



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE BABAHOYO
FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS
CARRERA DE INGENIERÍA AGRONÓMICA



TRABAJO DE TITULACIÓN

Componente práctico del Examen de Grado de carácter
Complejivo, presentado al H. Consejo Directivo de la Facultad,
como requisito previo para obtener el título de:

INGENIERO AGRÓNOMO

TEMA:

Efectos de las bacterias nitrificantes en la producción del cultivo de
fréjol (*Phaseolus vulgaris*, L.)

AUTOR:

Jimmy Rolando Rivera Moreno

TUTOR:

Ing. Agr. Darío Dueñas Alvarado, MAE.

Babahoyo - Los Ríos – Ecuador

2024

RESUMEN

La producción de fréjol en Ecuador constituye una de las actividades agrícolas y económicas más relevantes, llevándose a cabo principalmente en los valles de las provincias de Carchi, Imbabura, Loja, Chimborazo y Bolívar. El objetivo planteado fue analizar el efecto de las bacterias nitrificantes en la producción del cultivo de fréjol (*Phaseolus vulgaris* L.). Se recopiló información de revistas, bibliotecas virtuales y los últimos artículos científicos. El método utilizado fue investigación bibliográfica, con las técnicas de recopilación de información. Las conclusiones determinaron que las bacterias nitrificantes llevan a cabo la transformación del amoníaco en nitratos, un proceso conocido como nitrificación, los cuales son utilizados tanto por las plantas como por las bacterias desnitrificantes. Las raíces de las plantas absorben el nitrógeno del suelo en forma de nitrato (NO_3^-) o amonio (NH_4^+). En la mayoría de los suelos, la actividad de las bacterias nitrificantes facilita la absorción predominante de nitrato ($\text{N}\cdot\text{NO}_3^-$) por parte de los cultivos. Las bacterias nitrogenofijadoras contribuyen biológicamente a satisfacer una porción de las demandas de nitrógeno del cultivo. Disminuye la tasa de envejecimiento de las células vegetales, prolongando de este modo su capacidad fotosintética. La fijación biológica del nitrógeno realizada por bacterias diazotróficas ha permitido un aumento significativo en el rendimiento de las cosechas de fréjol, al mismo tiempo que ha disminuido la dependencia de fertilizantes nitrogenados y la emisión de gases nocivos, como el óxido nitroso (N_2O), lo que a su vez ha generado beneficios económicos.

Palabras claves: bacterias, leguminosas, producción, rentabilidad.

SUMMARY

Bean production in Ecuador constitutes one of the most relevant agricultural and economic activities, taking place mainly in the valleys of the provinces of Carchi, Imbabura, Loja, Chimborazo and Bolívar. The objective was to analyze the effect of nitrifying bacteria on the production of bean crops (*Phaseolus vulgaris* L.). Information was collected from magazines, virtual libraries and the latest scientific articles. The method used was bibliographic research, with information collection techniques. The conclusions determined that nitrifying bacteria carry out the transformation of ammonia into nitrates, a process known as nitrification, which are used by both plants and denitrifying bacteria. Plant roots absorb nitrogen from the soil in the form of nitrate (NO₃⁻) or ammonium (NH₄⁺). In most soils, the activity of nitrifying bacteria facilitates the predominant uptake of nitrate (N-NO₃⁻) by crops. Nitrogen-fixing bacteria contribute biologically to meeting a portion of the crop's nitrogen demands. It slows down the aging rate of plant cells, thus prolonging their photosynthetic capacity. The biological fixation of nitrogen carried out by diazotrophic bacteria has allowed a significant increase in the yield of bean crops, while at the same time it has decreased the dependence on nitrogen fertilizers and the emission of harmful gases, such as nitrous oxide (N₂O), which in turn has generated economic benefits.

Keywords: bacteria, legumes, production, profitability.

INDICE DE CONTENIDO

| | |
|---|-----|
| RESUMEN..... | II |
| SUMMARY | III |
| INDICE DE CONTENIDO..... | IV |
| INTRODUCCIÓN | 1 |
| CAPÍTULO I..... | 3 |
| MARCO METODOLÓGICO | 3 |
| 1.1. Definición del tema caso de estudio | 3 |
| 1.2. Planteamiento del problema | 3 |
| 1.3. Justificación..... | 4 |
| 1.4. Objetivos | 5 |
| 1.4.1. General..... | 5 |
| 1.4.2. Específicos | 5 |
| 1.5. Fundamentación teórica | 5 |
| 1.5.1. Describir como actúan en el suelo las bacterias nitrificantes o fijadoras de nitrógeno. | 5 |
| 1.5.2. Establecer los beneficios agrícolas económicos por la acción de las bacterias fijadoras de nitrógeno en el cultivo de fréjol..... | 11 |
| 1.6. Hipótesis | 18 |
| 1.7. Metodología de la investigación | 18 |
| CAPÍTULO II..... | 19 |
| RESULTADOS DE LA INVESTIGACIÓN | 19 |
| 2.1. Desarrollo del caso | 19 |
| 2.2. Situaciones detectadas (hallazgo)..... | 19 |
| 2.3. Soluciones planteadas..... | 20 |
| 2.4. Conclusiones..... | 20 |
| 2.5. Recomendaciones | 21 |
| BIBLIOGRAFÍA | 22 |
| ANEXOS..... | 29 |

INTRODUCCIÓN

Phaseolus vulgaris L., conocido comúnmente como frijol común, es una especie leguminosa originaria del continente americano y es considerado como uno de los cultivos más importantes a escala mundial. Su elevada densidad nutricional, las diversas presentaciones disponibles (vainas frescas, congeladas, semillas precocidas, semillas deshidratadas y semillas secas envasadas), así como su versatilidad culinaria, convierten a este cultivo en un recurso significativo y valioso (Toscano 2021).

La producción de fréjol en Ecuador constituye una de las actividades agrícolas y económicas más relevantes, llevándose a cabo principalmente en los valles de las provincias de Carchi, Imbabura, Loja, Chimborazo y Bolívar (Rosado 2020).

El nitrógeno constituye uno de los macronutrientes más relevantes en los procesos biológicos. Se encuentra en diversas formas en el entorno natural, aunque no todas ellas son bioasimilables, además de ser susceptible a la pérdida significativa en el medio ambiente. Las bacterias nitrificantes llevan a cabo la oxidación del NH_3 a formas más asimilables para las plantas, tales como el NO_3 . Entre los microorganismos identificados como oxidantes de amonio se encuentran las especies de Nitrosomonas, mientras que los oxidantes de nitrito incluyen a las especies de Nitrobacter. Las bacterias denitrificantes contribuyen a la mitigación de las pérdidas de nitrógeno a través de procesos de escorrentía y lixiviación, al llevar a cabo la reducción de formas oxidadas de nitrógeno, lo que permite su reintegración en el medio ambiente. Algunas de las bacterias pertenecientes a este grupo comprenden diversas especies de los géneros *Pseudomonas*, *Alcaligenes* y *Bacillus* (Moreno et al. 2021).

Las bacterias nitrificantes o fijadoras de nitrógeno establecen asociaciones con un conjunto considerable de especies vegetales a través de la simbiosis, entendida como la interacción entre dos especies en la cual ambas obtienen beneficios, aunque dicha relación no es estrictamente necesaria para

la supervivencia de ninguna de las especies involucradas. Las leguminosas constituyen una de las familias más diversas del reino vegetal, abarcando aproximadamente 19,000 especies que se distribuyen en una amplia variedad de hábitats. Entre estas, las más reconocidas son aquellas que poseen importancia comercial y alimentaria, tanto para el ser humano como para el ganado, tales como los frijoles. Su éxito adaptativo se atribuye a la formación de simbiosis con bacterias que llevan a cabo la fijación de nitrógeno, lo cual les facilita la colonización de suelos deficientes en nutrientes (Bohórquez y Gómez 2023).

La implementación de bacterias que poseen la capacidad de fijar nitrógeno, un nutriente fundamental, en suelos agrícolas destinados al cultivo de fréjol, permitirá, por un lado, reducir la dependencia de aportes de nitrógeno inorgánico, y por otro lado, contribuir al desarrollo de metodologías sostenibles y ambientalmente adecuadas (Muñoz 2024).

CAPÍTULO I

MARCO METODOLÓGICO

1.1. Definición del tema caso de estudio

La presente investigación hace referencia al efecto de las bacterias nitrificantes en la producción del cultivo de fréjol (*Phaseolus vulgaris* L.)

Las bacterias del género *Rhizobium* son un grupo de bacterias fijadoras de nitrógeno que se encuentra en simbiosis con las raíces de las plantas leguminosas, especialmente en el cultivo de fréjol.

1.2. Planteamiento del problema

La actividad humana contribuye a la liberación de nitrógeno en el medio ambiente a través de dos vías fundamentales: la combustión de combustibles fósiles y la aplicación de fertilizantes nitrogenados en prácticas agrícolas. Ambos procesos generan un incremento en la concentración de compuestos nitrogenados en la atmósfera. Los elevados niveles de nitrógeno en la atmósfera, distintos del N_2 , están correlacionados con consecuencias adversas, tales como la generación de lluvia ácida (en forma de ácido nítrico, HNO_3) y su contribución al efecto invernadero, que se manifiesta a través del óxido nitroso, N_2O (Mantuano 2024).

Asimismo, la aplicación de fertilizantes artificiales que incluyen nitrógeno en la agricultura puede resultar en que el exceso de fertilizante se proyecte hacia ríos, lagos y arroyos a través del escurrimiento superficial. Uno de los efectos significativos del escurrimiento de fertilizantes es la eutrofización de cuerpos de agua dulce y salada. En este proceso, la escorrentía de nutrientes genera una proliferación desmedida, o 'floreCIMIENTO', de algas u otros microorganismos, cuyo desarrollo se encuentra restringido por la disponibilidad de nitrógeno (Fernández 2020).

La elevada lixiviación de los fertilizantes inorgánicos puede resultar en la contaminación de los recursos hídricos subterráneos, así como de ríos y lagos, ocasionando daños ecológicos significativos y potencialmente representando un riesgo para la salud de los seres humanos y los animales (Saboya 2021).

Por consiguiente, la limitada producción de fijadores biológicos de nitrógeno no facilita la conversión del nitrógeno atmosférico en formas que las plantas pueden utilizar, como el amoníaco. Esto tiene un impacto negativo en el crecimiento de las plantas y en la morfología de sus raíces, afectando la simbiosis entre plantas y microorganismos.

1.3. Justificación

La utilización de bacterias fijadoras de nitrógeno en el cultivo de fréjol ofrece una ventaja significativa para la agricultura, dado que el nitrógeno aportado por estas bacterias se encuentra disponible de manera directa en la rizosfera, precisamente en el área donde es necesario. En contraste, los fertilizantes inorgánicos que se aplican al suelo experimentan una pérdida de hasta el 50 % como resultado de procesos naturales de lixiviación y desnitrificación.

Las bacterias fijadoras de nitrógeno de los géneros *Azotobacter*, *Rhizobium* y *Azospirillum* han sido ampliamente empleadas en el ámbito agrícola como biofertilizantes. Los mecanismos a través de los cuales estas bacterias producen tales efectos son diversos. Algunas de ellas tienen la capacidad de fijar nitrógeno atmosférico, facilitando su disponibilidad para la planta; otras pueden sintetizar diversas fitohormonas que contribuyen a mejorar distintos estadios del crecimiento vegetal; también tienen la capacidad de solubilizar minerales de fósforo, poniéndolos al alcance de la planta, así como de sintetizar diversos compuestos de bajo peso molecular o enzimas que participan en los procesos de crecimiento y desarrollo vegetales.

La asimilación biológica del nitrógeno ocurre en los nódulos de las raíces. Los nódulos representan el resultado de una interacción simbiótica

óptima entre las plantas y las bacterias. Las bacterias que se asocian con estos nódulos radiculares son conocidas como rizobios. Los rizobios, de manera autónoma, no tienen la capacidad de fijar nitrógeno, sino que dependen de la presencia de una planta hospedante. Ni la planta ni la bacteria tienen la capacidad de fijar nitrógeno de forma independiente.

1.4. Objetivos

1.4.1. General

Analizar el efecto de las bacterias nitrificantes en la producción del cultivo de fréjol (*Phaseolus vulgaris* L.).

1.4.2. Específicos

- Describir como actúan en el suelo las bacterias nitrificantes o fijadoras de nitrógeno.
- Establecer los beneficios agrícolas económicos por la acción de las bacterias fijadoras de nitrógeno en el cultivo de fréjol.

1.5. Fundamentación teórica

1.5.1. Describir como actúan en el suelo las bacterias nitrificantes o fijadoras de nitrógeno.

El nitrógeno constituye el componente más prevalente de la atmósfera, representando el 78 % de su composición. Resulta paradójico que, a pesar de ser el recurso más abundante, su obtención sea la más complicada. La justificación radica en que el nitrógeno presente en la atmósfera es inerte, lo que impide su utilización directa por parte de los organismos vegetales y animales (Castro 2024).

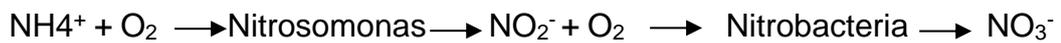
El nitrógeno en la atmósfera se encuentra constituido por moléculas de N_2 , las cuales se mantienen unidas a través de un enlace triple altamente estable y robusto. En este estado, el nitrógeno no está disponible para la asimilación por parte de las plantas y los animales. Para que el nitrógeno pueda ser utilizado, es necesario descomponer esos enlaces y combinarlo o conectarlo con otros elementos, tales como el hidrógeno o el oxígeno. Bajo estas condiciones específicas, el nitrógeno aportado al suelo es absorbido por las raíces de las plantas (Villegas 2022).

El nitrógeno se incorpora al ámbito de los organismos vivos a través de bacterias y otros procariontes unicelulares que transforman el nitrógeno atmosférico (N_2) en formas biológicamente asimilables mediante un proceso denominado fijación del nitrógeno. Ciertas especies de bacterias fijadoras de nitrógeno existen en estado de vida libre dentro del suelo o en ambientes acuáticos, mientras que otras funcionan como simbioses beneficiosas que residen dentro de las plantas hospedantes (Martínez 2021).

La atmósfera representa la principal fuente de nitrógeno en el medio ambiente, ya que está compuesta en un 78 % por este elemento en su estado gaseoso. No obstante, el nitrógeno presente en la atmósfera puede ser fijado únicamente por un conjunto específico de bacterias que convierten este gas en compuestos nitrogenados que son utilizados de manera directa por las plantas. En el sustrato edáfico, la fuente primordial de nitrógeno para las plantas es la materia orgánica, y las formas biodisponibles de nitrógeno incluyen nitrato (NO_3^-) y amonio (NH_4^+). Cabe señalar que únicamente entre el 98 y el 99 % del nitrógeno presente se encuentra en estado orgánico, formando parte del humus, lo cual dificulta su disponibilidad inmediata para las plantas. Si bien las plantas son capaces de asimilar de manera eficiente ambas formas de nitrógeno, generalmente el amonio es sometido a una rápida conversión a nitrato (Quispe 2024).

Una vez que el nitrógeno se integra en la materia orgánica, a menudo se transforma nuevamente en nitrógeno inorgánico mediante el proceso conocido como mineralización. La mineralización se define como el proceso mediante el

cual el nitrógeno orgánico presente en aminoácidos o proteínas es convertido por la actividad microbiana en amonio (NH_4^+) y posteriormente en nitrato (NO_3^-) (Mamani 2020).



En los primeros años, el nitrógeno se presenta predominantemente en una forma orgánica (inmovilizada), lo que limita su disponibilidad para el crecimiento de las plantas. La inmovilización es un proceso que ocurre debido a la acción de microorganismos que captan de manera eficiente las diversas formas de nitrógeno, tales como nitratos (NO_3^-) y amonio (NH_4^+), con el fin de descomponer los residuos de cultivos y otras sustancias orgánicas. Durante el proceso en el cual los microorganismos asimilan el nitrógeno, este se encuentra en un estado no accesible para la absorción por parte de las plantas. Esto persiste hasta que la materia orgánica se descompone, lo que provoca la muerte de los microorganismos y la posterior liberación del nitrógeno de nuevo al medio (Plasencia 2022).

Fijación biológica del nitrógeno

Los microorganismos desempeñan una función significativa en el ciclo del nitrógeno. La fijación biológica del nitrógeno se refiere al proceso mediante el cual se captura el nitrógeno atmosférico en su forma diatómica (N_2) y se convierte en amoníaco (NH_3) y amonio (NH_4^+). Este proceso posibilita que los organismos adquieran nitrógeno de manera directa de la atmósfera, y ciertas bacterias, como las del género *Rhizobium*, incorporan este nutriente en sus actividades metabólicas (Ramos 2022).

El género *Rhizobium* comprende un conjunto de bacterias capaces de fijar nitrógeno, las cuales establecen una simbiosis con las raíces de diversas plantas leguminosas, tales como el frijol, el trébol y la alfalfa. Estas bacterias penetran

en los tejidos vegetales, donde se multiplican y generan una forma de nódulos que realizan la fijación del nitrógeno. Las restantes especies de plantas dependen exclusivamente del nitrógeno disponible en el sustrato edáfico, el cual se presenta en forma de nitratos y compuestos de amonio (Guzmán y Montero 2021).

Procesos de fijación de nitrógeno

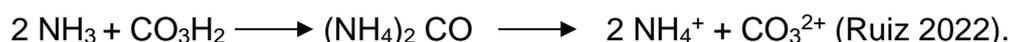
Los microorganismos fijadores de nitrógeno son capaces de capturar el nitrógeno presente en la atmósfera mediante su conversión en amoníaco (NH_3), el cual es absorbido y utilizado por las plantas en la síntesis de compuestos orgánicos. Las moléculas nitrogenadas son asimiladas por los organismos animales a través de la ingestión de plantas; una vez introducidas en el organismo, pueden ser integradas en su metabolismo o, alternativamente, pueden ser descompuestas y eliminadas como producto de desecho (Herrera 2021).

El nitrógeno orgánico presente en el suelo puede ser transformado en ion amonio mediante la actividad microbiana, a través del proceso de amonificación. Al momento de la muerte de un organismo, el nitrógeno contenido en los residuos orgánicos, tales como proteínas y ácidos nucleicos, se transforma en amoníaco (NH_3) o en ion amonio (NH_4^+) como resultado de la actividad de bacterias y hongos presentes en el suelo (Cossoli *et al.* 2022).

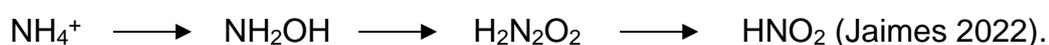
El nitrógeno no se conserva indefinidamente en los organismos vivos; al contrario, las bacterias facilitan su transformación de forma orgánica a nitrógeno en estado gaseoso (N_2). Este proceso frecuentemente conlleva múltiples etapas en los ecosistemas terrestres. Las bacterias realizan la transformación de los compuestos nitrogenados presentes en organismos muertos o en sus desechos, convirtiéndolos en amoníaco (NH_3), el cual es posteriormente oxidado a nitratos y nitritos. En conclusión, los procariotes desnitrificantes llevan a cabo la transformación de los nitratos en gas N_2 (García 2022).

Este proceso de liberación de amonio es llevado a cabo por bacterias saprofitas en condiciones aeróbicas o anaeróbicas. No obstante, una fracción del nitrógeno permanece en una forma no asimilable, convirtiéndose en un componente del detritus o del humus. Este proceso está mediado por bacterias aeróbicas, como *Bacillus subtilis*, *B. Cereus*, *B. mesentérico*, *B. Megaterium* y *Pseudomonas sp.*, junto con bacterias anaerobias como *Clostridium putrificum*, *C. tetania* y *C. esporógenos*. Asimismo, se involucran ciertos hongos, tales como *Trichoderma sp.* y *Aspergillus sp.* y *Penicillum sp* (Cuaran *et al.* 2021).

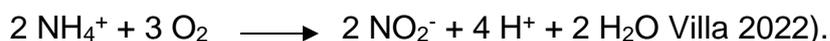
La amonificación está influenciada por factores como la temperatura, la aireación y el pH del suelo. Además, se ha observado que elevadas concentraciones de calcio y magnesio pueden afectar negativamente la absorción de amonio por las plantas. La etapa inicial en el proceso de mineralización de la materia orgánica se caracteriza por la hidrólisis enzimática, en la cual microorganismos como bacterias y hongos llevan a cabo la descomposición de la materia orgánica. Durante este proceso, una fracción del nitrógeno se transforma en amoniaco, el cual posteriormente se convierte en amonio (Ruiz 2022).



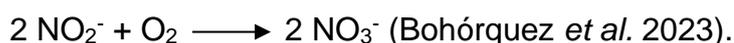
El amonio generado a partir del nitrógeno fijado por las bacterias es asimilado de manera eficiente en la síntesis de proteínas y otros compuestos nitrogenados. No obstante, el amonio no asimilado se somete a un proceso de nitrificación, el cual se define como una oxidación microbiológica del ion amonio hacia su forma nitrato. Este proceso se lleva a cabo de manera expedita en condiciones aeróbicas, es decir, en presencia de oxígeno, y se ve favorecido por temperaturas que oscilan entre los 15 y 30 °C, así como por un pH que se sitúa entre 6,5 y 7,5 (Jaimes 2022).



En condiciones de concentración elevada de amonio, este compuesto es sometido a un proceso de oxidación por parte de las bacterias nitrificantes autótrofas, pertenecientes a los géneros Nitrosomonas, Nitrococcus y Nitrospira, las cuales transforman el amonio en nitrito (NO_2^-). (Villa 2022).



Los nitritos (NO_2^-) son rápidamente oxidados a nitratos (NO_3^-) por bacterias pertenecientes a los géneros Nitrobacter y Nitrocystis, dado que los nitritos son tóxicos para las plantas. Este proceso se ilustra en la reacción que se presenta a continuación (Bohórquez *et al.* 2023).



Los nitratos son rápidamente asimilados por las raíces de las plantas y empleados como agentes fertilizantes en la biosíntesis de compuestos nitrogenados, tales como proteínas y ácidos nucleicos. En condiciones de exceso, los nitratos son percolados a través del perfil del suelo y, en situaciones anaeróbicas como la inundación, son descompuestos junto con los nitritos a nitrógeno molecular (N_2) por la acción de bacterias heterotróficas desnitrificantes, tales como *Pseudomonas* sp., *Xanthomonas* sp., *Achromobacter* sp. y otros géneros de bacterias. y *Bacillus* sp., que, durante el proceso de desnitrificación, emiten el nitrógeno adquirido hacia la atmósfera (Galindo *et al.* 2020).

La mayoría de las bacterias desnitrificantes referidas son anaerobias facultativas, las cuales desempeñan un papel fundamental en la transformación de las formas oxidadas de nitrógeno (NO_3^- y NO_2^-) en nitrógeno molecular (N_2) y, en menor proporción, en gas óxido nitroso (N_2O). Este proceso se lleva a cabo de la siguiente manera (Zuñiga 2023).



En consecuencia, los agricultores realizan el drenaje de las tierras anegadas con el fin de minimizar el proceso de desnitrificación (Zuñiga 2023).

El nitrógeno, al ser el elemento más prevalente en la atmósfera, no es asimilable directamente por las plantas. No obstante, ciertas bacterias tienen la capacidad de utilizarlo; al establecer asociaciones con las plantas, estas bacterias facilitan la disponibilidad de nitrógeno para su aprovechamiento. Se ha logrado un significativo progreso en la comprensión de este proceso, y se ha establecido que puede ser empleado no solamente para optimizar el uso de fertilizantes, sino también para fomentar un desarrollo más eficiente de los cultivos, aumentar los rendimientos y favorecer el desarrollo agrícola en suelos de calidad inferior (Alvarado y Machado 2021).

1.5.2. Establecer los beneficios agrícolas económicos por la acción de las bacterias fijadoras de nitrógeno en el cultivo de fréjol.

El frijol común (*Phaseolus vulgaris* L.), de procedencia americana, constituye el cultivo de mayor relevancia económica a nivel mundial, abarcando más del 80 % de la superficie total sembrada con este género. La región de América Latina concentra aproximadamente el 45 % de la producción mundial de este grano, lo que la convierte en el área de producción más destacada; además, es la zona con el mayor nivel de consumo del mismo. Esta leguminosa presenta un alto contenido en proteínas, fibras naturales y otros nutrientes, constituyendo un complemento adecuado a los cereales y otras fuentes primarias de carbohidratos (Polanco y Vanegas 2023).

La Fijación Biológica del Nitrógeno (FBN) ha sido ampliamente adoptada como alternativa a los fertilizantes nitrogenados en la producción de leguminosas, debido a su efectividad económica en el contexto de agroecosistemas sostenibles. La utilización de cepas autóctonas de rizobios como biofertilizantes favorece la preservación de la biodiversidad del suelo, al mitigar los efectos adversos asociados con el uso de fertilizantes minerales (García 2019).

Se ha evidenciado que *Azospirillum* promueve tanto la densidad como la longitud de los pelos radiculares, además de favorecer el crecimiento de raíces secundarias y la expansión de la superficie radicular. La magnitud de estos efectos sobre la raíz está condicionada por la especie vegetal y el cultivar utilizado, así como por la concentración de *Azospirillum* presente en el medio. En la mayoría de las situaciones, la concentración óptima se encuentra en 10^7 unidades formadoras de colonias (UFC) por semilla o plántula. Este microorganismo tiene un impacto significativo en los niveles de ácido indolacético y ácido indol-3-butírico, así como en la tasa de respiración específica y en la actividad de enzimas asociadas con el ciclo de los ácidos tricarbóxicos. Además, influye en la ruta de la glucólisis en las raíces de maíz y en otras especies vegetales (Moran 2021)

El nitrógeno (N) constituye el nutriente de mayor demanda por el cultivo del frijol, aunque su disponibilidad se presenta en concentraciones bajas en ciertas regiones. Una opción para aumentar la disponibilidad de nitrógeno es la inoculación con bacterias diazotróficas, las cuales tienen la capacidad de transformar el nitrógeno atmosférico (N_2) en amoníaco (NH_3). Asimismo, una alternativa para mitigar la degradación ambiental, promover la obtención de alimentos más saludables y aumentar el valor del producto es la implementación del cultivo de frijol en sistemas agroecológicos (Cáceres et al. 2024).

La utilización de bacterias fijadoras de nitrógeno ofrece una significativa ventaja para la agricultura, dado que el nitrógeno que estas bacterias fijan en el suelo se encuentra disponible de manera inmediata en la rizosfera, que es el lugar donde se necesita. En contraste, los fertilizantes inorgánicos aplicados al suelo pueden experimentar una pérdida de hasta el 50% debido a procesos naturales como la lixiviación y la desnitrificación. Además, la lixiviación excesiva de fertilizantes inorgánicos puede provocar la contaminación de aguas subterráneas, ríos y lagos, lo que produce daños ecológicos y puede suponer un riesgo para la salud animal y humana (Herrería 2022).

Las bacterias fijadoras de nitrógeno pertenecientes a los géneros *Azotobacter*, *Rhizobium* y *Azospirillum* han sido ampliamente utilizadas en el

ámbito agrícola como biofertilizantes. Los mecanismos a través de los cuales estas bacterias generan dichos efectos son diversos. De este modo, estas entidades tienen la capacidad de fijar el nitrógeno atmosférico y proporcionarlo a la planta; sintetizar diversas fitohormonas que facilitan la mejora en distintos estadios del crecimiento vegetal; solubilizar minerales de fósforo, haciéndolos accesibles a la planta; así como sintetizar diversos compuestos de bajo peso molecular o enzimas que participan en el crecimiento y desarrollo vegetal. Una bacteria en particular puede influir en el desarrollo de la planta a través de uno o más de estos mecanismos (García 2022).

Los biofertilizantes constituyen una alternativa sostenible, económicamente viable y ambientalmente adecuada, para disminuir la dependencia de insumos externos y optimizar tanto la cantidad como la calidad de los productos agrícolas. Esto se logra a través de la incorporación de microorganismos del suelo, seleccionados de manera adecuada, que facilitan la disponibilidad de nutrientes esenciales para el crecimiento de las plantas mediante su actividad biológica, así como la provisión de sustancias hormonales o factores promotores del crecimiento (Delgado *et al.* 2022).

La fijación biológica del nitrógeno por ciertos microorganismos en simbiosis con plantas leguminosas asegura una fuente directa de este elemento para la planta. De este modo, el nitrógeno se vuelve menos vulnerable a procesos naturales como la volatilización, la desnitrificación y el lavado. El proceso de fijación biológica del nitrógeno desempeña un papel fundamental en la nutrición y el crecimiento de las plantas, particularmente en suelos que presentan deficiencia de este nutriente (García 2019).

Considerando la relevancia económica y nutricional del frijol común, es indiscutible la necesidad de garantizar una nutrición adecuada y equilibrada de este cultivo, aprovechando los beneficios que ofrece la coinoculación de rizobios y hongos micorrízicos arbusculares (HMA). No obstante, es imprescindible continuar la investigación en estos asuntos, no solo con el objetivo de determinar las combinaciones óptimas de cepas de los diferentes microorganismos implicados, en función del tipo de suelo y las condiciones edáficas, y de llevar a

cabo nuevos aislamientos de cepas con potencial prometedor, sino también, es de suma importancia trasladar los resultados experimentales a un contexto productivo (Guerrero 2020).

Proporcionar a los productores acceso a las oportunidades y beneficios asociados con la aplicación de biofertilizantes y técnicas agrícolas sostenibles es una tarea fundamental desde las perspectivas agronómica, medioambiental, económica y social (Delgado *et al.* 2022).

En el contexto de investigaciones de laboratorio, se ha logrado aislar cepas de *Gluconacetobacter diazotrophicus* que han demostrado un impacto agrobiológico favorable en diversos cultivos de relevancia económica provenientes de una amplia gama de especies vegetales. Estas cepas son consideradas ventajosas desde un enfoque agroecológico, especialmente por su capacidad de asociarse con especies vegetales que presentan altos niveles de azúcares. Esta relación resulta en significativos beneficios, tales como la mejora en la fijación de nitrógeno por parte de las plantas, atribuible a la facultad nitrofixadora del microorganismo, así como incrementos en el rendimiento gracias a la producción de compuestos fisiológicamente activos que lo caracterizan (Tovar y Ronquillo 2024).

Por esta razón, la aplicación de fertilizantes biorracionales que incorporan microorganismos promotores del crecimiento vegetal, como la bacteria *Gluconacetobacter diazotrophicus*, se ha constituido como una alternativa altamente eficaz para abordar la problemática de la baja producción en los cultivos. Esto se debe a sus propiedades bioquímicas, que resultan prometedoras tanto para el control de plagas como para la estimulación del crecimiento vegetal (Tovar y Ronquillo 2024).

La utilización de bioproductos como sustitutos de los fertilizantes químicos convencionales facilita la implementación de prácticas agrícolas sostenibles, ya que contribuye a la mitigación de impactos económicos y ambientales adversos al aumentar la productividad de los cultivos, en particular de leguminosas y hortalizas. Los biofertilizantes ofrecen a los agricultores la posibilidad de utilizar

un producto biológico en sus cultivos, facilitando la fijación del nitrógeno en cercanía al sitio de asimilación. Las alternativas biológicas presentan un tiempo de acción más prolongado en comparación con los fertilizantes químicos, sin embargo, ofrecen resultados altamente satisfactorios a largo plazo (Viera *et al.* 2020).

El desarrollo de métodos alternativos de fertilización y estimulación de cultivos fomenta prácticas agrícolas sostenibles que son económicamente viables y ambientalmente beneficiosas. La utilización de estos microorganismos permite disminuir la dependencia de insumos externos, al mismo tiempo que se optimiza la calidad y cantidad de insumos internos. Esto resulta en una mayor demanda de este tipo de productos en comparación con los químicos, lo que a su vez atrae a importantes mercados internacionales. En consecuencia, esta opción produce un resultado que asegura tanto la seguridad y el bienestar de los trabajadores, como la preservación de los recursos naturales productivos, lo cual a su vez mejora los ingresos de los productores (Silva 2019).

La fertilización biológica puede ser conceptualizada no únicamente como aquella derivada de la fijación simbiótica del nitrógeno atmosférico por diversas especies bacterianas. Este concepto abarca una dimensión mucho más extensa, ya que debe considerar la aportación de toda la actividad microbiana y microbiológica del suelo en relación con la nutrición de las plantas. A través de los procesos de mineralización de la materia orgánica y de la solubilización de minerales de otros procesos, la actividad biológica en el suelo facilita el suministro de los nutrientes esenciales requeridos para el desarrollo de las plantas (Beltrán y Bernal 2022).

Cualquier acción o intervención implementada en el agroecosistema que potencie, favorezca o facilite la actividad biológica en el suelo resultará en una mejora en la nutrición de las plantas. La fijación biológica del nitrógeno (FBN) se reconoce como una de las estrategias más efectivas para la recuperación de nitrógeno en los ecosistemas. Se ha estimado que se fijan anualmente aproximadamente 175 millones de toneladas de nitrógeno de forma biológica. De esta cantidad, se calcula que el 70 % se incorpora al suelo, y de este último,

una proporción del 50 % tiene su origen en asociaciones nodulares generadas por organismos como el *Rhizobium* (Álvarez y Prieto 2023).

La Fijación Biológica del Nitrógeno (FBN) representa una ventaja significativa para las leguminosas, ya que les permite asimilar nitrógeno atmosférico mediante su simbiosis con bacterias del género *Rhizobium*. Esta metodología representa una estrategia para disminuir la cantidad de nitrógeno (N) derivado de fertilizantes al aumentar la proporción de nitrógeno molecular (N₂) fijado a través de la acción de *Rhizobium*. Por consiguiente, se garantiza el óptimo aprovechamiento de la asociación a través de la introducción de una bacteria que posea características de competitividad y eficacia en la fijación de N₂ en las raíces de la leguminosa (Álvarez 2022).

En los suelos agrícolas, la simbiosis entre *Rhizobium* y leguminosas representa la fuente más significativa de nitrógeno. Se ha documentado que las leguminosas que presentan nódulos, en función de ciertas condiciones ambientales, especialmente en suelos carentes de este elemento, tienen la capacidad de fijar hasta 100 kg de N₂ por hectárea al año. Este mecanismo proporciona el nitrógeno necesario para satisfacer las principales demandas nutricionales de la planta. Los experimentos realizados con *Rhizobium leguminosarum* en frijol común, haba, lenteja y soja demostraron una mejora significativa en la nodulación, el peso seco de las legumbres, el contenido de nitrógeno y el rendimiento general, lo que en última instancia resultó en mejores retornos económicos para los productores (Rodríguez 2022).

El microorganismo *Rhizobium* se clasifica como un bacilo corto, a veces pleomórfico, que presenta características de Gram negativo. Este organismo es aerobio, carece de capacidad para formar esporas y se caracteriza por su movilidad, la cual se facilita mediante flagelos peritricos o un único flagelo lateral. Este organismo pertenece a la familia Rhizobiaceae y se clasifica como un género heterótrofo que se encuentra comúnmente en el suelo. Su temperatura óptima de crecimiento en condiciones controladas es de 25°C, y presenta una tolerancia al pH que varía entre 5 y 8. La fundamentación de su clasificación radica en su habilidad para establecer nódulos en asociación con

ciertas leguminosas. El nódulo representa una hipertrofia de la raíz, constituyendo un órgano especializado encargado de llevar a cabo la fijación del nitrógeno atmosférico (N₂) (Zamora 2023).

A pesar de que *Rhizobium* es un microorganismo prevalente en los suelos agrícolas, su población a menudo resulta insuficiente para establecer una relación simbiótica beneficiosa con las leguminosas. En casos donde las cepas nativas de rizobios no son capaces de fijar cantidades adecuadas de N₂ para las leguminosas, se torna necesario inocular las semillas durante la siembra con el fin de garantizar la fijación biológica de N₂. Por consiguiente, la utilización de inoculantes a base de *Rhizobium* contribuye a disminuir la aplicación de fertilizantes químicos en el suelo, lo que resulta en un aumento del contenido de nitrógeno en los cultivos, así como en su peso seco, y permite mantener el rendimiento en las leguminosas. Esta práctica, al reducir los costos de producción y la contaminación de los recursos hídricos y del suelo, se torna esencial para promover una agricultura sostenible (Garra et al. 2019).

La incorporación de la bacteria *Rhizobium* spp. en estudios sobre la capacidad de fijación de nitrógeno en suelos y en la mejora de la producción de biomasa en cultivos agrícolas ha facilitado el inicio de una fase de mayor productividad, tanto desde una perspectiva económica como ambiental. Este avance se debe a la interacción simbiótica entre las leguminosas y este género de bacterias, que es reconocido como uno de los rizobios más competitivos en los ámbitos de la biorremediación y la fitorremediación (Arzola 2018).

La adopción de *Rizhobium* spp. En el contexto de los suelos, no sólo se observa una reducción en los costos económicos, sino que, gracias a la caracterización fenotípica de esta bacteria, se ha demostrado su capacidad de adaptación a diversas condiciones ambientales y situaciones de estrés en el suelo. Esto facilita un mejor establecimiento de las leguminosas, lo que a su vez incrementa la producción alimentaria y disminuye la dependencia de fertilizantes nitrogenados, contribuyendo así a la reducción de los costos de producción (Díaz 2022).

1.6. Hipótesis

Ho= No es importante el efecto de las bacterias nitrificantes en la producción del cultivo de fréjol (*Phaseolus vulgaris* L.)

Ha= Es importante el efecto de las bacterias nitrificantes en la producción del cultivo de fréjol (*Phaseolus vulgaris* L.).

1.7. Metodología de la investigación

Para crear el documento se recopiló información de revistas, bibliotecas virtuales y los últimos artículos científicos que contribuyeron al desarrollo de este documento y sirven como componente práctico del pregrado.

La información obtenida fue interpretada, resumida y analizada para producir información relevante sobre el tema en cuestión.

Método: investigación bibliográfica.

Técnicas: recopilación de información.

CAPÍTULO II

RESULTADOS DE LA INVESTIGACIÓN

2.1. Desarrollo del caso

El presente documento presenta un análisis detallado de los efectos de las bacterias nitrificantes en la producción del cultivo de fréjol (*Phaseolus vulgaris*, L.).

En la mayoría de los suelos, la actividad de las bacterias nitrificantes permite que los cultivos asimilen predominantemente el nitrato (N-NO₃⁻). En determinadas condiciones edáficas particulares, como las que se presentan en ambientes anaeróbicos, las plantas tienen la capacidad de absorber una cantidad relativamente mayor de NH₄ en comparación con NO₃⁻.

2.2. Situaciones detectadas (hallazgo)

En ausencia de bacterias, el ciclo del nitrógeno no podría llevarse a cabo de manera completa, dado que estas son las únicas entidades biológicas capaces de fijar el nitrógeno atmosférico y convertirlo en formas accesibles para otros organismos, actuando en dos etapas del ciclo: la fijación del nitrógeno atmosférico y la nitrificación de los iones amonio a iones nitrato, que posteriormente son asimilados por las plantas.

Considerando que la fijación biológica de nitrógeno en el cultivo de frijol es inferior en comparación con otras leguminosas, se sugiere la aplicación de nitrógeno a una dosis de 50 kg/ha, a ser realizada posterior a la siembra y antes del inicio de la floración, lo que implicaría un aumento en los costos de producción.

Las alternativas biológicas demuestran ser efectivas a largo plazo, en comparación con la fertilización química.

2.3. Soluciones planteadas

Las interacciones entre las plantas y los microorganismos del suelo generan beneficios recíprocos, lo que puede ser aprovechado para promover la conservación del medio ambiente.

Las leguminosas, como el frijol, establecen una relación simbiótica con bacterias que se desarrollan en el suelo y tienen la capacidad de fijar nitrógeno atmosférico (N_2), formando nódulos que contribuyen a la nutrición de las plantas.

Los microorganismos fijadores de nitrógeno tienen la capacidad de asimilar el nitrógeno presente en la atmósfera, transformándolo en amoníaco, sustancia que puede ser absorbida y utilizada por las plantas para la síntesis de moléculas orgánicas.

2.4. Conclusiones

Las bacterias nitrificantes llevan a cabo la transformación del amoníaco en nitratos, un proceso conocido como nitrificación, los cuales son utilizados tanto por las plantas como por las bacterias desnitrificantes. Estos procesos transforman los nitratos en nitrógeno atmosférico libre, que se reincorpora a la atmósfera a través de un fenómeno conocido como desnitrificación.

Las raíces de las plantas absorben el nitrógeno del suelo en forma de nitrato (NO_3^-) o amonio (NH_4^+). En la mayoría de los suelos, la actividad de las bacterias nitrificantes facilita la absorción predominante de nitrato ($N-NO_3^-$) por parte de los cultivos. En circunstancias particulares del suelo, como aquellas que presentan condiciones anaeróbicas, las plantas pueden asimilar una cantidad relativamente mayor de NH_4 en comparación con NO_3^- . De manera similar, este fenómeno puede ocurrir de forma inmediata tras la aplicación de fertilizantes amoniacales o durante las fases iniciales de crecimiento, cuando las temperaturas permanecen relativamente bajas, lo que limita la velocidad de nitrificación.

Las bacterias nitrógenofijadoras contribuyen biológicamente a satisfacer una porción de las demandas de nitrógeno del cultivo. Disminuye la tasa de envejecimiento de las células vegetales, prolongando de este modo su capacidad fotosintética. Todos estos beneficios contribuyen a lograr rendimientos agrícolas superiores y a optimizar la eficiencia en el uso del nitrógeno, sin causar impacto ambiental negativo.

La fijación biológica del nitrógeno realizada por bacterias diazotróficas ha permitido un aumento significativo en el rendimiento de las cosechas de fréjol, al mismo tiempo que ha disminuido la dependencia de fertilizantes nitrogenados y la emisión de gases nocivos, como el óxido nitroso (N_2O), lo que a su vez ha generado beneficios económicos.

El análisis de muestras de suelo permite identificar los niveles reales de nitrógeno presentes en el suelo, lo que contribuye a prevenir el uso desmedido de fertilizantes nitrogenados y, en consecuencia, a la disminución de los costos asociados a la fertilización.

2.5.Recomendaciones

La aplicación de biofertilizantes se propone como una estrategia para mejorar los rendimientos y beneficios económicos en la producción de fréjol.

Capacitar a los agricultores acerca de las ventajas asociadas con el uso de bacterias nitrificantes.

El empleo de biofertilizantes tiene como objetivo proporcionar a los agricultores la posibilidad de incorporar un producto biológico en el cultivo de fréjol, facilitando así la fijación de nitrógeno en proximidad al sitio de asimilación.

BIBLIOGRAFÍA

- Alvarado, Á. A. C., & Machado, I. D. L. C. E. 2021. Determinación del perfil de aminoácidos libres en órganos vegetativos de chile habanero (*Capsicum chinense Jacq.*) bajo distintas fuentes de nitrógeno y en frutos de diferente grado de desarrollo (Doctoral dissertation, Centro de Investigación Científica de Yucatán). Disponible en https://cicy.repositorioinstitucional.mx/jspui/bitstream/1003/2052/1/PCB_M_Tesis_2021_Angel_Cordova_Alvarado.pdf
- Álvarez Marqués, J. L., & Prieto Hernández, C. L. 2023. La materia orgánica del suelo y su manejo. Disponible en <https://rein.umcc.cu/handle/123456789/2966>
- Álvarez Ruíz, A. F. (2022). Fijación biológica de nitrógeno en tres variedades mejoradas de frijol común (*Phaseolus vulgaris L.*) por medio del método de dilución isotópica ^{15}N (Doctoral dissertation, Universidad Nacional Agraria). Disponible en <https://repositorio.una.edu.ni/4496/>
- Arzola, B. A. B. 2018. Efecto de la inoculación con *Rhizobium spp.* sobre la cosecha de granos del frijol *Vigna unguiculata* (Doctoral dissertation, Pontificia Universidad Católica De Puerto Rico). https://www.researchgate.net/profile/Bryan-Burgos-Arzola/publication/352969920_EFECTO_DE_LA_INOCULACION_CON_Rhizobium_spp_SOBRE_LA_COSECHA_DE_GRANOS_DEL_FRIJOL_Vigna_unguiculata/links/60e1e4a3a6fdccb745046072/EFECTO-DE-LA-INOCULACION-CON-Rhizobium-spp-SOBRE-LA-COSECHA-DE-GRANOS-DEL-FRIJOL-Vigna-unguiculata.pdf
- Beltrán-Pineda, M. E., & Bernal-Figueroa, A. A. 2022. Biofertilizantes: alternativa biotecnológica para los agroecosistemas. *Revista Mutis*, 12(1). Disponible en <https://revistas.utadeo.edu.co/index.php/mutis/article/view/Biofertilizantes-alternativa-biotecnologica-para-agroecosistemas>
- Bohórquez Romero, C. E., & Gómez Carvajal, M. I. 2023. Evaluación de especies vegetales para la recuperación de suelos afectados por incendios forestales en el bosque seco tropical en el municipio de Girardot-

- Cundinamarca. Disponible en <https://repositorio.ucundinamarca.edu.co/handle/20.500.12558/5251>
- Bohórquez, E., Gómez, M. 2023. Evaluación de especies vegetales para la recuperación de suelos afectados por incendios forestales en el bosque seco tropical en el municipio de Girardot-Cundinamarca. Disponible en <https://repositorio.ucundinamarca.edu.co/handle/20.500.12558/5251>
- Cáceres-Acosta, E. A., Aguirre-Flores, A. A., Castro-Brindis, R., Almaraz-Suárez, J. J., Colinas-León, M. T., Juárez-Hernández, M., & Montes-Colmenares, R. O. 2024. Efecto de biofertilizantes en el recuento de rizobios e indicadores morfológicos del frijol ejotero (*Phaseolus vulgaris* L.), en Ecuador. *Chilean journal of agricultural & animal sciences*, 40(1), 66-80. Disponible en https://www.scielo.cl/scielo.php?pid=S0719-38902024000100066&script=sci_arttext
- Castro-Barquero, L. 2024. Incremento de la fijación biológica de nitrógeno y el crecimiento de la soya (*Glycine max*) mediante el uso de hongos solubilizadores de fósforo. *Agronomía Costarricense*, 48(1), 93-109. Disponible en https://www.scielo.sa.cr/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0377-94242024000100093
- Cossoli, M. R., Recalde, J. M., Romero, A. M. E., Correa, A., González, D., Ferreira, M., & Iglesias, M. C. 2022. Determinación de nitrógeno en forma de amonio a partir de la actividad microbiana. Disponible en <https://repositorio.unne.edu.ar/handle/123456789/52583>
- Cuaran, L. Y. C., Marcillo, J. S. E., & Jurado, H. R. O. 2021. Cuantificación de bacterias nitrificantes en un suelo Typic melanudands en tres condiciones de uso de suelo en Pasto, Nariño, Colombia. *Ciencia y Tecnología Agropecuaria*, 22(2). Disponible en <https://revistacta.agrosavia.co/index.php/revista/article/view/1424>
- Delgado-Álvarez, A., Martín-Alonso, G. M., & Rivera-Espinosa, R. A. 2022. Beneficios de la coinoculación de Hongos Micorrizógenos Arbusculares y rizobios en el cultivo del frijol. *Cultivos Tropicales*, 43(3), 1-13. Disponible en <https://www.redalyc.org/journal/1932/193275342014/193275342014.pdf>
- Díaz, C. 2022. "Beneficios Ambientales y Económicos de *Rhizobium* spp., en

Relación Simbiótica con Especies Vegetales en Base a su Capacidad de Fijación de Nitrógeno”, Revisión Sistemática. Disponible en <https://repositorio.udes.edu.co/server/api/core/bitstreams/e7d0d679-5d99-4a88-b362-7e682c5b3b8f/content>

Fernández, Z. 2020. Determinación de la influencia de niveles de aireación en el proceso de nitrificación de lodo único para el tratamiento de aguas residuales con alto contenido de nitrógeno amoniacal. Disponible en <https://repositorio.umsa.bo/handle/123456789/35274>

Galindo, L. A. G., Rivas, A. C., Melendez, J. P., & Mayorquín, N. 2020. Alternativas microbiológicas para la remediación de suelos y aguas contaminados con fertilizantes nitrogenados. *Scientia et Technica*, 25(1), 172-183. Disponible en <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=7368100>

García Castro, J. D. 2022. *Efecto de bacterias diazótroficas y su importancia para el rendimiento de los cultivos de ciclo corto* (Bachelor's thesis, BABAHOYO: UTB, 2021). Disponible en <http://190.15.129.146/handle/49000/11408>

García Ferrer, A. 2022. Evaluación de las funcionalidades de la microbiota asociada al compostaje del alga *Rugulopteryx okamurae*. Disponible en <https://repositorio.ual.es/handle/10835/14859>

García Solano, F. 2019. Evaluación de la fertilidad, sostenibilidad del suelo y secuestro de carbono en cultivos en rotación con *Vigna unguiculata* L. y *Vicia faba* L. Disponible en <https://repositorio.upct.es/handle/10317/7386>

Garra, A. S., Pequeño, M. R., & de la Cruz Martín, S. 2019. El uso de biofertilizantes en el cultivo del frijol: una alternativa para la agricultura sostenible en Sagua la Grande. *Observatorio de la Economía Latinoamericana*, 159. Disponible en https://d1wqtxts1xzle7.cloudfront.net/78022838/gpm-libre.pdf?1641304677=&response-content-disposition=inline%3B+filename%3DEI_Uso_De_Biofertilizantes_en_El_Cultivo.pdf&Expires=1722831354&Signature=czq59lkdBiBAnfeXBbr7O9vcSgdJcoJDS3cK7aA1GLEAewhg06zU~klqkhmH4wMk-CpLLgA2FiLBojUtQi52V62W35nbb1JfB1pqfMN2pvgv2Joe50HwoipAbbmBqWRKIUS4FHdq~MRZj86wl2Ud5lvmiLLxkZSwg0ePnW9NTblsObnh

YgODyjUIK9oB6Ny1RroobOMKOGJnHxPJPetCaB983I7C~IF2b2Y6xy80
Nh8Bq~iZhvZZHPcJNUncfBU7BrBDyp9nccQGz1cgNJ~dN~MERJyWb
UIIG7LqTcntE2ZQPQFQbvnRL46NMC5VuTX8IV3kDomA9f20AYpDR~a
AQ__&Key-Pair-Id=APKAJLOHF5GGSLRBV4ZA

Guerrero Mendieta, W. D. (2020). Efecto de la fertilización nitrogenada, completa y balanceada sobre dos variedades de frijol (*Phaseolus vulgaris*) sembradas en época seca, sector el Paraíso la 14. Disponible en <https://repositorio.uteq.edu.ec/server/api/core/bitstreams/e27db67b-a883-4bc5-a030-d74e09207392/content>

Guzmán Duchén, D., & Montero Torres, J. 2021. Interacción de bacterias y plantas en la fijación del nitrógeno. *Revista de investigación e Innovación Agropecuaria y de Recursos Naturales*, 8(2), 87-101. Disponible en http://www.scielo.org.bo/scielo.php?pid=S2409-16182021000200087&script=sci_arttext

Herrera Tocte, G. M. 2021. *Evaluación de la influencia de microorganismo eficientes para acelerar el proceso de descomposición de materia orgánica. Pelileo. Tungurahua. 2020-2021* (Bachelor's thesis, Ecuador: Latacunga: Universidad Técnica de Cotopaxi (UTC)). Disponible en <https://repositorio.utc.edu.ec/handle/27000/10670>

Herrería Grijalva, D. B. 2022. *Evaluación del efecto biofertilizante de bacterias de los géneros azospirillum y azotobacter aisladas de suelos cultivados con pasto ryegrass (lolium multiflorum)* (Bachelor's thesis). Disponible en <https://repositorio.utn.edu.ec/handle/123456789/11963>

Jaimes Avilés, F. 2022. Emisión de óxido nitroso del suelo en un sistema silvopastoril debido al parche de orina de bovinos en la época de lluvias. Disponible en <http://ri.uaemex.mx/handle/20.500.11799/137190>

Mamani Fernández, J. Z. 2020. *Determinación de la influencia de niveles de aireación en el proceso de nitrificación de lodo único para el tratamiento de aguas residuales con alto contenido de nitrógeno amoniacal* (Doctoral dissertation). Disponible en <https://repositorio.umsa.bo/handle/123456789/35274>

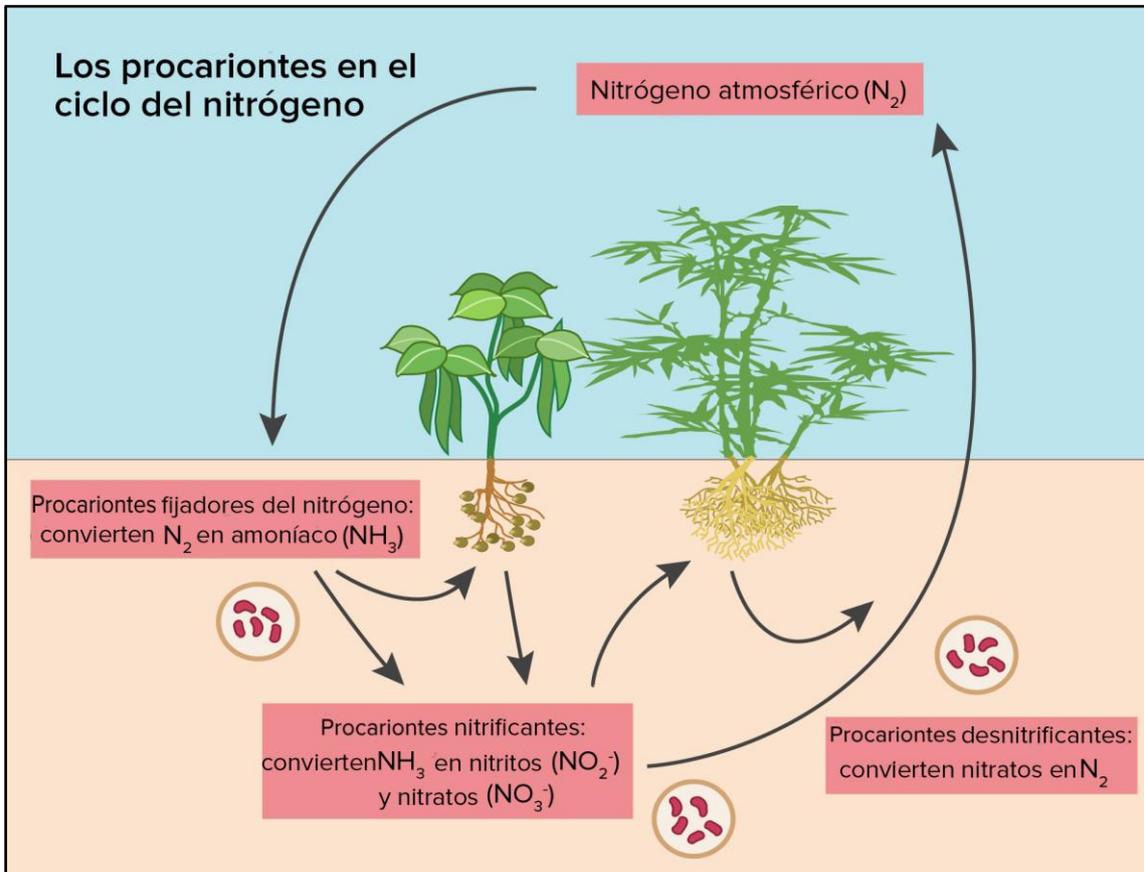
Mantuano, N. 2024. Uso de fertilizantes químicos y su efecto en la degradación de suelo agrícola en la finca Alejandro Ponce, Parroquia La América. Disponible en <https://repositorio.unesum.edu.ec/handle/53000/6188>

- Martínez Rosales, A. F. 2021. *Encapsulación de Fisherella: TB22 con polímeros biodegradables para mejorar su aplicación como biofertilizante* (Doctoral dissertation, El Autor). Disponible en <http://coralito.umar.mx:8383/jspui/handle/123456789/272>
- Moran Bolaños, N. N. 2021. *Comportamiento agronómico del cultivo de maní (Arachis hypogaea L.) con aplicación de microorganismos benéficos (Micorrizas y Rizobacterias)* (Bachelor's thesis, Jipijapa. UNESUM). Disponible en <https://repositorio.unesum.edu.ec/bitstream/53000/2932/1/TESIS%20FINAL%20-MORAN%20%20feb%2025%20del%202021-signed.pdf>
- Moreno, R., Lozano, T., Salgado, M., Reyes, M. 2021. Estandarización de condiciones para la prueba cuantitativa del NMP con bacterias nitrificantes y denitrificantes usando como matriz compost. *Universitas scientiarum*, 12(2), 69-81. Disponible en <https://revistas.javeriana.edu.co/index.php/scientarium/article/view/4867/3747>
- Muñoz, K. 2024. Aislamiento, caracterización e identificación de bacterias con capacidad fijadora de nitrógeno atmosférico asociadas con la rizosfera de *Solanum tuberosum L. Var. Superchola*. Disponible en <https://repositorio.uta.edu.ec:8443/handle/123456789/41457>
- Plasencia Medina, R. D. 2022. Velocidad de mineralización del nitrógeno de fuentes orgánicas derivadas de la producción avícola. Disponible en <http://45.231.83.156/handle/20.500.12996/5256>
- Polanco Norori, F., & Vanegas Acuña, M. 2023. *Efecto de la inoculación con rizobios y micorrizas sobre el crecimiento, rendimiento y la rentabilidad del cultivo de frijol común (Phaseolus vulgaris L.), Sabana Grande, Managua, 2021* (Doctoral dissertation, Universidad Nacional Agraria). Disponible en <https://repositorio.una.edu.ni/4642/>
- Quispe Ortiz, T. Y. 2024. Contaminación del aire por monóxido de carbono y dióxido de nitrógeno en la producción de ladrillos artesanales sector Yocara-Juliaca. Disponible en <https://repositorio.uancv.edu.pe/items/976c84cc-a74d-428a-a524-9d444358d92>
- Ramos Banchon, A. A. 2022. *Uso de leguminosas como abonos verdes en*

- suelos agrícolas degradados* (Bachelor's thesis, BABAHOYO: UTB, 2022). Disponible en <http://dspace.utb.edu.ec/handle/49000/13334>
- Rodríguez Peralta, J. C. 2022. Efecto de la inoculación de cepas de *Rhizobium* eficientes en la fijación biológica de nitrógeno sobre los parámetros de rendimiento de *Phaseolus vulgaris* “frejol comun” var. panamito bajo condiciones de campo en el sector Aucaloma. Disponible en <https://tesis.unsm.edu.pe/bitstream/11458/4967/1/Jean%20Claude%20Rodr%C3%ADguez%20Peralta%20-%20Tesis.pdf>
- Rosado, R. 2020. Evaluación de la densidad poblacional con diferente dosis de fertilizantes en la producción de fréjol (*Phaseolus vulgaris* L.). Universidad Agraria del Ecuador. Disponible en <http://181.198.35.98/Archivos/ROSADO%20ESPINOZA%20ROMMEL%20RICARDO.pdf>
- Ruiz Márquez, N. A. 2022. *Evaluación del efecto de la aplicación de biochar en suelos agrícolas basado en la migración de nutrientes* (Doctoral dissertation, Universidad Nacional de Colombia). Disponible en <https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/81468>
- Saboya, J. 2021. Incidencia de los fertilizantes del cultivo de arroz en la calidad del agua de la quebrada Shatona del Distrito de Jepelacio-2019. Disponible en <https://tesis.unsm.edu.pe/handle/11458/4215>
- Silva Manosalvas, V. E. (2019). Aislamiento e identificación de bacterias fijadoras de nitrógeno de vida libre, y evaluación de la capacidad de crecimiento en medios de cultivo a gran escala como alternativa de biofertilizante en cultivos de *rosa* sp (Bachelor's thesis, Quito: Universidad de las Américas, 2017). Disponible en <https://dspace.udla.edu.ec/bitstream/33000/8019/1/UDLA-EC-TIB-2017-32.pdf>
- Toscano, J. 2021. Estudio morfológico y agronómico de los cultivos de frejol y soya. Revista Multidisciplinaria de Desarrollo Agropecuario, Tecnológico, Empresarial Y Humanista., 3(1), 5-5. Disponible en <https://dateh.es/index.php/main/article/view/107>
- Tovar Arcos, A. X., & Ronquillo Calderón, J. E. 2024. *Evaluación del efecto de la inoculación de bacterias fijadoras de nitrógeno (gluconacetobacter diazotrophicus) en el crecimiento de plantas de arroz, cantón Yaguachi,*

- provincia Del guayas* (Master's thesis). Disponible en <https://repositorio.unemi.edu.ec/handle/123456789/7301>
- Viera-Arroyo, W. F., Tello-Torres, C. M., Martínez-Salinas, A. A., Navia-Santillán, D. F., Medina-Rivera, L. A., Delgado-Párraga, A. G., ... & Jackson, T. (2020). Control Biológico: Una herramienta para una agricultura sustentable, un punto de vista de sus beneficios en Ecuador. *Journal of the Selva Andina Biosphere*, 8(2), 128-149. Disponible en http://www.scielo.org.bo/scielo.php?pid=S2308-38592020000200006&script=sci_arttext
- Villa Criollo, J. E. 2022. Evaluación de un reactor aerobio/anóxico para la eliminación biológica de nitrógeno en lixiviados de relleno sanitario Pichacay. Disponible en <https://dspace.ucacue.edu.ec/handle/ucacue/12139>
- Villegas Salazar, D. M. 2022. *Uso del nitrógeno en pasturas asociadas con Leucaena diversifolia en un Molisol del Valle del Cauca, Colombia* (Doctoral dissertation, Universidad Nacional de Colombia). Disponible en <https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/82499>
- Zamora Prudente, O. A. 2023. *Identificación de rizobios en las leguminosas Clitoria sp. y Cajanus cajan en dos zonas productivas de la provincia de Santa Elena* (Bachelor's thesis, La Libertad: Universidad Estatal Península de Santa Elena. 2023). Disponible en <https://repositorio.upse.edu.ec/handle/46000/9750>
- Zuñiga, P. P. 2023. *Estudio de la distribución de bacterias desnitrificantes aisladas de sedimentos en la Bahía de San Quintín, Baja California* (Doctoral dissertation, Instituto de Ciencias del mar y Limnología). Disponible en <https://ru.dgb.unam.mx/bitstream/20.500.14330/TES01000849973/3/0849973.pdf>

ANEXOS



Anexo 1. Ciclo del nitrógeno