

UNIVERSIDAD POLITÉCNICA ESTATAL DEL CARCHI



FACULTAD DE INDUSTRIAS AGROPECUARIAS Y CIENCIAS AMBIENTALES

CARRERA DE AGROPECUARIA

Tema: "Evaluación del efecto de bacterias fijadoras de nitrógeno en el rendimiento del cultivo de cebada (*Hordeum vulgare*) variedad Voyager en el Centro Experimental San Francisco -UPEC"

Trabajo de Integración Curricular previo a la obtención del
Título de Ingeniero en Agropecuaria

AUTOR: Cuaical Pozo Paco Sebastián

TUTOR: Ing. Jácome Sarchi Guillermo Alexander, MSc.

Tulcán, 2025.

CERTIFICADO DEL TUTOR

Certifico que el estudiante Cuaical Pozo Paco Sebastián con el número de cédula 0401967997 respectivamente ha desarrollado el Trabajo de Integración Curricular: "Evaluación del efecto de bacterias fijadoras de nitrógeno en el rendimiento del cultivo de cebada (*Hordeum vulgare*) variedad Voyager en el Centro Experimental San Francisco -UPEC"

Este trabajo se sujeta a las normas y metodología dispuesta en el Reglamento de la Unidad de Integración Curricular, Titulación e Incorporación de la UPEC, por lo tanto, autorizo la presentación de la sustentación para la calificación respectiva

Ing. Jácome Sarchi Guillermo Alexander, MSc.

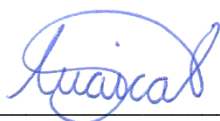
TUTOR

Tulcán, noviembre de 2025

AUTORÍA DE TRABAJO

El presente Trabajo de Integración Curricular constituye un requisito previo para la obtención del título de Ingeniero en la Carrera de agropecuaria de la Facultad de Industrias Agropecuarias y Ciencias Ambientales

Yo, Cuaical Pozo Paco Sebastián con cédula de identidad número 0401967997 respectivamente declaro que la investigación es absolutamente original, auténtica, personal y los resultados y conclusiones a los que he llegado son de mi absoluta responsabilidad.



Cuaical Pozo Paco Sebastián

AUTOR

Tulcán, noviembre de 2025

ACTA DE CESIÓN DE DERECHOS DEL TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR

Yo Cuaical Pozo Paco Sebastián declaro ser autor de los criterios emitidos en el Trabajo de Integración Curricular: "Evaluación del efecto de bacterias fijadoras de nitrógeno en el rendimiento del cultivo de cebada (*Hordeum vulgare*) variedad Voyager en el Centro Experimental San Francisco -UPEC" y eximo expresamente a la Universidad Politécnica Estatal del Carchi y a sus representantes de posibles reclamos o acciones legales.



Cuaical Pozo Paco Sebastián

AUTOR

Tulcán, noviembre de 2025

AGRADECIMIENTO

Agradezco infinitamente a Dios, por ser mi guía constante, mi refugio en los momentos de incertidumbre y la fuerza que me sostuvo a lo largo de este proceso. En los días de duda o cansancio, Su presencia me dio paz y esperanza. A Él dedico este logro con humildad y gratitud.

A mis padres, Germánico Cuaical y Tania Pozo, gracias por su amor incondicional, sus sacrificios y por enseñarme que el esfuerzo y la honestidad abren caminos. Papá, su perseverancia, rectitud y perfeccionismo me inspiran y mamá, su ternura y fe han sido mi mayor apoyo a lo largo de todo este camino. Este logro también les pertenece.

A mi hermano, Kenneth Germánico, gracias por su cariño y por ser mi fuente de alegría. Su apoyo y valentía fue mi impulso, su afecto me recordó la importancia de la familia.

A mi novia, Jessi Jiménez, por su amor, comprensión y paciencia en cada etapa de este camino. Gracias por acompañarme con palabras de ánimo y por compartir conmigo tanto los desafíos como los logros. Su presencia ha sido un apoyo invaluable y una motivación constante.

A mi tutor de tesis, MSc. Guillermo Jácome, expreso mi sincero agradecimiento por su constante acompañamiento, su paciencia y su dedicación durante el desarrollo de este trabajo. Más allá de los conocimientos transmitidos, valoro profundamente su calidad humana, el respeto con el que orientó cada etapa y la confianza que me permitió crecer tanto en lo académico como en lo personal.

A la Universidad Politécnica Estatal del Carchi, especialmente a la Carrera de Ingeniería Agropecuaria, por ofrecerme una formación de calidad y un espacio para crecer como profesional y como persona.

Al final somos una mezcla de todas las personas que han sido parte de nuestro camino. Me alegra saber que algunas de ellas son parte esencial de quien soy hoy.

Cuaical Pozo Paco Sebastián

DEDICATORIA

Con profunda gratitud y alegría, dedico este logro a mis padres, Germánico Cuaical y Tania Pozo, pilares fundamentales en cada etapa de mi vida. Gracias por su amor incondicional, por su apoyo constante en los momentos más difíciles y por su paciencia infinita cuando las fuerzas parecían agotarse. Su ejemplo de sacrificio, trabajo y perseverancia ha sido mi mayor inspiración. Este triunfo les pertenece tanto como a mí, porque sin su guía, sus consejos y su fe en mí, este camino no habría sido posible.

Cuaical Pozo Paco Sebastián

ÍNDICE

RESUMEN	12
ABSTRACT	13
INTRODUCCIÓN	14
I. EL PROBLEMA	16
1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	16
1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA	17
1.3. JUSTIFICACIÓN	17
1.4. OBJETIVOS Y PREGUNTAS DE INVESTIGACIÓN	19
1.4.1. Objetivo General	19
1.4.2. Objetivos Específicos	19
1.4.3. Preguntas de Investigación	19
II. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA	20
2.1. ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN	20
2.2. MARCO TEÓRICO	22
2.2.1. Cultivo de cebada	22
2.2.2. Origen del cultivo de cebada	22
2.2.3. Importancia del cultivo de cebada en Ecuador.....	23
2.2.4. Taxonomía y morfología del cultivo de cebada	23
2.2.5. Manejo agronómico del cultivo de cebada	24
2.2.6. Fertilización del cultivo de cebada	25
2.2.7. Control de malezas	26

2.2.8. Bacterias fijadoras de nitrógeno	26
2.2.9. <i>Rhodopseudomonas palustris</i>	27
2.2.10. <i>Azospirillum brasilense</i>	27
2.2.11. <i>Azotobacter chroococcum</i>	28
III. METODOLOGÍA	29
3.1. ENFOQUE METODOLÓGICO	29
3.1.1. Enfoque.....	29
3.1.2. Tipo de Investigación	29
3.2. HIPÓTESIS	29
3.3. DEFINICIÓN Y OPERACIONALIZACIÓN DE LAS VARIABLES	30
3.3.1. Definición de las variables	30
3.3.2. Operacionalización de las variables	31
3.4. MÉTODOS UTILIZADOS	33
3.4.1. Área de estudio	33
3.4.2. Tratamientos del diseño experimental	33
3.4.3. Características del diseño experimental.....	34
3.4.4 Distribución y características del experimento.....	35
3.4.5. Población y muestra de la investigación	35
3.4.6. Procedimientos	36
3.4.7. Variables a evaluar.....	38
3.5. ANÁLISIS ESTADÍSTICO	40
IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	41
4.1. RESULTADOS	41
4.1.1. Altura de planta.....	41
4.1.2. Diámetro de tallo	42
4.1.3. Numero de Macollos	44

4.1.4. Diámetro de espiga.....	46
4.1.5. Longitud de espiga.....	47
4.1.6. Longitud de raíces	48
4.1.7. Rendimiento	48
4.1.8. Análisis costo/beneficio	50
4.2. DISCUSIÓN	51
V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	55
5.1. CONCLUSIONES	55
5.2. RECOMENDACIONES	55
VI. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	57
VII. ANEXOS	61

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Taxonomía de la <i>Hordeum vulgare</i>	23
Tabla 2. Características <i>Rhodopseudomonas palustris</i>	27
Tabla 3. Características <i>Azospirillum brasilense</i>	28
Tabla 4. Contenido y Características de <i>Azotobacter chroococcum</i>	28
Tabla 5. Operacionalización de las variables.....	31
Tabla 6. Tabla de tratamientos.....	33
Tabla 7. Características de la unidad experimental.....	34
Tabla 8. Análisis de varianza para la altura de planta	41
Tabla 9. Prueba de Tukey al 5% para la altura 1, altura 2, altura 3, altura 4	42
Tabla 10. Análisis de varianza para Diámetro de Tallo de la Planta	43
Tabla 11. Prueba de Tukey al 5% para el Diámetro de la Tallo 1, Diámetro de la Tallo 2, Diámetro de la Tallo 3 de la Planta, Diámetro de la Tallo 4 de la Planta	44
Tabla 12. Análisis de varianza para el Número de Macollos	45
Tabla 13. Prueba de Tukey al 5% para Número de Macollos 1	45

Tabla 14. Prueba de Tukey al 5% para Número de Macollos 2	45
Tabla 15. Prueba de Tukey al 5% para Número de Macollos 3	46
Tabla 16. Prueba de Tukey al 5% para Número de Macollos 4	46
Tabla 17. Análisis de varianza para el Diámetro de Espiga	46
Tabla 18. Prueba de Tukey al 5% para el Diámetro de Espiga 4	47
Tabla 19. Análisis de varianza para la Longitud de Espiga 4	47
Tabla 20. Prueba de Tukey al 5% para el Longitud de Espiga 4	47
Tabla 21. Análisis de varianza para la Longitud de Raíces	48
Tabla 22. Prueba de Tukey al 5% para el Longitud de Raíces	48
Tabla 23. Análisis de varianza para el Rendimiento.....	49
Tabla 24. Prueba de Tukey al 5% para el Rendimiento	49
Tabla 25. Análisis costo/beneficio para el cultivo de Cebada	50
Tabla 26. Costos de producción	64
Tabla 27. Análisis costo/beneficio para el cultivo de Cebada	69

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Ubicación geográfica del terreno	33
Figura 2. Distribución de tratamientos	35
Figura 3. Muestra de la investigación	36
Figura 4. Delimitación del terreno	66
Figura 5. Preparación del terreno	66
Figura 6. Siembra y aplicación de insumos.....	66
Figura 7. División y rotulación de parcelas.....	66
Figura 8. Insumo utilizado	66
Figura 9. Insumo utilizado	66
Figura 10. Insumo utilizado	66
Figura 11. Insumo utilizado	66
Figura 12. Segunda aplicación de insumos	67
Figura 13. Delimitación de área de toma de datos	67
Figura 14. Selección de plantas a evaluar.....	67

Figura 15. Toma de datos.....	67
Figura 16. Manejo fitosanitario.....	67
Figura 17. Toma de datos.....	67
Figura 18. Toma de datos.....	67
Figura 19. Toma de datos.....	67
Figura 20. Cosecha.....	68
Figura 21. Proceso de trilla del grano	68
Figura 22. Ensacado del grano de cebada	68
Figura 23. Almacenamiento del grano de cebada	68
Figura 24. Pesaje y almacenamiento del grano	68

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1. Acta de la sustentación de Predefensa del TIC.....	61
Anexo 2. Certificado del abstract por parte de idiomas	62
Anexo 3. Costos de producción	64
Anexo 4. Análisis de suelo	65
Anexo 5. Proceso Experimental.....	66
Anexo 6. Análisis costo/beneficio	69
Anexo 7. Script para realizar el análisis estadístico en R Studio de un DBCA con arreglo factorial 3x3+1	70

RESUMEN

El objetivo de la presente investigación fue evaluar el efecto de bacterias fijadoras de nitrógeno en el rendimiento del cultivo de cebada (*Hordeum vulgare*) variedad Voyager en el Centro Experimental San Francisco - UPEC – cantón Huaca de la provincia del Carchi. Se trabajó con un diseño de bloques completamente al azar con arreglo factorial 3 x 3 + 1, donde se estableció 10 tratamientos con 4 repeticiones. Las variables analizadas incluyeron: altura de planta (cm), diámetro de tallo de la planta (mm), número de macollos, longitud de espiga (cm), diámetro de espiga (mm), longitud de raíces (cm), rendimiento (kg) y un análisis costo beneficio (USD). El análisis estadístico se realizó con el programa RStudio para calcular el análisis de varianza y la comparación de medias con la Prueba de Tukey al 5%. Se determinó que los mejores resultados los obtuvo el tratamiento T4 la aplicación de *Azospirillum brasilense* (7,5 ml/l) junto con el 100% de fertilizante en la siembra (22-17-13) y a los 30 días (46-0-0), logrando los mejores resultados en altura de planta (118,35 cm), número de macollos (4,86), diámetro (11,12 mm) y longitud de espiga (11,32 cm), y longitud de raíces (19,42 cm). Sin embargo, para el diámetro del tallo (6,38 mm) la combinación más favorable fue el biofertilizante con el 75% de fertilización, demostrando que el uso de *Azospirillum brasilense* con diferentes niveles de fertilizante (100%, 75% o 50%) mejora consistentemente el desarrollo del cultivo, así mismo alcanzando un rendimiento de 5.401.279 kg/ha, por otro lado, definiendo así que el tratamiento 4 como el mejor y con un beneficio directo de 0.50 dólares por cada dólar invertido.

Palabras Claves: Rizosfera, *Rhodopseudomonas palustris*, *Azospirillum brasilense*, *Azotobacter chroococcum*, fertilización, desarrollo vegetativo, rendimiento.

ABSTRACT

The objective of this research was to evaluate the effect of nitrogen-fixing bacteria on the yield of the barley crop (*Hordeum vulgare*) variety Voyager at the San Francisco Experimental Center - UPEC - Huaca canton of the Carchi province. A completely randomized block design with a 3 x 3 + 1 factorial arrangement was used, where 10 treatments were established with 4 repetitions. The variables analyzed included: plant height (cm), plant stem diameter (mm), number of tillers, spike length (cm), spike diameter (mm), root length (cm), yield (kg) and a cost-benefit analysis (USD). Statistical analysis was performed using the RStudio program to calculate the analysis of variance and the comparison of means with Tukey's Test at 5% significance level. It was determined that the best results were obtained by treatment T4, the application of *Azospirillum brasilense* (7.5 ml/l) along with 100% fertilizer at planting (22-17-13) and at 30 days (46-0-0), achieving the best results in plant height (118.35 cm), number of tillers (4.86), stem diameter (11.12 mm) and spike length (11.32 cm), and root length (19.42 cm). However, for stem diameter (6.38 mm) the most favorable combination was the biofertilizer with 75% fertilization, demonstrating that the use of *Azospirillum brasilense* with different levels of fertilizer (100%, 75% or 50%) consistently improves crop development, also reaching a yield of 5,401,279 kg/ha. Therefore, treatment T4 is the best and with a direct benefit of 0.50 dollars for every dollar invested.

Keywords: Rhizosphere, *Rhodopseudomonas palustris*, *Azospirillum brasilense*, *Azotobacter chroococcum*, fertilization, vegetative development, yield.

INTRODUCCIÓN

La agricultura moderna se enfrenta al paradigma de incrementar la productividad de los cultivos para satisfacer la demanda global de alimentos, mientras mitiga los profundos impactos ambientales generados por sus prácticas convencionales. Entre estas, la fertilización nitrogenada intensiva en cultivos de cereales se ha erigido como una de las principales fuentes de contaminación, representando un desafío multifacético de carácter económico, social y ecológico (Romero, 2024). Investigaciones señalan que entre el 50% y 70% del nitrógeno aplicado no es absorbido por las plantas, liberándose al entorno y generando una cascada de efectos adversos (Lema et al., 2017).

En Ecuador, este problema adquiere una relevancia particular. La cebada (*Hordeum vulgare*) es un cereal fundamental para la seguridad alimentaria de la región Sierra, base de la dieta andina y de la industria agroalimentaria. No obstante, la producción nacional se ha visto comprometida por el uso inadecuado de fertilizantes sintéticos, cuyo consumo ha aumentado en un 30% en la última década (Ministerio del Ambiente, 2022). Las consecuencias de esta sobrefertilización son graves: por un lado, encarece los costos de producción para agricultores que ya enfrentan la volatilidad de los mercados internacionales de insumos (Banco Central del Ecuador, 2023); y por otro, desencadena serios perjuicios a la salud pública, como la metahemoglobinemia en poblaciones vulnerables por la contaminación con nitratos (Aesan, 2023), y al medio ambiente, mediante la acidificación de suelos, la contaminación de acuíferos y la emisión de óxido nitroso (N_2O), un gas de efecto invernadero con un potencial de calentamiento global 300 veces superior al CO_2 (WHO, 2020; René et al., 2021). Esta problemática es especialmente crítica en ecosistemas frágiles como los páramos, donde se cultiva parte de la cebada ecuatoriana.

Frente a este escenario, es imperativo explorar e implementar alternativas sostenibles que permitan desacoplar el rendimiento agrícola de la dependencia de fertilizantes químicos. En este contexto, el uso de bacterias fijadoras de nitrógeno (BFN) emerge como una innovación prometedora. Estos microorganismos, habitantes naturales de la rizósfera, poseen la capacidad de convertir el nitrógeno atmosférico en formas

asimilables para las plantas, actuando como biofertilizantes naturales (Silva, 2017). Su aplicación no solo reduce la necesidad de insumos sintéticos, hasta en un 50% según Ortiz et al. (2022), sino que también mejora la salud del suelo al promover su biodiversidad microbiana, producir fitohormonas que estimulan el crecimiento vegetal y aumentar la eficiencia en la absorción de nutrientes (Jha y Saraf, 2015).

Específicamente, en la provincia del Carchi, donde la cebada se cultiva en aproximadamente 8,500 hectáreas, la variedad Voyager destaca por su resistencia a enfermedades y adaptabilidad a las condiciones adversas de la región andina (MAG, 2023; González et al., 2023). Sin embargo, su potencial de rendimiento a menudo se ve limitado por planes de fertilización inadecuados que no consideran los altos costos y los impactos ambientales.

Por lo tanto, la presente investigación, denominada "Evaluación del efecto de bacterias fijadoras de nitrógeno en el rendimiento del cultivo de cebada (*Hordeum vulgare*) variedad Voyager en el Centro Experimental San Francisco - UPEC", se justifica como una contribución necesaria para generar conocimiento local y validar una alternativa tecnológica viable. Este estudio busca demostrar que la biofertilización con BFN puede constituir una estrategia clave para incrementar la rentabilidad y sostenibilidad de la cebada en Ecuador, ofreciendo a los agricultores una herramienta para reducir costos, mejorar la calidad de sus suelos y proteger los valiosos ecosistemas de los que dependen.

I. EL PROBLEMA

1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

A nivel mundial, la aplicación excesiva de fertilizantes nitrogenados en cultivos de cereales como la cebada (*Hordeum vulgare*) ha originado serios impactos de carácter ambiental, social y económico. Diversas investigaciones indican que entre el 50 % y el 70 % del nitrógeno suministrado al suelo no es absorbido por las plantas y termina liberándose en el entorno, generando contaminación de suelos y aguas, además de contribuir a la emisión de gases de efecto invernadero como el óxido nitroso (Romero, 2024). Esta ineficiencia en el uso del nitrógeno representa un doble desafío: por un lado, incrementa los costos de producción para los agricultores, y por otro, deteriora progresivamente los suelos al causar acidificación, pérdida de biodiversidad microbiana y reducción de nutrientes esenciales (Lema y otros, 2017).

En el contexto ecuatoriano, la cebada constituye un cereal clave en la región Sierra y un componente esencial de la seguridad alimentaria. Sin embargo, la producción nacional se ha visto afectada por el uso inadecuado de fertilizantes, lo que ha derivado en un aumento del 30 % en su consumo en los últimos diez años (Ministerio del Ambiente, 2022). El exceso de nitratos en los cultivos puede transformarse en nitritos en el organismo humano, ocasionando metahemoglobinemia, una alteración que impide a la sangre transportar oxígeno de manera eficiente y que afecta principalmente a infantes y niños pequeños (Aesan, 2023).

Desde la dimensión ambiental, el abuso de fertilizantes nitrogenados constituye uno de los problemas más críticos de la agricultura actual. Cuando las plantas no aprovechan el nitrógeno aplicado, este suele filtrarse hacia los acuíferos en forma de nitratos (NO_3), contaminando las aguas subterráneas. Según los estándares internacionales, concentraciones superiores a 50 mg/L lo vuelven no apto para consumo humano (World Health Organization [WHO], 2020). A esto se suma la emisión de óxido nitroso (N_2O), cuyo potencial de calentamiento global es 300 veces mayor al del dióxido de carbono, agravando el cambio climático (René et al., 2021).

En el caso de Ecuador, donde la cebada se cultiva en páramos y ecosistemas frágiles, estas consecuencias son aún más severas, ya que comprometen la biodiversidad local y la disponibilidad de agua para las comunidades. De esta manera, la sobre-fertilización nitrogenada constituye una amenaza directa tanto para los ecosistemas como para la población.

En la provincia del Carchi, los agricultores viven realidades semejantes al resto del país: altos costos de fertilización, baja rentabilidad y afectaciones en la calidad del suelo y del agua. La variedad Voyager, si bien presenta resistencia frente a plagas y enfermedades, muestra limitaciones en su rendimiento cuando no se aplican planes de fertilización adecuados (González y otros, 2023). En un país como Ecuador, donde la mayoría de los fertilizantes son importados, los precios dependen de la volatilidad del mercado internacional y de los costos de transporte, lo que incrementa la vulnerabilidad de los productores ante crisis externas (Banco Central del Ecuador, 2023).

A pesar de las evidencias sobre los efectos negativos del uso intensivo de fertilizantes, en muchos escenarios todavía existe un desconocimiento considerable sobre alternativas más sostenibles, como las bacterias fijadoras de nitrógeno (BFN). Estos microorganismos, presentes en la rizósfera de múltiples especies vegetales, poseen la capacidad de convertir el nitrógeno atmosférico en formas que la planta puede asimilar, mejorando así la fertilidad del suelo y reduciendo la necesidad de fertilizantes sintéticos (Silva, 2017).

1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

Excesivo uso de fertilizantes por parte de los agricultores en el cultivo de cebada genera altos costos de producción, contaminación ambiental, riesgos para la salud y bajos rendimientos del cultivo.

1.3. JUSTIFICACIÓN

En el Ecuador la cebada (*Hordeum vulgare*) se caracteriza por ser es uno de los más importantes cereales dentro de la canasta básica familiar de la Serranía; sin embargo, varios elementos han incidido en el proceso de la producción del cultivo. El uso excesivo de fertilizantes nitrogenados en los cultivos de cereales plantea la necesidad de generar conocimientos que permitan optimizar la absorción de nutrientes y mejorar la fertilidad del suelo.

La cebada es un cultivo vital para la agricultura ecuatoriana, ya que se adapta a diversas condiciones agroclimáticas y es una fuente importante de alimento y forraje. En la provincia del Carchi, la cebada se cultiva en aproximadamente 8,500 hectáreas, con una producción que supera las 20,000 toneladas anuales (Ministerio de Agricultura y Ganadería [MAG], 2023). Este cultivo no solo es esencial para la alimentación humana, sino que también se utiliza en la producción de cerveza y como forraje para el ganado. La variedad Voyager se ha destacado por su resistencia a enfermedades comunes en la región andina y su capacidad para tolerar condiciones adversas, lo que la convierte en una opción ideal para los agricultores locales que buscan maximizar sus rendimientos y asegurar su sustento (González y otros, 2023).

El exceso de fertilización nitrogenada ha generado graves impactos en suelos, fuentes hídricas y ecosistemas frágiles de páramo. Frente a ello, el uso de biofertilizantes aparece como una alternativa que permite disminuir la contaminación por nitratos, prevenir procesos de eutrofización y reducir la liberación de gases de efecto invernadero. La incorporación de estas prácticas agrícolas no solo protege la biodiversidad y la calidad del agua, sino que también contribuye a la mitigación del cambio climático y a la conservación de los recursos naturales indispensables para la subsistencia de las comunidades rurales.

Los altos costos de los fertilizantes químicos y la dependencia de insumos importados representan un obstáculo para la sostenibilidad del sector agrícola, en especial para los pequeños y medianos productores del Carchi. La introducción de alternativas como las bacterias fijadoras de nitrógeno posibilita reducir el gasto en fertilización, mejorar la rentabilidad de los cultivos y aumentar la competitividad en mercados locales e internacionales. De esta forma, se generan condiciones que favorecen la estabilidad económica de los agricultores y potencian su capacidad de reinversión en el sistema productivo.

El uso de bacterias fijadoras de nitrógeno constituye una innovación relevante para el manejo sostenible del cultivo de cebada. Estos microorganismos no solo fijan el nitrógeno atmosférico en formas disponibles para la planta, sino que también producen fitohormonas que estimulan el crecimiento y fortalecen la tolerancia frente a condiciones adversas (Jha y Saraf, 2015). Su utilización promueve la regeneración del microbiota del suelo, aumenta la eficiencia en la absorción de nutrientes y puede

reducir hasta en un 50 % la dependencia de fertilización química (Ortiz et al., 2022). La biofertilización de cebada con bacterias fijadoras de nitrógeno ofrece una alternativa estratégica y de alto valor para los agricultores de la Sierra. Este cereal, fundamental en la dieta andina y en la industria alimentaria nacional, puede alcanzar mayores rendimientos de manera sostenible mediante la incorporación de biofertilizantes. La integración de estas tecnologías en el cultivo incrementa la rentabilidad al reducir costos de insumos químicos, mejora la calidad del grano y aporta materia orgánica que enriquece el suelo (Silva, 2017).

1.4. OBJETIVOS Y PREGUNTAS DE INVESTIGACIÓN

1.4.1. Objetivo General

Evaluar el efecto de bacterias fijadoras de nitrógeno en el rendimiento del cultivo de cebada (*Hordeum vulgare*) variedad Voyager en el Centro Experimental San Francisco -UPEC.

1.4.2. Objetivos Específicos

- Determinar el efecto de tres tipos de bacterias fijadoras de nitrógeno con tres dosis de fertilizante edáfico en el crecimiento vegetativo de la cebada variedad Voyager.
- Evaluar el efecto de tres tipos de bacterias fijadoras de nitrógeno con tres dosis de fertilizante edáfico en el rendimiento de grano de la cebada variedad Voyager.
- Analizar el costo beneficio de los tratamientos de estudio

1.4.3. Preguntas de Investigación

- ¿Qué efecto tienen las bacterias fijadoras de nitrógeno y las dosis de fertilizante en el crecimiento vegetativo de la cebada Voyager?
- ¿Cómo influyen las bacterias fijadoras de nitrógeno y las dosis de fertilizante en el rendimiento de grano de la cebada Voyager?
- ¿Cuál es el tratamiento más rentable para ser implantado en relación con un análisis costo-beneficio?

II. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA

2.1. ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN

Según Negi, Tilak y Sachdev (1991), en su trabajo de investigación titulado "Absorción de nitrógeno por cebada inoculada con *Azospirillum brasilense* (*Hordeum vulgare*) influenciada por la fertilización con N y P", el objetivo fue determinar la contribución de *Azospirillum brasilense* a la absorción de nitrógeno en cebada bajo distintas dosis de N y P. Se usó un DBCA con cuatro tratamientos: T1 (control), T2 (A. brasilense), T3 (A. brasilense + 40 kg N ha⁻¹ + 20 kg P ha⁻¹) y T4 (A. brasilense + 80 kg N ha⁻¹ + 40 kg P ha⁻¹). Se evaluó producción de materia seca, absorción de N y P y porcentaje de N derivado de fijación biológica (¹⁵N). Los resultados mostraron que aproximadamente 36 % del N absorbido provenía de fijación biológica y que los tratamientos inoculados sin fertilización presentaron mayor materia seca que el control, concluyendo que *Azospirillum brasilense* puede reducir la dependencia de fertilizantes químicos.

Según Kumar y otros (2013), en su investigación titulada "El efecto de diferentes niveles de nitrógeno y biofertilizantes sobre el crecimiento y rendimiento de cebada (*Hordeum vulgare*)", el objetivo fue evaluar el efecto de tres niveles de N (40, 60 y 80 kg ha⁻¹) combinados con inoculación de *Azotobacter*, *Azospirillum* y ambos. Se implementó un DBCA con 10 tratamientos y 3 repeticiones. Se midió altura de planta, número de macollos y rendimiento de grano. El tratamiento con 80 kg N ha⁻¹ + *Azotobacter* + *Azospirillum* obtuvo la mayor altura (95,3 cm), número de macollos (436 m²) y rendimiento (4,52 t ha⁻¹), superando significativamente al control. Se concluyó que la combinación de biofertilizantes con N alto maximiza crecimiento y rendimiento.

Según DolKhani y otros (2021), en el estudio titulado "Efecto de las bacterias fijadoras de nitrógeno sobre el rendimiento y algunos macronutrientes de dos cultivares de cebada", el objetivo fue evaluar *Azotobacter*, *Azospirillum* y su combinación con urea (100 kg ha⁻¹) en rendimiento y contenido de N, P y K del grano. Se utilizó un DBCA con 8 tratamientos y 4 repeticiones en dos variedades (Zehak y Nimroz). En Zehak, el

tratamiento *Azotobacter* + *Azospirillum* + urea incrementó el rendimiento en 40 % (de 3,1 a 4,34 t ha⁻¹), y en Nimroz en 21,33 %, además de aumentar el N del grano en 21,6 %, P en 30 % y K en 61,74 %. Se concluyó que la combinación bacterias-urea mejora significativamente la calidad nutricional y el rendimiento.

Según Paredes (2024), en su investigación titulada “*Azospirillum brasilense*: Inoculación y manejo del nitrógeno en el desarrollo y rendimiento de la cebada”, el objetivo fue determinar la dosis óptima de inoculación y fertilización de N para maximizar el rendimiento de cebada. Se evaluaron tres dosis de inoculante (6,25; 12,5 y 25 ml kg⁻¹ de semilla) combinadas con tres niveles de N (0, 22,5 y 45 kg ha⁻¹) en un DBCA con 9 tratamientos y 4 repeticiones. El tratamiento con 12,5 ml kg⁻¹ y 22,5 kg N ha⁻¹ obtuvo un incremento del rendimiento de 28 % respecto al control sin inoculación, con 5,12 t ha⁻¹, concluyendo que se puede reducir hasta un 50 % el N sin perder rendimiento.

Según Belimov y otros (1995), en el estudio “Interacción entre cebada y cultivos mixtos de bacterias fijadoras de nitrógeno y solubilizadoras de fosfato”, el objetivo fue evaluar la interacción de *Azospirillum lipoferum* con bacterias solubilizadoras de fosfato en cebada. Se utilizó un DBCA con 4 tratamientos: control, A. lipoferum, fosfatasa y A. lipoferum + fosfatasa. Se midieron rendimiento de grano, acumulación de N y P y actividad del acetileno reductasa (ARA). El tratamiento combinado aumentó el rendimiento en 32 %, la acumulación de N en 28 % y la de P en 34 % respecto al control, concluyendo que las mezclas de microorganismos potencian la nutrición mineral.

Según Dalla y otros (2004) en su trabajo de investigación titulado “Inoculación de trigo, maíz y cebada con *Azospirillum*”, el objetivo fue sintetizar resultados del uso de *Azospirillum* en cereales. Se recopilaron ensayos en campo que mostraron incrementos promedio del 15 % en altura de planta, 18 % en biomasa aérea y 20 % en rendimiento de grano, además de mejoras en absorción de N. Se concluyó que *Azospirillum* es un biofertilizante confiable para reducir dosis de N químico sin sacrificar rendimiento.

Según Albán (2011), en su trabajo “Efecto de dosis y épocas de aplicación de nitrógeno complementario en cebada maltera Metcalfe”, el objetivo fue determinar la mejor dosis y momento para optimizar rendimiento y calidad del grano. Se utilizó un DBCA con 12 tratamientos combinando 25, 50, 75 y 100 kg N ha⁻¹ aplicados en

macollamiento, encañado y espigado. Se evaluó altura de planta, número de macollos, peso de 1000 granos, proteína del grano y rendimiento. El mayor rendimiento ($4,18 \text{ t ha}^{-1}$) se obtuvo con 100 kg N ha^{-1} en macollamiento, con 12,3 % de proteína. Se concluyó que dosis medias de N permiten maximizar rentabilidad y reducir impactos ambientales.

Según Ortiz y otros (2022), en su trabajo de investigación titulado "Evaluación de bacterias fijadoras de nitrógeno en trigo y cebada en la Sierra ecuatoriana", el objetivo fue determinar la reducción posible de N químico usando *Azospirillum brasilense* y *Azotobacter chroococcum*. Se empleó un DBCA con 5 tratamientos: control, 100 % N químico, *Azospirillum* + 50 % N, *Azotobacter* + 50 % N y mezcla de ambas bacterias + 50 % N. Los resultados mostraron que la mezcla bacteriana + 50 % N alcanzó rendimientos de $4,05 \text{ t ha}^{-1}$, estadísticamente iguales al 100 % N ($4,12 \text{ t ha}^{-1}$), concluyendo que es posible reducir a la mitad el fertilizante químico manteniendo el rendimiento.

2.2. MARCO TEÓRICO

2.2.1. Cultivo de cebada

2.2.2. Origen del cultivo de cebada

La planta de cebada que conocemos hoy en día descende de la cebada silvestre que crecía en el Oriente Medio. Fue domesticada al rededor de 7000 años con la finalidad de la obtención de semillas. En Egipto se cultivó de manera selectiva para que las espigas se sustentaran por tallos más fuertes y sus semillas adquirieran un mayor tamaño. Los primeros cereales que se domesticaron fueron el trigo y la cebada (Salvador, 2015). Según Cervecería Nacional (2022), "la cebada maltera de variedad Voyager de origen mexicano fue cosechada por primera vez en Ecuador, marcando un hito en la producción local". Este esfuerzo fue parte de un programa que busca que la industria cervecera ecuatoriana obtenga el 100% de su materia prima sin necesidad de importaciones. Lema y otros (2017), indican que "la producción de cebada en Ecuador ha sido históricamente insuficiente para satisfacer las demandas del mercado cervecero, lo que llevó a la necesidad de desarrollar variedades como Voyager". Esta variedad ha demostrado un rendimiento promedio de 2.5 toneladas métricas por hectárea, superando en un 30% las variedades forrajeras tradicionales.

2.2.3. Importancia del cultivo de cebada en Ecuador

La cebada (*Hordeum vulgare* L.) ocupa el cuarto lugar entre los cereales más sembrados a nivel global, después del maíz, trigo, y el arroz (FAO, 2018). Su relevancia se explica por la gran capacidad de adaptación a diferentes condiciones ecológicas y por la variedad de usos que presenta (Canal et al., 2012). Desde el punto de vista social y económico, este cultivo adquiere importancia debido a su aprovechamiento como alimento destinado al consumo humano (Grando y Gómez, 2005). En Ecuador, la cebada constituye un componente fundamental de la seguridad alimentaria, pues se utiliza principalmente para la dieta de las personas y forma parte de los productos básicos que sostienen la economía de pequeños agricultores de la región interandina. Generalmente, el cultivo es manejado por productores medianos-pequeños, destinando gran parte de la cosecha al autoconsumo, ya que aporta carbohidratos, fibra y proteínas (Ponce, 2020). Las zonas aptas para su siembra sin limitaciones ecológicas abarcan alrededor de 100 000 ha, situadas entre los 2 400 y 3 400 m s. n. m., con lluvias anuales de 400 a 700 mm y temperaturas entre 10 y 20 °C. A esto se suman 50 000 ha adicionales en áreas con restricciones agroecológicas, alcanzando un potencial nacional cercano a 150 000 ha (Ponce et al., 2022).

2.2.4. Taxonomía y morfología del cultivo de cebada

Según Pinedo y otros, (2020) el cultivo de cebada lo describe taxonómicamente de la siguiente manera:

Tabla 1. Taxonomía de *Hordeum vulgare*

Taxonomía	
Reino	Plantae
División	Magnoliophyta
Clase	Liliopsida
Orden	Poales
Familia	Poaceae
Subfamilia	Pooideae
Tribu	Triticeae
Género	<i>Hordeum</i>
Especie	<i>Hordeum vulgare</i> L.

Fuente: Pinedo y otros, (2020)

Por otro lado, el INIAP (2020) nos manifiesta algunas características morfológicas importantes del cultivo cebada:

Grano. - El grano de cebada corresponde a una carióspside de forma ovalada, con surco longitudinal y extremos redondeados. Usualmente se encuentra recubierto por la palea y la lemma, que permanecen adheridas, aunque en algunos casos puede presentarse desnudo. Su coloración es variable, pudiendo ser blanca, amarilla, azul o negra, entre otras tonalidades.

Espigas. - Las espigas de cebada pueden presentar aristas largas (barbadas), carecer de ellas (múticas) o bien mostrar superficies lisas o dentadas. Cada espiga está constituida por espiguillas, dispuestas en grupos de tres de manera alterna a lo largo del raquis. Cuando todas las espiguillas son fértiles, se forma una espiga de seis hileras llamada (hexástica); en cambio, si solo una espiguilla de cada trío es fértil, se obtiene una espiga de dos hileras. La longitud de la espiga oscila entre 7 y 12 cm, mientras que su grosor varía de 0,6 a 1,2 cm.

Hojas. - Las hojas de la cebada son lineales y lanceoladas, conformadas por cuatro partes principales: vaina, lámina, lígula y aurículas. Generalmente son glabras (sin pubescencia), aunque en casos poco frecuentes pueden presentar ligeros pelos, con un ancho que varía entre 5 y 15 mm. Las vainas rodean completamente el tallo, mientras que la lígula y, sobre todo, las aurículas constituyen rasgos distintivos de este cereal frente a otros granos, ya que son glabras, abrazan el tallo y en ocasiones muestran pigmentación por antocianinas.

Tallos. - Los tallos de la cebada son erectos y huecos, conformados por 5 a 7 entrenudos de forma cilíndrica, separados entre sí por los nudos, en los cuales se insertan las hojas, dispuestas de manera alterna a lo largo del tallo. La planta alcanza una altura que oscila entre 50 y 120 cm, mientras que el grosor de los entrenudos centrales varía de 3 a 6 mm.

Raíces. - El sistema radicular de la cebada es de tipo fasciculado y fibroso, con una profundidad que oscila entre 15 y 37 cm.

2.2.5. Manejo agronómico del cultivo de cebada

Por otro lado, Ponce y otros (2022), nos manifiesta que, para realizar un adecuado manejo del cultivo de cebada, es muy importante conocer las etapas fenológicas de desarrollo del cultivo e identificar las actividades que se deben ejecutar, lo que permitirá realizar oportunamente las actividades de mantenimiento y cuidado del cultivo, y llegar a tener una buena producción.

La semilla es uno de los principales y fundamentales insumos de la agricultura, que ha evolucionado a largo de los siglos y hoy, vemos que las nuevas plantaciones distan mucho de lo que fue hace años. Las semillas son la base del sustento humano, porque son las depositarias del todo el potencial genético de las especies agrícolas y sus variedades generadas a través de los años. Los productores, además de ver los beneficios en rendimientos de sus cosechas cuando siembran semillas de calidad, pueden estar seguros que esta pasó por un proceso de seguimiento y comprobación del conjunto de actividades que garantiza que las semillas usadas se obtienen bajo métodos y procesos de producción, cosecha y postcosecha (beneficio, análisis y almacenamiento). Al verificar su calidad genética, se garantiza su pureza e identidad varietal, su homogeneidad y estabilidad a través de las generaciones. Se asegura la calidad física al estar libre de impurezas y semillas de otras especies, garantiza su sanidad, ausencia de patógenos y libre de enfermedades, así como garantiza su calidad fisiológica es decir su viabilidad y germinación (Mendoza y otros, 2023).

Según Boga (2014), las mejores prácticas de manejo nutricional en cebada cervecera deben basarse en la aplicación de la dosis, fuente y forma adecuados de nutrientes", especialmente para alcanzar niveles de producción y de proteína aceptados por las malterías, lo cual exige un equilibrio entre rendimiento y calidad del grano. En Argentina, estas recomendaciones enfatizan la aplicación fraccionada de nitrógeno, fósforo y potasio, tomando como referencia los nutrientes remanentes del suelo y el cultivo anterior. Por ejemplo, se sugiere una fórmula como 100-80-40 NPK después de un cultivo cereal, aplicada parcialmente al momento de la siembra y el resto durante la fase vegetativa, acompañada de materia orgánica para mejorar la estructura del suelo y reducir la dosis total de fertilizantes químicos. McKenzie y otros (2005), encontraron que tasas de siembra muy altas más de 3.0 millones de semillas por hectárea disminuyen el peso del grano, su redondez y concentración proteica en cebada de malta", aunque estas tasas pueden aumentar la uniformidad de los granos. La densidad óptima sugerida está cerca de esos 3.0 millones de semillas/ha, lo que logra un balance entre rendimiento y calidad necesarios para la producción cervecera.

2.2.6. Fertilización del cultivo de cebada

Según Ponce et al. (2020), la fertilización de la cebada debe planificarse a partir de un análisis de suelo; en caso de no disponer de este, se recomienda aplicar las

necesidades básicas del cultivo: 60 kg de nitrógeno (N), 60 kg de fósforo (P_2O_5), 40 kg de potasio (K_2O) y 20 kg de azufre (S), complementados con micronutrientes como calcio, magnesio, boro y zinc. Para cubrir estos requerimientos, se sugiere aplicar al momento de la siembra cinco sacos de fertilizante compuesto 15-30-15 con microelementos, y posteriormente, durante el macollamiento (entre 30 y 40 días después de la siembra), tres sacos de urea. En la etapa de siembra debe incorporarse el 20% del nitrógeno junto con el 100% del fósforo, potasio, azufre y microelementos, mientras que el 80% restante de nitrógeno se adiciona de forma complementaria. Asimismo, la incorporación de abonos orgánicos constituye una alternativa viable, ya que contribuye a mejorar la fertilidad del suelo y optimizar sus propiedades físicas, químicas y biológicas.

El abono orgánico debe ser de buena calidad (origen conocido) y la cantidad recomendada para incorporar al suelo es de 60 sacos. La incorporación debe realizarse al momento de la preparación del suelo (dos meses antes de la siembra). Si no se dispone de estas cantidades de abono orgánico en la zona, se puede incorporar 30 sacos de abono y combinar con dos sacos de fertilizante compuesto 15-30-15.

2.2.7. Control de malezas

En su investigación Mendoza y otros (2023), nos manifiesta que las malezas son todas aquellas plantas que no han sido sembradas y que compiten por la nutrición con el cultivo. La forma más efectiva de manejar las malezas consiste en realizar una preparación correcta y en el momento adecuado del suelo previo a la siembra. En caso de presentarse una alta presencia de gramíneas como kikuyo o grama, se sugiere aplicar glifosato en una dosis de 2 l ha^{-1} previo a la preparación del terreno. Una vez implantado el cultivo, el manejo de malezas de hoja ancha puede efectuarse mediante dos formas: 1.- Forma manual, cuando no son muchas las malezas presentes en el lote y se dispone de mano de obra; y 2.- Forma química, para ello se recomienda emplear un herbicida específico para hoja ancha como el Metsulfuron-metil, en una dosis de 30 g /ha-1 en 400 litros de agua.

2.2.8. Bacterias fijadoras de nitrógeno

Según López y otros (2017), las bacterias fijadoras de nitrógeno son microorganismos que transforman el nitrógeno atmosférico en formas que las plantas pueden absorber,

como el amonio, favoreciendo su crecimiento y reduciendo la necesidad de fertilizantes químicos. En la rizósfera, la zona cercana a las raíces, estas bacterias se sienten atraídas por los exudados de la planta, se adhieren a las raíces o penetran en ellas.

2.2.9. *Rhodopseudomonas palustris*

Según Wang y otros, (2023) menciona que *Rhodopseudomonas palustris* es una bacteria fotosintética y fijadora de nitrógeno que habita en suelos húmedos, sedimentos y ambientes acuáticos ricos en materia orgánica. Esta bacteria se asocia estrechamente a la rizósfera de las plantas, donde realiza la fijación biológica de nitrógeno, transformando el nitrógeno atmosférico en amonio disponible para las plantas. Además, produce compuestos bioactivos como vitaminas, antioxidantes y fitohormonas, que estimulan el crecimiento radicular, mejoran la absorción de nutrientes y aumentan la resistencia de las plantas frente a estrés ambiental.

Tabla 2. Características *Rhodopseudomonas palustris*

Características principales	Descripción
Concentración	1.5 × 10 ⁸ UFC/ml
Bacteria Fototrópica	<i>Rhodopseudomonas palustris</i> , microorganismo púrpura no sulfurosa capaz de crecer en ambientes aeróbicos y anaeróbicos.
Fijación de Nitrógeno	Conversión de N ₂ en formas asimilables para la planta, mejorando la nutrición y el desarrollo vegetal
Fitohormonas	Producción de auxinas y ácido 5-aminolevulínico (ALA) que estimulan el crecimiento radicular y la biomasa de la planta.

Fuente: (Lee y otros, 2021)

2.2.10. *Azospirillum brasilense*

López y otros, (1998), caracterizan a *Azospirillum brasilense* por ser una bacteria rizosférica que se encuentra asociada a las raíces de gramíneas y otros cultivos importantes. Su principal función es la fijación de nitrógeno en la rizósfera, proporcionando nitrógeno directamente utilizable para las plantas. Además, esta bacteria produce fitohormonas, principalmente auxinas, que favorecen la elongación y ramificación de raíces, incrementando la formación de raíces laterales y pelos radicales. Esto mejora la absorción de agua y nutrientes, estimula el crecimiento vegetativo y aumenta el rendimiento y la calidad de los cultivos. A.

brasileño también contribuye a la protección de las plantas frente a patógenos y estrés ambiental mediante la producción de compuestos bioestimulantes.

Tabla 3. Características *Azospirillum brasilense*

Características principales	Descripción
Concentración	2×10^8 UFC/ml
Microorganismo Benéfico	<i>Azospirillum brasilense</i> (cepas AbV5 y AbV6), bacteria promotora del crecimiento vegetal.)
Acción Biológica	Fijación de N_2 y solubilización de macronutrientes (N), aumentando la disponibilidad de nutrientes en el cultivo.
Regulador Natural	Producción de auxinas, giberelinas y citoquininas que estimulan el crecimiento radicular, vigor de la planta y calidad de los frutos.

Fuente: (Santos y otros, 2021)

2.2.11. *Azotobacter chroococcum*

Según Singh y otros, (2021) *Azotobacter chroococcum* es una bacteria de vida libre en el suelo, conocida por su alta capacidad de fijación de nitrógeno atmosférico a través de la enzima nitrogenasa. Vive de manera independiente en la rizósfera, sin necesidad de formar nódulos, y mejora la fertilidad del suelo al incrementar la disponibilidad de nitrógeno para las plantas. Además, produce sustancias bioestimulantes como vitaminas, enzimas y ácidos orgánicos que fortalecen el crecimiento de las plantas, mejoran la germinación de semillas y aumentan la resistencia frente a estrés ambiental.

Tabla 4. Contenido y Características de *Azotobacter chroococcum*

Características principales	Descripción
Concentración	1×10^8 UFC/ml
Bacterias	<i>Azotobacter chroococcum</i> (microorganismos fijadores de nitrógeno)
Nitrógeno	Fijación biológica de N_2 atmosférico y transformación en formas asimilables para la planta
Fitohormonas	Producción de auxinas, giberelinas y citoquininas que estimulan el crecimiento vegetal.

Fuente: (Bhosale y otros, 2020)

III. METODOLOGÍA

3.1. ENFOQUE METODOLÓGICO

3.1.1. Enfoque

La presente investigación cuenta con un enfoque cuantitativo ya que se caracteriza por la recolección y análisis de datos numéricos, con el objetivo de establecer patrones y probar hipótesis. Ya que se está evaluando el efecto de tres tipos de bacterias fijadoras de nitrógeno junto con tres dosis de fertilizante en el crecimiento y rendimiento de la cebada, lo que implica la medición de variables específicas como el rendimiento del cultivo de cebada por parcela, la altura de la planta, el número de macollos (brotes), diámetro de tallo, longitud de espiga, longitud de raíz y diámetro de espiga.

3.1.2. Tipo de Investigación

Experimental: se basa en la manipulación de una o más variables independientes para observar el efecto sobre una o más variables dependientes. Por lo que se llevarán a cabo experimentos controlados para comparar el rendimiento de la cebada inoculada con diferentes bacterias fijadoras de nitrógeno frente a un control.

3.2. HIPÓTESIS

Hipótesis Alternativa (Ha)

La aplicación de las bacterias fijadoras de nitrógeno (*Rhodopseudomonas palustris* y *Azospirillum brasilense* y *Azotobacter chroococcum*) tendrían efecto en el rendimiento del cultivo de cebada (*Hordeum vulgare*).

Hipótesis Nula (H0)

La aplicación de las bacterias fijadoras de nitrógeno (*Rhodopseudomonas palustris* y *Azospirillum brasilense* y *Azotobacter chroococcum*) no tendrían efecto en el rendimiento del cultivo de cebada (*Hordeum vulgare*).

3.3. DEFINICIÓN Y OPERACIONALIZACIÓN DE LAS VARIABLES

3.3.1. Definición de las variables

Variable independiente

- Bacterias fijadoras de nitrógeno (*Rhodopseudomonas palustris*, *Azospirillum brasilense*, *Azotobacter chroococcum*).
- Fertilización a dosis de 100%, 75% y 50%.

Variable dependiente

Rendimiento de la cebada, (la altura de la planta, el número de macollos, diámetro de tallo, longitud de espiga, longitud de raíz y diámetro de espiga. rendimiento total por parcela).

3.3.2. Operacionalización de las variables

Tabla 5. Operacionalización de las variables

Variable	Dimensiones	Indicadores	Técnicas	Instrumentos
Independiente Bacterias fijadoras de nitrógeno + Fertilizante	<i>Rhodopseudomonas palustris</i> : Aplicación por parcela 0.5 litros, más Fertilizante 22-17-13 y + Urea (46%).	-Se aplicó a la siembra (<i>Rhodopseudomonas Palustris</i> + Fertilizante 22-17-13 al 100%, 75% y 50% -A los 30 días (<i>Rhodopseudomonas Palustris</i> + Urea (46-0-0) al % 100, 75% y 50%	-Aplicación directa al suelo. -Aplicación en drench.	Bomba de mochila
	<i>Azospirillum brasilense</i> : Aplicación por parcela 0.5 litros, más Fertilizante 22-17-13 + Urea (46%).	-Se aplicó a la siembra (<i>Azospirillum brasilense</i> + Fertilizante 22-17-13 al 100%, 75% y 50% -A los 30 días (<i>Azospirillum brasilense</i> + Urea (46-0-0) al % 100, 75% y 50%	-Aplicación directa al suelo. -Aplicación en drench.	Bomba de mochila
	<i>Azotobacter chroococcum</i> : Aplicación por parcela 0.5 litros, más Fertilizante 22-17-13 + Urea (46%).	-Se aplicó a la siembra (<i>Azotobacter chroococcum</i> + Fertilizante 22-17-13 al 100%, 75% y 50% -A los 30 días (<i>Azotobacter chroococcum</i> + Urea (46-0-0) al % 100, 75% y 50%.	-Aplicación directa al suelo. - Aplicación en drench.	Bomba de mochila
Dependiente Rendimiento de la Cebada	Altura de planta	En cm. Se midió cada 15 días, después del día 45.	Medición desde la base hasta la yema apical.	Libreta de campo Flexómetro
	Número de macollos	Conteo manual. Se contó cada 15 días, después del día 45.	Conteo manual de cada hoja de la planta adjunta.	Libreta de campo Conteo manual
	Diámetro del tallo	En mm. Se midió cada 15 días, después del día 45.	Medición en la parte central del tallo.	Libreta de campo Calibrador pie de rey
	Longitud de espiga	En cm. Se midió cada 15 días, después del día 85.	Medición desde la base hasta la punta de la espiga.	Libreta de campo Flexómetro

Longitud de raíz	En cm. Se midió al final del ciclo.	Medición desde la base hasta la punta más larga de la raíz.	Libreta de campo Flexómetro
Diámetro de espiga	En cm. Se midió cada 15 días, después del día 85.	Medición en la parte central de la espiga.	Libreta de campo Calibrador pie de rey
Rendimiento total por parcela	En kg. Se midió al final del ciclo.	Peso de las 40 parcelas que median 12 m ² cada una.	Libreta de campo Bascula

3.4. MÉTODOS UTILIZADOS

3.4.1. Área de estudio

La presente investigación fue desarrollada en el Centro Experimental San Francisco propiedad de la UPEC ubicado en la provincia del Carchi Cantón San Pedro de Huaca. Con una altitud de 2780 msnm, temperatura promedio de 12,7°C, humedad relativa del 78% y una precipitación promedio anual de 779 – 1200mm (Guamba, 2021).

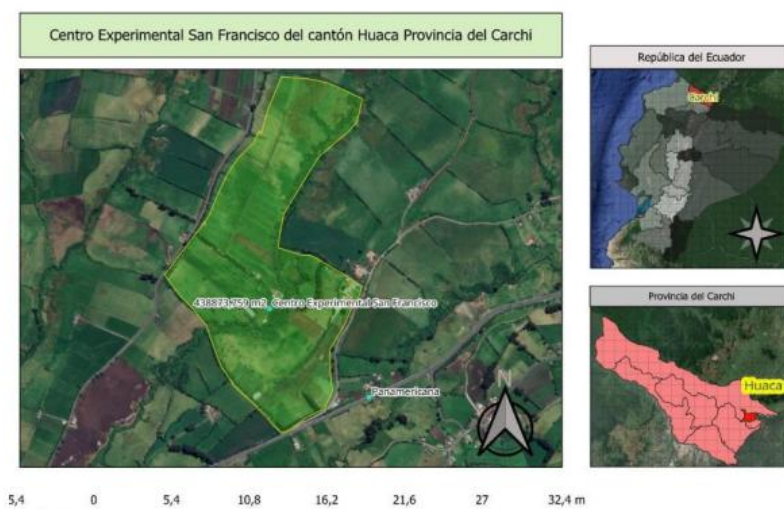


Figura 1. Ubicación geográfica del terreno

3.4.2. Tratamientos del diseño experimental

La investigación se constituyó por medio de 10 tratamientos que se describen a continuación:

Tabla 6. Tabla de tratamientos

T	Factor A m/o	Factor B DOSIS fertilizante	Frecuencia de aplicación
T1	<i>Rhodopseudomonas Palustris</i> Solución de 0.5 L/ 12 m2 (7,5 ml de m/o /l agua)	100% 360 g de 22-17-13 + 120 de g 46-0-0 por Unidad experimenta (12m2)	m/o: A la siembra y a los 30dds Fertilizante: 360g en la siembra (22-17-13) 120g (46-0-0) 30dds
T2	<i>Rhodopseudomonas Palustris</i> Solución de 0.5 L/ 12 m2 (7,5 ml de m/o /l agua)	75% 270g de 22-17-13 + 90g de 46-0-0 por Unidad experimenta (12m2)	m/o: A la siembra y a los 30dds Fertilizante: 270g en la siembra (22-17-13) 90g (46-0-0) 30dds
T3	<i>Rhodopseudomonas Palustris</i> Solución de 0.5 L/ 12 m2 (7,5 ml de m/o /l agua)	50% 180g de 22-17-13 + 60g de 46-0-0 por Unidad experimenta (12m2)	m/o: A la siembra y a los 30dds Fertilizante: 180g en la siembra (22-17-13)

T4	<i>Azospirillum brasilense</i> Solución de 0.5 L/ 12 m ² (7,5 ml de m/o /l agua)	100% 360 g de 22-17-13 + 120 de g 46-0-0 por Unidad experimental (12m ²)	60g (46-0-0) 30dds m/o: A la siembra y a los 30dds Fertilizante: 360g en la siembra (22-17-13) 120g (46-0-0) 30dds m/o:
T5	<i>Azospirillum brasilense</i> Solución de 0.5 L/ 12 m ² (7,5 ml de m/o /l agua)	75% 270g de 22-17-13 + 90g de 46-0-0 por Unidad experimental (12m ²)	A la siembra y a los 30dds Fertilizante: 270g en la siembra (22-17-13) 90g (46-0-0) 30dds m/o:
T6	<i>Azospirillum brasilense</i> Solución de 0.5 L/ 12 m ² (7,5 ml de m/o /l agua)	50% 180g de 22-17-13 + 60g de 46-0-0 por Unidad experimental (12m ²)	A la siembra y a los 30dds Fertilizante: 180g en la siembra (22-17-13) 60g (46-0-0) 30dds m/o:
T7	<i>Azotobacter chroococcum</i> Solución de 0.5 L/ 12 m ² (7,5 ml de m/o /l agua)	100% 360 g de 22-17-13 + 120 de g 46-0-0 por Unidad experimental (12m ²)	A la siembra y a los 30dds Fertilizante: 360g en la siembra (22-17-13) 120g (46-0-0) 30dds m/o:
T8	<i>Azotobacter chroococcum</i> Solución de 0.5 L/ 12 m ² (7,5 ml de m/o /l agua)	75% 270g de 22-17-13 + 90g de 46-0-0 por Unidad experimental (12m ²)	A la siembra y a los 30dds Fertilizante: 270g en la siembra (22-17-13) 90g (46-0-0) 30dds m/o:
T9	<i>Azotobacter chroococcum</i> Solución de 0.5 L/ 12 m ² (7,5 ml de m/o /l agua)	50% 180g de 22-17-13 + 60g de 46-0-0 por Unidad experimental (12m ²)	A la siembra y a los 30dds Fertilizante: 180g en la siembra (22-17-13) 60g (46-0-0) 30dds
T10	TESTIGO (Sin nada)		

3.4.3. Características del diseño experimental

En la presente investigación se empleó un diseño de bloque completamente al azar con un arreglo factorial 3 x 3 + 1, con 10 tratamientos, 4 repeticiones con un total de 40 unidades experimentales, de las cuales se evaluaron 20 plantas que constituyen la parcela neta, cada parcela midió 12 m².

Tabla 7. Características de la unidad experimental

Diseño de bloques completamente al azar con arreglo factorial 3 x 3 + 1	Dimensiones
Tratamientos	10
Repeticiones	4
Unidades experimentales	40
Área de parcela	(4m x 3m) 12 m ²
Área total neta del ensayo	858 m ²
Área Total De Las Parcelas	480 m ²
Tipo de siembra	Al voleo
Cantidad de semilla utilizada	14,4 kg

Plantas para toma de datos	20
Distancia entre parcelas	1m
Distancia entre bloques	2m

3.4.4 Distribución y características del experimento

En el experimento se empleó un DBCA (Diseño de Bloques Completamente al Azar con arreglo Factorial), 3 x 3 + 1 el cual se determinó mediante el uso estacas dividiendo las 40 unidades experimentales, cada unidad experimental de 12 m², con cuatro estacas, piola y un rótulo por U.E para definir el área y de esta manera diferenciar los tratamientos aplicados.

Para 40 parcelas de 12 metros cuadrados cada una, con caminos de 1 metro y entre bloques 2 metros, es necesario un área total de aproximadamente 1000 metros cuadrados, pero el área total a utilizar únicamente de las unidades experimentales más caminos es de 858 metros cuadrados.

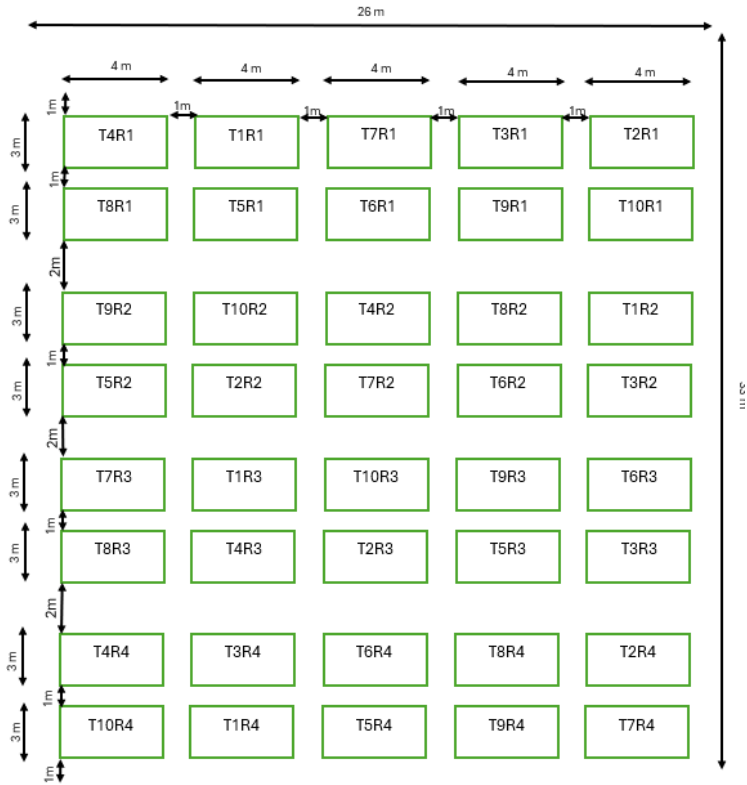


Figura 2. Distribución de tratamientos

3.4.5. Población y muestra de la investigación

El diseño que se llevó a cabo en el presente experimento tuvo 40 unidades experimentales con 10 tratamientos y 4 repeticiones, la muestra fue constituida por la parcela neta, es decir que de cada unidad experimental se tomó 20 plantas al azar del centro, tomando en cuenta que previamente fueron marcadas con un hilo

azul y una etiqueta para identificar a futuro cada planta para evaluar las variables: altura de planta, diámetro de tallo, número de hojas, etc.

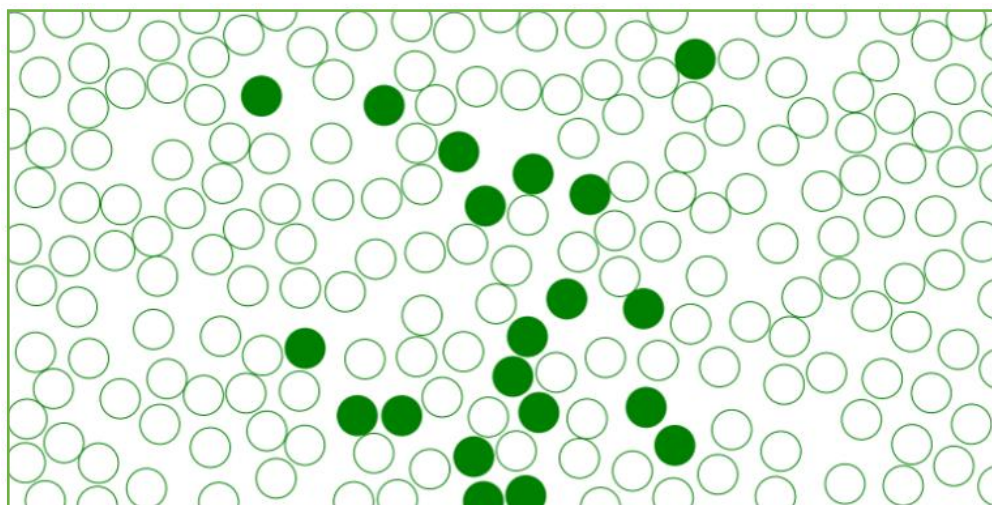


Figura 3. Muestra de la investigación

3.4.6. Procedimientos

1. Preparación del terreno

La preparación del terreno tuvo como finalidad obtener un suelo adecuado en textura, aireación y humedad para favorecer la germinación y crecimiento uniforme de la cebada. Para ello se utilizó un tractor particular equipado con arado de discos, con el cual se realizó una roturación a 25 cm de profundidad para descompactar el suelo y eliminar restos de cultivos anteriores. Posteriormente, se aplicó una rastra con el objetivo de desmenuzar los terrones, nivelar la superficie y mejorar la porosidad, dejando listos los 1000 m² del área experimental para las siguientes fases del trabajo.

2. Delimitación de las unidades experimentales

Con el fin de establecer parcelas uniformes y ordenadas que permitieran aplicar los tratamientos de manera precisa y evitar contaminación entre unidades, el área total se dividió en 40 parcelas de 12 m² (4 m x 3 m), separadas por 1 m entre parcelas y 2 m entre bloques. Para esta labor se emplearon estacas, piola y rótulos que identificaban cada tratamiento, y la asignación se realizó de manera aleatoria dentro de cada bloque, siguiendo el diseño experimental planteado para garantizar validez y confiabilidad en los resultados.

3. Siembra

La siembra se efectuó con semilla certificada de cebada variedad Voyager, calculándose una dosis de 14,4 kg para cubrir los 480 m² del área neta experimental.

Se empleó el método al voleo, distribuyendo las semillas manualmente de manera uniforme en cada parcela para lograr una densidad adecuada de plantas y un establecimiento homogéneo del cultivo, lo que permitió asegurar que las diferencias de rendimiento estuvieran asociadas a los tratamientos y no a fallas en la siembra. Así mismo se puede verificar que, para 1 hectárea necesitas aproximadamente 6 quintales de semilla.

4.- Aplicación de los microorganismos junto al fertilizante

La aplicación de los microorganismos fijadores de nitrógeno junto con el fertilizante a diferente dosis tuvo el propósito de evaluar su efecto en el crecimiento y rendimiento del cultivo. Para ello, se preparó una solución de 0,5 L por parcela (mezcla de microorganismo y agua, equivalente a 7,5 ml de inóculo por litro de agua) que se aplicó en dos momentos: al momento de la siembra, junto con la fertilización de base (22-17-13) en dosis de 100 %, 75 % y 50 %; y a los 30 días después de la siembra, en combinación con urea (46-0-0) en las mismas proporciones. La primera aplicación se realizó de forma edáfica, y la segunda aplicación en drench utilizando para ambos casos, una bomba de mochila, asegurando una distribución homogénea del producto en el suelo.

5. Control de malezas

Para reducir la competencia de malezas por nutrientes, agua y luz se aplicó el herbicida Sulfón a los 15 días después de la siembra, con una dosis recomendada de 2,5 g de Sulfon diluido en 20 litros de agua y aplicado con bomba de mochila. Además, se realizaron controles manuales en parcelas con presencia aislada de malezas, garantizando uniformidad en las condiciones de todas las unidades experimentales y minimizando su influencia sobre el rendimiento de la cebada.

5. Control fitosanitario

El control fitosanitario se enfocó principalmente en la prevención y manejo de la roya, enfermedad que afecta notablemente al cultivo de cebada. Para ello se efectuaron dos aplicaciones de fungicida TILT (propiconazol) a una dosis recomendada de 0,5 L/ha, en el presente caso se aplicó una dosis de 50 ml de TILT a los 20 litros de agua en la bomba de mochila. La primera aplicación se realizó a los 30 días después de la siembra, durante la etapa de macollamiento, y la segunda a los 60 días, en la etapa

de encañado, lo que permitió mantener un adecuado desarrollo foliar y reducir las pérdidas ocasionadas por esta enfermedad.

6. Cosecha

La cosecha se realizó de forma manual, cortando las plantas de cada parcela con la herramienta conocida como la hoz y separándolas cuidadosamente en sacos para evitar mezclas entre tratamientos. Posteriormente, ese mismo día se efectuó la trilla en una máquina estacionaria, ya que las condiciones del terreno no permitieron el ingreso de maquinaria. Finalmente, los granos obtenidos se pesaron en una balanza de precisión, registrando el rendimiento total de cada parcela de 12 m², datos que se utilizaron para el análisis de resultados.

3.4.7. Variables a evaluar

3.4.7.1. Altura de planta

La altura de la planta se evaluó porque constituye un parámetro fundamental para determinar el crecimiento vegetativo de la cebada, ya que refleja el vigor del cultivo, su capacidad de competencia frente a malezas y la eficiencia de los tratamientos en la absorción de nutrientes. Para su medición, con la ayuda de un flexómetro se registró la altura en centímetros desde la base del tallo hasta la yema apical. Esta actividad se realizó a partir de los 45 días después de la siembra (dds), con una frecuencia de cada 15 días hasta los 90 dds. En cada evaluación se midieron 20 plantas seleccionadas al azar que conformaron la parcela neta de cada tratamiento. Los datos fueron anotados en la libreta de campo y posteriormente sistematizados para el análisis estadístico.

3.4.7.2. Número de macollos

El número de macollos se evaluó porque representa la capacidad de la planta para generar brotes secundarios, lo cual está directamente asociado con el potencial productivo, ya que cada macollo fértil contribuye a la formación de espigas. La evaluación se llevó a cabo mediante un conteo manual de los macollos presentes en cada planta. El registro se efectuó a partir de los 45 días después de la siembra, con una frecuencia de cada 15 días hasta los 90 dds. Se contabilizaron los macollos en las 20 plantas que conformaron la parcela neta en cada tratamiento, anotando los resultados en la libreta de campo para su posterior análisis.

3.4.7.3. Diámetro del tallo

El diámetro del tallo se evaluó porque constituye un indicador del vigor estructural de la planta, influyendo en la resistencia al acame, en el transporte de nutrientes y agua, y en la capacidad de sostener las espigas. El procedimiento consistió en medir la parte central del tallo, utilizando un calibrador pie de rey, en 20 plantas seleccionadas al azar de la parcela neta. Las evaluaciones se efectuaron cada 15 días, desde los 45 dds hasta los 90 dds, y los datos fueron registrados en la libreta de campo para su sistematización y análisis estadístico.

3.4.7.4. Longitud de espiga

La longitud de la espiga se evaluó porque es un parámetro directamente relacionado con la capacidad productiva de la planta, ya que espigas más largas suelen tener mayor número de granos y, por ende, mayor rendimiento. Para su medición, con ayuda de un flexómetro se midió la longitud en centímetros desde la base hasta la punta de la espiga. La actividad se realizó a partir de los 85 días después de la siembra, con una frecuencia de cada 15 días hasta la madurez fisiológica del cultivo. En cada evaluación se consideraron 20 plantas seleccionadas de la parcela neta por tratamiento. Los datos se registraron en la libreta de campo.

3.4.7.5. Longitud de raíz

La longitud de la raíz se evaluó porque constituye un indicador de la exploración del suelo por parte de la planta, lo cual está directamente relacionado con la capacidad de absorción de agua y nutrientes. Se extrajeron cuidadosamente las plantas de la parcela neta para evitar daños en las raíces y, con ayuda de un flexómetro y regla para mayor facilidad, se midió en centímetros desde la base del tallo hasta la punta más larga de la raíz. En cada tratamiento se evaluaron 20 plantas, registrando los valores en la libreta de campo para su análisis comparativo.

3.4.7.6. Diámetro de espiga

El diámetro de la espiga se evaluó porque influye en la capacidad de almacenamiento de granos y, por ende, en la producción final. La medición se realizó en centímetros, utilizando un calibrador pie de rey. Se tomó la medida en la parte central de la espiga, seleccionando 20 plantas de la parcela neta para cada tratamiento. Las evaluaciones se realizaron a partir de los 85 días después de la

siembra, con una frecuencia de cada 15 días hasta la cosecha. Los registros se realizaron en la libreta de campo.

3.4.7.7. Rendimiento total por parcela

El rendimiento total por parcela se evaluó porque constituye la variable más importante del estudio, al reflejar el resultado final de la interacción de todos los factores evaluados. Este parámetro integra el efecto de los tratamientos sobre el crecimiento y desarrollo del cultivo, siendo el indicador clave para determinar la productividad y la rentabilidad de las prácticas agronómicas implementadas. Para su registro, se realizó la cosecha manual de cada parcela neta al final del ciclo productivo, separando cuidadosamente las plantas para evitar mezclas entre tratamientos. Posteriormente, los granos fueron trillados y pesados en una balanza de precisión, expresando el rendimiento en kilogramos por parcela de 12 m². Estos datos permitieron calcular el rendimiento total de cada tratamiento y servir como base para el análisis estadístico y el análisis costo-beneficio.

3.5. ANÁLISIS ESTADÍSTICO

Para la presente investigación, se realizó el experimento con un diseño de bloques completamente al azar (DBCA) con un arreglo factorial de 3 x 3 + 1. El cual cuenta con 10 tratamientos y 4 repeticiones, el cual resultó con 40 unidades experimentales. Se utilizó el programa estadístico R Studio, además se verificó los supuestos tanto de normalidad (a través de la prueba de Shapiro) y los de homogeneidad de varianza (a través de la prueba de Bartlett) tomando en cuenta cada variable. Asimismo, para las variables las cuales cumplieron con los supuestos, se realizó un análisis de varianza (a través de un ANOVA) con la finalidad de identificar posibles diferencias significativas entre los tratamientos y bloques. Por otro lado, se aplicó una prueba para medir el nivel de significancia para las comparaciones medias (a través de la prueba de Tukey al 5%).

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. RESULTADOS

4.1.1. Altura de planta

En la tabla 8 se presenta el análisis de varianza para cada altura de las plantas, tomando en cuenta los datos desde 45 días después de la siembra (dds) hasta los 90 días después de la siembra (dds). En la altura 1 podemos observar que si existen diferencias estadísticas significativas únicamente para el Factor Fertilización y Microorganismos con un valor de $p > 0.05$. Sin embargo, no se encontró una diferencia estadística significativa para la interacción entre Fertilización y Microorganismos. En la altura 2, altura 3 y altura 4, se indicó una diferencia estadística significativa para el Factor Microorganismos con un $p < 0.05$. Por otro lado, no se encontró una diferencia significativa en el Factor Fertilización, ni en la interacción entre Fertilización y Microorganismos, en ninguna de las tres alturas mencionadas. Los coeficientes de variación de la altura 1 fue de 9.82%, de la altura 2 fue de 9.71%, de la altura 3 fue de 8.75%, de la altura 4 fue de 6.45%, respectivamente, con medias en la altura 1 de 30.99 cm, de la altura 2 de 61.01 cm, de la altura 3 de 67.35 cm y de la altura 4 de 110.72 cm.

Tabla 8. Análisis de varianza para la altura de planta

FV	GL	Altura 1 (45 dds)	Altura 2 (60 dds) P (valor)	Altura 3 (75 dds)	Altura 4 (90 dds)
Bloque	3	0.0568	0.714244	0.714325	0.456956
Fertilización	2	6.37e-08 ***	0.070441	0.054753	0.874273
Microorganismos	2	2.63e-08 ***	0.000284 ***	0.000114 ***	0.000756 ***
Fertilización * Microorganismos	4	0.8483	0.861832	0.913916	0.224108
Error	6,00				
Total	35				
Media (cm)		30.99	61.01	67.35	110.72
CV (%)		9.82	9.711	8.75	6.45

Nota. Los significados de los códigos: 0 '***' 0.001 '***' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

En la tabla 9, los resultados de la Prueba de Tukey al 5% para la altura de planta en la primera toma indicaron que los tratamientos más exitosos fueron aquellos con una fertilización al 50%, con una media de 31.2 cm. Además, el Factor de microorganismo, el microorganismo *Azospirillum brasilense* alcanzo una media de 31.7 cm.

Esto sugiere que la combinación de fertilización al 50% junto con *Azospirillum brasilense* (identificada como T6: a la siembra (*Azospirillum brasilense* + Fertilizante al 50%. A los 30 días *Azospirillum brasilense* + Urea (46%) al 50%) fue el más favorable para esta variable. Por otro lado, se muestra la Prueba de Tukey al 5% para la altura 2, donde se identifica que el Factor Microorganismo *Azospirillum brasilense* fue el más exitoso con una media de 68.49 cm, tomando en cuenta que se puede utilizar con cualquier porcentaje de fertilización. Así mismo se muestra la Prueba de Tukey al 5% para la altura 3, donde se identifica que el Factor Microorganismo *Azospirillum brasilense* fue el más exitoso con una media de 75.30 cm, tomando en cuenta que se puede utilizar con cualquier porcentaje de fertilización. Además, se muestra la Prueba de Tukey al 5% para la altura 4, donde se identifica que el Factor Microorganismo *Azospirillum brasilense* fue el más exitoso con una media de 118.35 cm, tomando en cuenta que se puede utilizar con cualquier porcentaje de fertilización.

Tabla 9. Prueba de Tukey al 5% para la altura 1, altura 2, altura 3, altura 4

FACTOR FERTILIZACIÓN	MEDIAS		FACTOR MICROORGANISMOS	MEDIAS		
50%	31,2	a	<i>Azospirillum brasilense</i>	31,7	a	
75%	31,14	a	<i>Rhodopseudomonas Palustris</i>	30,97	b	
100%	31,04	a	<i>Azotobacter chroococcum</i>	30,7	b	
0%	29,76	b	SIN MICROORGANISMOS	29,76	c	
	Altura 2		Altura 3		Altura 4	
FACTOR MICROORGANISMOS	MEDIAS	GRUPO	MEDIAS	GRUPO	MEDIAS	GRUPO
<i>Azospirillum brasilense</i>	118.35	a	75.30	a	68.49	a
<i>Rhodopseudomonas Palustris</i>	108.01	ab	64.94	b	58.57	b
<i>Rhodopseudomonas Palustris</i>	108.01	ab	64.94	b	58.57	b
SIN MICROORGANISMOS	107.29	b	59.31	b	53.23	b

4.1.2. Diámetro de tallo

La tabla 10 presenta el respectivo análisis de varianza para el diámetro de tallo del 1 al 4. En el Diámetro de tallo 1 se indicó una diferencia estadística significativa con un valor de $p > 0.05$ en el Factor de microorganismos, tomando en cuenta que en el Factor de Fertilización y la interacción de Fertilización + Microorganismos no existió una diferencia estadística significativa. En el Diámetro de tallo 2 indicó una diferencia estadística significativa con un valor de $p < 0.05$ en el Factor de microorganismos, tomando en cuenta que en el Factor de Fertilización y la interacción de Fertilización

+ Microorganismos no existió una diferencia estadística significativa. En el Diámetro de tallo 3 se indicó una diferencia estadística significativa con un valor de $p > 0.05$ en el Factor de microorganismos, tomando en cuenta que en el Factor de Fertilización y la interacción de Fertilización + Microorganismos no existió una diferencia estadística significativa. En el Diámetro de tallo 4 se indicó una diferencia estadística significativa con un valor de $p < 0.05$ tanto en el Factor de Fertilización, a su vez, en el Factor de Microorganismo, y en la interacción de Fertilización + Microorganismos no existió una diferencia estadística significativa. Los coeficientes de variación del Diámetro de Tallo 1 fue de 2.27%, del Diámetro de Tallo 2 fue de 3.66%, del Diámetro de Tallo 3 fue de 3.60% y del del Diámetro de Tallo 4 fue de 2.90%, respectivamente, con medias en el Diámetro de Tallo 1 de 4.08 mm, en el Diámetro de Tallo 2 de 4.48 mm, en el Diámetro de Tallo 3 de 5.37 mm y en el Diámetro de Tallo 4 de 6.38mm.

Tabla 10. Análisis de varianza para Diámetro de Tallo de la Planta

FV	GL	Diam Tallo 1	Diam Tallo 2 P (valor)	Diam Tallo 3	Diam Tallo 4
Bloque	3	0.3218	0.71925	0.582	0.526089
Fertilización	2	0.4081	0.14286	0.223	0.024228 *
Microorganismos	2	9.56e-05 ***	0.00291 **	2.24e-05 ***	0.000172 ***
Fertilización * Microorganismos	4	0.0987.	0.15129	0.930	0.994934
Error	6,00				
Total	35				
Media(cm)		4.089	4.480	5.379	6.385
CV (%)		2.276	3.669	3.604	2.905

Nota. Los significados de los códigos: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

En la tabla 11 se muestra la prueba de Tukey al 5% para el Diámetro de Tallo 1, donde se identificó que el Microorganismo *Azospirillum brasilense* fue el más exitoso con una media de 4.20 mm, tomando en cuenta que se puede utilizar con cualquier porcentaje de fertilización. De igual forma, se muestra la prueba de Tukey al 5% para el Diámetro de Tallo 2, donde se identificó que el Microorganismo *Azospirillum brasilense* fue el más exitoso con una media de 4.64 mm, tomando en cuenta que se puede utilizar con cualquier porcentaje de fertilización. Así mismo, se muestra la prueba de Tukey al 5% para el Diámetro de Tallo 3, donde se identificó que el Microorganismo *Azospirillum brasilense* fue el más exitoso con una media de 5.65 mm, tomando en cuenta que se puede utilizar con cualquier porcentaje de fertilización. Así mismo, los resultados de la Prueba de Tukey al 5% para Diámetro de la Tallo 4. Se indica que los más exitosos fueron aquellos con una fertilización al 75%, con una media de 6.47 mm. Además, en el Factor de Microorganismos, el microorganismo

Azospirillum brasilense alcanzo una media de 2 mm. Esto sugiere que la combinación de fertilización al 75% junto con *Azospirillum brasilense* (identificada como T5: a la siembra (*Azospirillum brasilense* + Fertilizante al 75%. A los 30 días *Azospirillum brasilense* + Urea (46%) al 75%) fue el más favorable para esta variable.

Tabla 11. Prueba de Tukey al 5% para el Diámetro de la Tallo 1, Diámetro de la Tallo 2, Diámetro de la Tallo 3 de la Planta, Diámetro de la Tallo 4 de la Planta

FACTOR	Diámetro de la Tallo 1 de la Planta		Diámetro de la Tallo 2 de la Planta		Diámetro de la Tallo 3 de la Planta	
	MEDIAS	GRUPO	MEDIAS	GRUPO	MEDIAS	GRUPO
MICROORGANISMOS						
<i>Azospirillum brasilense</i>	4.20	a	4.64	a	5.65	a
<i>Rhodopseudomonas Palustris</i>	4.05	b	4.46	ab	5.30	b
<i>Azotobacter chroococcum</i>	4.02	b	4.39	b	5.23	b
SIN MICRO	4.02	b	4.30	b	5.18	b
FACTOR FERTILIZACION	MEDIAS		FACTOR MICROORGANISMOS	MEDIAS		
75%	6.47	a	<i>Azospirillum brasilense</i>	6.62	a	
50%	6.39	ab	<i>Rhodopseudomonas Palustris</i>	6.31	b	
100%	6.37	ab	<i>Azotobacter chroococcum</i>	6.29	b	
0%	6.12	b	SIN MICROORGANISMOS	6.12	b	

4.1.3. Numero de Macollos

En la Tabla 12, que presenta el análisis de varianza para el Número de Macollos de la primera a la cuarta toma, se observó que en el Numero de Macollos 1 para el Factor Microorganismos se mostró diferencias significativas con un valor de $p < 0.05$. Por otro lado, en el Numero de Macollos 2 para el Factor Microorganismos se mostró diferencias significativas con un valor de $p > 0.05$. Asimismo, en el Numero de Macollos 3 para el Factor Microorganismos se mostró diferencias significativas con un valor de $p > 0.05$. Y por último en el Numero de Macollos 4 para el Factor Microorganismos se mostró diferencias significativas con un valor de $p > 0.05$. Tomando en cuenta que para ningún Numero de Macollos del 1 al 4, no se evidenció diferencias estadísticas significativas para el Factor Fertilización ni para la interacción Fertilización + Microorganismos. Los coeficientes de variación para el Número de Macollos 1 fue de 4.34%, en el Número de Macollos 2 fue de 3.27%, en el Número de Macollos 3 fue de 2.68% y en el Número de Macollos 4 fue de 3.44%, y las medias correspondientes fueron en el Número de Macollos 1 fue de 3.75 macollos, en el Número de Macollos

2 fue de 4.06 macollos, en el Número de Macollos 3 fue de 4.29 macollos, en el Número de Macollos 4 fue de 4.86 macollos, respectivamente.

Tabla 12. Análisis de varianza para el Número de Macollos

FV	GL	Núm. Mac 1	Núm. Mac 2 P (valor)	Núm. Mac 3	Núm. Mac 4
Bloque	3	0.002619 **	0.00622 **	0.00191 **	0.686
Fertilización	2	0.709192	0.09276	0.07624	0.166
Microorganismos	2	0.000165 ***	2.56e-06 ***	4.26e-09 ***	5.28e-09 ***
Fertilización *	4	0.530852	0.22290	0.21865	0.372
Microorganismos					
Error	6,00				
Total	35				
Media (#)		3.754	4.061	4.295	4.869
CV (%)		4.347	3.272	2.684	3.445

Nota. Significado de los códigos: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 '.' 1.

En la tabla 13 se muestra la prueba de Tukey al 5% para el Numero de Macollos 1, donde se identificó que el Microorganismo *Azospirillum brasilense* fue el más exitoso con una media de 3.95 macollos, tomando en cuenta que se puede utilizar con cualquier porcentaje de fertilización.

Tabla 13. Prueba de Tukey al 5% para Número de Macollos 1

FACTOR MICROORGANISMOS	MEDIAS	
<i>Azospirillum brasilense</i>	3.95	a
<i>Rhodopseudomonas Palustris</i>	3.67	b
<i>Azotobacter chroococcum</i>	3.66	b
SIN MICROORGANISMOS	3.66	b

En la tabla 14 se muestra la prueba de Tukey al 5% para el Numero de Macollos 2, donde se identificó que el Microorganismo *Azospirillum brasilense* fue el más exitoso con una media de 4.28 macollos, tomando en cuenta que se puede utilizar con cualquier porcentaje de fertilización.

Tabla 14. Prueba de Tukey al 5% para Número de Macollos 2

FACTOR MICROORGANISMOS	MEDIAS	
<i>Azospirillum brasilense</i>	4.28	a
<i>Rhodopseudomonas Palustris</i>	3.979	b
<i>Azotobacter chroococcum</i>	3.97	b
SIN MICROORGANISMOS	3.91	b

En la tabla 15 se muestra la prueba de Tukey al 5% para el Numero de Macollos 3, donde se identificó que el Microorganismo *Azospirillum brasilense* fue el más exitoso

con una media de 4.55 macollos, tomando en cuenta que se puede utilizar con cualquier porcentaje de fertilización.

Tabla 15. Prueba de Tukey al 5% para Número de Macollos 3

FACTOR MICROORGANISMOS	MEDIAS	
<i>Azospirillum brasilense</i>	4.558	a
SIN MICROORGANISMOS	4.187	b
<i>Azotobacter chroococcum</i>	4.183	b
<i>Rhodopseudomonas Palustris</i>	4.179	b

En la tabla 16 se muestra la prueba de Tukey al 5% para el Numero de Macollos 4, donde se identificó que el Microorganismo *Azospirillum brasilense* fue el más exitoso con una media de 5.24 macollos, tomando en cuenta que se puede utilizar con cualquier porcentaje de fertilización.

Tabla 16. Prueba de Tukey al 5% para Número de Macollos 4

FACTOR MICROORGANISMOS	MEDIAS	
<i>Azospirillum brasilense</i>	5.24	a
<i>Azotobacter chroococcum</i>	4.725	b
SIN MICROORGANISMOS	4.725	b
<i>Rhodopseudomonas Palustris</i>	4.68	b

4.1.4. Diámetro de espiga

En la tabla 17 se presenta el análisis de varianza para el diámetro de espiga, en el diámetro de espiga 4 (Final) se observó que para el Factor Microorganismos existen diferencias estadísticamente significativas con un valor de $p > 0.05$. Sin embargo, no se encontró una diferencia significativa para la fertilización, ni para la interacción de Fertilización + Microorganismos. El coeficiente de variación fue de 1.63%, respectivamente, con una media de diámetro de espiga de 10.83 mm.

Tabla 17. Análisis de varianza para el Diámetro de Espiga

FV	GL	Diam Espiga 4 P (valor)
Bloque	3	0.921
Fertilización	2	0.292
Microorganismos	2	1.05e-06 ***
fertilización * Microorganismos	4	0.166
Error	6,00	
Total	35	
Media(mm)		10.83
CV (%)		1.632

Nota. Significado de los códigos: 0 '****' 0.001 '***' 0.01 '**' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1.

En la tabla 18, los resultados de la prueba de Tukey al 5% para el diámetro de espiga 4 (final), indico que el Microorganismo más exitoso fue el de *Azospirillum brasilense*,

con una media de 11.12 mm, tomando en cuenta que se puede utilizar con cualquier porcentaje de fertilización.

Tabla 18. Prueba de Tukey al 5% para el Diámetro de Espiga 4

FACTOR MICROORGANISMOS	MEDIAS	
<i>Azospirillum brasilense</i>	11.12	a
SIN MICROORGANISMOS	10.73	b
<i>Azotobacter chroococcum</i>	10.71	b
<i>Rhodopseudomonas Palustris</i>	10.67	b

4.1.5. Longitud de espiga

En la tabla 19 se presenta el análisis de varianza para la Longitud de espiga, en la Longitud de Espiga 4 (Final), se observó que para el Factor Microorganismos existen diferencias estadísticamente significativas con un valor de $p > 0.05$. Sin embargo, no se encontró una diferencia significativa para la fertilización, ni para la interacción de Fertilización + Microorganismos. El coeficiente de variación fue de 1.64%, respectivamente, con una media de diámetro de espiga de 11.06 cm.

Tabla 19. Análisis de varianza para la Longitud de Espiga 4

FV	GL	Long Espiga 4 P (valor)
Bloque	3	0.890
Fertilización	2	0.576
Microorganismos	2	9.56e-06 ***
fertilización * Microorganismos	4	0.265
Error	6,00	
Total	35	
Media(cm)		11.06
CV (%)		1.644

Nota. Los significados de los códigos: 0 '****' 0.001 '***' 0.01 '**' 0.05 '*' 0.1 '.' 1

En la tabla 20, los resultados de la prueba de Tukey al 5% para la Longitud de Espiga 4 (final), indico que el Microorganismo más exitoso fue el de *Azospirillum brasilense*, con una media de 11.32 cm, tomando en cuenta que se puede utilizar con cualquier porcentaje de fertilización.

Tabla 20. Prueba de Tukey al 5% para el Longitud de Espiga 4

FACTOR MICROORGANISMOS	MEDIAS	
<i>Azospirillum brasilense</i>	11.32	a
SIN MICROORGANISMOS	11.02	b
<i>Azotobacter chroococcum</i>	10.99	b
<i>Rhodopseudomonas Palustris</i>	10.89	b

4.1.6. Longitud de raíces

En la tabla 21 se presenta el análisis de varianza para la Longitud de Raíces, en la Longitud de Raíces, se observó que para el Factor Microorganismos existen diferencias estadísticamente significativas con un valor de $p > 0.05$. Sin embargo, no se encontró una diferencia significativa para la fertilización, ni para la interacción de Fertilización + Microorganismos. El coeficiente de variación fue de 3.68%, respectivamente, con una media de diámetro de espiga de 18.10 cm.

Tabla 21. Análisis de varianza para la Longitud de Raíces

FV	GL	Long Raíz 4 P (valor)
Bloque	3	0.445
Fertilización	2	0.438
Microorganismos	2	3.33e-08 ***
fertilización * Microorganismos	4	0.128
Error	6,00	
Total	35	
Media(cm)		18.10
CV (%)		3.685

Nota. Los significados de los códigos: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 '.' 1

En la tabla 22, los resultados de la prueba de Tukey al 5% para la Longitud de Raíces, indico que el Microorganismo más exitoso fue el de *Azospirillum brasilense*, con una media de 19.42 cm, tomando en cuenta que se puede utilizar con cualquier porcentaje de fertilización.

Tabla 22. Prueba de Tukey al 5% para el Longitud de Raíces

FACTOR MICROORGANISMOS	MEDIAS	
<i>Azospirillum brasilense</i>	19.42	a
SIN MICROORGANISMOS	17.83	b
<i>Azotobacter chroococcum</i>	17.65	b
<i>Rhodopseudomonas Palustris</i>	17.30	b

4.1.7. Rendimiento

En la tabla 23 se presenta el análisis de varianza para el Rendimiento, en el Rendimiento, se observó que para el Factor Microorganismos existen diferencias estadísticamente significativas con un valor de $p < 0.05$. Al igual que en la fertilización, existen diferencias estadísticamente significativas con un valor de $p < 0.05$. Sin embargo, no se encontró una diferencia significativa para la interacción de Fertilización + Microorganismos. El coeficiente de variación fue de 6.39%, respectivamente, con una media de Rendimiento de 5089 kg.

Tabla 23. Análisis de varianza para el Rendimiento

FV	GL	Rendimiento P (valor)
Bloque	3	0.00100 **
Fertilización	2	0.00148 **
Microorganismos	2	0.01735 *
Fertilización * Microorganismos	4	0.08708
Error	6,00	
Total	35	
Media (TON)		5089
CV (%)		6.391

Nota. Los significados de los códigos: 0 '****' 0.001 '***' 0.01 '**' 0.05 '*' 0.1 '.' 1 ' ' 1

En la tabla 24, los resultados de la Prueba de Tukey al 5% para el Rendimiento, indicó que los tratamientos más exitosos fueron aquellos con una fertilización al 100%, con una media de 5.401.279 kg. Además, en el Factor de Microorganismos, el microorganismo *Azospirillum brasilense* alcanzo una media de 5.367.347 kg. Esto sugiere que la combinación de fertilización al 100% junto con *Azospirillum brasilense* (identificada como T4: a la siembra (*Azospirillum brasilense* + Fertilizante al 100%. A los 30 días *Azospirillum brasilense* + Urea (46%) al 100%) fue el más favorable para esta variable.

Tabla 24. Prueba de Tukey al 5% para el Rendimiento

FERT - TUKEY			MICRO - TUKEY		
100%	5.401.279	a	<i>Azospirillum brasilense</i>	5.367.347	a
75%	5.070.342	ab	<i>Azotobacter chroococcum</i>	5.058.222	ab
50%	4.935.655	b	<i>Rhodopseudomonas Palustris</i>	4.981.706	b
0%	3.071.222	b	SIN MICRO	3.001.872	b

4.1.8. Análisis costo/beneficio

En la Tabla 25 se presenta el análisis del costo-beneficio correspondiente a los tratamientos evaluados. El tratamiento 4 (*Azospirillum brasilense* + Fert al 100%) se destaca por ofrecer el mayor beneficio directo, alcanzando un retorno de 1.39 dólares por cada dólar invertido en la producción de una hectárea. De igual manera, se evidencia que el tratamiento 6 (*Azospirillum brasilense* + Fert al 50%) ocupa el segundo lugar, al registrar un beneficio directo de 1.29 dólares por cada dólar invertido en la producción de una hectárea. En contraste, el tratamiento 10 (Testigo sin microorganismo, sin fertilizante) refleja un beneficio directo de 0.90 dólares por cada dólar invertido, mostrando una notable diferencia en comparación con los demás tratamientos. En términos generales, se aprecia que los tratamientos con mayores rendimientos también generaron una rentabilidad superior, resaltando que la implementación de prácticas de manejo eficientes en el cultivo de cebada contribuye a optimizar la producción y asegurar un retorno económico más favorable para el productor.

Tabla 25. Análisis costo/beneficio para el cultivo de Cebada

T	Tratamiento	Rendimiento (kg/ha)	Valor de producción (USD/kg)	Ingreso por venta (USD/ha)	Costo por tratamiento (USD/ha)	Utilidad neta (USD/ha)	Relación C/B	Beneficio directo
T1	<i>Rhodopseudomonas palustris</i> + Fert al 100%	5287,4	0,8	4229,92	1871	2358,92	2,26	1,26
T2	<i>Rhodopseudomonas palustris</i> + Fert al 75%	4963,4	0,8	3970,72	1773	2197,72	2,24	1,24
T3	<i>Rhodopseudomonas palustris</i> + Fert al 50%	4831,6	0,8	3865,28	1695	2170,28	2,28	1,28
T4	<i>Azospirillum brasilense</i> + Fert al 100%	5696,7	0,8	4557,36	1904,25	2653,11	2,39	1,39
T5	<i>Azospirillum brasilense</i> + Fert al 75%	5347,7	0,8	4278,16	1886,25	2391,91	2,27	1,27
T6	<i>Azospirillum brasilense</i> + Fert al 50%	5205,6	0,8	4164,48	1820,96	2343,52	2,29	1,29
T7	<i>Azotobacter chroococcum</i> + Fert al 100%	5368,6	0,8	4294,88	1875,25	2419,63	2,29	1,28
T8	<i>Azotobacter chroococcum</i> + Fert al 75%	5039,7	0,8	4031,76	1757,25	2274,51	2,29	1,26
T9	<i>Azotobacter chroococcum</i> + Fert al 50%	4905,8	0,8	3924,64	1721,25	2203,39	2,28	1,28
T10	Testigo	3071,2	0,8	2456,96	1294	1162,96	1,90	0,90

4.2. DISCUSIÓN

En el estudio de Kumar y otros (2013), quienes evaluaron tres niveles de nitrógeno (40, 60 y 80 kg N/ha) y la inoculación con *Azospirillum brasilense*, *Azotobacter chroococcum* y la combinación de ambos en el cultivo de cebada. En dicho estudio, la mayor altura fue de 95,3 cm con 80 kg N/ha y la combinación de *Azospirillum brasilense* y *Azotobacter chroococcum*. En contraste en la presente investigación, la mayor altura de planta se obtuvo con el microorganismo *Azospirillum brasilense*, alcanzando una media de 118,35 cm, independientemente del porcentaje de fertilización aplicado. Lo que implica que, en el presente caso, el uso de *Azospirillum brasilense*, a la siembra *Azospirillum brasilense* (0.5lt) y a los 30 días *Azospirillum brasilense* (0.5lt) y logró un incremento del 24,2 % respecto al valor máximo reportado por esos autores, posiblemente debido a mejores condiciones edafoclimáticas o a la adaptación de la cepa utilizada. Estos resultados también superan los obtenidos por DolKhani entre otros (2021), quienes encontraron que la combinación de *Azospirillum brasilense* y *Azotobacter chroococcum* junto con 100 kg de urea por hectárea aumentó la altura de la planta en un 9,74 % respecto al control, alcanzando valores promedio cercanos a 102 cm en la variedad Zehak y 99 cm en la variedad Nimroz. Esta diferencia podría deberse a que en el presente experimento la interacción entre el biofertilizante y el manejo agronómico permitió un aprovechamiento más eficiente del nitrógeno disponible, tanto del fertilizante como de la fijación biológica.

Negi, Tilak y Sachdev (1991), también demostraron el impacto de *Azospirillum brasilense* en la cebada, señalando que aproximadamente el 36 % del nitrógeno absorbido provenía de fijación biológica y que los tratamientos inoculados sin fertilización superaban en altura al testigo, alcanzando valores de hasta 88 cm. En comparación, en el presente estudio, muestra un incremento del 34,4 % respecto a ese valor, lo que evidencia que la combinación de *Azospirillum brasilense* con fertilización química incluso a dosis reducidas puede potenciar el crecimiento vegetativo más allá de lo obtenido con inoculación sola. Negi, Tilak y Sachdev (1991), en su trabajo de investigación observaron un incremento en el número de macollos en cebada inoculada con *Azospirillum brasilense*, reportando hasta 4,5 macollos por planta en condiciones de inoculación sin fertilización. De forma similar, Paredes (2024), evaluó tres dosis de inoculación (6,25; 12,5 y 25 ml/kg de semilla) y tres niveles de nitrógeno (0, 22,5 y 45 kg N/ha) en cebada,

encontrando que con 12,5 ml/kg y 22,5 kg N /ha se mantenía un número de macollos de 5,1, estadísticamente igual a la fertilización plena (45 kg N/ha sin inoculación). En comparación, En la presente investigación reveló que, en esta variable, *Azospirillum brasilense* registró la media más alta con 5,24 macollos por planta, sin depender del porcentaje de fertilización. lo que en nuestro caso representa un incremento adicional del 16,4 %. Este aumento puede explicarse por la mayor disponibilidad de nitrógeno asimilable producido por *Azospirillum brasilense*, que estimula la formación de brotes laterales. Estos resultados concuerdan con nuestro estudio, donde *Azospirillum brasilense* permitió alcanzar un número de macollos equivalente al de las dosis más altas de fertilizante, lo que demuestra su potencial para reducir el uso de nitrógeno sintético sin perder productividad.

DolKhani y otros (2021), reportó que la combinación de *Azospirillum brasilense* y *Azotobacter chroococcum* con 100 kg de urea aumentó el grosor del tallo en un 15 % respecto al control, alcanzando valores medios de 5,8 mm. Kumar y otros. (2013) obtuvieron diámetros de hasta 6,1 mm con 80 kg N/ha y la combinación de *Azospirillum brasilense* y *Azotobacter chroococcum*. Sin embargo, en la presente investigación el mayor diámetro de tallo fue de 6,47 mm el cual se logró con el T5, a la siembra (*Azospirillum brasilense* + Fertilizante 22-17-13 al 75% (0.5lt +270g) y a los 30 días (*Azospirillum brasilense* + Urea (46%) al 75% (0.5lt +90g) catalogándose como el tratamiento más exitoso en esta variable. En el presente caso, la cifra es un 11,6 % superior, lo que podría atribuirse a un mejor balance nutricional NPK y a una mayor eficiencia en la asimilación de nutrientes por parte de las raíces estimuladas por la inoculación.

Belimov y otros (1995) demostraron que la inoculación con *Azospirillum lipoferum* y bacterias solubilizadoras de fosfato incrementó la longitud de espiga hasta en un 18 % respecto al control, alcanzando valores promedio de 10,8 cm. En comparación con la presente investigación, *Azospirillum brasilense* alcanzó una media de 11,32 cm, sin depender del porcentaje de fertilización. Este efecto se explica por una mayor absorción de nitrógeno, elemento clave en el desarrollo de estructuras reproductivas.

DolKhani y otros. (2021) también observaron incrementos en la longitud de espiga con la combinación bacterias-urea, alcanzando hasta 11,1 cm en la variedad Zehak, un valor apenas 1,9 % menor al obtenido en el presente experimento. Sin embargo, es importante destacar que en la presente investigación se utilizó la variedad Voyager,

reconocida por su adaptación a las condiciones andinas y su potencial productivo superior frente a otras variedades tradicionales. Este resultado sugiere que las respuestas observadas con *Azospirillum brasilense* en Voyager no solo son competitivas frente a Zehak, sino que además resaltan la capacidad de esta variedad para expresar ganancias agronómicas más significativas bajo condiciones de inoculación, consolidándola como una alternativa estratégica para mejorar la productividad de la cebada en Ecuador.

Dalla y otros (2004), sintetizó múltiples ensayos donde la inoculación con *Azospirillum brasilense* en cereales incrementó la longitud radicular en un rango de 15 % a 35 %, llegando a promedios de 16 - 18 cm en cebada. En el presente estudio investigativo, se evidenció que la mayor longitud de raíz fue de 19,42 cm con *Azospirillum brasilense*, sin depender del porcentaje de fertilización. A lo cual el valor supera esos rangos, lo que sugiere un efecto potenciado por la interacción con las condiciones edafoclimáticas y el manejo del cultivo. Negi, Tilak y Sachdev (1991) también reportaron mejoras en el sistema radicular con inoculación al 36%, señalando que una mayor exploración radicular favorece la absorción de nutrientes y agua, incrementando la tolerancia a estrés hídrico y mejorando el rendimiento.

DolKhani y otros (2021), hallaron que la combinación bacterias junto a urea incrementó el grosor de espiga hasta 10,9 mm tomando en cuenta los tratamientos realizados en cereales, reforzando la idea de que la inoculación mejora el llenado de grano al favorecer el transporte de fotosintatos hacia el órgano reproductivo. En comparación con el presente trabajo de investigación, el diámetro máximo de espiga fue de 11,12 mm con *Azospirillum brasilense*, sin depender del porcentaje de fertilización, a lo que observamos que las cifras obtenidas del otro autor son casi similares a la presente, por lo que podemos decir que *Azospirillum brasilense* cumple como base importante para el desarrollo del diámetro en cereales como la cebada.

Ortiz Marquez y otros. (2022) encontraron que la combinación de *Azospirillum brasilense* y *Azotobacter chroococcum* con 50 % de N logró 4,05 t/ha, estadísticamente igual al 100 % de N (4,12 t/ha). Paredes (2024), reportó incrementos de hasta 28 % en rendimiento con inoculación y dosis reducidas de N, alcanzando valores de 5,12 t/ha, lo que demuestra que la biofertilización puede igualar o incluso superar los rendimientos obtenidos con fertilización plena, dependiendo de la variedad y el manejo agronómico. Por su parte en la presente investigación se obtuvo

como el mayor rendimiento de 5.6 t/ha, el cual se alcanzó con fertilización al 100 % y *Azospirillum brasilense* tomando en cuenta el T4, a la siembra (*Azospirillum brasilense* + Fertilizante 22-17-13 al 100% (0.5lt +360g) y a los 30 días (*Azospirillum brasilense* + Urea (46%) al % 100 (0.5lt +120g) siendo el más eficiente. Estos hallazgos respaldan la hipótesis de que la biofertilización, bajo condiciones óptimas, puede igualar o incluso superar los rendimientos obtenidos con fertilización química plena, dependiendo de factores como la variedad cultivada, las condiciones edafoclimáticas y el manejo agronómico implementado.

V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. CONCLUSIONES

- El tratamiento más efectivo para el crecimiento vegetativo de la cebada variedad Voyager fue el T4 la aplicación de *Azospirillum brasilense* (7,5 ml/l) junto con el 100% de fertilizante en la siembra (22-17-13) y a los 30 días (46-0-0), logrando los mejores resultados en altura de planta (118,35 cm), número de macollos (4,86), diámetro (11,12 mm) y longitud de espiga (11,32 cm), y longitud de raíces (19,42 cm). Sin embargo, para el diámetro del tallo (6,38 mm) la combinación más favorable fue el biofertilizante con el 75% de fertilización, demostrando que el uso de *Azospirillum brasilense* con diferentes niveles de fertilizante (100%, 75% o 50%) mejora consistentemente el desarrollo del cultivo.
- El mejor rendimiento para la cebada variedad Voyager se obtuvo con el tratamiento T4, que combinó la aplicación de *Azospirillum brasilense* (7,5 ml/l) con el 100% de fertilizante (22-17-13 a la siembra y 46-0-0 a los 30 días), alcanzando un rendimiento de 5.401.279 kg/ha y demostrando que la interacción de este microorganismo con la fertilización completa incrementa significativamente la productividad del cultivo.
- El tratamiento T4, que combinó la aplicación de *Azospirillum brasilense* (7,5 ml/l) con el 100% de fertilización (22-17-13 a la siembra y 46-0-0 a los 30 días), demostró la mayor rentabilidad al generar un beneficio neto de 1.39 dólares por cada dólar invertido. A pesar de su costo inicial ligeramente superior, este tratamiento resultó ser la opción más eficiente, destacándose por producir el mayor incremento tanto en el crecimiento vegetativo como en el rendimiento final del cultivo de cebada.

5.2. RECOMENDACIONES

- Se recomienda llevar a cabo una preparación del terreno óptima que asegure la eliminación de malezas para evitar interferencias en la germinación. Es fundamental establecer la siembra en suelos sueltos para favorecer el correcto

desarrollo radicular y de la plántula, considerando el tamaño reducido de las semillas de esta variedad de cebada.

- Se recomienda aplicar el tratamiento T4 (la interacción de *Azospirillum brasilense* y la fertilización al 100%) en otros tipos de gramíneas o cultivos de interés agronómico. El objetivo sería evaluar su efecto sobre variables fenológicas y la capacidad de producción en esas nuevas especies.
- Se sugiere realizar estudios adicionales orientados a evaluar el componente nutricional del grano cosechado. La finalidad es determinar si el uso de bacterias fijadoras de nitrógeno como *Azospirillum brasilense* confiere beneficios nutricionales adicionales, mejora la calidad alimenticia y aporta un mayor valor agregado al producto final.

VI. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Aesan. (2023). Informe sobre nitratos y riesgos en la salud. Agencia Española de Seguridad Alimentaria y Nutrición. <https://www.aesan.gob.es>
- Aguar, A. (2011). Producción Sostenible De Cebada. Instituto Nacional De Investigaciones Agropecuarias (Iniap).
- Albán Merino, J. (2011). Efecto De Dosis Y Épocas De Aplicación De Nitrógeno Complementario En Cebada Maltera Metcalfe. Tesis De Grado, Universidad Central Del Ecuador.
- Banco Central del Ecuador. (2023). Indicadores macroeconómicos del sector agrícola. <https://www.bce.fin.ec>
- Belimov, A. A., Kojemiakov, A. P., y Chuvarliyeva, L. R. (1995). Interacción entre la cebada y cultivos mixtos de bacterias fijadoras de nitrógeno y solubilizadoras de fosfato. *Plant and Soil*, 173(1), 29–37. <https://doi.org/10.1007/BF00155522>
- Boga, L. (2014). La nutrición de cebada cervecera en Argentina. Fertilizar Asociación Civil. <https://fertilizar.org.ar/wp-content/uploads/2014/06/19.pdf>
- Bhosale, H. J., Kadam, T. A., Y More, R. S. (2020). Desarrollo de una formulación de biofertilizante líquido de *Azotobacter chroococcum* y estudios de su vida útil. *Asian Journal Of Advances In Agricultural Research*, 14(2), 1–9.
- Canal, L., et al. (2012). La cebada: Adaptación ecológica y diversidad de aplicaciones. Instituto Nacional Autónomo de Investigaciones Agropecuarias. https://repositorio.iniap.gob.ec/bitstream/41000/6032/1/final_informe_anual_programa_de_cereales_2021.pdf
- Cervecería Nacional (CN), y Ministerio De Agricultura, Ganadería, Acuacultura Y Pesca (Magap). (2022). Guía Del Cultivo De Cebada. CN-MAGAP, Quito, Ecuador.
- Dalla Santa, O. R., Fernández Hernández, R., Michelena Alvarez, G. L., Ronzelli Jr., P., y Socol, C. R. (2004). Inoculación de semillas de trigo, cebada y avena con *Azospirillum* sp. — Experimentos en invernadero. *Brazilian Archives of Biology and Technology*, 47(6), 843–850. <https://doi.org/10.1590/S1516-89132004000600001>
- Dolkhani, F., Bijanzadeh, E., Boostani, H. R., y Behpour, A. (2021). Efecto de las bacterias fijadoras de nitrógeno en el rendimiento y algunos macronutrientes de dos cultivares de cebada. *Journal Of Soil Management And Sustainable Production*, 11(1), 117–132.


- Domínguez Duarte, C. F., Cecato, U., Biserra, T. T., Mamédio, D., y Galbeiro, S. (2020). Azospirillum spp. en pastos y forrajes. Revisión. Revista Mexicana De Ciencias Pecuarias, 11(1), 223-240. <https://doi.org/10.22319/rmcp.v11i1.4951>
- FAO. (2018). Producción mundial de cereales. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. https://repositorio.iniap.gob.ec/bitstream/41000/6032/1/final_informe_anual_programa_de_cereales_2021.pdf
- Frame, J. (2014). Manejo Eficiente Del Nitrógeno En Cultivos. Agricultural Research Journal, 22(1), 15-23.
- González, J., Martínez, A., y Torres, R. (2023). Efectos Del Uso De Bacterias Fijadoras De Nitrógeno En Cultivos. Revista Agronómica, 15(2), 123-135.
- González, P., Herrera, J., Y Cárdenas, L. (2023). Evaluación agronómica de la variedad Voyager en la región andina del Ecuador. Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias.
- Grando, S., Y Gómez, X. (2005). Importancia social y económica de la cebada como alimento para consumo humano. Instituto Internacional de Investigación sobre Cultivos. https://repositorio.iniap.gob.ec/bitstream/41000/6032/1/final_informe_anual_programa_de_cereales_2021.pdf
- INIAP. (2022). Instituto Nacional De Investigaciones Agropecuarias. Generalidades Y Variedades Mejoradas Para La Sierra Ecuatoriana.
- INIAP. (2020). Producción y manejo de cebada en el Ecuador. Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias.
- Jha, P. N., Y Saraf, M. (2015). Rizobacterias promotoras del crecimiento vegetal (PGPR): una revisión. Journal of Agricultural Research, 3(2), 123-138.
- Kumar, T., Kumar, R., Singh, J. P., y Kumar, S. (2013). Efecto de diferentes niveles de nitrógeno y biofertilizantes en el crecimiento y rendimiento de la cebada (Hordeum vulgare L.). An Asian Journal Of Soil Science, 8(1), 114-117.
- Lee, C.-H., ... Y Young, C.-C. (2021). La bacteria probiótica vegetal Rhodopseudomonas palustris cepa PS3 mejora el crecimiento de los cultivos en condiciones hidropónicas. Frontiers in Plant Science, 12, 573634. <https://doi.org/10.3389/fpls.2021.573634>
- Lema, J., Cañarejo, M., y Sánchez, R. (2017). Producción De Cebada (Hordeum Vulgare L.) En La Región Andina De Ecuador: Análisis De La Situación Actual Y Perspectivas. Universidad Técnica Del Norte.
- Lema, W., y Otros. (2017). Rendimiento De Cebada Con Urea Normal Y Urea Recubierta. Tesis De Grado, Universidad Técnica Del Norte.

- Lema, G., Torres, R., Y Vargas, C. (2017). Impacto del uso de fertilizantes nitrogenados en los suelos agrícolas de América Latina. *Revista de Ciencias Ambientales*, 51(2), 45–59.
- López, L., J. Beltrán, A. Ramos, H. López, P. López, J. Bermejo, P. Urbano, J. Piñeiro, J. Castro, R. Blázquez, C. Ramos, F. Pomares, A. Quiñonez, B. Martínez, E. Primo-Millo, F. Legaz, J. Espada, E. García-Escudero, C. García, y J. Pérez. (2009). *Guía Práctica De La Fertilización Racional De Los Cultivos En España: Parte II - Abonado De Los Principales Cultivos En España*. 2da Ed. Editorial V.A. Impresores, S.A., Madrid, España.
- López, J., Cruz-Ramírez, A., Y Herrera-Estrella, L. (1998). Azospirillum, una bacteria fijadora de nitrógeno de vida libre estrechamente asociada a las raíces de las plantas. *FEMS Microbiology Reviews*, 24(4), 487–506. [https://doi.org/10.1016/S0168-6445\(98\)00040-6](https://doi.org/10.1016/S0168-6445(98)00040-6)
- MAG. (2023). Estadísticas agrícolas de la provincia del Carchi. Ministerio de Agricultura y Ganadería del Ecuador. <https://www.agricultura.gob.ec>
- McKenzie, R. H., Middleton, A. B., Y Bremer, E. (2005). Manejo de la fertilidad y densidades de siembra para el rendimiento y calidad de la cebada cervecera. Alberta Agriculture, Food and Rural Development. https://etd.ohiolink.edu/acprod/odb_etd/ws/send_file/send?accession=osu1638185324240986Ydisposition=inline
- Mendoza, G. L., ... y Jiménez, C. (2023). Presidente De La República. www.iniap.gob.ec
- Ministerio De Agricultura Y Ganadería [MAG]. (2023). Estadísticas Agrícolas. Quito: Gobierno Del Ecuador.
- Ministerio Del Ambiente [MAE]. (2022). Informe Sobre El Uso De Fertilizantes En Ecuador. Quito: Gobierno Del Ecuador.
- Negi, M., Tilak, K. V. B. R., y Sachdev, M. S. (1991). Absorción de nitrógeno por cebada (*Hordeum vulgare* L.) inoculada con *Azospirillum brasilense* influenciada por la fertilización con N y P. *Biology and Fertility of Soils*, 12(3), 225–229.
- Ortiz Marquez, D., y Otros. (2022). Evaluación De Bacterias Fijadoras De Nitrógeno En Trigo Y Cebada En La Sierra Ecuatoriana. Tesis De Grado, Universidad Técnica De Ambato.
- Ortiz Márquez, J. E., Delgado, M., y Peña, R. (2022). Impacto Del Uso De Bacterias Fijadoras De Nitrógeno En El Rendimiento De Cereales: Una Revisión Sistemática. *Revista Latinoamericana De Microbiología*, 64(3), 233–247.
- Ortiz, F., Ramírez, D., Y Morales, J. (2022). Reducción del uso de fertilizantes químicos mediante inoculación con bacterias fijadoras de nitrógeno. *Revista Latinoamericana de Agroecología*, 15(1), 33–48.

- Paredes-Agüero, S. G., Videla, F., Y Otros. (2024). Azospirillum brasilense: Inoculación y manejo del nitrógeno en el desarrollo y rendimiento de la cebada. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 55(19), 2742–2756. <https://doi.org/10.1080/00103624.2024.2350410>
- Pinedo Taco, R., Rojas, I. F., Y Bautista Condori, M. C. (2020). *Cultivo De Cebada [Manual]*. Universidad Nacional Agraria La Molina; Dirección De Extensión Universitaria Y Proyección Social; Provías Nacional.
- Ponce, Molina, J. (2020). *Importancia Económica De La Cebada En Ecuador. Informe Anual Sobre Agricultura*.
- Ponce-Molina, Patricio Noroña, y Molina Javier Garófalo. (2022). *Manual De Manejo Del Cultivo*.
- René, I., Ulloa, G., Alonso, K., y Velasco, M. (2021). Escuela Superior Politécnica Del Litoral "Aplicación Compuesta De Abono Orgánico Y Fertilizantes.
- Romero, C. (2024). *Efectos ambientales del uso intensivo de fertilizantes nitrogenados*. Universidad Nacional de Colombia.
- Salvador, Carmen. (2015). *Cuéntame Cebada*. Fundación Empresas Polar.
- Santos, R. C., Oliveira, J. A., Costa, M. C., Y Gomes, F. R. (2021). Inoculación de semillas de maíz con Azospirillum brasilense: Respuestas fisiológicas y rendimiento de grano. *Scientia Plena*, 17(4), 041201. <https://www.scienciaplena.org.br/sp/article/download/5996/238>
- Schlegel, H. G. Bautista, I. F., y Molina, L. A. (1976). *Cultivo De Cebada Manual*.
- Singh, S., Gupta, R., Y Singh, P. (2021). Azotobacter chroococcum: Fijación de nitrógeno de vida libre para una agricultura sostenible. *Frontiers in Microbiology*, 12, 628379. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2021.628379>
- Silva Manosalvas, F. (2017). *Uso de bacterias fijadoras de nitrógeno en sistemas agrícolas sostenibles*. Universidad Central del Ecuador.
- Vargas Olga, Herrera Onelio Fundora, Crespo Borge Carlos Pereira Marin, y Tomás. (1999). *La Contaminacion Ambiental Por El Uso Excesivo De Fertilizantes Nitrogenados En El Cultivo Del Tomate*. <https://www.raco.cat/index.php/Scientia/article/download/45579/55143>
- Wang, X., Zhang, Y., Y Li, Y. (2023). El agente Rhodopseudomonas palustris PSB06 mejora el rendimiento del pimiento y la comunidad microbiana del suelo. *Frontiers in Sustainable Food Systems*, 7, 1125538. <https://doi.org/10.3389/fsufs.2023.1125538>
- World Health Organization. (2020). *Nitrato y nitrito en el agua potable: Documento de base para el desarrollo de las directrices de la OMS para la calidad del agua potable*. World Health Organization. <https://www.who.int>

VII. ANEXOS

Anexo 1. Acta de la sustentación de Predefensa del TIC



UNIVERSIDAD POLITÉCNICA ESTATAL DEL CARCHI

FACULTAD DE INDUSTRIAS AGROPECUARIAS Y CIENCIAS AMBIENTALES

CARRERA DE AGROPECUARIA

ACTA

DE LA SUSTENTACIÓN ORAL DE LA PREDEFENSA DEL TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR

ESTUDIANTE: Cuaical Pazo Paco Sebastián	CÉDULA DE IDENTIDAD: 0401967997
PERIODO ACADÉMICO: 2025 B	
PRESIDENTE TRIBUNAL: MSC. HADDY DANIELA JACOME LUCERO	DOCENTE TUTOR: MSC. GUILLERMO ALEXANDER JACOME SARCHI
DOCENTE: MSC. JOSE ALFONSO ANGEL ARMAS	


TEMA DEL TIC: "Evaluación del efecto de bacterias fijadoras de nitrógeno en el rendimiento del cultivo de cebada (*Hordeum vulgare*) variedad Voyager en el Centro Experimental San Francisco -UPEC"

No.	CATEGORÍA	Evaluación cuantitativa	OBSERVACIONES Y RECOMENDACIONES
1	PROBLEMA - OBJETIVOS	8,33	
2	FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA	8,33	
3	METODOLOGÍA	8,33	
4	RESULTADOS	8,33	
5	DISCUSIÓN	8,33	
6	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	8,33	
7	DEFENSA, ARGUMENTACIÓN Y VOCABULARIO PROFESIONAL	8,33	
8	FORMATO, ORGANIZACIÓN Y CALIDAD DE LA INFORMACIÓN	8,33	Revisar faltas de ortografía y formato de las referencias


Obteniendo una nota de: **8,33** Por lo tanto, **APRUEBA** ; debiendo el o los investigadores acatar el siguiente artículo:

Art. 36.- De los estudiantes que aprueban el informe final del TIC con observaciones.- Los estudiantes tendrán el plazo de 10 días para proceder a corregir su informe final del TIC de conformidad a las observaciones y recomendaciones realizadas por los miembros del Tribunal de sustentación de la pre-defensa.

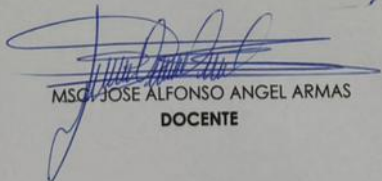
Para constancia del presente, firman en la ciudad de Tulcán el **jueves, 30 de octubre de 2025**



MSC. HADDY DANIELA JACOME LUCERO
PRESIDENTE TRIBUNAL



MSC. GUILLERMO ALEXANDER JACOME SARCHI
DOCENTE TUTOR



MSC. JOSE ALFONSO ANGEL ARMAS
DOCENTE

Anexo 2. Certificado del abstract por parte de idiomas



UNIVERSIDAD POLITÉCNICA ESTATAL DEL CARCHI FOREIGN
AND NATIVE LANGUAGES CENTER

ABSTRACT- EVALUATION SHEET				
NAME: CUAICAL POZO PACO SEBASTIÁN				
DATE: Lunes, 10 de noviembre de 2025				
Topic: Evaluation of the effect of nitrogen-fixing bacteria on the yield of the barley crop (<i>Hordeum vulgare</i>) variety Voyager at the San Francisco Experimental Center - UPEC				
*MARKS AWARDED		QUANTITATIVE AND QUALITATIVE		
VOCABULARY AND WORD USE	Use new learnt vocabulary and precise words related to the topic	Use a little new vocabulary and some appropriate words related to the topic	Use basic vocabulary and simplistic words related to the topic	Limited vocabulary and inadequate words related to the topic
	EXCELLENT: 2 <input type="checkbox"/>	GOOD: 1,5 <input checked="" type="checkbox"/>	AVERAGE: 1 <input type="checkbox"/>	LIMITED: 0,5 <input type="checkbox"/>
WRITING COHESION	Clear and logical progression of ideas and supporting paragraphs.	Adequate progression of ideas and supporting paragraphs.	Some progression of ideas and supporting paragraphs.	Inadequate ideas and supporting paragraphs.
De	EXCELLENT: 2 <input checked="" type="checkbox"/>	GOOD: 1,5 <input type="checkbox"/>	AVERAGE: 1 <input type="checkbox"/>	LIMITED: 0,5 <input type="checkbox"/>
ARGUMENT	The message has been communicated very well and identify the type of text	The message has been communicated appropriately and identify the type of text	Some of the message has been communicated and the type of text is little confusing	The message hasn't been communicated and the type of text is inadequate
	EXCELLENT: 2 <input checked="" type="checkbox"/>	GOOD: 1,5 <input type="checkbox"/>	AVERAGE: 1 <input type="checkbox"/>	LIMITED: 0,5 <input type="checkbox"/>
CREATIVITY	Outstanding flow of ideas and events	Good flow of ideas and events	Average flow of ideas and events	Poor flow of ideas and events
	EXCELLENT: 2 <input type="checkbox"/>	GOOD: 1,5 <input checked="" type="checkbox"/>	AVERAGE: 1 <input type="checkbox"/>	LIMITED: 0,5 <input type="checkbox"/>
SCIENTIFIC SUSTAINABILITY	Reasonable, specific and supportable opinion or thesis statement	Minor errors when supporting the thesis statement	Some errors when supporting the thesis statement	Lots of errors when supporting the thesis statement
	EXCELLENT: 2 <input checked="" type="checkbox"/>	GOOD: 1,5 <input type="checkbox"/>	AVERAGE: 1 <input type="checkbox"/>	LIMITED: 0,5 <input type="checkbox"/>
TOTAL/AVERAGE	9 - 10: EXCELLENT 7 - 8,9: GOOD 5 - 6,9: AVERAGE 0 - 4,9: LIMITED	TOTAL 9		



**UNIVERSIDAD POLITÉCNICA ESTATAL DEL
CARCHI- FOREIGN AND NATIVE LANGUAGES
CENTER**

**Informe sobre el Abstract de Artículo Científico
o Investigación.**

Autor: CUAICAL POZO PACO SEBASTIÁN

Fecha de recepción del abstract: Viernes, 7 de noviembre de 2025

Fecha de entrega del informe: Lunes, 10 de noviembre de 2025

El presente informe validará la traducción del idioma español al inglés si alcanza un porcentaje de: 9 – 10 Excelente.

Si la traducción no está dentro de los parámetros de 9 – 10, el autor deberá realizar las observaciones presentadas en el ABSTRACT, para su posterior presentación y aprobación.

Observaciones:

Después de realizar la revisión del presente abstract, éste presenta una apropiada traducción sobre el tema planteado en el idioma Inglés. Según la rúbrica de evaluación de la traducción en Inglés, ésta alcanza un valor de 9; por lo cual se valida dicho trabajo.

Atentamente



MARtha ARACELLY
VIVEROS ALMEIDA

MA. Martha Viveros
Responsable del
CIDEN

Anexo 3. Costos de producción

Tabla 26. Costos de producción por hectárea

Fases y actividades	Nombre	Unidad	Cantidad	Precio Unif. USD	Subtotal USD	
Preparación del suelo					265	
Análisis de suelo	Análisis	muestra	1	45	45	—
Arada	tractor	hora	4	30	120	—
Rastrada	tractor	hora	3	20	60	—
Cruzas	tractor	hora	2	20	40	—
Siembra y fertilización					837	—
Semilla	Voyager	Kg	400	0,7	280	—
Siembra	mano de obra	Jornal	3	15	45	—
Fertilizantes	22-17-13	sacos	6	42	252	—
	46-0-0	sacos	4	35	140	—
	mano de obra	Jornal	3	15	45	—
Transporte semilla y fertilizantes	Transporte	Flete	1	30	30	—
Tapado de semilla	mano de obra	Jornal	3	15	45	—
Equipos y herramientas					130	
Bomba de mochila	Equipo	Und.	2	35	70	—
Tanque 500 lt	Equipo	Und.	2	30	60	—
Labores Culturales					114	—
Control malezas preemergencia	Herbicida Sulfon	Und.	2	6	12	—
Control Fitosanitario	TILT	Und.	3	4	12	—
	(propiconazol)					—
	Mano de obra	Jornal	3	15	45	—
Purificación y Desnabe	Mano de obra	Jornal	3	15	45	—
Cosecha y poscosecha					385	
Cosecha	mano de obra	jornal	8	15	120	—
Trilladora	alquiler	sacos	80	3	240	—
Sacos	Lonas	Lonas	40	0,25	10	—
Limpieza y Ensacado	mano de obra	jornal	1	15	15	—
Costo total:					1731	

Anexo 4. Análisis de suelo



LABONORT

LABORATORIOS NORTE

Av. Cristobal de Troya 4-93 y Jaime Roldos Ibarra - Ecuador cel. 0999591050

REPORTE DE ANALISIS DE SUELOS

DATOS DE PROPIETARIO		DATOS DE LA PROPIEDAD						
Nombre: SEBASTIAN CUAICAL		Provincia: Carchi						
Ciudad: Huaca		Cantón: San Pedro de Huaca						
Teléfono: 0968301555		Parroquia: San Pedro de Huaca						
Fax:		Sitio: Centro Experimental UPEC						
DATOS DEL LOTE		DATOS DE LABORATORIO						
Sitio: Centro Experimental UPEC		Nro Reporte.: 12115						
Superficie:		Tipo de Análisis: Completo + T						
Número de Campo: Muestra #1		Muestra: Suelo, M #1						
Cultivo Actual:		Fecha de Ingreso: 2024-09-09						
A Cultivar: Cebada		Fecha de Reporte: 2024-09-12						
Nutriente	Valor	Unidad	INTERPRETACION					
N	57.47	ppm						
P	3.24	ppm						
S	29.00	ppm						
K	0.51	meq/100 ml						
Ca	10.24	meq/100 ml						
Mg	0.67	meq/100 ml						
Zn	2.70	ppm						
Cu	0.51	ppm						
Fe	305.80	ppm						
Mn	12.67	ppm						
B	0.38	ppm						
pH	5.28							
Acidez Int. (Al+H)		meq/100 ml						
Al		meq/100 ml						
Na		meq/100 ml						
Ce	0.80	mS/cm						
MO	14.41	%						
Ca	Mg	Ca+Mg	(%)	Cl	(%)	Clase Textural		
Mg	K	K	Sum Bases	NTot	Arena	Limo	Arcilla	
15.28	1.31	21.39	11.42		57.20	34.00	8.80	Franco arenoso

Dr. Quím. Edison M. Miño M.
Responsable Laboratorio



Anexo 5. Proceso Experimental



Figura 4. Delimitación del terreno



Figura 5. Preparación del terreno



Figura 7. División y rotulación de parcelas



Figura 6. Siembra y aplicación de insumos



Figura 8. Insumo utilizado



Figura 9. Insumo utilizado



Figura 10. Insumo utilizado



Figura 11. Insumo utilizado



Figura 12. Segunda aplicación de insumos



Figura 13. Delimitación de área de toma de datos



Figura 14. Selección de plantas a evaluar



Figura 15. Toma de datos



Figura 16. Manejo fitosanitario



Figura 17. Toma de datos



Figura 18. Toma de datos



Figura 19. Toma de datos



Figura 20. Cosecha



Figura 21. Proceso de trilla del grano



Figura 22. Ensacado del grano de cebada



Figura 23. Almacenamiento del grano de cebada



Figura 24. Pesaje y almacenamiento del grano

Anexo 6. Análisis costo/beneficio

Tabla 27. Análisis costo/beneficio para el cultivo de Cebada

T	Tratamiento	Rendimiento (kg/ha)	Valor de producción (USD/kg)	Ingreso por venta (USD/ha)	Costo por tratamiento (USD/ha)	Utilidad neta (USD/ha)	Relación C/B	Beneficio directo
T1	<i>Rhodopseudomonas palustris</i> + Fert al 100%	5287,4	0,8	4229,92	1871	2358,92	2,26	1,26
T2	<i>Rhodopseudomonas palustris</i> + Fert al 75%	4963,4	0,8	3970,72	1773	2197,72	2,24	1,24
T3	<i>Rhodopseudomonas palustris</i> + Fert al 50%	4831,6	0,8	3865,28	1695	2170,28	2,28	1,28
T4	<i>Azospirillum brasilense</i> + Fert al 100%	5696,7	0,8	4557,36	1904,25	2653,11	2,39	1,39
T5	<i>Azospirillum brasilense</i> + Fert al 75%	5347,7	0,8	4278,16	1886,25	2391,91	2,27	1,27
T6	<i>Azospirillum brasilense</i> + Fert al 50%	5205,6	0,8	4164,48	1820,96	2343,52	2,29	1,29
T7	<i>Azotobacter chroococcum</i> + Fert al 100%	5368,6	0,8	4294,88	1875,25	2419,63	2,29	1,28
T8	<i>Azotobacter chroococcum</i> + Fert al 75%	5039,7	0,8	4031,76	1757,25	2274,51	2,29	1,26
T9	<i>Azotobacter chroococcum</i> + Fert al 50%	4905,8	0,8	3924,64	1721,25	2203,39	2,28	1,28
T10	Testigo	3071,2	0,8	2456,96	1294	1162,96	1,90	0,90

Anexo 7. Script para realizar el análisis estadístico en R Studio de un DBCA con arreglo factorial 3x3+1

```
library(agricolae)

#Cargar los datos

dbca=read.delim("clipboard",header=TRUE,
colClasses=c("factor","factor","factor","numeric"))

attach(dbca)

str(dbca)

summary(dbca)

boxplot(Corte.1 ~ Micro*Fert)

#Ejecutar el ANOVA

anova<- aov(Corte.1~Bloq+Fert*Micro,data=dbca)

summary(anova)

cv.model(anova)

#Supuestos

plot(anova,2)

shapiro.test(residuals(anova))

shapiro.test(anova$residuals)

plot(anova,1)

bartlett.test(Corte.1~Micro,data=dbca)

bartlett.test(Corte.1~Fert,data=dbca)

bartlett.test(Corte.1~interaction(Micro,Fert),data=dbca)

# Tukey para cada factor

HSD.test(anova, "Fert", console=T)

HSD.test(anova, "Micro", console=T)
```

```

# Tukey para la interacción
HSD.test(y=Corte.1,
trt=Micro:Fert,
DFerror=anova$df.residual,
MSerror=deviance(anova)/anova$df.residual,
group=TRUE,
console=TRUE)

#Grafica factores

#Comparacion de medias

tukey_e <- HSD.test(anova, "Fert", console=T)

tukey_e$groups

#Resumir los datos

install.packages("tidyverse")

library(tidyverse)

resumen <- dbca %>% group_by(Fert)%

summarise(promedio=mean(Corte.1),de=sd(Corte.1),r=length(Corte.1)) %>%

arrange(desc(promedio))

#Pasar las letras de agrupacion Tukey (0.05)

resumen$grupo <- tukey_e$groups$groups

#Elaborar la grafica de barras

library(ggplot2)

resumen$Fert <- factor(resumen$Fert, levels = resumen$Fert[order(-
resumen$promedio)])

ggplot(resumen, aes(x = Fert, y = promedio)) +

geom_bar(stat = "identity", fill = "gray", colour = "black", width = 0.50) +

```

```

geom_errorbar(aes(ymin = promedio - de, ymax = promedio + de), width = 0.25) +
geom_text(aes(y = promedio + de, label = grupo), vjust = -0.5) +
geom_text(aes(y = 0, label = round(promedio, 2)), vjust = -0.5) +
labs(x = "Tratamientos", y = "Altura de planta (cm)") +
theme_classic()

#Grafica interaccion

#Comparacion de medias

tukey_e <- HSD.test(y=Corte.1,
trt=Micro:Fert,
DFerror=anova$df.residual,
MSerror=deviance(anova)/anova$df.residual,
group=TRUE,
console=TRUE)

tukey_e$groups

#Resumir los datos

install.packages("tidyverse")

library(tidyverse)

resumen <- dbca %>% group_by(interaction(Micro,Fert)) %>%
summarise(promedio=mean(Corte.1),de=sd(Corte.1),r=length(Corte.1)) %>%
arrange(desc(promedio))

#Pasar las letras de agrupacion Tukey (0.05)

resumen$grupo <- tukey_e$groups$groups

#Elaborar la grafica de barras

library(ggplot2)

# Reordenar el factor 'Trat' según el promedio de mayor a menor

```

```
resumen$`interaction(Micro, Fert)` <- factor(resumen$`interaction(Micro, Fert)`  
, levels = resumen$`interaction(Micro, Fert)`  
[order(-resumen$promedio)])  
  
ggplot(resumen, aes(x = `interaction(Micro, Fert)`, y = promedio)) +  
geom_bar(stat = "identity", fill = "gray", colour = "black", width = 0.50) +  
geom_errorbar(aes(ymin = promedio - de, ymax = promedio + de), width = 0.25) +  
geom_text(aes(y = promedio + de, label = grupo), vjust = -0.5) +  
geom_text(aes(y = 0, label = round(promedio, 2)), vjust = -0.5) +  
labs(x = "Tratamientos", y = "Altura de planta (cm)") +  
theme_classic()
```