

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO



FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS/DIRECCIÓN DE POSGRADO

MAESTRÍA EN AGRONOMÍA MENCIÓN NUTRICIÓN VEGETAL

Tema: “Efecto del uso de biofertilizantes sobre los parámetros productivos y rendimiento de col (*Brassica oleracea* var. *capitata* L.)”

Trabajo de investigación, previo a la obtención del Grado Académico de Magister en
Agronomía Mención Nutrición Vegetal

Autor: Ing. Paul Andrés Corrales Gutiérrez

Director: Ing. Alberto Cristobal Gutiérrez Albán, M. Sc.

AMBATO – ECUADOR

2023

A la Unidad Académica de Titulación de la Universidad Técnica de Ambato de la Facultad de Ciencias Agropecuarias

El Tribunal receptor del Trabajo de Investigación presidido por el Ing, Oscar Patricio Núñez Torres Ph.D, e integrado por los señores: Ingeniero, Mg., Edgar Luciano Valle V. e Ingeniero, Mg., Jorge Enrique Dobronski Arcos designados por la Unidad Académica de Titulación de la Facultad de Ciencias Agropecuarias de la Universidad Técnica de Ambato, para receptor el Trabajo de Titulación con el tema: “Efecto del uso de biofertilizantes sobre los parámetros productivos y rendimiento de col (*Brassica oleracea* var. *capitata* L.)” aprobado por la Unidad Académica de Titulación, elaborado y presentado por el señor Ingeniero, Mg., Paúl Andrés Corrales Gutiérrez, para optar por el Grado Académico de Magister en Agronomía Mención Nutrición Vegetal y una vez escuchada la defensa oral Trabajo de Investigación el Tribunal aprueba y remite el trabajo para uso y custodia en las bibliotecas de la UTA.

Ing. Oscar Patricio Núñez Torres Ph.D
Presidente y Miembro del Tribunal

Ingeniero, Mg., Edgar Luciano Valle V.
Miembro del Tribunal

Ingeniero, Mg., Jorge Enrique Dobronski Arcos
Miembro del Tribunal

AUTORÍA DEL TRABAJO DE INVESTIGACIÓN

La responsabilidad de las opiniones, comentarios y críticas emitidas en el Trabajo de Investigación, presentado con el tema: “EFECTO DEL USO DE BIOFERTILIZANTES SOBRE LOS PARÁMETROS PRODUCTIVOS Y RENDIMIENTO DE COL (*BRASSICA OLERACEA* VAR. *CAPITATA* L.)”, le corresponde exclusivamente a: Ingeniero Corrales Gutiérrez Paul Andrés, Autor bajo la Dirección del Ingeniero Gutiérrez Albán Alberto Cristóbal Magister, Director del Trabajo de Investigación y el patrimonio intelectual a la Universidad Técnica de Ambato.

Ing. Corrales Gutiérrez Paúl Andrés M. Sc

C.C. 1803249547

AUTOR

Ing. Gutiérrez Albán Alberto Cristóbal M.Sc

C.C. 1801062199

DIRECTOR

DERECHOS DE AUTOR

Autorizo a la Universidad Técnica de Ambato, para que el Trabajo de Investigación, sirva como un documento disponible para su lectura, consulta y procesos de investigación, según las normas de la Institución.

Cedo los Derechos de mi trabajo, con fines de difusión pública, además apruebo la reproducción de este, dentro de las regulaciones de la Universidad.

Ing. Corrales Gutiérrez Paul Andrés

C.C. 1803249547

AUTOR

ÍNDICE GENERAL

AUTORÍA DEL TRABAJO DE INVESTIGACIÓN	iii
DERECHOS DE AUTOR	iv
ÍNDICE GENERAL	v
ÍNDICE DE FIGURAS	vii
DEDICATORIA	viii
AGRADECIMIENTO	ix
RESUMEN EJECUTIVO	x
ABSTRACT	xii
CAPÍTULO I.....	1
EL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN	1
1.1. Introducción	1
1.2. Justificación	2
1.3. Objetivos	4
CAPÍTULO II.....	5
ANTECEDENTES INVESTIGATIVOS	5
2.1. La familia Brassicaceae: características e importancia económica	5
2.2. Requerimientos nutricionales de la col de cabeza.....	8
2.3. Fertilización de la col de cabeza	10
2.4. Bacterias fijadoras de nitrógeno: bacterias <i>Azotobacter</i>	12
2.4.1. La capacidad de fijación de nitrógeno de <i>Azotobacter</i>	12
CAPÍTULO III	14
MARCO METODOLÓGICO	14
3.1. Ubicación del ensayo	14
3.2. Equipos y materiales	14
3.3. Tipo de investigación.....	14
3.4. Prueba de hipótesis	14
3.5. Recolección de la información	15
3.6. Procesamiento de la información y análisis estadístico.....	16
3.7. Variables respuesta	16
CAPÍTULO IV	17

RESULTADOS Y DISCUSIÓN	17
4.1. Efecto de la aplicación de diferentes dosis de biofertilizante a base de <i>Azotobacter</i> sp. sobre los parámetros altura de planta y tasa de crecimiento de plantas de col.....	17
4.2. Efecto de la aplicación de diferentes dosis de biofertilizante a base de <i>Azotobacter</i> sp. sobre el diámetro y peso de la pella.....	19
4.3. Rendimiento de plantas de col tratadas con diferentes dosis de biofertilizante a base de <i>Azotobacter</i> sp.	20
CAPÍTULO V	23
CONCLUSIONES, RECOMENDACIONES, BIBLIOGRAFÍA.....	23
5.1. Conclusiones	23
5.2. Recomendaciones	23
5.3. Bibliografía	25
5.4. Anexos	31
5.4.1. Análisis estadístico	31

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Variación mundial de la producción y rendimiento mundial de la col de cabeza durante el período 2012-2021, según la (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, 2023).....	6
Figura 2. Principales países productores, rendimiento y área cosechada de col de cabeza durante 2021 según (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, 2023)	7
Figura 3. Variación de la producción y rendimiento de la col de cabeza en Ecuador durante el período 2012-2021, según la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (2023)	8
Figura 4. Variación de la altura de plantas de col var. ‘Gloria’ por efecto de diferentes tipos de fertilización	17
Figura 5. Tasa de crecimiento en plantas de col var. ‘Gloria’ sometidas a diferentes tipos de fertilización.....	18
Figura 6. Diámetro y peso de la pella obtenida de plantas de col var. ‘Gloria’ sometidas a diferentes tipos de fertilización.....	20
Figura 7. Variación del rendimiento (tn/ha) en plantas de col var. ‘Gloria’ sometidas a diferentes tipos de fertilización.....	21

DEDICATORIA

Este trabajo lo dedico a mí ser supremo Dios ya que gracias a Él he podido mantenerme con salud y seguir culminar con éxito mis objetivos.

A mi querida esposa Paola por ser el centro de mi vida ya que gracias a su comprensión, dedicación y amor nos hemos superado, sin importar ningún obstáculo que la vida nos ha colocado, jamás dejaste que decaiga por más fuerte que parecían los problemas, durante más de 15 años siempre has sabido que hacer TE AMO mi reina.

A mis hijas Paula, Paullete y Sofia al ser mi motor, el cansancio de un hombre luego de los largos días de trabajo nunca importó debido a las hermosas sonrisas y fuertes abrazos que se hacían presentes al llegar a casa GRACIAS mis princesas.

A mi madre por el ejemplo de lucha, superación y constancia, te agradezco infinitamente por formar un hijo que no se derrumba con cualquier cosa, no me imagino una vida sin la mejor MADRE que me pudo dar esta vida.

A mi hermana por ser una ayuda fundamental en la vida de todos, para cada una de las personas de la familia eres importante, siempre es bueno contar contigo.

A mis tíos por el ejemplo de lucha y dedicación en cada momento de sus vidas.

A mis primos Paulo, Carlos, Alexandra, Isabel, Verónica, Luis, Víctor, Mijael, Soledad, Camila, Salome, Eduardo, Henry, Gema por creer en mi, eso ha sido de mucha valía para mi vida.

A mis suegros, cuñados y cuñadas por todas las conversaciones que sirvieron para mejorar como persona, en especial a Kerly, Byron y Sandra por estar al pendiente de nosotros.

Ing. Luciano Valle, Ing. Jorge Dobronski, Ing. Carlos Vásquez, Ing. Hernán Zurita, Ing. José Luis Pantoja infinitas gracias por compartir sus conocimientos que sirvieron para formar a este profesional.

A mis padres de vida Alberto y Nancy pienso que nunca voy a encontrar las palabras para agradecer todo lo que han hecho por mí y mi familia y tampoco sé cómo agradecerles por su infinito amor hacia nosotros, lo que se con certeza es que mientras yo este junto a ustedes siempre tendrán el apoyo que ustedes nos brindaron, espero nunca me falten viejitos lindos.

AGRADECIMIENTO

Mi reconocimiento a la Universidad Técnica de Ambato, de manera muy especial a la Facultad de Ciencias Agropecuarias, por haberme acogido en sus aulas del saber, las mismas que sirvieron para enriquecer mis conocimientos, y brindarme un futuro profesional que será parte de mi vida y cumplir con mi más anhelada meta que es mi carrera profesional de Ingeniero Agrónomo. A mi tutor Ing. Agr. Alberto Gutiérrez A. Mg. quién me brindó todo su apoyo y conocimientos para culminar la investigación, como también a los Ing. Mg. Luciano Valle e Ing. Mg. Jorge Dobronski, quienes supieron en su determinado momento asesorarme para que los resultados alcanzados en el trabajo de investigación sean fructíferos. A todos mis compañeros de aula con quienes compartimos gratos momentos durante los semestres de estudio.

A todos un gracias.

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS/ DIRECCIÓN DE POSGRADO
PROGRAMA DE MAESTRÍA EN AGRONOMÍA MENCIÓN NUTRICIÓN
VEGETAL

INFORMACIÓN GENERAL

TEMA: Efecto del uso de biofertilizantes sobre los parámetros productivos y rendimiento de col (*Brassica oleracea* var. *capitata* L.)

AUTOR: Ing. Paul Andrés Corrales Gutiérrez M. Sc.

DIRECTOR: Ing. Alberto Cristóbal Gutiérrez Albán M. Sc.

Fecha: Dos de junio del 2023

RESUMEN EJECUTIVO

La col (*Brassica oleracea* var. *capitata*) es una de las hortalizas comerciales de mayor importancia a nivel mundial; sin embargo, en muchos casos se ha observado descenso en la productividad, junto con aumento de los costos de producción y la dependencia de insumos externos, lo que consecuentemente representa un deterioro de la calidad de vida de los agricultores y daños al medio ambiente. En este sentido, el objetivo de esta investigación fue evaluar el efecto del uso de biofertilizantes sobre los parámetros productivos y rendimiento de col (*Brassica oleracea* var. *capitata*). Se evaluó el efecto de un biofertilizante comercial *Azotobacter* el cual fue aplicado a nivel de plántulas de 25 días en forma individual o combinado con fertilizante inorgánico (NPK) en presentaciones de 80-40-40 NPK kg.ha⁻¹, 120-60-60 NPK kg.ha⁻¹ y 160-80-80 NPK kg.ha⁻¹. Se observó un efecto significativo del uso de *Azotobacter* + F2-120-60-60 NPK kg.ha⁻¹ sobre la altura de planta, el cual fue evidente a partir de las evaluaciones a los 30, 60 y 90 días después del trasplante con medias de 17.75; 32.30 y 52.68 cm, respectivamente. Este tratamiento también mostró los mejores resultados en el diámetro, peso de la pella y rendimiento, con el que se obtuvieron pellas de 20.5 cm de diámetro, con un peso promedio de 4.2 kg y un rendimiento promedio de 116.8 t.ha⁻¹, mientras que con el resto de los tratamientos el rendimiento varió desde 66.9 hasta 77.5 t.ha⁻¹, lo cual representó una disminución de 42.9 y 33.7%. Con base en los resultados se

demostró que el uso de fertilizantes inorgánicos convencionales en combinación con biofertilizantes a base de *Azotobacter* promueve los parámetros productivos de este cultivo, por lo que se concluye que esta podría ser una opción viable en la producción de col de cabeza.

Palabras clave: *Azotobacter*, biofertilización, col, fertilizantes convencionales, rendimiento.

ABSTRACT

Cabbage (*Brassica oleracea* var. *capitata*) is one of the most important commercial vegetables worldwide; however, in many cases a decrease in productivity has been observed, together with an increase in production costs and dependence on external inputs, which consequently represents a deterioration in the quality of life of farmers and damage to the environment. In this sense, the objective of this research was to evaluate the effect of the use of biofertilizers on the productive parameters and yield of cabbage (*Brassica oleracea* var. *capitata*). The effect of a commercial *Azotobacter* biofertilizer was evaluated, which was applied at the 25-day-old seedling level individually or combined with inorganic fertilizer (NPK) in presentations of 80-40-40 NPK kg.ha⁻¹, 120-60- 60 NPK kg.ha⁻¹ and 160-80-80 NPK kg.ha⁻¹. A significant effect of the use of *Azotobacter* + F2-120-60-60 NPK kg.ha⁻¹ on plant height was observed, which was evident from the evaluations at 30, 60 and 90 days after transplanting with means of 17.75; 32.30 and 52.68 cm, respectively. This treatment also showed the best results in diameter, pellet weight and yield, with 20.5 cm diameter pellets being obtained, with an average weight of 4.2 kg and an average yield of 116.8 t.ha⁻¹, while that with the rest of the treatments the yield varied from 66.9 to 77.5 t.ha⁻¹, which represented a decrease of 42.9 and 33.7%. Based on the results, it was shown that the use of conventional inorganic fertilizers in combination with *Azotobacter*-based biofertilizers promotes the productive parameters of this crop, so it is concluded that this could be a viable option in the production of cabbage.

Keywords: *Azotobacter*, biofertilization, cabbage, conventional fertilizers, yield.

CAPÍTULO I

EL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

1.1. Introducción

Entre las brassicáceas, el cultivo de col es una de las hortalizas comerciales de mayor importancia a nivel mundial, debido a sus altos valores nutritivos; tales como minerales, vitaminas y fibras, su alta productividad y adaptabilidad (Kant et al., 2016). De acuerdo con la FAO (2020), la producción mundial de coles ha mostrado un ligero incremento 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, mientras que en Ecuador el rendimiento y producción alcanzaron niveles de 61.882 kg/ha y 12.395 t, respectivamente. Estas cifras demuestran que, así como en otros rubros hortícolas, existe un descenso en la productividad en las áreas hortícolas, junto con aumento de los costos de producción y la dependencia de insumos externos, lo que consecuentemente representa un deterioro de la calidad de vida de los agricultores y daños al medio ambiente, debido al uso indiscriminado de productos químicos (Criollo et al., 2011).

En tal sentido, la utilización de microorganismos del suelo surgen como una opción para reducir el uso de fertilizantes orgánicos y juegan un papel importante en la dinámica de descomposición de la materia orgánica y disponibilidad de nutrientes para las plantas, promoviendo así el incremento de la productividad de los cultivos, por lo que podrían constituir un componente importante del manejo integrado de nutrientes (Kant *et al.*, 2016).

Con base en estudios previos, las ventajas del uso de bacterias de vida libre no simbióticas sobre las mejoras de la salud y la fertilidad del suelo han sido señaladas en varios cultivos de hortalizas y, en particular, los efectos beneficiosos del uso de *Azotobacter* no solo se refieren a la eficiencia en la fijación de nitrógeno, sino también a la capacidad de producir compuestos antibacterianos y antifúngicos y reguladores del crecimiento (Bhardwaj *et al.*, 2007).

Investigaciones hechas para determinar el efecto de la biofertilización sola o combinada con fertilizantes químicos han demostrado el valor de *Azotobacter* en el rendimiento de la col. Chandel *et al.* (2021) estudiaron la influencia de la fertilización con N, P, K y biofertilizantes

en el crecimiento y rendimiento de la col y observaron que la combinación de ambas fuentes de fertilización provocaron incrementos en la longitud de la hoja, tamaño de la pella, peso neto y rendimiento. De manera similar, Chatterjee *et al.* (2012) evaluaron el efecto de diferentes fuentes de nutrientes en la calidad de la col cv. Acre de Oro demostrando que el rendimiento y vida útil, los contenidos de sólidos totales, vitamina A y vitamina C fueron positivamente afectados por la aplicación de diferentes fuentes de nutrientes, siendo los beneficios de la inoculación con *Azotobacter* y bacterias solubilizadoras de fosfato potenciados cuando se combinó con vermicompost. Así, el máximo rendimiento de pella (27.86 t/ha), vida útil (12 días), firmeza de la pella (93.32 kg/cm²) así como sólidos totales (4.18 °Brix), vitamina A (126.76 µg/100g), vitamina C (44.62 mg/100g) y el contenido más bajo de nitrato (217.17 mg/kg) fueron obtenidos cuando se usó 75% de fertilizantes inorgánicos junto con vermicompost en presencia de biofertilizantes.

La información sobre el efecto del uso de los biofertilizantes, en cuando a la dosis óptima y su interacción con los fertilizantes inorgánicos sobre el rendimiento y calidad de la pella de col aún es escasa. Es por ello que la presente investigación intentó evaluar el efecto de las diferentes combinaciones de fuentes de nutrientes en el rendimiento y los atributos de calidad importantes de la col.

1.2. Justificación

Las hortalizas del grupo de las brassicáceas son consumidas frescas, cocidas y procesadas debido a su alto contenido de proteína y bajo contenido en grasa, además de su potencial para reducir los riesgos de enfermedades crónicas y, en el caso particular de la col, es una excelente fuente de vitamina B y C y minerales como el potasio y calcio (Balliu, 2014).

A nivel mundial, la producción de col alcanzó 70,862,165 t en 2020 con un rendimiento promedio de 293,512 kg/ha y Ecuador se ubicó muy por debajo de este promedio mundial, alcanzando apenas 61,882 kg/ha en una superficie sembrada de 2003 ha (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, 2022). Aunque la producción de hortalizas juega un papel importante en la economía de los pequeños agricultores, es necesario evaluar nuevas alternativas de producción que estén disponibles para los agricultores de manera de crear oportunidades que contribuyan a mejorar la condición

socioeconómica y que además asegure producciones a niveles suficientes que satisfagan los requerimientos de la demanda (Gonzales y Caedo Jr., 2016).

Debido al creciente aumento de la población mundial, se estima que, en los próximos años exista un incremento en la demanda de productos hortícolas para satisfacer las necesidades alimenticias de la población. Sin embargo, cubrir los altos niveles de producción puede resultar con frecuencia una tarea difícil sin comprometer el daño al ambiente puesto que los sistemas agrícolas, principalmente los relacionados con la producción de hortalizas, son muy vulnerables a la pérdida de nitrógeno por lixiviación y/o desnitrificación, lo que conlleva a la aplicación de grandes cantidades de nitrógeno en sistemas de monocultivo, lo que conlleva a una baja eficiencia en el uso de nutrientes (Kacjan Maršić *et al.*, 2021). En este sentido se han evaluado diferentes estrategias con miras a reducir las tasas de fertilización sin comprometer el rendimiento en el cultivo de col, tales como prácticas mejoradas de manejo de nitrógeno y agua, el desarrollo de varios programas de mejoramiento que se enfocan en genotipos eficientes en nitrógeno y modelos mejorados para predecir el momento de la absorción de nitrógeno; pero, los resultados no son aún concluyentes (Šturm *et al.*, 2010; Urlić *et al.*, 2014).

Además de estas prácticas, en los últimos años se ha evaluado el efecto del uso de biofertilizantes que pueden contener bacterias fijadoras de nitrógeno como una manera paliativa de suplir este nutriente de manera sustentable y eficiente. Los microorganismos fijadores de nitrógeno se componen de biofertilizantes fijadores de nitrógeno simbióticos (incluidos *Rhizobium*, *Azolla*, etc.), biofertilizantes fijadores de nitrógeno de vida libre (*Azotobacter*, cianobacterias, etc.) y biofertilizantes fijadores de nitrógeno simbióticos asociativos (*Azospirillum*) (Singh y Verma, 2020).

Así, los biofertilizantes se constituyen un elemento esencial en el manejo de la fertilidad del suelo durante largos períodos puesto que proporcionan nutrientes a las plantas mediante el uso de diferentes mecanismos y también favorecen la inmunidad de las plantas para protegerse del ataque de enfermedades y plagas, así como del estrés abiótico, a la vez que contribuyen con la síntesis de sustancias promotoras del crecimiento (Singh y Verma, 2020). Con base en las ventajas demostradas del uso de los biofertilizantes, en forma conjunta con fertilizantes inorgánicos, el presente estudio adquiere importancia puesto que visa a evaluar la efectividad de la aplicación de *Azotobacter* y su compatibilidad con un fertilizante

nitrogenado inorgánico de manera de ofrecer nuevas alternativas ecológicamente sustentables a los productores.

Con ello, los resultados obtenidos en este estudio serán transferidos a los productores de col de la región, con lo que se pretende contribuir al mejoramiento de las recomendaciones de fertilización edáfica para el cultivo, complementando con los biofertilizantes que existen en el mercado; enfocado hacia una producción ecológica, sustentable y económicamente rentable.

1.3.Objetivos

Objetivo general

Evaluar el efecto del uso de biofertilizantes sobre los parámetros productivos y rendimiento de col (*Brassica oleracea* var. *capitata*)

Objetivo(s) específico(s)

1. Determinar el efecto de la aplicación de diferentes dosis de biofertilizante a base de *Azotobacter* sp. sobre los parámetros altura de planta, diámetro de pella, tasa de crecimiento de plantas de col.
2. Evaluar el rendimiento de plantas de col tratadas con diferentes dosis de biofertilizante a base de *Azotobacter* sp.
3. Comparar el efecto de las aplicaciones de biofertilizantes con el uso de la fertilización convencional sobre plantas de col.

CAPÍTULO II

ANTECEDENTES INVESTIGATIVOS

2.1. La familia Brassicaceae: características e importancia económica

La familia Brassicaceae, originalmente conocida como Cruciferae, se encuentra entre las familias de Angiospermas más grandes dentro del orden Brassicales y está conformada por unas 3709 especies incluidas en aproximadamente 360 géneros, con amplia distribución mundial, pero en los trópicos se encuentran principalmente en regiones montañosas (Raza *et al.*, 2020).

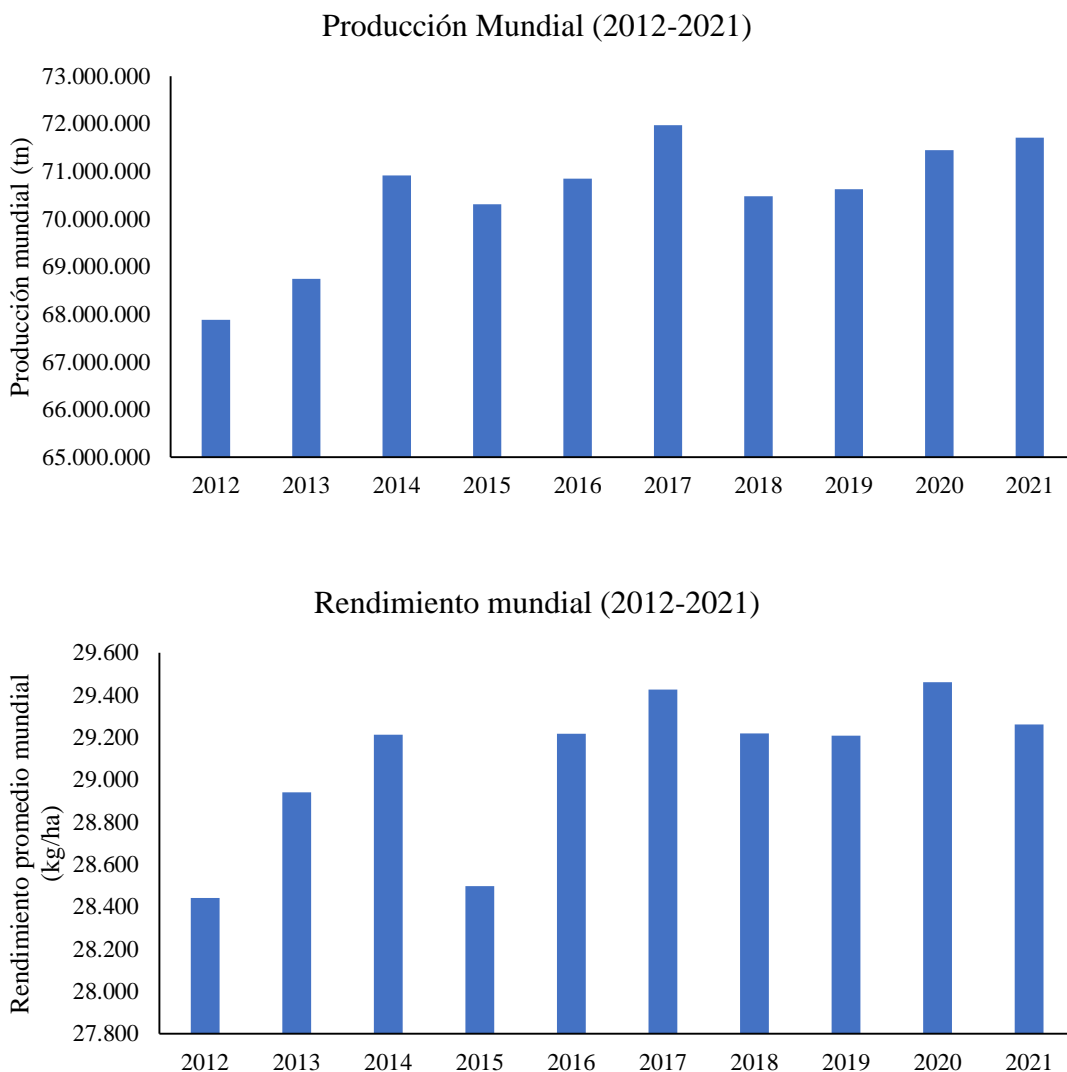
El género *Brassica* es uno de los principales grupos de importancia agrícola, puesto que incluye cultivos de hortalizas (col, brócoli, acelga, etc.) y semillas oleaginosas (canola, mostaza) incluidas dentro de la especie *Brassica oleracea*, en la cual se distinguen siete grupos, de acuerdo con la morfología y las formas de desarrollo: *B. oleracea* "grupo capitata" (diferentes variedades de col), *B. oleracea* "grupo Acephala" (col rizada), *B. oleracea* "grupo Alboglabra" (brócoli chino o Kai-lan), *B. oleracea* "grupo Botrytis" (coliflor, brócoli romanesco y brócoli), *B. oleracea* "grupo Italica" (brócoli), *B. oleracea* "grupo Gemmifera" (coles de Bruselas) y *B. oleracea* "grupo Gongylodes" (colinabo) (Šamec & Salopek-Sondi, 2019).

En el caso de la col de cabeza, esta se cultiva por encima de los 700 m en zonas con temperaturas diurnas entre 15 y 24°C y suficiente luz durante todo su ciclo de crecimiento (60-100 días) (Muimba-Kankolong, 2018). De acuerdo con la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (2023), la producción mundial de la col de cabeza ha mostrado ligeras variaciones en los últimos 10 años, alcanzando 67,879,688.04 ton en el 2012 hasta lograr posicionarse en 71,707,238.96 en el 2021, lo cual representa un incremento de 5.33%, mientras que el rendimiento varió desde 28441.30 kg/ha hasta 29261.10 kg/ha, que representa apenas un 2.8% de variación en ese mismo período (Fig. 1).

Durante 2021, los principales países productores incluyen a China (34,480,155.32 tn), India (9,560,000.00 tn), República de Corea (2,473,171.11 tn), Federación de Rusia (2,352,800.00 tn), Ucrania (1,722,580.00 tn), Indonesia (1,434,670.47 tn), Japón (1,402,286.59 tn), Kenia

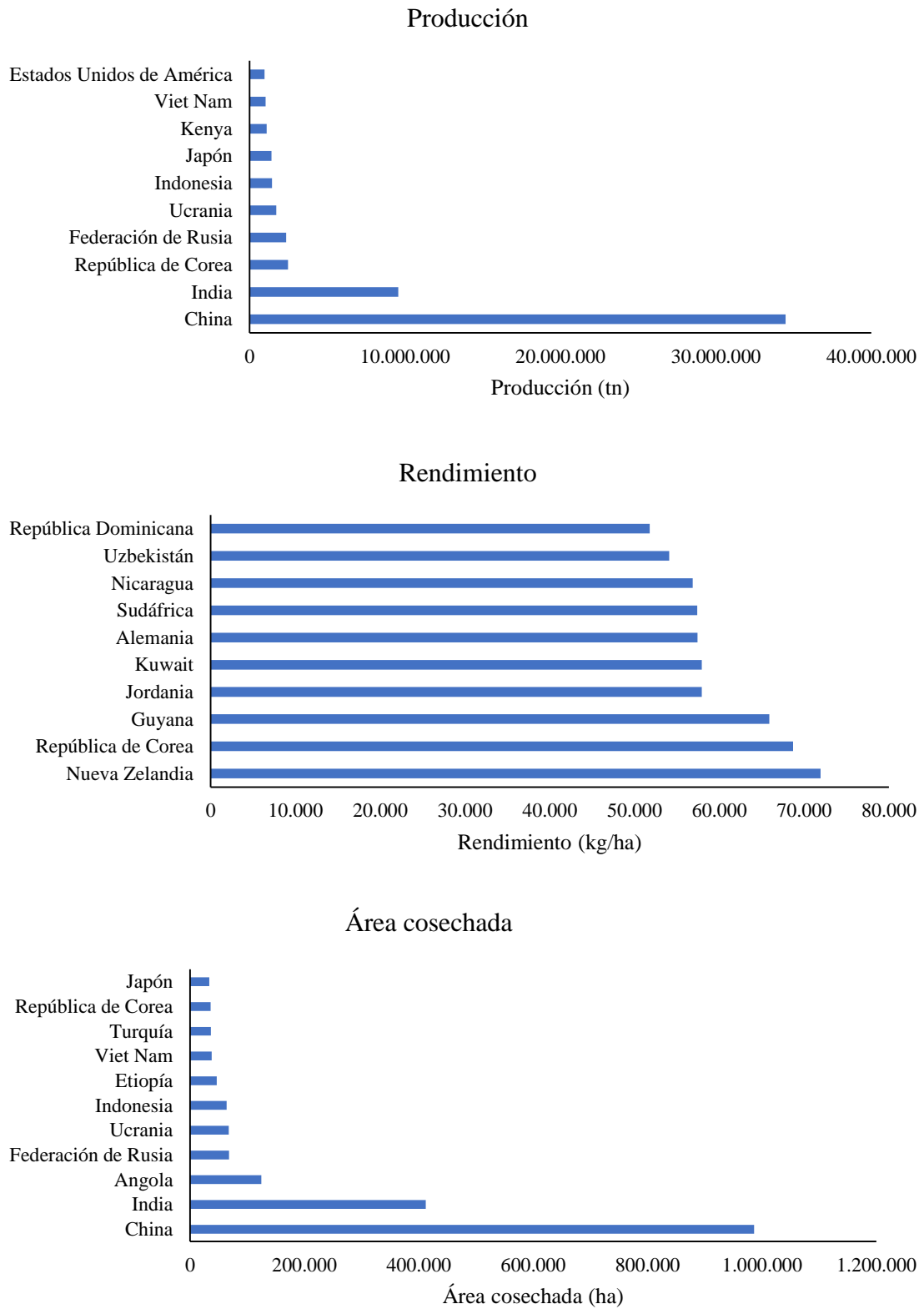
(1,099,881.85 tn), Vietnam (1,024,202.87 tn) y Estados Unidos de América (959,507.00 tn) (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, 2023) (Fig. 2).

Figura 1. Variación mundial de la producción y rendimiento mundial de la col de cabeza durante el período 2012-2021, según la (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, 2023).



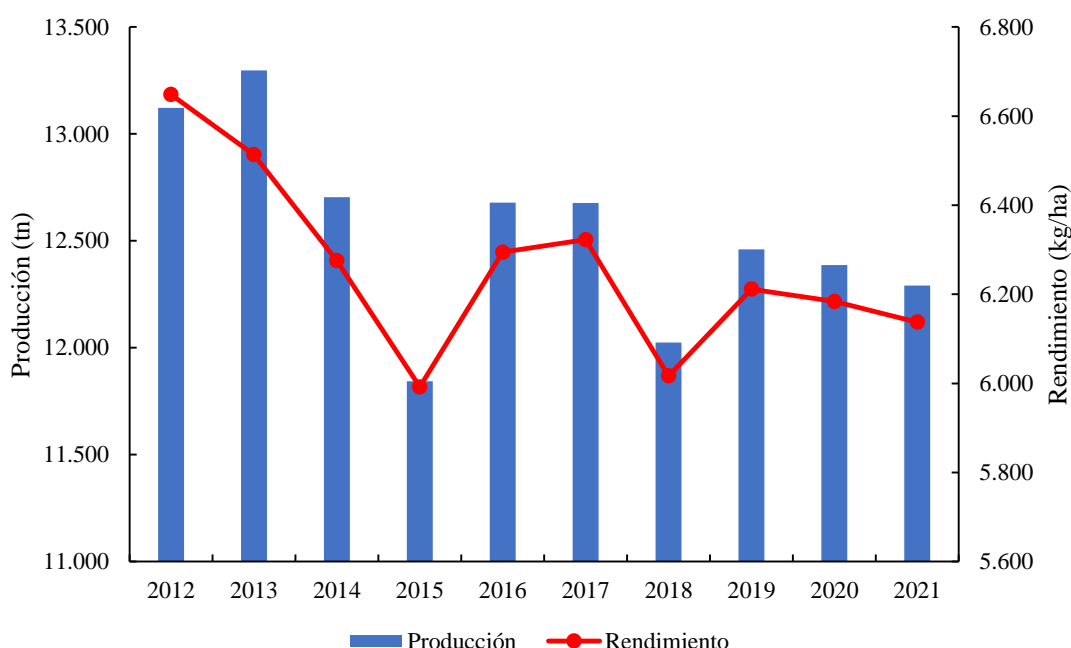
Con relación al rendimiento, los máximos valores son reportados en Nueva Zelanda (71,937.40 kg/ha), República de Corea (68,695.30 kg/ha), Guyana (65,894.00 kg/ha), Jordania (57,921.80 kg/ha), Kuwait (57,912.90 kg/ha), Alemania (57,422.10 kg/ha), Sudáfrica (57,389.50 kg/ha), Nicaragua (56,864.50 kg/ha), Uzbekistán (54,072.70 kg/ha) y República Dominicana (51,771.40 kg/ha) (Fig. 2).

Figura 2. Principales países productores, rendimiento y área cosechada de col de cabeza durante 2021 según (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, 2023).



Finalmente, con relación a la producción nacional, ha mostrado variaciones importantes con una clara tendencia a la disminución de 831.1 tn en el 2021 con relación a la producción del año 2012; así mismo, el rendimiento mostró una disminución de 510,7 kg/ha durante el mismo período de referencia ((Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, 2023) (Fig. 3).

Figura 3. Variación de la producción y rendimiento de la col de cabeza en Ecuador durante el período 2012-2021, según la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (2023).



2.2.Requerimientos nutricionales de la col de cabeza

Entre los factores limitantes de la producción de la col han sido señalados factores de clima, además de manejo, entre las cuales, la densidad de plantas y la fertilidad del suelo son reconocidos entre los más importantes (Seid Tehulie & Belete, 2021).

Con relación a sus requerimientos nutricionales, cada nutriente esencial juega un papel importante no solo para el crecimiento y desarrollo de la planta; sino que algunos de ellos pueden contribuir con el desarrollo de la resistencia a plagas y enfermedades o en términos de mejorar la calidad del cultivo. Entre los macronutrientes, el nitrógeno y azufre están entre los más importantes en Brassicaceae, por lo que es necesario asegurar un equilibrio entre

ambos elementos de manera de asegurar el crecimiento y desarrollo de la planta, para lo cual es de vital importancia comprender el papel de los nutrientes para identificar sus requerimientos de nutrientes, lo que proporcionaría una idea de la identificación de los síntomas exhibidos como resultado de las deficiencias de nutrientes (Karthika *et al.*, 2020).

La aplicación adecuada de fertilizante nitrogenado promueve el crecimiento vegetativo vigoroso y el color verde oscuro de la col de cabeza y además es importante para la formación de clorofila y de proteínas, por lo cual la deficiencia de este nutriente provoca un crecimiento lento, con un follaje pálido, lo que da como resultado una producción limitada (Semuli, 2005). Entre las buenas prácticas agrícolas deben ser considerados varios factores para el diseño de un programa de fertilización nitrogenada para este cultivo, el cual se basa en la aplicación de la dosis correcta, el momento adecuado de la aplicación, la ubicación y la fuente correcta de fertilizante, todo basado en el diagnóstico del estado nutricional durante el cultivo (Zotarelli *et al.*, 2021).

Estudios previos han demostrado que para obtener un rendimiento de 70 t/ha de col de cabeza se requieren 370 kg de N, 85 kg de P_2O_5 y 480 kg de K_2O en el suelo y la demanda de nitrógeno debe ser satisfecha de manera adecuada puesto que el exceso produce formación de cabezas las, mientras que el déficit evita su formación, por otra parte, también hay que asegurar la provisión de adecuadas cantidades de fósforo, el cual es más demandado durante la formación de la cabeza, así como de potasio cuya deficiencia produce necrosis de los márgenes y afecta la calidad de la cabeza (Khan *et al.*, 2002).

Por lo general, los agricultores agregan fórmulas completas de fertilizantes cuyas cantidades están destinadas a satisfacer la demanda de N del cultivo, la cual ha sido estimada en aproximadamente 224.17 kg/ha de N, cuyos valores varían según el tipo de mezcla de fertilizante que un agricultor podría usar, siendo las mezclas con altos contenidos de P una de las opciones más costosas, mientras que las menos costosas son aquellos fertilizantes que contienen solo N (Deenik *et al.*, 2006).

El nitrógeno es un nutriente primario esencial para las hortalizas puesto que es el componente más importante de los aminoácidos, por lo que, ante la deficiencia de N, no ocurre la síntesis de proteínas, enzimas, ADN y ARN requeridos en todas las células vegetales para su desarrollo inicial, crecimiento sostenido y funcionamiento para apoyar otros tejidos de la

planta, lo cual reduce la eficiencia de las reacciones bioquímicas que catalizan el metabolismo de la planta y generar nuevas células (Mozumder *et al.*, 2003).

Después del nitrógeno, el fósforo es el segundo nutriente más importante por su papel en las funciones relacionadas con el crecimiento, desarrollo de raíces, floración y maduración (Sompong *et al.*, 2010), y varios estudios han demostrado que la aplicación de fertilizantes a base de fósforo produce un impacto positivo sobre el rendimiento de los cultivos (Akinrinde & Adigun, 2005). De acuerdo con Ayub *et al.* (2010), la aplicación de fósforo 69 kg/ha de P₂O₅ ha provocado aumentos en la altura de la planta de col y así mismo, los mayores valores de biomasa y rendimiento (1,771 kg/ha) fueron alcanzado con la aplicación de 100 kg/ha de P₂O₅ (Khan *et al.*, 2002).

Adicional a los requerimientos de nitrógeno y fósforo, el azufre también puede tener un efecto importante en el rendimiento pues influye en el desarrollo de cabezas de primera clase; sin embargo, el nivel de estos tres elementos debe hacerse de manera cuidadosa para asegurar buenos niveles en el rendimiento del cultivo (Sompong *et al.*, 2010). El azufre desempeña un papel importante no solo en la síntesis de proteínas, clorofila y, además, de aminoácidos que contienen S como la cisteína y la metionina, que son componentes fundamentales de las proteínas (Shaban *et al.*, 2013), sino también en el crecimiento de las plantas (Inal *et al.*, 2003).

La deficiencia de S ha sido señalada como un factor limitante para la producción de cultivos y ha sido relacionada con la baja eficiencia del uso de N pues influye en la tasa de conversión del nitrógeno en producción de biomasa, lo que a su vez produce pérdidas de este nutriente en los suelos cultivados (Yasmin *et al.*, 2007; Zhang *et al.*, 2021).

2.3. Fertilización de la col de cabeza

La aplicación de fertilizantes al suelo se realiza antes y después de la siembra y de acuerdo con Muimba-Kankolongu (2018), algunos de los fertilizantes utilizados para el abono basal son el Compuesto D (800 kg/ha), el compost y el estiércoles, estos dos últimos son aplicados por lo menos 2 semanas antes de la siembra, incorporados al suelo hasta una profundidad de aproximadamente 30 a 50 cm. Además, estos autores recomiendan el uso de nitrato de amonio (200 kg/ha) para mejorar la calidad y el sabor de las coles, puesto que el cultivo es exigente en nitrógeno, lo cual asegura un buen crecimiento y calidad de la planta.

El uso indiscriminado de agroquímicos, incluyendo los fertilizantes inorgánicos, está amenazando la sostenibilidad de la agricultura convencional debido a la degradación tanto de los recursos hídricos como la tierra y, consecuentemente del rendimiento de los cultivos (Islam *et al.*, 2017). El uso de fertilizantes y plaguicidas químicos incrementó de manera desmedida a partir de la revolución verde, provocando severos daños al ambiente, aparte del aumento de la sensibilidad a plagas y enfermedades debido al exceso de nitrógeno en el suelo.

Es por ello que, en las últimas décadas ha surgido el uso de biofertilizantes como alternativa suplementaria a la fertilización inorgánica. Según Chandel *et al.* (2021), los biofertilizantes son microorganismos beneficiosos para la agricultura, que tienen la capacidad de movilizar los elementos nutricionalmente importantes de una forma no utilizable a una forma utilizable a través de procesos biológicos y por este hecho se convierten en una alternativa a los fertilizantes minerales, que contribuyen a mejorar la estructura del suelo y la biomasa microbiana para una mayor producción sostenible.

Los biofertilizantes más comúnmente usados son aquellos fabricados a base de bacterias del género *Azotobacter*, las cuales intervienen en la fijación del nitrógeno atmosférico en la zona de las raíces, las bacterias solubilizadoras de fósforo y potasio, las que contribuyen con la solubilización de los fosfatos y el potasio insolubles en el suelo, respectivamente (Chandel *et al.*, 2021). Las especies de *Azotobacter* frecuentemente son encontrados en asociación con las raíces, agua y en suelos desde ligeramente ácidos hasta alcalinos y es esta característica del pH lo que influye la presencia de ciertas especies, siendo *Azotobacter chroococcum* y *Azotobacter vinelandii* más abundantes en los suelos tropicales (Aasfar *et al.*, 2021).

Con relación al uso de especies de *Azotobacter*, este es considerado un importante agente fertilizante que contribuye a la disponibilidad de que podría sustituir el uso de fertilizantes químicos por su alta capacidad de disponibilizar el nitrógeno, además de su potencial para inducir la producción de metabolitos secundarios, especialmente fitohormonas; y exopolisacáridos que no están presentes en los fertilizantes químicos (Hindersah *et al.*, 2021).

Estudios previos han demostrado los efectos positivos de la incorporación de biofertilizantes sobre los parámetros de diferentes cultivos. Borda-Molina *et al.* (2011), evaluaron el efecto

de la materia orgánica y un biofertilizante (*Azotobacter nigricans*) sobre el rendimiento de *Stevia rebaudiana* observando que la inoculación del biofertilizante además aumentar la velocidad de mineralización del compost, provocó un incremento en la cantidad de biomasa, contenido de sólidos solubles y síntesis de glucósidos.

En el cultivo de col de cabeza, Chatterjee *et al.* (2012), al estudiar el efecto de diferentes fuentes de nutrientes sobre el rendimiento y calidad de la col demostraron que el rendimiento, vida útil, contenidos de sólidos totales, vitamina A y C fueron positivamente influenciados por el uso de vermicompost en combinación con un biofertilizante a base de *Azotobacter* y bacterias solubilizadoras de fósforo.

2.4. Bacterias fijadoras de nitrógeno: bacterias *Azotobacter*

Azotobacter es una bacteria típicamente móvil que pertenece a la familia Azotobacteraceae del reino de las bacterias con forma ovalada o esférica; que se encuentra como organismo de vida libre en el suelo y juega un papel imperativo en la mineralización de nutrientes, la fijación del nitrógeno atmosférico (N) y su liberación en forma de iones de amonio en el medio ambiente del suelo (fijación de nitrógeno). La aplicación de *Azotobacter* promueve el rendimiento de los cultivos agrícola debido a su capacidad para fijar el N atmosférico y al brindar disponibilidad de nutrientes y minerales esenciales para las plantas, especialmente nitrógeno (N) y fósforo (P) (Dar *et al.*, 2021).

Los microorganismos fijadores de N₂ pueden existir como organismos de vida libre o viviendo en asociación con otros microorganismos bajo diferentes grados de complejidad, desde simbiosis asociativa hasta asociaciones simbióticas complejas en las que tanto la bacteria como la planta hospedera comparten funciones biológicas comunicándose a nivel molecular (Zuberer, 2021).

2.4.1. La capacidad de fijación de nitrógeno de *Azotobacter*

El nitrógeno es un nutriente extremadamente importante para el crecimiento y desarrollo de las plantas, ya que es un constituyente de proteínas, ácidos nucleicos y pigmentos vegetales, por lo cual debe ser aporta ya sea en forma de fertilizante sintéticos o más recientemente se ha postulado la idea de la utilización de bacterias promotoras del crecimiento vegetal que son capaces de mejorar el crecimiento y el rendimiento de las plantas de cultivo, con gran

importancia agronómica y ecológica, puesto que son respetuosas del equilibrio ambiental (Dar *et al.*, 2021). Así, las bacterias de la familia Azotobacteraceae tienen un gran potencial de fijación de nitrógeno puesto que se ha demostrado que pueden fijar hasta 20 kg N/ha/año aproximadamente (Kizilkaya, 2009), además de ser una estrategia económica. Este autor demostró que al incubar *Azotobacter* sp. en suelos arcilloso, suelos franco y suelos franco-arcilloso-arenoso durante 8 semanas se registró una fijación de nitrógeno de 4,78-15,91; 9,03-13,47 y 6,51-16,60 µg de N/g de suelo, respectivamente, mostrando una mayor tasa de fijación de nitrógeno en suelos franco-arcillo-arenosos.

Las especies de *Azotobacter* muestran efectos beneficiosos sobre el crecimiento de los cultivos puesto que interviene en la biosíntesis de sustancias biológicamente activas que producen sustancias que, por un lado, inhiben el crecimiento de organismos fitopatógenos y, por el otro estimulan el crecimiento de microorganismos de la rizosfera (Jnawali *et al.*, 2015; Lévai *et al.*, 2008; Romdhane *et al.*, 2021). Adicionalmente, este grupo de bacterias fijadoras de nitrógeno también interviene en la aceleración de los restos orgánicos mineralizados aumentando de esa forma la disponibilidad de nutrientes como el carbono, el fósforo, el nitrógeno y el azufre (Sharma *et al.*, 2007) y además evita la absorción de diferentes metales pesados (Abo-Amer *et al.*, 2014; Rasulov *et al.*, 2013). Por lo tanto, *Azotobacter* se ha convertido en una alternativa importante para los fertilizantes químicos, ya que puede proporcionar nitrógeno en forma de amonio, aminoácidos y nitrato sin salir de la situación de sobredosificación (Bhattacharjee & Dey, 2014).

De esta forma, la aplicación de biofertilizante a base *Azotobacter* ayuda a estimular el desarrollo de ramificación, floración, enraizamiento, formación de follaje y fructificación, que se inicia con el regulador del crecimiento de las plantas y el nitrógeno fijado (Kizilkaya, 2009). Esta bacteria también ayuda a las plantas a aumentar la tolerancia a la falta de suministro de agua en condiciones climáticas adversas (Aung *et al.*, 2020). Varios estudios han demostrado el efecto benéfico de la aplicación de *Azotobacter* spp. Sobre el incremento en el rendimiento de cultivos como la papa (Fouda, 2021), mostaza (var. Yella) y colza (Bora *et al.*, 2021; Pathak *et al.*, 2020) arroz y maíz (Banik *et al.*, 2018; Baral & Adhikari, 2013).

CAPÍTULO III

MARCO METODOLÓGICO

3.1. Ubicación del ensayo

El presente estudio fue realizado en la parroquia Cunchibamba, perteneciente al cantón Ambato, provincia de Tungurahua, ubicada a altitud promedio de 2703 m.s.n.m. (1°7'60" S y 78°34'60" W).

3.2. Equipos y materiales

3.3. Tipo de investigación

El diseño de investigación se refiere al arreglo sistemático de los tratamientos que permite la recopilación, análisis e interpretación de los datos de una buena manera con base en la investigación cuantitativa o cualitativa (Creswell, 2012). En el presente estudio, se utilizó un enfoque de investigación cuantitativa de tipo experimental, la cual utiliza el análisis estadístico de datos numéricos como medida para probar la hipótesis (Hernández-Sampieri *et al.*, 2014).

Una investigación experimental consiste en la prueba de una o más variables independientes para determinar si tienen o no efecto sobre una o más variables dependiente (Creswell, 2012). En este sentido, en este estudio, se abordó la variable independiente de tipo de fertilización y su influencia sobre las variables dependientes como altura de planta, diámetro y peso de la pella, rendimiento del cultivo.

3.4. Prueba de hipótesis

H_0 = la aplicación de biofertilizantes no tiene efecto sobre los parámetros productivos y rendimiento de col (*Brassica oleracea* var. *capitata*)

H_1 = la aplicación de biofertilizantes tiene efecto sobre los parámetros productivos y rendimiento de col (*Brassica oleracea* var. *capitata*)

3.5. Recolección de la información

Para este estudio fueron usadas semillas de col variedad ‘Gloria’, las cuales fueron germinadas en bandejas de germinación con turba. Después de 25 días, las plantas de col fueron trasplantadas a una distancia de 0,40 x 0,40 m.

Se evaluó el efecto de biofertilizante comercial (*Azotobacter*) el cual fue aplicado a nivel de plántulas solo o combinado con fertilizante inorgánico (NPK) en presentaciones de 80-40-40 NPK kg/ha, 120-60-60 NPK kg/ha y 160-80-80 NPK kg/ha.

Los tratamientos consistieron en la aplicación del biofertilizante a base de *Azotobacter* mezclado con tres niveles diferentes de un fertilizante inorgánico; los cuales fueron dispuestos de la siguiente manera:

T1 = *Azotobacter* solo

T2 = *Azotobacter* + F1-80:40:40 NPK kg/ha

T3 = *Azotobacter* + F2-120:60:60 NPK kg/ha

T4 = *Azotobacter* + F3-160:80:80 NPK kg/ha

T5 = Fertilizante inorgánico solo (F2-120:60:60 NPK kg/ha)

T1R1	T1R10	T1R3	T1R8	T1R2	T1R9	T1R5	T1R4	T1R7	T16
T2R5	T2R1	T2R10	T2R3	T2R6	T2R8	T2R9	T2R2	T2R4	T2R7
T3R10	T3R5	T3R9	T3R7	T3R3	T3R2	T3R6	T3R8	T3R4	T3R1
T4R8	T4R3	T4R9	T4R5	T4R10	T4R7	T4R6	T4R1	T4R4	T4R2
T5R3	T5R6	T5R9	T5R2	T5R5	T5R7	T5R4	T5R6	T5R1	T5R10

Para la aplicación del biofertilizante se usaron 10 g/L mezclados en agua y las plántulas próximas a trasplante fueron sumergidas en esta solución durante 20 min. Al momento del trasplante, se aplicó la mitad del fertilizante inorgánico de acuerdo con los diferentes

tratamientos, mientras que la mitad restante fue aplicada en dos dosis iguales aplicadas a los 25 y 50 días después del trasplante (Kant *et al.*, 2016). Adicionalmente, se hicieron aplicaciones del biofertilizante cada 15 días en los tratamientos correspondientes

3.6. Procesamiento de la información y análisis estadístico

El ensayo fue conducido en un diseño de bloques al azar con 5 repeticiones y todas las variables fueron sometidas a análisis de varianza y aquellas variables que muestren diferencias significativas fueron comparadas mediante prueba de medias según Tukey ($p < 0,05$) usando el paquete estadístico Statistix para Windows, versión 10.0.

3.7. Variables respuesta

En cada tratamiento fueron seleccionadas 10 plantas al azar, en las cuales se midieron las siguientes variables:

- Altura de planta: la cual fue medida cada semana y fue expresada en cm.
- Diámetro de la pella medida al momento de la cosecha y fue expresada en cm.
- Peso de la pella medida al momento de la cosecha y expresada en kg.
- Rendimiento/parcela: medida en la parcela neta y expresada en kg, posteriormente fue calculado el rendimiento en kg/ha.

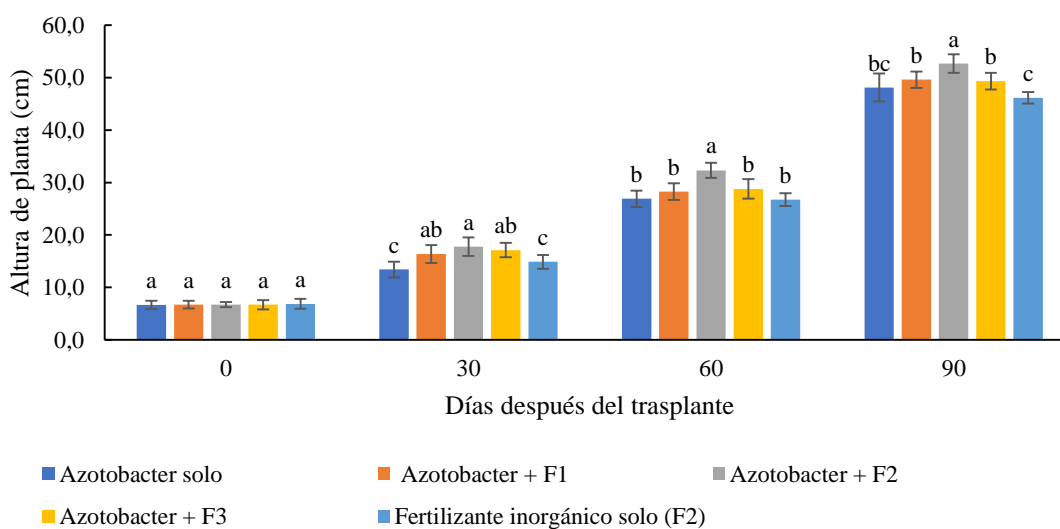
CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Efecto de la aplicación de diferentes dosis de biofertilizante a base de *Azotobacter* sp. sobre los parámetros altura de planta y tasa de crecimiento de plantas de col

Se encontró un efecto de la fertilización con un biofertilizante a base de *Azotobacter* sp. sobre la altura de plantas de col durante las evaluaciones a los 30, 60 y 90 días después del trasplante (Fig. 4). Durante la primera evaluación no hubo ningún efecto sobre la altura de planta, la cual varió entre 6.7 y 6.9 cm, sin embargo, a partir de las evaluaciones a los 30, 60 y 90 días después del trasplante se comenzaron a observar diferencias significativas. En general, la mayor altura de planta se observó en el tratamiento con *Azotobacter* + F2-120-60-60 NPK kg/ha con medias de 17.75; 32.30 y 52.68 cm a los 30, 60 y 90 días después del trasplante, respectivamente (Fig. 4). Así mismo, los tratamientos que recibieron el *Azotobacter* solo (T1) y el fertilizante inorgánico solo (T5) fueron los que mostraron la altura de planta más bajas a lo largo del estudio, alcanzando valores de 13.42 y 14.89 cm a los 30 días después del trasplante, mientras que a los 90 días después del trasplante los valores fueron de 48.11 y 46.14 cm, en el T1 y T5, respectivamente (Fig. 4).

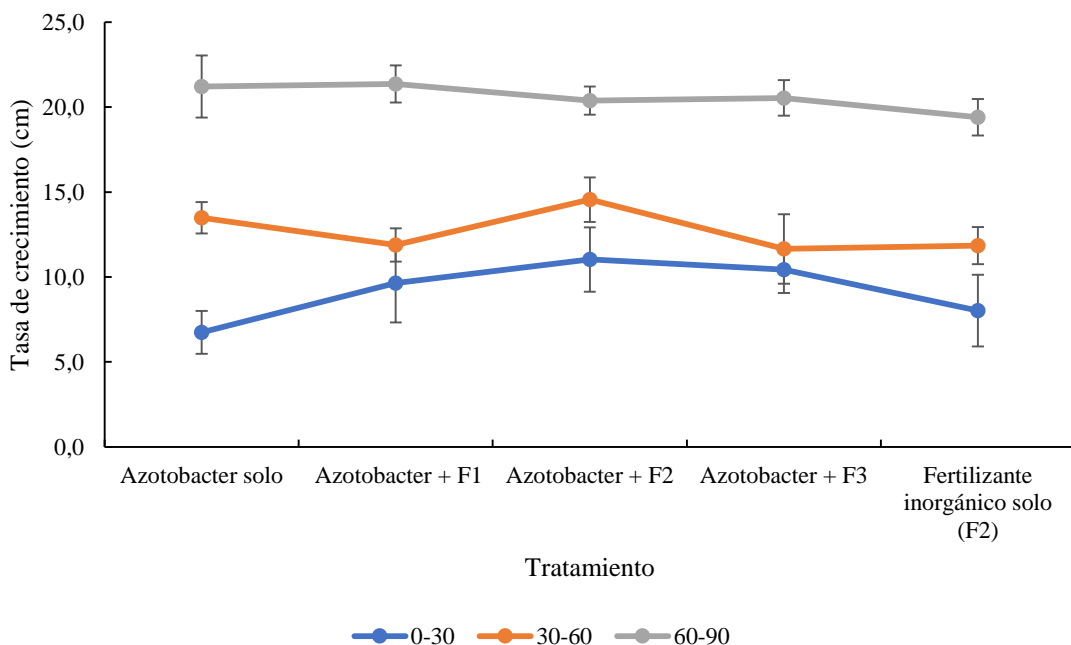
Figura 4. Variación de la altura de plantas de col var. 'Gloria' por efecto de diferentes tipos de fertilización



Esto provocó diferencias en la tasa de crecimiento de las plantas de col, las cuales fueron más evidentes en las evaluaciones hechas a los 30 y 60 días después del trasplante, observándose una mayor tasa de crecimiento en el tratamiento que recibió *Azotobacter* + F2-120-60-60 NPK kg/ha (T3) donde las plantas crecieron 11.0 y 14.6 cm respecto a la medida precedente, mientras las plantas que recibieron *Azotobacter* solo o el Fertilizante inorgánico solo (F2) solo incrementaron 6.7 y 8.0 cm en la evaluación hecha a los 30 días después del trasplante con relación a su medida precedente y 13.5 y 11.9 cm en la segunda evaluación (Fig. 5).

La variación entre los tratamientos respecto a la altura a los 90 respecto a los 60 días del trasplante fue menor, oscilando entre 19.4 y 21.4 cm en los tratamientos con Fertilizante inorgánico solo (F2) (T5) y *Azotobacter* + F1-80:40:40 NPK kg.ha⁻¹ (T2) (Fig. 5).

Figura 5. Tasa de crecimiento en plantas de col var. ‘Gloria’ sometidas a diferentes tipos de fertilización



Resultados similares fueron obtenidos por Chandel et al. (2021) quienes observaron que el uso de fertilizantes NPK junto con los biofertilizantes tuvieron un efecto significativo en el crecimiento, el rendimiento y las características cualitativas de la col. Estos autores demostraron que la longitud de la hoja varió de 13,20 a 15,47 cm y de 18,10 a 23,40 cm con

una media de 14,71 y 21,24 cm a los 30 y 45 días después del trasplante, la cual mostró un aumento significativamente con las dosis de NPK y el biofertilizante y alcanzó su máximo valor con el tratamiento con 75% de fertilizante inorgánico + bacterias solubilizadoras de fósforo y potasio (26.43 cm), seguido del tratamiento con 75% de fertilizante inorgánico + *Azotobacter* + bacterias solubilizadoras de fósforo y potasio (25,37 cm).

Así mismo, en un experimento realizado en la India donde se evaluó la respuesta en el crecimiento y rendimiento de plantas de brócoli sometidas a diferentes dosis de nitrógeno previamente tratadas con *Azotobacter* se observó que los mejores valores fueron alcanzados con la aplicación de 75% de la dosis recomendada de fósforo (150 kg.ha⁻¹ de P₂O₅) y potasio (60 kg.ha⁻¹ K₂O) cuando esto fue acompañado de la aplicación previa de *Azotobacter* en plántulas de brócoli (Bhardwaj et al., 2007).

4.2. Efecto de la aplicación de diferentes dosis de biofertilizante a base de *Azotobacter* sp. sobre el diámetro y peso de la pella

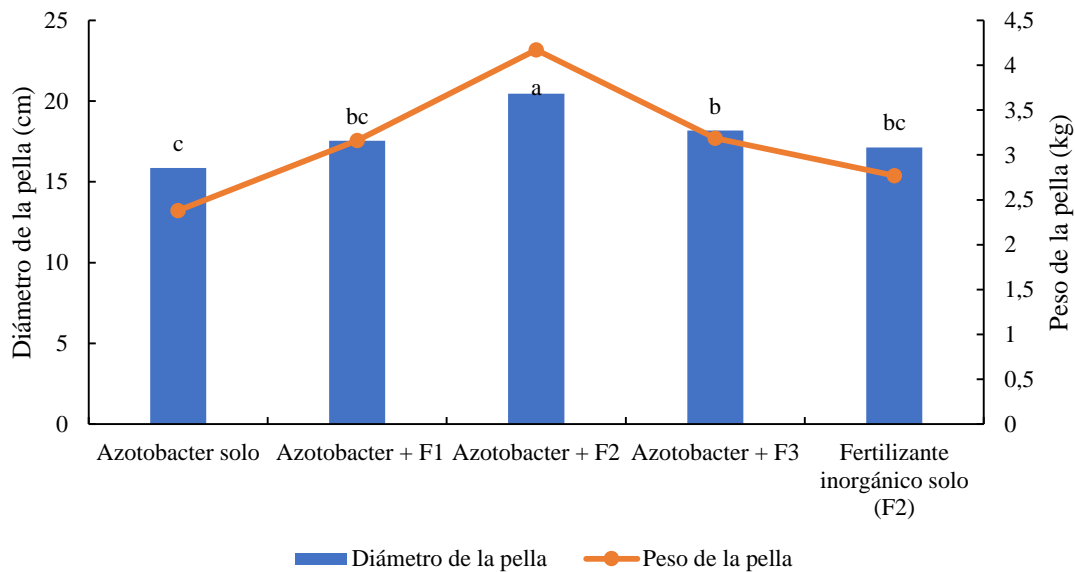
El diámetro y peso de la pella de col fueron influenciados por la fertilización con el biofertilizante a base de *Azotobacter* sp. (Fig. 6). Los mayores valores fueron observados con el tratamiento a base de *Azotobacter* + F2-120-60-60 NPK kg/ha (T3) con el que se obtuvieron pellas de 20.5 cm de diámetro y peso de 4.2 kg. En cuanto al diámetro, este valor fue entre 11.2 y 22.3 % más alto que con *Azotobacter* + F3-160:80:80 NPK kg/ha (T4) y *Azotobacter* solo (T1), respectivamente (Fig. 6). En relación al peso, las diferencias fueron aún mayores, siendo desde 23.6 % mayor con respecto al tratamiento T4 hasta 42.9 % en comparación al tratamiento T1.

Kant et al. (2019) indicaron que la mayor altura de planta (30,77 cm), diámetro y altura de la pella (24,41 y 21,81cm) y peso de la pella (1,88kg) fueron alcanzados con la aplicación combinada de NPK a dosis de 200:100:100 kg.ha⁻¹ junto con la aplicación al suelo de *Azospirillum*, mientras que los días para la formación y maduración de la pella, el número de hojas externas/planta y el número de hojas internas/pella no mostraron efectos significativos, por lo que los autores señalan que esta fue la mejor combinación para promover el crecimiento y rendimiento en col.

De manera similar, Kumar et al. (2017) observaron que los tratamientos que combinaron el uso de fertilizantes inorgánico (dosis recomendada de NPK) con biofertilizantes a base de

Azospirillum y/o *Azotobacter* provocaron un incremento de las variables altura de plantas, ancho de la hoja, número de hojas, longitud de tallo, área foliar, los cuales fueron superiores al control que solo incluyó la aplicación de fertilizante NPK a la dosis recomendada.

Figura 6. Diámetro y peso de la pella obtenida de plantas de col var. ‘Gloria’ sometidas a diferentes tipos de fertilización



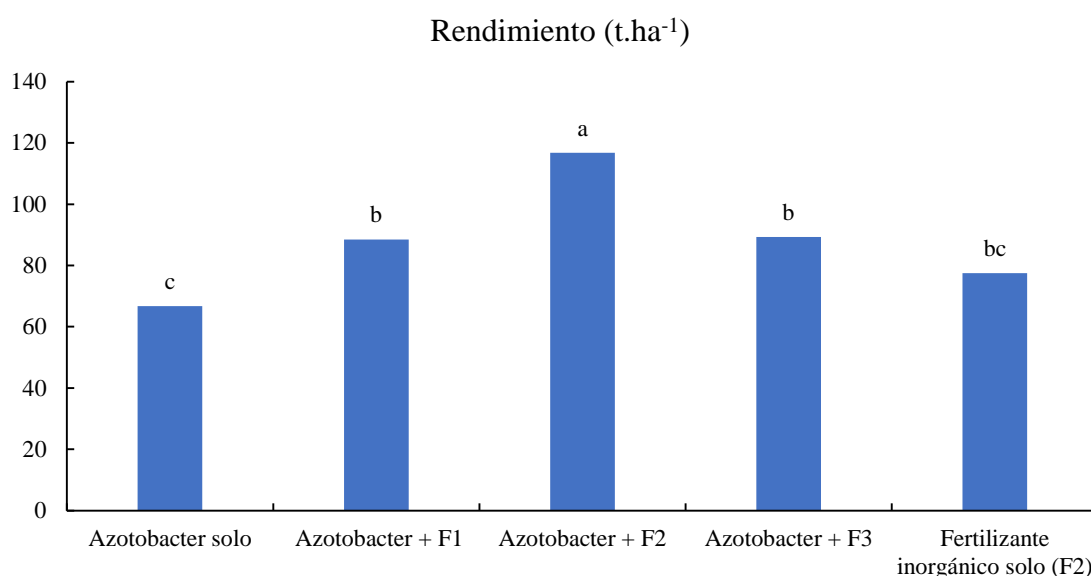
4.3. Rendimiento de plantas de col tratadas con diferentes dosis de biofertilizante a base de *Azotobacter* sp.

En cuanto al efecto de la fertilización de las plantas de col con el biofertilizante a base de *Azotobacter* sp. sobre el rendimiento se encontró que los máximos valores fueron obtenidos en plantas tratadas con *Azotobacter* + F2-120-60-60 NPK kg.ha⁻¹, las cuales alcanzaron un rendimiento promedio de 116.8 tn/ha, mientras que el resto de los tratamientos tuvieron rendimientos de 66.9, 88.5, 89.3 y 77.5 tn/ha, lo cual representó una disminución de 42.9, 24.3, 23.6 y 33.7%, respectivamente en comparación con el mejor tratamiento (T3).

Kant et al. (2016), al evaluar el efecto combinado de diferentes niveles de NPK con inoculantes microbianos (*Azospirillum* y *Azotobacter*) en el rendimiento en un híbrido de col de cabeza demostraron que el uso de inoculantes microbianos redujo significativamente el número de días necesarios para la iniciación de la pella, además observaron que las plantas desarrolladas bajo niveles de NPK de N200 P100 K100 junto con el inoculante microbiano

Azospirillum tuvieron mayor peso de la pella (1.753 kg) por planta y en consecuencia un mayor rendimiento de cabeza (787,47 q/ha).

Figura 7. Variación del rendimiento ($t\cdot ha^{-1}$) en plantas de col var. ‘Gloria’ sometidas a diferentes tipos de fertilización



Por otra parte, Criollo et al. (2011) evaluaron el efecto de tres biofertilizantes líquidos producidos a partir del estiércol de vaca (BFV), cuy (BFCu) y cerdos (BFCE) que contenían *Lactobacillus*, *Saccharomyces* y *Bacillus* y se comparó con un fertilizante foliar comercial y un control sin aplicación sobre la producción de lechuga y col repollo. De acuerdo con los resultados, el peso y diámetro de la pella y el rendimiento tanto de lechuga como de col fueron favorecidos por las aplicaciones de biofertilizante en comparación con el control, lo cual fue atribuido no solo al contenido de minerales, sino también a la presencia de metabolitos producidos por la acción microbiana de los biofertilizantes, los cuales regulan la fisiología de la planta.

En la agricultura moderna, el uso de agroquímicos ha crecido considerablemente, aumentando los costos de producción y causando serios problemas al medio ambiente, por lo que el uso de biofertilizantes es una alternativa viable para mejorar la rentabilidad de los cultivos, particularmente para la agricultura de pequeños y medianos productores hortícolas, debido a que estos son productos que respetan al ambiente y son económicos y además se

ha demostrado su efecto beneficioso sobre la producción y el rendimiento de los cultivos (Nongthombam et al., 2021; Yousefi et al., 2017).

En el caso de *Azotobacter* spp., su presencia o incorporación a los suelos agrícolas produce beneficios tanto en el crecimiento de las plantas, en la promoción de la germinación (Nongthombam et al., 2021; Sobariu et al., 2017), así como en el rendimiento del cultivo, además del bien conocido efecto sobre las propiedades fisicoquímicas del suelo (contenido de materia orgánica, pH, humedad del suelo y temperatura del suelo) y propiedades microbiológicas (Kizilkaya, 2009; Sumbul et al., 2020).

Es por ello que el uso de biofertilizantes a base de *Azotobacter* se sugiere como complemento de la fertilización química con nitrógeno para mejorar la disponibilidad de nutrientes en el suelo, así como para proporcionar algunos metabolitos durante el crecimiento de la planta, minimizando la cantidad de fertilizantes inorgánicos. Los mecanismos de *Azotobacter* en la mejora del crecimiento de las plantas son como biofertilizante pues interviene en la fijación de nitrógeno lo cual proporciona nitrógeno disponible para la absorción por las raíces, como bioestimulante puesto que estimula el crecimiento de las plantas a través de la síntesis de fitohormonas como el ácido indol acético, citoquininas y giberelinas y finalmente un efecto indirecto como bioprotector mediante la producción de exopolisacáridos que confieren la protección de las plantas (Hindersah et al., 2021).

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES, RECOMENDACIONES, BIBLIOGRAFÍA

5.1. Conclusiones

En general, la mayor altura de planta se observó en el tratamiento con *Azotobacter* + F2-120-60-60 NPK kg.ha⁻¹ (T3), provocado por diferencias en la tasa de crecimiento de las plantas de col, las cuales fueron más evidentes en las evaluaciones hechas a los 30 y 60 días después del trasplante con el mismo tratamiento. También el diámetro y peso de la pella fueron influenciados por la fertilización con un biofertilizante a base de *Azotobacter* sp., siendo mayores con el tratamiento antes mencionado.

La fertilización de las plantas de col con el biofertilizante a base de *Azotobacter* sp. también mostró un efecto positivo sobre el rendimiento, obteniéndose los máximos valores en plantas tratadas con *Azotobacter* + F2-120-60-60 NPK kg.ha⁻¹ (T3), las cuales alcanzaron un rendimiento promedio entre 23.6 y 42.9% mayor que el resto de los tratamientos de fertilización.

Con base en los resultados se demostró que el uso de fertilizantes inorgánicos convencionales en combinación con biofertilizantes a base de *Azotobacter* promueve mejores resultados en cuanto a tamaño de planta, tasa de crecimiento de la planta, así como en el diámetro y peso de pella, lo que consecuentemente influye positivamente sobre el rendimiento del cultivo de col de cabeza, por lo que se concluye que esta podría ser una opción viable para mejorar los parámetros productivos de este cultivo.

5.2. Recomendaciones

Se sugiere continuar con investigaciones similares donde se evalúe el efecto del uso de biofertilizantes a base de *Azotobacter* en diferentes cultivos para medir su potencial en el incremento en el rendimiento y así en el aumento de los ingresos del agricultor. Además, se recomienda hacer estudios de la relación beneficio/costo de manera de establecer la pertinencia del uso de este tipo de estrategias con base en un criterio económico.

Tomando en consideración los resultados positivos obtenidos con la aplicación del tratamiento 3, el cual consistió en el uso de *Azotobacter* en combinación con fertilizante inorgánico (120-60-60 NPK kg.ha⁻¹) se sugiere realizar estudios que evalúen cuáles cambios

bioquímicos en la planta de manera de relacionar estos resultados con los componentes de rendimiento

5.3. Bibliografía

- Aasfar, A., Bargaz, A., Yaakoubi, K., Hilali, A., Bennis, I., Zeroual, Y., & Meftah Kadmiri, I. (2021). Nitrogen Fixing Azotobacter Species as Potential Soil Biological Enhancers for Crop Nutrition and Yield Stability. *Frontiers in Microbiology*, *12*, 1–19. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2021.628379>
- Abo-Amer, A. E., Abu-Gharbia, M. A., Soltan, E. S. M., & Abd El-Raheem, W. M. (2014). Isolation and Molecular Characterization of Heavy Metal-Resistant Azotobacter chroococcum from Agricultural Soil and Their Potential Application in Bioremediation. *Geomicrobiology Journal*, *31*(7), 551–561. <https://doi.org/10.1080/01490451.2013.850561>
- Akinrinde, E. A., & Adigun, I. O. (2005). Phosphorus-use Efficiency by Pepper (*Capsicum frutescens*) and Okra (*Abelmoschus esculentum*) at Different Phosphorus Fertilizer Application Levels on Two Tropical Soils. In *Journal of Applied Sciences* (Vol. 5, Issue 10, pp. 1785–1791). <https://doi.org/10.3923/jas.2005.1785.1791>
- Aung, A., Sev, T. M., Mon, A. A., & Yu, S. S. (2020). Detection of abiotic stress tolerant Azotobacter species for enhancing plant growth promoting activities. *Journal of Scientific and Innovative Research*, *9*(2), 48–53. <https://doi.org/10.31254/jsir.2020.9203>
- Ayub, M., Tahir, M., Nadeem, M. A., Zubair, M. A., Tariq, M., & Ibrahim, M. (2010). Effect of nitrogen applications on growth, forage yield and quality of three cluster bean varieties. *Pakistan Journal of Life and Social Sciences*, *8*(2), 111–116.
- Balliu, A. (2014). Cabbage. In K. V. Peter & P. HAZra (Eds.), *Handbook of Vegetables Vol. 3* (pp. 79–120). Studium Press, L.L.C.
- Banik, A., Dash, G. K., Swain, P., Kumar, U., Mukhopadhyay, S. K., & Dangar, T. K. (2018). Application of rice (*Oryza sativa* L.) root endophytic diazotrophic Azotobacter sp. strain Avi2 (MCC 3432) can increase rice yield under green house and field condition. *Microbiological Research*, *219*, 56–65. <https://doi.org/10.1016/j.micres.2018.11.004>
- Baral, B. R., & Adhikari, P. (2013). Effect of row specification on growth and yield of maize. *SAARC Journal of Agriculture*, *11*(2), 141–147.
- Bhardwaj, A. K., Kumar, P., & Kumar, R. (2007). Response of nitrogen and pre-planting treatment of seedlings with the azotobacter on growth and productivity of broccoli

- (*Brassica oleracea* var. *italica*). *The Asia Journal of Horticulture*, 2(1), 15–17.
- Bhattacharjee, R., & Dey, U. (2014). Biofertilizer, a way towards organic agriculture: A review. *African Journal of Microbiology Research*, 8(24), 2332–2343.
<https://doi.org/10.5897/ajmr2013.6374>
- Bora, P., Phukan, J., & Ojha, N. J. (2021). Mustard and rapeseed response to integrated nutrient management: A review. *Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry*, 10(1), 1801–1805. www.phytojournal.com
- Borda-Molina, D., Pardo-García, J. M., Montaña-Lara, J. S., & Martínez-Salgado, M. M. (2011). Influencia de la materia orgánica y *Azotobacter nigrificans* en un cultivo de *Stevia rebaudiana* B. *Universitas Scientiarum*, 16(3), 282–293.
<https://doi.org/10.11144/javeriana.sc16-3.iom>
- 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.). *The Pharma Innovation Journal*, 10(10), 303–305.
- Chatterjee, R., Jana, J. C., & Paul, P. K. (2012). Enhancement of head yield and quality of cabbage (*Brassica oleracea*) by combining different sources of nutrients. *Indian Journal of Agricultural Sciences*, 82(4), 323–327.
- Creswell, J. W. (2012). *Planning, Conducting, and Evaluating Quantitative and Qualitative Research* (Cuarta). Pearson Education Limited.
- Criollo, H., Lagos, T., & Piarpuezan, E. (2011). The effect of three liquid bio-fertilizers in the production of lettuce (*Lactuca sativa* L.) and cabbage (*Brassica oleracea* L. var. *capitata*). *Agronomia Colombiana*, 29(3), 415–421.
- Dar, S. A., Bhat, R. A., Dervash, M. A., Ahmad, D. Z., & Hamid, D. G. (2021). *Azotobacter* as Biofertilizer for Sustainable Soil and Plant Health Under Saline Environmental Conditions Shakeel. In K. R. et al Hakeem (Ed.), *Microbiota and Biofertilizers* (pp. 231–254). Springer Nature Switzerland AG 2021.
<https://doi.org/10.1007/978-3-030-48771-3>
- Deenik, J., Hamasaki, R., Shimabuku, R., Nakamoto, S., & Uchida, R. (2006). Phosphorus Fertilizer Management for Head Cabbage. In *Soil and Crop Management*.
- Fouda, K. (2021). Production of Potato Yield and Quality under Inorganic Fertilization and *Azotobacter*. *Journal of Soil Sciences and Agricultural Engineering*, 12(10), 673–677.
<https://doi.org/10.21608/jssae.2021.200992>
- Gonzales, L. M. R., & Caedo Jr., A. L. (2016). Production practices and economic analysis

- of cabbage in traditional and modern chain farmers in Cebu, Philippines. *International Journal of Basic and Applied Science*, 5(1), 13–23.
<https://doi.org/10.18178/ijfe.2.1.48-54>
- Hernández-Sampieri, R., Fernández-Collado, C., & Baptista-Lucio, P. (2014). *Metodología de la Investigación* (Sexta). McGraw-Hill/Interamericana Editores, S.A.
- Hindersah, R., Kamaluddin, N. N., Samanta, S., Banerjee, S., & Sarkar, S. (2021). Role and perspective of Azotobacter in crops production. *Journal of Soil Science and Agroclimatology*, 17(2), 170–179. <https://doi.org/10.20961/STJSSA.V17I2.45130>
- Inal, A., Günes, A., Alpaslan, M., Adak, M. S., Taban, S., & Eraslan, F. (2003). Diagnosis of sulfur deficiency and effects of sulfur on yield and yield components of wheat grown in central Anatolia, Turkey. *Journal of Plant Nutrition*, 26(7), 1483–1498.
<https://doi.org/10.1081/PLN-120021056>
- Islam, M. A., Ferdous, G., Akter, A., Hossain, M. M., & Nandwani, D. (2017). Effect of organic, inorganic fertilizers and plant spacing on the growth and yield of cabbage. *Agriculture*, 7(4), 1–6. <https://doi.org/10.3390/agriculture7040031>
- Jnawali, A. D., Ojha, R. B., & Marahatta, S. (2015). Role of Azotobacter in soil fertility and sustainability—a review. *Advances in Plants & Agriculture Research*, 2(6), 250–253. <https://doi.org/10.15406/apar.2015.02.00069>
- Kacjan Maršič, N., Sinkovič Može, K., Mihelič, R., Nečemer, M., Hudina, M., & Jakopič, J. (2021). Nitrogen and sulphur fertilisation for marketable yields of cabbage (*Brassica oleracea* l. var. capitata), leaf nitrate and glucosinolates and nitrogen losses studied in a field experiment in central slovenia. *Plants*, 10(7), 1–16.
<https://doi.org/10.3390/plants10071304>
- Kant, K., Singh, D., & Prasad, D. M. (2019). Effect of combined application of organic and inorganic fertilizers on growth and yield of cabbage (*Brassica oleracea* L. Var. capitata). *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences*, 8(12), 2204–2212.
- Kant, K., Singh, D., & Prasad, V. M. (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(2), 338–343.
<https://doi.org/10.15740/has/tajh/11.2/338-343>
- Karthika, K. S., Philip, P. S., & Neenu, S. (2020). Brassicaceae Plants Response and Tolerance to Nutrient Deficiencies. In H. M. (Ed.), *The Plant Family Brassicaceae*

- Biology and Physiological Responses to Environmental Stresses*. Springer, Singapor.
- Khan, R., . S. A., . S. K., . F. A., . M. Z., & . B. A. K. (2002). Effect of Different Levels of Nitrogen, Phosphorus and Potassium on the Growth and Yield of Cabbage. *Asian Journal of Plant Sciences*, 1(5), 548–549. <https://doi.org/10.3923/ajps.2002.548.549>
- Kizilkaya, R. (2009). Nitrogen fixation capacity of Azotobacter spp. strains isolated from soils in different ecosystems and relationship between them and the microbiological properties of soils. *Journal of Environmental Biology*, 30(1), 73–82.
- Kumar, K., Kumar, S., Kumar Meena, Ra., & Verma, S. (2017). Effect of Organic and Inorganic Fertilizers on Growth, Yield and Quality of Cabbage (*Brassica oleracea* L. var. capitata). *International Journal of Pure and Applied Bioscience*, 5(5), 1590–1593.
- Lévai, L., Veres, S., Bákonyi, N., & Gajdos, É. (2008). Mogu Li Drvni Pepeo I Biognojivo Biti Zna Č Ajni U Ekološkoj Poljoprivredi? *Agronomski Glasnik*, 3, 263–272.
- Mozumder, S. N., Salim, M., Islam, N., Nazrul, M. I., & Zaman, M. M. (2003). Effect of Bradyrhizobium Inoculum at Different Nitrogen Levels on Summer Mungbean. *Asian Journal of Plant Sciences*, 2(11), 817–822.
- Muimba-Kankolongo, A. (2018). Vegetable Production. In *Food Crop Production by Smallholder Farmers in Southern Africa*. Academic Press.
<https://doi.org/10.1016/b978-0-12-814383-4.00011-6>
- Nongthombam, J., Kumar, A., Sharma, S., & Ahmed, S. (2021). Azotobacter: A Complete Review. *Bull. Env. Pharmacol. Life Sci*, 10, 72–79.
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. (2022). *Datos de cultivos*. FAOSTAT. <http://www.fao.org/faostat/es/#data/QC>
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. (2023). *FAOSTAT*. <https://www.fao.org/faostat/es/#data>
- Pathak, V., Kumar, R., Singh, R. S., Singh, B. N., Tiwari, R. C., & Singh, A. P. (2020). Response of Nitrogen and Azotobacter on Yield of Mustard (*Brassica juncea* L .). *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences*, 10(10), 470–473.
- Rasulov, B. A., Yili, A., & Aisa, H. A. (2013). Biosorption of Metal Ions by Exopolysaccharide Produced by Azotobacter chroococcum XU1. *Journal of Environmental Protection*, 4(9), 989–993. <https://doi.org/10.4236/jep.2013.49114>
- Raza, A., Hafeez, M. B., Zahra, N., Shaukat, K., Umbreen, S., Tabassum, J., Charagh, S.,

- Sohail, R., Khan, A., & Hasanuzzaman, M. (2020). The Plant Family Brassicaceae: Introduction, Biology, And Importance. In M. Hasanuzzaman (Ed.), *The Plant Family Brassicaceae Biology and Physiological Responses to Environmental Stresses* (pp. 1–42). Springer Singapore. <https://doi.org/10.1007/978-981-15-6345-4>
- Romdhane, L., Ebinezzer, L. B., Panozzo, A., Barion, G., Dal Cortivo, C., Radhouane, L., & Vamerli, T. (2021). Effects of Soil Amendment With Wood Ash on Transpiration, Growth, and Metal Uptake in Two Contrasting Maize (*Zea mays* L.) Hybrids to Drought Tolerance. *Frontiers in Plant Science*, *12*(1–13). <https://doi.org/10.3389/fpls.2021.661909>
- Šamec, D., & Salopek-Sondi, B. (2019). Cruciferous (brassicaceae) vegetables. In N. Seyed & A. Silva (Eds.), *Nonvitamin and Nonmineral Nutritional Supplements* (pp. 195–202). Academic Press. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-812491-8.00027-8>
- Seid Tehulie, N., & Belete, S. (2021). Review on the effects of NPS fertilizer rates on growth, yield components and yield of cabbage (*Brassica oleracea* var. *capitata* L.). *South Asian Journal of Agricultural Sciences*, *1*(1), 15–21.
- Semuli, K. L. (2005). *Nitrogen Requirements for Cabbage (Brassica oleracea capitata) Transplants and Crop Response to Spacing and Nitrogen Top-Dressing*. Universidad de Pretoria.
- Shaban, K., Helmy, A., & El-Galad, M. (2013). Role of gypsum and sulphur application in ameliorating saline soil and enhancing rice productivity. *Acta Agronomica Hungarica*, *61*(4), 303–316. <https://doi.org/10.1556/AAgr.61.2013.4.6>
- Sharma, K., Dak, G., Agrawal, A., Bhatnagar, M., & Sharma, R. (2007). Effect of phosphate solubilizing bacteria on the germination of *Cicer arietinum* and seedling growth. *Journal of Herbal Medicine and Toxicology*, *1*(1), 61–63.
- Singh, G., & Verma, A. (2020). Role of biofertilizers in vegetable crop production: A review. *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences*, *8*(6), 2810–2814. <https://doi.org/10.22271/chemi.2020.v8.i6an.11207>
- Sobariu, D. L., Fertu, D. I. T., Diaconu, M., Pavel, L. V., Hlihor, R. M., Drăgoi, E. N., Curteanu, S., Lenz, M., Corvini, P. F. X., & Gavrilescu, M. (2017). Rhizobacteria and plant symbiosis in heavy metal uptake and its implications for soil bioremediation. *New Biotechnology*, *39*, 125–134. <https://doi.org/10.1016/j.nbt.2016.09.002>
- Sompong, U., Kaewprasit, C., Nakasathien, S., & Srinives, P. (2010). Inheritance of seed phytate in mungbean (*Vigna radiata* (L.) Wilczek). *Euphytica*, *171*(3), 389–396.

- <https://doi.org/10.1007/s10681-009-0053-y>
- Šturm, M., Kacjan-Maršič, N., Zupanc, V., Bračič-Železnik, B., Lojen, S., & Pintar, M. (2010). Effect of different fertilisation and irrigation practices on yield, nitrogen uptake and fertiliser use efficiency of white cabbage (*Brassica oleracea* var. *capitata* L.). *Scientia Horticulturae*, *125*(2), 103–109.
<https://doi.org/10.1016/j.scienta.2010.03.017>
- 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>
- Urlič, B., Dumičić, G., & Ban, S. G. (2014). Zinc and Sulfur Effects on Growth and Nutrient Concentrations in Rocket. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, *45*(13), 1831–1839. <https://doi.org/10.1080/00103624.2014.909829>
- Yasmin, N., Blair, G., & Till, R. (2007). Effect of elemental sulfur, gypsum, and elemental sulfur coated fertilizers, on the availability of sulfur to rice. *Journal of Plant Nutrition*, *30*(1), 79–91. <https://doi.org/10.1080/01904160601055004>
- Yousefi, S., Kartoolinejad, D., Bahmani, M., & Naghdi, R. (2017). Effect of Azospirillum lipoferum and Azotobacter chroococcum on germination and early growth of hopbush shrub (*Dodonaea viscosa* L.) under salinity stress. *Journal of Sustainable Forestry*, *36*(2), 107–120. <https://doi.org/10.1080/10549811.2016.1256220>
- Zhang, D., Du, G., Zhang, W., Gao, Y., Jie, H., Rao, W., Jiang, Y., & Wang, D. (2021). Remediation of arsenic-contaminated paddy soil: Effects of elemental sulfur and gypsum fertilizer application. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, *223*, 112606. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2021.112606>
- Zotarelli, L., Barrett, C., Da Silva, A. L. B. R., Christensen, C., & England, G. (2021). Nitrogen Fertilization Guidelines for Bare-Ground and Plastic Mulch Cabbage Production in Florida. In *IFAS Extension* (Vol. 2021, Issue 6).
<https://doi.org/10.32473/edis-hs1428-2021>
- Zuberer, D. A. (2021). Biological dinitrogen (N₂) fixation: introduction and nonsymbiotic. In T. J. Gentry, J. J. Fuhrmann, & D. A. Zuberer (Eds.), *Principles and Applications of Soil Microbiology* (pp. 423–453). Elsevier Inc.

5.4. Anexos

5.4.1. Análisis estadístico

ANOVA (Altura de planta)

Statistix 10,0
16:09:13

29/4/2023;

Randomized Complete Block AOV Table for ALT

Source	DF	SS	MS	F	P
REPET	9	4,4066	0,48962		
TRATAMIEN	4	0,2244	0,05611	0,09	0,9856
Error	36	22,9478	0,63744		
Total	49	27,5788			

Grand Mean 6,7408
CV 11,84

Tukey's 1 Degree of Freedom Test for Nonadditivity

Source	DF	SS	MS	F	P
Nonadditivity	1	0,2815	0,28153	0,43	0,5140
Remainder	35	22,6662	0,64761		

Relative Efficiency, RCB 0,96

Means of ALT for TRATAMIEN

TRATAMIEN	Mean
T1	6,6760
T2	6,7460
T3	6,7220
T4	6,6940
T5	6,8660
Observations per Mean	10
Standard Error of a Mean	0,2525
Std Error (Diff of 2 Means)	0,3571

Randomized Complete Block AOV Table for ALT~01

Source	DF	SS	MS	F	P
REPET	9	23,119	2,5688		
TRATAMIEN	4	123,500	30,8749	13,15	0,0000
Error	36	84,498	2,3472		
Total	49	231,116			

Grand Mean 15,911
CV 9,63

Tukey's 1 Degree of Freedom Test for Nonadditivity

Source	DF	SS	MS	F	P
Nonadditivity	1	0,1826	0,18261	0,08	0,7847
Remainder	35	84,3150	2,40900		

Relative Efficiency, RCB 1,02

Means of ALT~01 for TRATAMIEN

TRATAMIEN	Mean
T1	13,415
T2	16,378
T3	17,750
T4	17,124
T5	14,887
Observations per Mean	10
Standard Error of a Mean	0,4845
Std Error (Diff of 2 Means)	0,6852

Randomized Complete Block AOV Table for ALT~02

Source	DF	SS	MS	F	P
REPET	9	22,039	2,4488		
TRATAMIEN	4	202,050	50,5124	21,20	0,0000
Error	36	85,766	2,3824		
Total	49	309,854			

Grand Mean 28,595
CV 5,40

Tukey's 1 Degree of Freedom Test for Nonadditivity

Source	DF	SS	MS	F	P
Nonadditivity	1	1,3104	1,31037	0,54	0,4661
Remainder	35	84,4557	2,41302		

Relative Efficiency, RCB 1,01

Means of ALT~02 for TRATAMIEN

TRATAMIEN	Mean
T1	26,899
T2	28,259
T3	32,301
T4	28,776
T5	26,738
Observations per Mean	10
Standard Error of a Mean	0,4881
Std Error (Diff of 2 Means)	0,6903

Randomized Complete Block AOV Table for ALT~03

Source	DF	SS	MS	F	P
REPET	9	31,109	3,4565		
TRATAMIEN	4	228,781	57,1954	17,98	0,0000
Error	36	114,527	3,1813		
Total	49	374,418			

Grand Mean 49,173
CV 3,63

Tukey's 1 Degree of Freedom Test for Nonadditivity

Source	DF	SS	MS	F	P
Nonadditivity	1	5,897	5,89721	1,90	0,1768
Remainder	35	108,630	3,10372		

Relative Efficiency, RCB 1,02

Means of ALT~03 for TRATAMIEN

TRATAMIEN	Mean	
T1	48,111	
T2	49,621	
T3	52,681	
T4	49,315	
T5	46,136	
Observations per Mean		10
Standard Error of a Mean		0,5640
Std Error (Diff of 2 Means)		0,7977

Prueba de medias (Altura de planta)

Statistix 10,0
16:10:34

29/4/2023;

Tukey HSD All-Pairwise Comparisons Test of ALT for TRATAMIEN

TRATAMIEN	Mean	Homogeneous Groups
T5	6,8660	A
T2	6,7460	A
T3	6,7220	A
T4	6,6940	A
T1	6,6760	A

Alpha 0,01 Standard Error for Comparison 0,3571
Critical Q Value 4,961 Critical Value for Comparison 1,2526
There are no significant pairwise differences among the means.

Tukey HSD All-Pairwise Comparisons Test of ALT~01 for TRATAMIEN

TRATAMIEN	Mean	Homogeneous Groups
T3	17,750	A
T4	17,124	AB
T2	16,378	AB
T5	14,887	BC
T1	13,415	C

Alpha 0,01 Standard Error for Comparison 0,6852
Critical Q Value 4,961 Critical Value for Comparison 2,4036
There are 3 groups (A, B, etc.) in which the means are not significantly different from one another.

Tukey HSD All-Pairwise Comparisons Test of ALT~02 for TRATAMIEN

TRATAMIEN	Mean	Homogeneous Groups
T3	32,301	A
T4	28,776	B
T2	28,259	B
T1	26,899	B
T5	26,738	B

Alpha 0,01 Standard Error for Comparison 0,6903
Critical Q Value 4,961 Critical Value for Comparison 2,4216
There are 2 groups (A and B) in which the means are not significantly different from one another.

Tukey HSD All-Pairwise Comparisons Test of ALT~03 for TRATAMIEN

TRATAMIEN	Mean	Homogeneous Groups
T3	52,681	A
T2	49,621	B
T4	49,315	B
T1	48,111	BC
T5	46,136	C

Alpha 0,01 Standard Error for Comparison 0,7977
 Critical Q Value 4,961 Critical Value for Comparison 2,7983
 There are 3 groups (A, B, etc.) in which the means are not significantly different from one another.

ANOVA (Variables a la cosecha)

Statistix 10,0
 16:14:23

29/4/2023;

Randomized Complete Block AOV Table for Diametro

Source	DF	SS	MS	F	P
Repet	9	13,037	1,4486		
Tratam	4	115,451	28,8628	23,17	0,0000
Error	36	44,840	1,2456		
Total	49	173,329			

Grand Mean 17,833
 CV 6,26

Tukey's 1 Degree of Freedom Test for Nonadditivity

Source	DF	SS	MS	F	P
Nonadditivity	1	3,9333	3,93330	3,37	0,0751
Remainder	35	40,9072	1,16878		

Relative Efficiency, RCB 1,03

Means of Diametro for Tratam

Tratam	Mean
T1	15,852
T2	17,537
T3	20,467
T4	18,170
T5	17,139

Observations per Mean 10
 Standard Error of a Mean 0,3529
 Std Error (Diff of 2 Means) 0,4991

Randomized Complete Block AOV Table for Peso

Source	DF	SS	MS	F	P
Repet	9	1,2201	0,13557		
Tratam	4	17,8050	4,45124	39,27	0,0000
Error	36	4,0807	0,11335		
Total	49	23,1058			

Grand Mean 3,1340
 CV 10,74

Tukey's 1 Degree of Freedom Test for Nonadditivity

Source	DF	SS	MS	F	P
Nonadditivity	1	0,01963	0,01963	0,17	0,6833
Remainder	35	4,06109	0,11603		

Relative Efficiency, RCB 1,04

Means of Peso for Tratam

Tratam	Mean
T1	2,3820
T2	3,1600
T3	4,1720
T4	3,1880
T5	2,7680
Observations per Mean	10
Standard Error of a Mean	0,1065
Std Error (Diff of 2 Means)	0,1506

Randomized Complete Block AOV Table for Rendimien

Source	DF	SS	MS	F	P
Repet	9	9,566E+08	1,063E+08		
Tratam	4	1,396E+10	3,490E+09	39,27	0,0000
Error	36	3,199E+09	8,887E+07		
Total	49	1,811E+10			

Grand Mean 87752

CV 10,74

Tukey's 1 Degree of Freedom Test for Nonadditivity

Source	DF	SS	MS	F	P
Nonadditivity	1	1,539E+07	1,539E+07	0,17	0,6833
Remainder	35	3,184E+09	9,097E+07		

Relative Efficiency, RCB 1,04

Means of Rendimien for Tratam

Tratam	Mean
T1	66696
T2	88480
T3	116816
T4	89264
T5	77504
Observations per Mean	10
Standard Error of a Mean	2981,1
Std Error (Diff of 2 Means)	4215,9

Randomized Complete Block AOV Table for Rendim~01

Source	DF	SS	MS	F	P
Repet	9	956,6	106,29		
Tratam	4	13959,1	3489,77	39,27	0,0000
Error	36	3199,3	88,87		
Total	49	18114,9			

Grand Mean 87,752

CV 10,74

Tukey's 1 Degree of Freedom Test for Nonadditivity

Source	DF	SS	MS	F	P
Nonadditivity	1	15,39	15,3935	0,17	0,6833
Remainder	35	3183,89	90,9683		

Relative Efficiency, RCB 1,04

Means of Rendim~01 for Tratam

Tratam	Mean
T1	66,70
T2	88,48
T3	116,82
T4	89,26
T5	77,50

Observations per Mean 10
Standard Error of a Mean 2,9811
Std Error (Diff of 2 Means) 4,2159

Prueba de medias (Variables a la cosecha)

Statistix 10,0
16:15:46

29/4/2023;

Tukey HSD All-Pairwise Comparisons Test of Diametro for Tratam

Tratam	Mean	Homogeneous Groups
T3	20,467	A
T4	18,170	B
T2	17,537	BC
T5	17,139	BC
T1	15,852	C

Alpha 0,01 Standard Error for Comparison 0,4991
Critical Q Value 4,961 Critical Value for Comparison 1,7510
There are 3 groups (A, B, etc.) in which the means are not significantly different from one another.

Tukey HSD All-Pairwise Comparisons Test of Peso for Tratam

Tratam	Mean	Homogeneous Groups
T3	4,1720	A
T4	3,1880	B
T2	3,1600	B
T5	2,7680	BC
T1	2,3820	C

Alpha 0,01 Standard Error for Comparison 0,1506
Critical Q Value 4,961 Critical Value for Comparison 0,5282
There are 3 groups (A, B, etc.) in which the means are not significantly different from one another.

Tukey HSD All-Pairwise Comparisons Test of Rendimien for Tratam

Tratam	Mean	Homogeneous Groups
T3	116816	A
T4	89264	B
T2	88480	B

T5	77504	BC
T1	66696	C

Alpha 0,01 Standard Error for Comparison 4215,9
 Critical Q Value 4,961 Critical Value for Comparison 14790
 There are 3 groups (A, B, etc.) in which the means
 are not significantly different from one another.

Tukey HSD All-Pairwise Comparisons Test of Rendim~01 for Tratam

Tratam	Mean	Homogeneous Groups
T3	116,82	A
T4	89,26	B
T2	88,48	B
T5	77,50	BC
T1	66,70	C

Alpha 0,01 Standard Error for Comparison 4,2159
 Critical Q Value 4,961 Critical Value for Comparison 14,790
 There are 3 groups (A, B, etc.) in which the means
 are not significantly different from one another.