



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



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 AGROPECUARIO

TEMA:

“Poblaciones de fijadores biológicos de nitrógeno en la producción
del cultivo de soya en la zona de Los Ríos”.

AUTOR:

Ítalo Andrés Palma Ramírez.

TUTOR:

Ing. Agr. Xavier Gutiérrez Mora, MAE.

Babahoyo - Los Ríos – Ecuador

2022

RESUMEN

El presente ensayo hace de referencia sobre las poblaciones de fijadores biológicos de nitrógeno en la producción del cultivo de soya en la zona de Los Ríos. La fijación biológica del nitrógeno se realiza en los nódulos radiculares. Los nódulos son el resultado de una perfecta relación de simbiosis entre la planta y las bacterias. Las bacterias que forman parte de estos nódulos radiculares se denominan rizobios. Las conclusiones determinan que para mejorar la disponibilidad del nitrógeno, se emplean microorganismos fijadores de nitrógeno, dentro de los que se distinguen dos grupos: los microorganismos "simbióticos" que fijan nitrógeno en asociación con plantas, estos microorganismos llamados rizobios colonizan y forman nódulos en las raíces de las plantas donde el nitrógeno gaseoso se reduce a amonio; y los microorganismos de tipo "asimbióticos" (o de vida libre) que proporcionan al medio compuestos nitrogenados como amonio, aprovechados por los vegetales y la asociación simbiótica de Nitrógeno en el cultivo de soya permiten mantener la sustentabilidad de los sistemas agrícolas, beneficiando, no sólo a los rendimientos del cultivo, sino también a las condiciones físico químicas de los suelos cultivados.

Palabras claves: nitrógeno, soya, bacterias nitrificantes, rizobios.

SUMMARY

The present essay makes a reference on the populations of biological nitrogen fixers in the production of the soybean crop in the Los Ríos area. Biological nitrogen fixation takes place in the root nodules. The nodules are the result of a perfect symbiotic relationship between the plant and the bacteria. The bacteria that are part of these root nodules are called rhizobia. The conclusions determine that to improve the availability of nitrogen, nitrogen-fixing microorganisms are used, within which two groups are distinguished: "symbiotic" microorganisms that fix nitrogen in association with plants, these microorganisms called rhizobia colonize and form nodules in the plant roots where gaseous nitrogen is reduced to ammonium; and the "asymbiotic" (or free-living) type microorganisms that provide the environment with nitrogenous compounds such as ammonium, used by plants and the symbiotic association of Nitrogen in soybean cultivation allow maintaining the sustainability of agricultural systems, benefiting, not only to crop yields, but also to the physical and chemical conditions of the cultivated soils.

Keywords: nitrogen, soybean, nitrifying bacteria, rhizobia.

CONTENIDO

RESUMEN	II
SUMMARY	III
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	3
1.4. Objetivos	4
1.5. Fundamentación teórica	5
1.6. Hipótesis	14
1.7. Metodología de la investigación	14
CAPÍTULO II	16
RESULTADOS DE LA INVESTIGACIÓN	16
2.1. Desarrollo del caso	16
2.2. Situaciones detectadas (hallazgo)	16
2.3. Soluciones planteadas	17
2.4. Conclusiones	17
2.5. Recomendaciones	18
BIBLIOGRAFÍA	19

INTRODUCCIÓN

La soya (*Glycine max* L.), es una leguminosa de origen chino considerada estratégica, por su alto contenido de proteínas (38 a 42%) y de aceite (18 a 22%). El grano y sus subproductos se utilizan en la alimentación humana y del ganado. Las leguminosas participan junto a las rizobacterias, en la fijación biológica del nitrógeno (FBN) de la atmósfera. Esto beneficia no solo a ellas, sino también a los cultivos intercalados o posteriores, reduciendo la necesidad de aplicar fertilizantes nitrogenados (Valenzuela *et al.* 2021).

La soya es una oleaginosa de demanda mundial cuyo potencial no está siendo considerado en Ecuador. El rendimiento a nivel nacional se determinó en 2.04 tm/ha. La provincia de mayor rendimiento fue Los Ríos con una producción de 2.16 toneladas por hectárea. Los cantones que se destacaron con un rendimiento superior a la media nacional fueron Baba y Vinces en Los Ríos y Urbina Jado en Guayas. En contraste, los cantones de menor rendimiento fueron Ventanas y Pueblo Viejo en Los Ríos y Milagro en Guayas (Vergara *et al.* 2022).

El ciclo del N comprende a diversos procesos llevados a cabo principalmente por microorganismos del suelo y que permiten interconvertir distintas formas de compuestos nitrogenados, contribuyendo a mantener niveles de nutrientes asimilables para las plantas. Ningún otro elemento esencial para la vida toma tantas formas químicas en suelo como el nitrógeno. La dinámica de este elemento en la biosfera comprende la fijación biológica de nitrógeno (N₂), la mineralización, la nitrificación, la denitrificación y la oxidación anaeróbica del amonio (Calderoli 2016).

La fijación biológica del nitrógeno (BNF) es el proceso dominante por el cual el N ingresa inicialmente a los pools biológicos del suelo, resultando en la producción de amonio. Además, mediante una reacción de alta energía también se lleva a cabo la fijación abiótica del nitrógeno molecular en la

atmósfera. Comprende la electrificación y reducción fotoquímica donde el oxígeno y el nitrógeno se combinan para formar nitrato. Este es arrastrado por la lluvia a la superficie terrestre y a los cuerpos acuáticos en forma de ácido nítrico (H_2NO_3). El aporte de la fijación abiótica de N_2 a los depósitos de nitrógeno en suelos se ha estimado en 20 Kg N/ha/año comparado con los 100 a 200 Kg N/ha/año que provienen de la BNF. Esto significa que la BNF es la fuente principal de N en suelos y por lo tanto un proceso eminentemente importante para el mantenimiento de la vida en la tierra (Calderoli 2016).

Es pertinente entonces generar tecnologías basadas en el uso de microorganismos que promuevan procesos naturales como la fijación biológica de nitrógeno (FBN) ya que la mayor parte de este es fijado y directamente disponible en la naturaleza gracias a bacterias y otros microorganismos. Este proceso no sólo permite usar el nitrógeno atmosférico, sino también, revertir o mitigar la degradación del suelo (Rodríguez *et al.* 2020).

Por lo expuesto, el presente documento trató de analizar las poblaciones de fijadores biológicos de nitrógeno en la producción del cultivo de soya en la zona de Los Ríos.

CAPÍTULO I

MARCO METODOLÓGICO

1.1. Definición del tema caso de estudio

El presente documento trata sobre las poblaciones de fijadores biológicos de nitrógeno en la producción del cultivo de soya en la zona de Los Ríos.

La fijación de nitrógeno atmosférico por parte de microorganismos tiene notable importancia ambiental e industrial relacionada con el incremento de la fertilidad y productividad en los suelos, soporte de las plantas y las redes tróficas derivadas.

1.2. Planteamiento del problema

Los problemas de degradación del suelo que se presentan actualmente permiten que los fijadores biológicos de nitrógeno libre (FBNL), tengan potencial como microorganismos regeneradores de este recurso (Rodríguez *et al.* 2020).

La escasa generación de fijadores biológicos de nitrógeno, no promueve la conversión de nitrógeno atmosférico en formas utilizables por las plantas, como el Amoniaco, lo que repercute en un crecimiento deficiente de las plantas, mala morfología de las raíces, repercutiendo entre la simbiosis de plantas-microbios.

1.3. Justificación

El proceso de la FBN ocurre solamente en organismos procariontes, sin que esto quiera decir que todos los procariontes tengan la capacidad de fijar nitrógeno del aire. Además de las formas biológicas, existen otras formas de fijación del nitrógeno. El nitrógeno es una sustancia muy inerte. La poca capacidad de reacción de la molécula de nitrógeno se debe a que los dos átomos que la forman se encuentran enlazados por un triple enlace covalente que le da

una gran estabilidad. Por esa causa ni las plantas ni los animales tienen posibilidad de utilizar la molécula de dinitrógeno en su metabolismo, aunque viven sumergidos en una atmósfera que contiene casi el 80 % de N₂ (Ortega *et al.* 2014).

Dentro de las principales funciones del suelo afectadas por su degradación, se encuentra el sostenimiento de la producción de biomasa y de biodiversidad, incluyendo la preservación y desarrollo de almacén de genes. El daño de los suelos por causas antrópicas es tan antiguo como la historia de la humanidad. La extensión de la degradación de los suelos y la consiguiente afectación al bienestar de las personas y al medio físico-natural, alcanza hoy proporciones alarmantes: el 33 % del recurso suelo en el mundo se encuentra entre moderado y altamente degradado debido a la erosión, salinización, compactación, acidificación y a la contaminación química (Rodríguez *et al.* 2020).

Por lo expuesto se justifica la presente investigación sobre las poblaciones de fijadores biológicos de nitrógeno en la producción del cultivo de soya en la zona de Los Ríos.

1.4. Objetivos

General

Analizar la dinámica poblacional de fijadores biológicos de nitrógeno en la producción del cultivo de soya en la zona de Los Ríos.

Específicos

- Estudiar todo lo referente a las poblaciones de fijadores biológicos de nitrógeno.
- Verificar la influencia de los fijadores biológicos de nitrógeno en la soya.

1.5. Fundamentación teórica

La soya (*Glycine max* L. Merrill) es uno de los cultivos más rentables en nuestro país, sin embargo, en los últimos años ha estado decayendo por el escaso conocimiento que tiene el agricultor en la producción de esta oleaginosa, lo que ha provocado pérdidas en el rendimiento. Las tasas de conversión del grano de soya son: un 70% del grano se transforma en pasta de soya y un 18% en aceite; el resto de usos de la soya para elaborar carne, leche o harinas es marginal (INIAP 2018).

La soya es uno de los alimentos más concentrados y nutritivos conocidos por el hombre Gramo por gramo, contiene más proteínas, calcio y vitamina “B” que la carne y otros alimentos animales. Un kilogramo de harina de soya proporciona las proteínas equivalentes a 2.300 kilos de carne de res sin hueso, a 14 litros de leche, a 72 huevos ó dos kilos de queso. Además de su valor proteínico de frijol de soya contiene vitaminas “A”, “B”, “B2”, “E”, “K”, hierro, fósforo y potasio (Naturemet 2019).

En el Ecuador en el año 2020, se cosecharon 19.682 hectáreas, con una producción de 27.238 toneladas. En la provincia de Los Ríos se cosecharon 10.856 hectáreas y con una producción de 15.151 toneladas (MAG 2019).

El mayor porcentaje de la producción de soya (93%) del país se encuentra en la provincia de Los Ríos, hallándose bien diferenciados en tres zonas; al norte que comprende los cantones de Quevedo, Buena Fé, Mocache y Valencia, la zona central que corresponde a los cantones de Ventanas, Valencia y Pueblo Viejo, y al Sur que la abarca los cantones de Babahoyo y Montalvo. Ésta leguminosa, se cultiva aprovechando la humedad remanente del suelo y en rotación con arroz en las zonas bajas (Montalvo, Pueblo viejo, San Juan) y después de arroz o maíz en la cuenca alta del Guayas (Quevedo, Valencia, Buena Fé) (Vergara *et al.* 2022).

Painii *et al.*, (2018) afirma que la soya es uno de los principales cultivos

de ciclo corto de la costa ecuatoriana y constituye un importante aporte económico para el país. La producción comercial de este cultivo se inició en la década de 1970 con 1227 ha. La provincia de Los Ríos es la más productiva del país, donde destacan los cantones Vinces y Babahoyo. Aunque actualmente el área del país donde se cultiva soya es relativamente pequeña y abarca provincias como Guayas y Los Ríos, existen diferencias ambientales que podrían influenciar la producción de grano.

Aguilar-Ulloa, *et al.* (2016) divulgan que los microorganismos del suelo desempeñan un papel importante en el contexto agrícola, debido a que contribuyen al funcionamiento de los ecosistemas terrestres, ya que permiten tanto la recuperación de suelos dañados como la sustitución parcial o total de los fertilizantes minerales; además de su bajo costo de producción y la posibilidad de ser producidos a partir de recursos renovables. Para estudiar las comunidades de organismos y ecosistemas se han desarrollado diversas investigaciones.

Carvajal y Mera (2017) apuntan que la fertilización biológica de Nitrógeno es considerada como un proceso clave en la biosfera y constituyente fundamental de la agricultura sostenible. Esta permite la conversión de nitrógeno gaseoso a formas de nitrógeno mayormente disponibles (e.g. nitritos, nitratos, amonio) para el desarrollo de procesos metabólicos de las plantas.

Domínguez *et al.* (2016) refieren que el nitrógeno es el nutriente más importante para la producción vegetal debido a las cantidades requeridas por los cultivos y a la frecuencia con que se encuentra como deficitario. Los niveles de nitrógeno mineral- de los suelos bajo SD son generalmente menores que los de aquéllos laboreados, debido a que la menor temperatura y el mayor contenido de agua en la superficie del suelo, y la posición superficial de los residuos, crea un ambiente que afecta la disponibilidad de nitrógeno para los cultivos. Esto puede atribuirse a la disminución de la mineralización, y a aumentos de las pérdidas por

desnitrificación, volatilización y/o lavado, y de la inmovilización.

Cárdenas *et al.* (2017) describen que aunque el uso de fertilizantes nitrogenados ha sido uno de los principales promotores del aumento en el rendimiento en la agricultura actual, su utilización implica riesgos de contaminación ambiental, por la lixiviación del N no absorbido hacia aguas subterráneas. Además, su aplicación excesiva conlleva a la degradación de la calidad del suelo por salinidad (“ensalitramiento”) y un incremento infructuoso en los costos de producción.

La misma fuente indica que de esta manera, los fertilizantes se han convertido en una tecnología que puede propiciar grandes beneficios, cuando se utilizan de manera razonada, pero que al mismo tiempo puede causar severos daños al medio ambiente y pérdidas económicas cuando se usa de forma indiscriminada. Ante esta situación, se hace necesario contar con tecnologías aplicables a la gestión razonada del nitrógeno en los sistemas de producción agrícola, con el fin de hacerlos sustentables, aportando las cantidades mínimas necesarias para alcanzar el máximo rendimiento potencial de los cultivos (Cárdenas *et al.* 2017).

Carvajal y Mera (2017) informan que cerca del 80 % del nitrógeno fijado en el planeta se debe a la actividad del género gram-negativo de bacterias *Rhizobium*. La estrategia de captación de nitrógeno atmosférico para su reducción por la asociación *Rhizobium*-leguminosa es un proceso complejo. El *Rhizobium* induce a la leguminosa para que forme nódulos, estableciendo así cooperación metabólica, en la que las bacterias reducen el nitrógeno (N₂) a amonio (NH₄). Este último se exporta hacia el tejido vegetal para ser asimilado en proteínas y otros compuestos nitrogenados complejos.

De manera simultánea, las hojas reducen el dióxido de carbono (CO₂) en azúcares a través de la fotosíntesis y lo transportan hacia las raíces. Es precisamente allí donde los *Rhizobium* proveen ATP al proceso de inmovilización de nitrógeno diatómico -sacando provecho de tal fuente de

energía- y facilitan el desarrollo de procesos fotosintéticos y de crecimiento de plantas (Carvajal y Mera 2017).

La evaluación de los balances de N es útil para estimar la magnitud de ganancias/perdidas cuando se utilizan leguminosas en un sistema de producción, analizar la eficiencia en el uso de los fertilizantes o evaluar la sustentabilidad en el manejo del N en distintos agro-ecosistemas (Salvagiotti 2015).

Álvarez (2017) indica que el nitrógeno se encuentra en un agrosistema en varios compartimientos, principalmente la planta, los residuos vegetales, el nitrógeno mineral y la materia orgánica humificada, representando este último componente un 95-98 % del total. Existen flujos de nitrógeno entre estos componentes y también con el medio fuera del agrosistema. Estos flujos representan entradas y salidas de nitrógeno al mismo y procesos de reciclado interno.

Urzúa (2016) manifiesta que el nitrógeno (N) es un elemento esencial para las plantas, ya que forma parte de compuestos tan fundamentales como proteínas, ácidos nucleicos y clorofila, necesitándose principalmente en los tejidos vegetales en crecimiento. La ciencia ha demostrado que la vía normal de ingreso de N a las plantas proviene del suelo, y para ser absorbido, se debe encontrar mineralizado, como nitrato (NO_3) y amonio (NH_3). Sin embargo, debido a que se acumula principalmente en formas orgánicas en el suelo, se hace necesaria su transformación microbiana, conocida como mineralización de nitrógeno para dejarlo disponible para las plantas.

Reussi y Echeverría (2017) divulga que el nitrógeno (N) es el nutriente que con mayor frecuencia limita la producción vegetal, debido a las grandes cantidades requeridas por los cultivos y a la frecuencia con que se observan sus deficiencias en los suelos. Una baja disponibilidad de N produce una reducción de la eficiencia de conversión de la radiación interceptada, del índice de área foliar y de su duración lo cual afecta el

peso seco de las espigas a floración, variable altamente relacionada con el número de granos, principal componente del rendimiento. La fertilización nitrogenada es una práctica de manejo necesaria para alcanzar elevados rendimientos.

Urzúa (2016) explica que la agricultura moderna utiliza plantas con potenciales productivos cada vez mayores, demandando una elevada nutrición nitrogenada, la cual puede ser muy superior al aporte de N del suelo. Por lo tanto, en la mayoría de los cultivos es necesario suplementar con fertilizantes nitrogenados. Esto conlleva un considerable incremento en los costos de producción. Afortunadamente, existe otra vía de aporte de nitrógeno al sistema, llamada fijación biológica de nitrógeno, siendo la denominada fijación simbiótica de nitrógeno altamente deseable.

A través de esta vía es posible obtener un importante suministro de nitrógeno para determinadas especies vegetales, las que en simbiosis con bacterias fijadoras de nitrógeno, obtienen este elemento con un costo generalmente reducido (Urzúa 2016).

Sawchik (2018) expresa que el nitrógeno (N) es el nutriente más importante para la concreción de altos rendimientos en los cultivos. En los sistemas mixtos en particular, la entrada de N vía fijación simbiótica por las leguminosas es relevante, representando una fuente de suministro de N de magnitud para los cultivos posteriores.

Álvarez (2017) señala que las entradas más importantes son: la fijación biológica de nitrógeno, la fertilización y el ingreso por lluvia. Las salidas de mayor magnitud son la exportación, la volatilización, la desnitrificación y la lixiviación. Los procesos de reciclado principales son el aporte de nitrógeno como restos de la planta al componente residuos, la descomposición de residuos, la humificación, la absorción y la inmovilización.

Molina (2017.) considera que uno de los aspectos que más incide en el

rendimiento es la nutrición, principalmente cuando las plantas entran en la etapa de producción. En muchos sitios en América Latina, la fertilización de los cultivos se realiza en forma empírica, debido a que no existe información precisa que permita establecer con seguridad los requerimientos nutricionales del cultivo y las dosis óptimas de fertilizantes.

Para Monroy *et al.* (2017), los principales insumos que limitan la producción: fertilización nitrogenada y agua. El manejo deficiente de estos insumos está ligado al deterioro del recurso agua y al aumento en los costos de producción. Es de vital importancia realizar investigación enfocada a promover un uso más eficiente del N y del agua para disminuir el impacto ambiental y aumentar la productividad y sustentabilidad del sistema de producción.

Rodríguez *et al.* (2016) menciona que la técnica más ampliamente usada para la determinación cuantitativa de nitrógeno total es la de kjeldahl, la cual fue desarrollada en el siglo pasado y, debido al firme principio químico en el que se fundamenta, prácticamente no ha sido modificada. No obstante, tiene el inconveniente de requerir equipo especializado y, cuando se tiene un gran número de muestras para analizar, el gasto de reactivos es excesivo, lo que ocasiona que el costo de la determinación sea alto. Otro de los inconvenientes es el tiempo invertido desde la toma de la muestra hasta su preparación y análisis.

Salazar *et al.* (2017) define que la mineralización del nitrógeno juega un papel importante en el ciclo del nitrógeno, ya que convierte el amoníaco a su forma más oxidada de nitrato, que es un ion más fácilmente asimilado por las plantas. El amoníaco se produce naturalmente en la mineralización de la materia orgánica nitrogenada del suelo o se aplica directamente como fertilizante químico, el cual, si no es manejado de forma adecuada, puede causar problemas de contaminación de agua por nitratos, lo que finalmente afecta la calidad del agua.

Uribe-Velez *et al.* (2016) sostienen que los microorganismos contribuyen

a la disponibilidad de nitrógeno para la planta de tres maneras:

1. Atrapando el nitrógeno del aire (N_2) y dándoselo a la planta en una forma de fácil asimilación (NH_3). Estos microorganismos son llamados fijadores de nitrógeno, que pueden encontrarse en nódulos de las raíces de plantas como leguminosas o hallarse libres en el suelo asociado a la raíz de plantas como el arroz.
2. Liberando el nitrógeno de la materia orgánica, proceso llevado a cabo por los microorganismos mineralizadores de nitrógeno para hacerlo disponible a la planta (NH_4).
3. Transformando los fertilizantes como Urea en N más asimilable como amoníaco (NH_3).

Quílez (2016) señalan que el uso de nitrógeno (N) en la agricultura como fertilizante es indispensable para aumentar la producción de los cultivos, pero el aumento de N en los suelos agrícolas lleva asociado un riesgo mayor de contaminación de los ecosistemas. Las pérdidas de nitrógeno pueden afectar tanto a las aguas, como a la atmósfera, habiendo tomado éstas últimas especial relevancia en los últimos años debido al aumento de emisiones de amoníaco y gases de efecto invernadero. La programación del abonado nitrogenado necesita integrar la gestión de las deyecciones ganaderas, sobre todo en zonas con una alta densidad de explotaciones.

Tapia *et al.* (2018) divulgan que los fertilizantes de acuerdo a los nutrientes que brinden son clasificados en nitrogenados, fosfatados, potásicos y mezclas. Entre los nitrogenados están:

1. Amoníaco anhídrido (82 % N)
2. Urea (46 % N)
3. Nitrato de amonio (33,5 % N)
4. Sulfato de amonio (20,5 % N)

De acuerdo a Dobermann y Fairhurst (2016) las principales formas de N absorbido por la planta son: amonio (NH_4) y nitrato (NO_3). La mayoría del N absorbido se incorpora a los compuestos orgánicos en las raíces,

mientras que el NO_3 es más móvil en el xilema y también se almacena en las vacuolas de diferentes partes de la planta.

Rodríguez *et al.* (2017) menciona que las investigaciones demuestran que el nitrógeno (N), por ser parte de la gran cantidad de compuestos químicos de la planta, es el elemento más importante en la bioquímica de los organismos vegetales, por este motivo se lo requiere en cantidades altas, por este motivo es considerado un factor limitante en la producción de los cultivos. Dentro del grupo de alternativas que se han planteado como parte del manejo de fertilizantes nitrogenados, es la fijación biológica de nitrógeno. Esta se realiza por un grupo específico de hongos, bacterias y algas. Se sabe que estos microorganismos, poseen un complejo enzimático que se encargan de convertir al nitrógeno elemental en amonio que es directamente aprovechable por las plantas, o que es oxidado a nitratos por bacterias nitrificantes presentes en los suelos.

Fontanetto y Keller (2017) señalan que el nitrógeno (N) es el elemento que más limitante para la producción de la soja, debido a su alta demanda (80 kg/tn de grano). Los síntomas de deficiencia de N en soja se manifiestan por una disminución en el crecimiento y en la altura de las plantas y por una clorosis que se da primeramente en las hojas más viejas (las inferiores) y que luego se extiende por toda la planta. La provisión de N en la soja se da por dos mecanismos: absorción desde el suelo y fijación biológica mediante la simbiosis con microorganismos.

CANNA (2019) manifiesta que las leves formas de deficiencia de nitrógeno pueden ocurrir durante el crecimiento rápido a plena luz. Debido al aumento de la tasa de fotosíntesis y la formación de nuevas células, la demanda de nitrógeno en este momento es mayor que lo que las raíces pueden proporcionar. La deficiencia de nitrógeno es generalmente corregida cuando el crecimiento se estanca.

Intagri (2021) publica que las raíces de las plantas toman el nitrógeno del suelo en forma de nitrato (NO_3^-) o amonio (NH_4^+). En la mayoría de los

suelos la acción de bacterias nitrificantes hace que los cultivos absorban en su mayoría N-NO_3^- . En otras situaciones especiales del suelo, como condiciones anaeróbicas, las plantas pueden absorber relativamente más NH_4^+ que NO_3^- . De igual manera puede suceder inmediatamente después de una aplicación de fertilizantes amoniacales o en etapas de crecimiento temprano, cuando las temperaturas son aún bajas para que se produzca una rápida nitrificación.

El cultivo de soja requiere en promedio 80 kg de N en biomasa aérea para producir 1 tonelada de grano. Si se le suma la contribución de las raíces, los nódulos y las rizodeposiciones, este requerimiento podría alcanzar ca. 107 kg N. Este requerimiento es satisfecho a través del N proveniente del suelo y la contribución del N de la fijación biológica de nitrógeno (Salvagiotti 2015).

García (2011), señala que dentro de las *bacterias simbióticas* fijadoras de nitrógeno encontramos dos grupos de organismos. Al primer grupo pertenecen bacterias móviles del suelo, que son atraídas hacia la raíz por compuestos que ésta libera. Pertenecen al grupo de quimioorganotrofos aerobios. Se denominan Rizobios. A este grupo pertenecen *Rhizobium* (nodulan en raíces de leguminosas de climas templados y subtropicales), *Azorhizobium* (nódulos en tallos y raíces) y *Bradyrhizobium* (nodula raíces de soja).

Las bacterias fijadoras de nitrógeno de los géneros *Azotobacter*, *Rhizobium* y *Azospirillum* han sido las más empleadas en agricultura como biofertilizantes. Los mecanismos mediante los que estas bacterias ejercen estos efectos son variados. Así, pueden fijar nitrógeno atmosférico y suministrarlo a la planta; pueden sintetizar diferentes fitohormonas que actúan mejorando diferentes estadios del crecimiento vegetal; solubilizar minerales de fósforo poniéndolo a disposición de la planta, y sintetizar diversos compuestos de bajo peso molecular o enzimas que intervienen en el crecimiento y desarrollo vegetal. Una determinada bacteria puede afectar al desarrollo de la planta mediante uno o más de estos

mecanismos (IDEAGRO 2020).

Existen otros formadores de nódulos de fijación dudosa de nitrógeno como son: *Phyllobacterium* (forma nódulos en tallos y hojas de mirsináceas y rubiáceas) y *Agrobacterium*. El segundo grupo está formado por Actinomicetos (bacterias Gram positivas) que nodulan raíces de muchos árboles y arbustos. Son aquellas bacterias filamentosas que viven en simbiosis con plantas actinorricas (angiospermas capaces de formar nódulos) y son pertenecientes al género *Frankia*. No forma micelio aéreo y sus esporas son inmóviles. Nodula los géneros *Alnus*, *Myrca*, *Casuarina*, etc. Esta nodulación es de gran importancia para plantas leñosas perennes, porque aporta nitrógeno al suelo en zonas pobres o repobladas (García 2011).

Numerosas bacterias de los géneros *Azotobacter* sp, *Azospirillum* sp, *Pseudomonas* sp, *Enterobacter* sp y *Klebsiella* sp son eficientes fijadoras asimbióticas de nitrógeno contribuyendo sustancialmente a que los agricultores economicen en fertilizantes nitrogenados conservando el ambiente. Los fertilizantes químicos han sido benéficos para el sector agrícola en general, sin embargo, el abuso en la utilización de ellos genera residuos químicos de las sales que contienen produciendo la salinización, problemas en el drenaje, compactación del suelo y disminución de la actividad microbiana comprometida en el proceso de nutrición vegetal (Mantilla *et al.* 2017).

1.6. Hipótesis

Es beneficioso las poblaciones de fijadores biológicos de nitrógeno en la producción del cultivo de soya en la zona de Los Ríos.

1.7. Metodología de la investigación

Para la elaboración del documento se recopiló información de textos actualizados, revistas, bibliotecas virtuales y artículos científicos que contribuirán

al desarrollo del presente documento que sirvió como componente práctico del trabajo de titulación.

La información obtenida fue parafraseada, resumida y analizada a fin de obtener información relevante sobre las poblaciones de fijadores biológicos de nitrógeno en la producción del cultivo de soya en la zona de Los Ríos.

CAPÍTULO II

RESULTADOS DE LA INVESTIGACIÓN

2.1. Desarrollo del caso

El presente ensayo hace de referencia sobre las poblaciones de fijadores biológicos de nitrógeno en la producción del cultivo de soya en la zona de Los Ríos.

Estos organismos pertenecen al subgrupo de las proteobacterias en el que se incluyen los géneros *Allorhizobium*, *Azorhizobium*, *Bradyrhizobium*, *Mesorhizobium*, *Rhizobium* y *Sinorhizobium* y se denominan genéricamente rizobios.

La fijación biológica del nitrógeno se realiza en los nódulos radiculares. Los nódulos son el resultado de una perfecta relación de simbiosis entre la planta y las bacterias. Las bacterias que forman parte de estos nódulos radiculares se denominan rizobios.

2.2. Situaciones detectadas (hallazgo)

El nitrógeno es un elemento limitante para el crecimiento de especies vegetales, ya que su nivel de disponibilidad es bajo y ante la baja disponibilidad de nitrógeno, habrá cantidades mínimas de clorofila, por lo que las plantas de soya no podrán utilizar la luz del sol como fuente de energía para realizar funciones esenciales como la absorción de nutrientes.

La falta de fijación de nitrógeno por efecto de un estrés hídrico creciente, en situaciones en que todavía hay fotosíntesis en el cultivo de soya, produciendo carbohidratos, y por lo tanto granos en crecimiento obliga al uso de "otro N" para cubrir la demanda de esos destinos altamente proteicos, muy demandantes de este mineral.

Una de las mayores reservas de N en la planta de soya está en las hojas,

componiendo proteínas y enzimas. Lamentablemente el mayor porcentaje de proteína en la hoja es proteína fotosintética (“antena” captadora de energía para fabricar carbohidratos). Es así que, con la fijación frenada, y los granos aun creciendo, la planta empieza a degradar su propia proteína, dando como consecuencia menor flujo de carbohidratos, menos granos formados y/o granos más pequeños y menor rendimiento.

2.3. Soluciones planteadas

Aplicar bacterias fijadoras de nitrógeno para elevar el contenido de proteína.

Para que exista mayor aporte de nitrógeno al suelo, se puede acompañar de especies diferentes a las leguminosas por ejemplo gramíneas y leguminosas (asociación de cultivos).

2.4. Conclusiones

Para mejorar la disponibilidad del nitrógeno, se emplean microorganismos fijadores de nitrógeno, dentro de los que se distinguen dos grupos: los microorganismos "simbióticos" que fijan nitrógeno en asociación con plantas, estos microorganismos llamados rizobios colonizan y forman nódulos en las raíces de las plantas donde el nitrógeno gaseoso se reduce a amonio; y los microorganismos de tipo "asimbióticos" (o de vida libre) que proporcionan al medio compuestos nitrogenados como amonio, aprovechados por los vegetales.

La asociación simbiótica de Nitrógeno en el cultivo de soya permite mantener la sustentabilidad de los sistemas agrícolas, beneficiando, no sólo a los rendimientos del cultivo, sino también a las condiciones físico químicas de los suelos cultivados.

Las bacterias fijadoras de nitrógeno son *Rhizobium* (nodulan en raíces de leguminosas), *Azorhizobium* (nódulos en tallos y raíces) y *Bradyrhizobium* (nodula raíces de soja).

2.5. Recomendaciones

Aplicar bacterias fijadoras de nitrógeno *Rhizobium*, *Azorhizobium* y *Bradyrhizobium*, para elevar el contenido de proteína y a su vez aportar el contenido de nitrógeno en el cultivo de soya.

Capacitar a los agricultores sobre la importancia de las bacterias fijadoras de nitrógeno en los suelos de la provincia de Los Ríos.

BIBLIOGRAFÍA

- Aguilar-Ulloa, W; Arce-Acuña, P; Galiano-Murillo, F; Torres-Cruz, T. 2016. Aislamiento de esporas y evaluación de métodos de inoculación en la producción de micorrizas en cultivos trampa. Tecnología en Marcha. Edición Especial Biocontrol. Pág 5-14
- Álvarez, R. (2017). Balance de nitrógeno en cultivos de trigo. INTA – Estación Experimental Agropecuaria Rafaela. Información Técnica de Trigo Campaña 2016. Publicación Miscelánea N° 105
- Calderoli, P. A. (2016). Análisis de las poblaciones de microorganismos fijadores de nitrógeno del suelo aplicando procedimientos metagenómicos (Doctoral dissertation, Universidad Nacional de La Plata).
- CANNA. 2019. Nitrógeno guía deficiencia. Disponible en http://www.canna.es/info-courier_nitrogen
- Cárdenas, J., Sánchez-Yáñez, J., Farías-Rodríguez, R., Peña-Cabriales, J. (2014). Los aportes de nitrógeno en la agricultura. Revista Chapingo Serie Horticultura 10(2): 173-178.
- Carvajal, J., Mera, A. (2017). Fertilización biológica: técnicas de vanguardia para el desarrollo agrícola sostenible. Producción + Limpia. Vol.5, No.2
- Dobermann, A., Fairhurst, T. 2016. Manejo del nitrógeno en arroz. Informaciones agronomicas. Instituto de la Potasa y el Fosforo - Inpofos A. S. N° 58
- Domínguez, G., Studdert, A., Echeverría, H., Andrade, F. (2016). Sistemas de cultivo y nutrición nitrogenada en maíz. Publicado en Ciencia del Suelo 19:47-56.
- Fontanetto, H., Keller, O. 2017. Consideraciones sobre el manejo de la fertilización de la soja. Inta – Estación Experimental Agropecuaria Rafaela. Información técnica cultivos de verano. Publicación Miscelánea N° 106
- García, SC (2011). Bacterias simbióticas fijadoras de nitrógeno. Cuadernos del Tomás, (3), 173-186.
- IDEAGRO. 2020. Bacterias fijadoras de nitrógeno en agricultura, alternativa al uso de fertilización nitrogenada inorgánica. Disponible en <https://ideagro.es/bacterias-fijadoras-de-nitrogeno-en-agricultura-alternativa-al-uso-de-fertilizacion-nitrogenada-inorganica/>

- Iniap. 2018. Cultivo de Soya. Disponible en <http://tecnologia.iniap.gob.ec/index.php/explore-2/molea/rsoya>
- Intagri. 2021. Formas Químicas de Absorción del Nitrógeno. Disponible en <https://www.intagri.com/articulos/nutricion-vegetal/formas-quimicas-de-absorcion-del-nitrogeno>
- Mantilla, C. L., Anaya, M. V., & Zumaqué, L. E. O. (2017). Bacterias fijadoras asimbióticas de nitrógeno de la zona agrícola de San Carlos. Córdoba, Colombia. *Revista Colombiana de Biotecnología*, 9(2), 6-14.
- Ministerio de Agricultura. 2019. Cifras productivas. Disponible en <http://sipa.agricultura.gob.ec/index.php/cifras-agroproductivas>
- Molina, E. 2017 Nutrición y Fertilización. Centro de Investigaciones Agronómicas, Universidad de Costa Rica. Informaciones Agronómicas No. 40. Disponible en [http://www.ipni.net/publication/ia-lahp.nsf/0/D4E5F648629449B0852579A30079AC9D/\\$FILE/Nutrici%C3%B3n%20y%20fertilizaci%C3%B3n%20de%20la%20naranja.pdf](http://www.ipni.net/publication/ia-lahp.nsf/0/D4E5F648629449B0852579A30079AC9D/$FILE/Nutrici%C3%B3n%20y%20fertilizaci%C3%B3n%20de%20la%20naranja.pdf)
- Monroy, J., Vera, J., Carrera, M., Grageda, O., Peña, J. 2017. Absorción de nitrógeno (15n) y productividad del agua por el cultivo de fresa (*Fragaria x ananasa*) en "El Bajío", México *Terra Latinoamericana*, Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo, A.C. Chapingo, México. Vol. 20, núm. 1, pp. 65-69
- Naturemet. 2019. El cultivo de Soya. Boletín Técnico Nº 14, Guayaquil, Ec.
- Ortega, E., Fernández, L., Ortega-Rodés, P., Rodés, R. (2014). La fijación biológica del nitrógeno en la caña de azúcar. *Mol Biol Evol*, 21, 541-554.
- Painii-Montero, Vicente F., Camarena-Mayta, Félix, Santillán-Muñoz, Olimpa, Garcés-Fiallos, Felipe R. (2018). Interacción genotipo x ambiente de genotipos de soya en ecuador. *Revista fitotecnia mexicana*, 41(4), 433-441.
- Quílez, D., Moreno-García, B., Guillén, M. 2016. Fertilización orgánica y mineral del cultivo de arroz en Aragón. Centro de Investigación y Tecnología Agroalimentaria de Aragón (CITA).Zaragoza.
- Reussi, N., Echeverría, H. 2017. Estrategias de fertilización nitrogenada en trigo: balance hídrico para el sur bonaerense. Ciencia del suelo. Buenos Aires. *versión On-line* ISSN 1850-2067. Cienc. Suelo. v.24 n.2
- Rodríguez, J., Colina, E., Castro Arteaga, C., García, G., Uvidia, M., Santana, D.

2017. Eficiencia agronómica del arroz INIAP-17 con niveles de fertilización química y biológica en el Litoral Ecuatoriano. *Journal of science and research: revista ciencia e investigación*, E-ISSN: 2528-8083, Vol. 2, Nº. 6, PP. 10-15
- Rodríguez, M., Alcántar, G., Aguilar, A., Etchevers, J., Santizó, J. 2016. Estimación de la concentración de nitrógeno y clorofila en tomate mediante un medidor portátil de clorofila Terra Latinoamericana, Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo, A.C. Chapingo, México. Vol. 16, núm. 2, pp. 135-141
- Rodríguez, S. A., Murillo, O. G., Sánchez, J. L. (2020). Evaluación de fijadores biológicos de nitrógeno libres sobre el crecimiento de gramíneas en suelo degradado. *Revista Colombiana de Biotecnología*, 22(1), 87-97.
- Salazar-Sosa, E., Beltrán-Morales, A., Fortis-Hernández, M. Leos-Rodríguez, J., Cueto-Wong, J., Vázquez-Vázquez, C., Peña-Cabriales, J. 2017. Mineralización de nitrógeno en el suelo y producción de maíz forrajero con tres sistemas de labranza Terra Latinoamericana, Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo, A.C. Chapingo, México. Vol. 21, núm. 4, pp. 569-575
- Salvagiotti, F., Collino, D. J., Peticari, A., Piccinetti, C., Ovando, G., Urquiaga, S., & Racca, R. W. (2015). El aporte de la fijación biológica de nitrógeno en el cultivo de soja en Argentina. *Informaciones Agronómicas de Hispanoamérica*, 20, 7-11.
- Sawchik, J. 2018. Dinámica del nitrógeno en la rotación cultivo pastura bajo laboreo convencional y siembra directa. Disponible en http://www.inia.org.uy/novedades/jorge_sawchik.pdf
- Tapia, L., Hernández, A., Larios, A., Fernandez, V. 2018. Producción de arroz palay en la región del valle de Apatzingán. Primera Edición Impreso en México. Printed in México ISBN: 978-607-37-0033-7 Folleto Técnico Núm 1.
- Uribe-Velez, D., Gutierrez, I., Marentes, F., Vanegas, J. 2016. Conozcamos un componente biológico del suelo para un desarrollo sostenible del cultivo de arroz. Editorial Universidad nacional de Colombia. Primera Ed. ISBN 978-958-761-1-30-4. Bogotá, Co. Pág. 14.
- Urzúa, H. 2016. Beneficios de la Fijación Simbiótica de Nitrógeno en Chile. *Ciencia e Investigación Agraria*. Vol. 32 No2.

Valenzuela, J. S., Suárez, A. C., & Álvarez-Vera, M. (2021). Evaluación del crecimiento y nodulación de plantas de soya (*Glycine max*) inoculadas con *Rhizobium* y *Bradyrhizobium japonicum* en Manglaralto, Santa Elena (Ecuador). *Revista Científica y Tecnológica UPSE*, 8(2), 27-32.

Vergara Díaz, N. S., Orellana Intriago, F. R., Vizueta Tomalá, V. H., Mata Lopez, D. A., Bernal Paredes, D. A., San Andrés Reyes, P. R. (2022). El cultivo de soya y su importancia para el Ecuador.