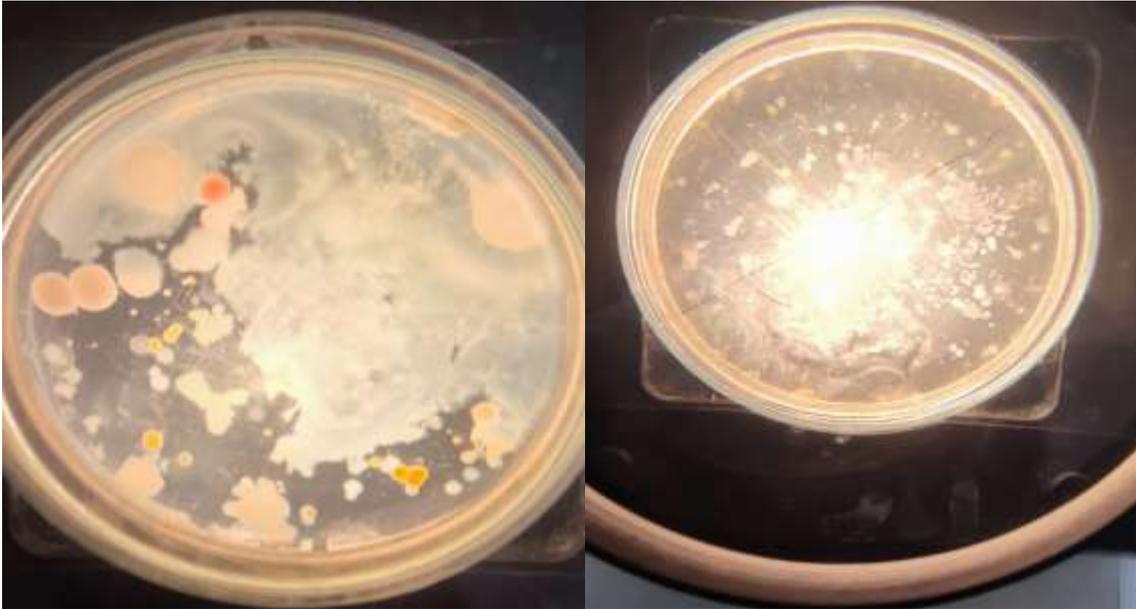
**Anexo 9.** Evaluación del crecimiento y toma de datos



**Anexo 10.** Cosecha de cabezas de col



**Anexo 11.** Toma de datos luego de la cosecha



Bacterias	Dilución	T0 (Suelo Antes)	T1 <i>Azospirillum</i> spp	T2 <i>Azotobacter</i> spp	T3 <i>Pseudomonas</i> spp	T4 Químico NPK	T5 Testigo
Caja P1	10 <sup>7</sup>	53	141	223	169	57	70
Caja P2	10 <sup>7</sup>	57	145	227	165	61	66
<b>Promedio</b>		55	143	225	167	59	68
<b>UFC/ml</b>		<b>5,5 x 10<sup>8</sup></b>	<b>1,43 x 10<sup>9</sup></b>	<b>2,25 x 10<sup>9</sup></b>	<b>1,67 x 10<sup>9</sup></b>	<b>5,9 x 10<sup>8</sup></b>	<b>6,8 x 10<sup>8</sup></b>

**Anexo 12.** Análisis de las UFC (Hongos y Bacterias)

Tratamientos	Altura de la planta (cm)
<b>T2 <i>Azotobacter</i> spp.</b>	35,69 a
<b>T4 Químico</b>	32,90 b
<b>T1 <i>Azospirillum</i> spp.</b>	32,47 b
<b>T3 <i>Pseudomonas</i> spp.</b>	31,53 b
<b>T5 Testigo</b>	26,55 c

Tratamientos	Peso de la pella (Kg)
<b>T2 <i>Azotobacter</i> spp.</b>	2,08 a
<b>T4 Químico</b>	1,89 ab
<b>T1 <i>Azospirillum</i> spp.</b>	1,52 bc
<b>T3 <i>Pseudomonas</i> spp.</b>	1,46 c
<b>T5 Testigo</b>	1,27 c

**Anexo 13.** Datos estadísticos de las variables en la etapa de desarrollo del cultivo

Tratamientos	Rendimiento (t/ha)	
T2 Azotobacter spp.	86,67	a
T4 Químico	78,75	b
T1 Azospirillum spp.	63,33	c
T3 Pseudomonas spp.	60,83	c
T5 Testigo	52,92	d

Anexo 14. Datos estadísticos del rendimiento en la etapa final del cultivo

INICIASP/2201/21



INSTITUTO NACIONAL DE INVESTIGACIONES AGROPECUARIAS  
ESTACION EXPERIMENTAL SANTA CATALINA  
LABORATORIO DE ANÁLISIS DE SUELOS PLANTAS Y AGUAS  
Panamericana Sur Km. 1, S/N Cutuglagua.  
Tf. (02) 3007284 / (02)2504240  
Mail: laboratorio@iniap.gub.ve



INFORME DE ENSAYO No: 23-0281

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

Sede I - CO-107108 - 87

Análisis	pH	N	P	S	B	K	Ca	Mg	Zn	Cu	Fe	Mn	Co	Ni	Mo	CO <sup>2+</sup>	Textura (%)			IDENTIFICACIÓN							
																	meq/100g	meq/100g	meq/100g		meq/100g	%	%	%			
23-1402	5,75	16,42	41,28	11	0,12	0	0,28	0	0,40	4,34	1,23	4	2,4	4,5	4	38,0	34,3	3,47	2,89	13,37	5,73	1,37	10				Muestra 10m
23-1403	5,73	16,42	41,28	11	0,12	0	0,28	0	0,40	4,34	1,23	4	2,4	4,5	4	38,0	34,3	3,47	2,89	13,37	5,73	1,37	10				Muestra 10m

INICIASP/2201/21



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



INFORME DE ENSAYO No: 23-0281

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

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	8,5	Muestra Acosordium M2 EN
23-1431	0,27	2,17	0,60	0,12	3,2	38,3	8,3	Muestra AKM
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. Maiz

Anexo 15. Análisis de las propiedades del suelo

Lic. Julio Edgar Coronel Puchaicela Mgs.  
0969222655

[Edgarcoronel28@hotmail.com](mailto:Edgarcoronel28@hotmail.com)

Loja – Ecuador

Loja, 01 de octubre de 2024

El suscrito, Lic. Julio Edgar Coronel Puchaicela Mgs. En GERENCIA EDUCACIONAL (Registro de la SENECYT número 8622208568), ÁREA DE INGLÉS UNIDAD EDUCATIVA MIGUEL RJOFRIO, a petición de la parte interesada y en forma legal.

### **CERTIFICA:**

Que la traducción del resumen del documento adjunto, solicitado por el Sr. Kelvin David Matailo Cuenca con cédula de ciudadanía número: 1150586202 cuyo tema de investigación se titula: Efecto de la aplicación de microorganismos bioestimulantes sobre el crecimiento, rendimiento del cultivo de col (*Brassica oleracea* L.) y las propiedades del suelo bajo condiciones de campo en la quinta experimental la Argelia, ha sido realizado y aprobado por mi persona, Julio Edgar coronel Puchaicela 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.



Mgs. Julio Edgar Coronel Puchaicela  
C.I. 1102502653  
English Teacher