



**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:

**INGENIERA AGROPECUARIA**

**TEMA:**

“Bacteria *Azospirillum* (*Azospirillum* spp.) como biofertilizante para  
el cultivo de arroz (*Oryza sativa* L.).”

**AUTORA:**

Andrea Zolanyi López Murillo.

**TUTOR:**

Ing. Agr. Oscar Mora Castro, MAE.

Babahoyo - Los Ríos – Ecuador

2023

## RESUMEN

En este documento se hace referencia a la bacteria *Azospirillum* como biofertilizante para el crecimiento del arroz (*Oryza sativa* L.). El objetivo fue evaluar el valor de la bacteria *Azospirillum* (*Azospirillum* spp.) para la biofertilización del arroz. Según los hallazgos, el género *Azospirillum* es una clase de bacterias Gram negativas que fijan nitrógeno, producen auxinas, giberelinas y citoquininas, así como sideróforos y bacteriocinas. Las bacterias *Azospirillum* inducen el crecimiento de las plantas, incluida la síntesis de hormonas como auxinas (ácido indol acético), citoquininas y ácido abscísico. Por lo tanto, es necesario elegir un portador que proporcione condiciones óptimas para que las bacterias sobrevivan durante el almacenamiento y que además sea económico a la hora de crear medios líquidos y sólidos para la producción masiva de estas bacterias. También se incluyen la solubilización de fosfatos, la fijación de nitrógeno atmosférico y la síntesis de sustancias que inhiben el crecimiento de microorganismos fitopatógenos, como sideróforos, quitinasas y antibióticos. En relación a los biofertilizantes, se ha creado un movimiento comercial, y la producción y comercialización de estos productos tienen como objetivo fortalecer un sistema de producción sustentable y el equilibrio ecológico del suelo, reduciendo total o parcialmente el uso de fertilizantes sintéticos.

Palabras claves: Bacterias, nitrógeno, gramíneas.

## SUMMARY

In this document, reference is made to the *Azospirillum* bacteria as a biofertilizer for the growth of rice (*Oryza sativa* L.). The objective was to evaluate the value of the *Azospirillum* bacteria (*Azospirillum* spp.) for rice biofertilization. According to the findings, the genus *Azospirillum* is a class of Gram-negative bacteria that fix nitrogen, produce auxins, gibberellins and cytokinins, as well as siderophores and bacteriocins. *Azospirillum* bacteria induce plant growth, including the synthesis of hormones such as auxins (indole acetic acid), cytokinins, and abscisic acid. Therefore, it is necessary to choose a carrier that provides optimal conditions for bacteria to survive during storage and is also economical in creating liquid and solid media for mass production of these bacteria. Also included are the solubilization of phosphates, the fixation of atmospheric nitrogen and the synthesis of substances that inhibit the growth of phytopathogenic microorganisms, such as siderophores, chitinases and antibiotics. In relation to biofertilizers, a commercial movement has been created, and the production and marketing of these products aims to strengthen a sustainable production system and the ecological balance of the soil, totally or partially reducing the use of synthetic fertilizers.

Keywords: Bacteria, nitrogen, grasses.

## 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
1.4.1. General .....	4
1.4.2. Específicos .....	4
1.5. Fundamentación teórica .....	5
1.5.1. Generalidades del cultivo de arroz.....	5
1.5.2. Biofertilizantes .....	6
1.5.3. Características de la bacteria <i>Azospirillum</i> spp. ....	9
1.5.4. Efectos que provoca la bacteria <i>Azospirillum</i> ( <i>Azospirillum</i> spp.) como biofertilizante. ....	14
1.5.5. Productos que contengan la bacteria <i>Azospirillum</i> spp. y sus dosis.	17
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

## INTRODUCCIÓN

La planta conocida como arroz, (*Oryza sativa* L.) es una gramínea que se originó en Asia durante la Edad Media, específicamente en el sur de China, y es consumida principalmente por personas de estratos socioeconómicos altos. Esta planta, que ha sido domesticada durante 7.000 años, puede crecer hasta una altura de 6 pies. Es miembro de la familia de la avena, alta y llena de vitaminas, minerales y carbohidratos como riboflavina, retinol, calcio, magnesio y fósforo (Mendoza *et al.* 2019).

En los hogares de todo el mundo, el arroz es uno de los alimentos básicos más antiguos y populares. Además de ser una parte esencial de la seguridad alimentaria y la sostenibilidad económica en miles de hogares rurales en numerosos países, este cereal es una importante fuente de energía. El alimento vegetal más popular en Ecuador es el arroz (Marín *et al.* 2021).

En las zonas rurales, el uso excesivo de fertilizantes químicos y pesticidas convencionales no sólo provoca la disminución de la calidad del suelo, sino que también reduce significativamente la calidad del agua del subsuelo y, en consecuencia, la cantidad de nutrientes minerales disponibles. Estos efectos negativos incluyen pérdidas financieras, mala calidad de los alimentos, contaminación ambiental, infertilidad de los suelos agrícolas e incluso la aparición de enfermedades tanto en humanos como en animales en las tierras donde se utilizan agroquímicos (Infante *et al.* 2020).

Los inoculantes a base de rizobios siempre se denominan "biofertilizantes". Esto se debe a que el avance tecnológico más significativo ha coincidido recientemente con la ampliación de las áreas cultivadas en estos productos que antiguamente se utilizaban para almacenar las semillas de leguminosas forrajeras (Mayoral *et al.* 2020).

Una alternativa a la reducción del uso de fertilizantes químicos es el uso de biofertilizantes compuestos por bacterias que fijan nitrógeno, solubilizan nutrientes, producen hormonas y estimulan las defensas contra ataques de

plagas y patógenos. El género *Azospirillum* es una de estas rizobacterias promotoras del crecimiento vegetal (PGPR), que son especies de vida libre que se encuentran en suelos de todo el mundo y son capaces de fijar nitrógeno molecular del medio ambiente, producir fitohormonas y aumentar la productividad agrícola. Aunque los biofertilizantes comerciales elaborados a partir de *Azospirillum* spp. Su uso no siempre tiene éxito, por lo que se prefiere utilizar microorganismos nativos que estén adaptados a las condiciones climáticas locales y puedan competir exitosamente con la biota local (García *et al.* 2019).

# CAPÍTULO I

## MARCO METODOLÓGICO

### 1.1. Definición del tema caso de estudio

En este contexto se utiliza la Bacteria *Azospirillum* (*Azospirillum* spp.) como biofertilizante para el crecimiento del arroz. (*Oryza sativa* L.).

*Azospirillum* es un género de bacterias que estimula el crecimiento de las plantas y está presente en suelos de todo el mundo. Al actuar para fortalecer la porción aérea y el sistema radicular, estas bacterias, cuando están presentes cerca de las raíces de las plantas, ayudan en la producción y productividad de los cultivos.

### 1.2. Planteamiento del problema

El arroz es uno de los cultivos de gran importancia económica a nivel mundial, sin embargo, su principal problema radica en su bajo rendimiento por unidad de superficie, lo que afecta la economía de los productores de arroceros.

El uso indiscriminado de fertilizantes químicos en el cultivo de arroz ha provocado la degradación del suelo y del medio ambiente, lo que a su vez eleva los costos de producción y genera pérdidas financieras para los agricultores.

Es crucial buscar alternativas que agreguen estos macroelementos al cultivo porque el arroz necesita altas cantidades de nitrógeno, fósforo y potasio para aumentar la productividad. Esto tiene un impacto en su producción.

### 1.3. Justificación

El cultivo de arroz es uno de los principales cultivos de consumo a nivel mundial, constituyendo una fuente de alimento básico para la población.

Los microorganismos, como el *Azospirillum*, pueden facilitar directa o indirectamente la disponibilidad de ciertos nutrientes como nitrógeno, fósforo y agua, además de producir sustancias llamadas fitohormonas que favorecen el crecimiento de las plantas.

Existe la necesidad de utilizar alternativas a la fertilización nitrogenada, como la fijación biológica, que se lleva a cabo por microorganismos con capacidad de convertir el nitrógeno  $N_2$  atmosférico en  $NH_4$  amónico. La producción de fertilizantes, especialmente los nitrogenados, provoca el agotamiento de la energía natural y produce grandes cantidades de  $CO_2$ . Los géneros *Azospirillum*, *Azotobacter*, *Herbaspirillum*, *Bacillus*, *Burkholderia*, *Pseudomona*, *Rhizobium* y *Gluconacetobacter* son ejemplos de bacterias fijadoras de nitrógeno asimbióticas. Estas bacterias también pueden estimular el crecimiento y el rendimiento en muchos cultivos porque producen auxinas (Lara *et al.* 2013).

Por lo anterior, este estudio se realizó para determinar la importancia de la bacteria *Azospirillum* (*Azospirillum* spp.) como biofertilizante para el crecimiento del arroz.

## **1.4. Objetivos**

### **1.4.1. General**

Analizar la importancia de la bacteria *Azospirillum* (*Azospirillum* spp.) como biofertilizante para el cultivo de arroz (*Oryza sativa* L.).

### **1.4.2. Específicos**

- Describir las características de la bacteria *Azospirillum* spp.
- Detallar los efectos que provoca la bacteria *Azospirillum* (*Azospirillum* spp.) como biofertilizante.

## **1.5. Fundamentación teórica**

### **1.5.1. Generalidades del cultivo de arroz**

El uso de fertilizantes en la agricultura representa una importante amenaza a la contaminación ambiental en el Ecuador, así como problemas de salud para la población que está expuesta a este tipo de componentes químicos. Los fertilizantes químicos se utilizan para aumentar la producción de cultivos y el rendimiento agronómico, pero cuando las plantas no los asimilan adecuadamente, contaminan los suelos y reducen la biodiversidad microbiana, lo que reduce la calidad del suelo (Sangoquiza *et al.* 2019).

En los suelos agrícolas de todo el mundo, el consumo de fertilizantes nitrogenados aumentó de 8 a 17 kg ha<sup>-1</sup> en un período de 15 años (1973-1988), y se prevé que las necesidades futuras de fertilizantes nitrogenados también aumentarán. Sin embargo, debido a la tecnología obsoleta de producción de fertilizantes, las técnicas de aplicación ineficaces, los altos costos y el daño ambiental que causan, el uso de fertilizantes nitrogenados se está volviendo más difícil (Vallejo 2019).

Uno de los cereales más producidos a nivel mundial es el arroz, junto con el maíz y el trigo. Con un consumo per cápita de 44 kg por año<sup>-1</sup>, Ecuador se destaca entre las naciones latinoamericanas y asiáticas donde su consumo es significativo y se acerca al promedio mundial de 54 kg por año. El 30,82 % de los cultivos de transición, que cubren una superficie de 261.770 hectáreas, demuestra la importancia de esta hierba para la nación (Luna *et al.* 2022).

Más de la mitad de la población mundial depende del arroz como su principal fuente diaria de calorías y proteínas, lo que lo convierte en uno de los cultivos alimentarios básicos más importantes del mundo. En el proceso de producción de este cereal se cosechan un total de 164 millones de hectáreas, o aproximadamente el 10 % de las tierras de cultivo del mundo. Los 514 millones de toneladas estimados de arroz pulido producidos a nivel mundial en promedio entre 2018 y 2023 apenas satisfacen los 512 millones de toneladas de demanda

promedio del grano. Esto, sumado al bajo nivel del comercio global, sugiere que la mayor parte de la producción es para consumo interno, dando lugar a características únicas de este producto que obligan a las naciones consumidoras a mejorar los sistemas de producción para garantizar la seguridad alimentaria de sus poblaciones (Álvarez *et al.* 2023).

La producción de arroz requiere una cantidad importante de nitrógeno; Del nitrógeno molecular total fijado anualmente, el 69,5 % se fija biológicamente y el 15% restante lo fijan los humanos para crear fertilizantes. Los combustibles fósiles deben utilizarse ampliamente para eliminar los 40 millones de toneladas de fertilizantes que se esparcen por todo el planeta cada año. El uso de estos combustibles se está volviendo cada vez más limitado debido a sus costos crecientes, así como al daño ambiental provocado por el uso generalizado de fertilizantes nitrogenados. La flora bacteriana de los suelos donde se cultiva arroz contiene los géneros *Azotobacter* spp. y *Azospirillum* spp. (Vallejo 2019).

### **1.5.2. Biofertilizantes**

Los biofertilizantes son sustancias elaboradas a partir de microorganismos que normalmente existen en pequeñas poblaciones en el suelo y que, cuando su número se incrementa artificialmente mediante la inoculación, son capaces de poner a su disposición una parte importante de los nutrientes que las plantas necesitan. Además de aportar hormonas o sustancias promotoras del crecimiento como auxinas, giberelinas, citoquininas, etileno y ácido abscísico, también ayuda al desarrollo de la planta (Sangoquiza *et al.* 2019).

Dado que los microorganismos de los biofertilizantes se utilizan para aumentar la disponibilidad de algunos nutrientes, como el P, que es escaso, fijar nitrógeno y aumentar la disponibilidad de nitrógeno en hortalizas como tomates y cebollas, no contaminan el suelo. y proporcionar la defensa fundamental contra los patógenos (Pérez *et al.* 2019).

Se trata de productos naturales a base de microorganismos beneficiosos

para el suelo como bacterias y hongos, estos biofertilizantes se encuentran disponibles comercialmente como sustratos y soluciones líquidas. El biofertilizante es un fertilizante orgánico natural que ayuda a mejorar la calidad del suelo aportando todos los nutrientes que las plantas necesitan y creando un entorno microbiológico natural (Gutiérrez 2019).

Los microorganismos eficaces pueden, a su vez, fomentar el reciclaje de nutrientes en el suelo y mejorar el acceso de las plantas a los nutrientes. Sin embargo, estos microorganismos también son capaces de destruir sustancias venenosas como los pesticidas, transformándolas en moléculas orgánicas simples que las plantas pueden absorber y formando complejos con metales pesados que impiden que las plantas absorban demasiados (Morocho *et al.* 2019)

El uso de biofertilizantes elaborados a partir de microorganismos benéficos *Rhizobium*, *Azotobacter*, micorrizas, *Azospirillum* y *Pseudomonas*, que viven agrupados o en simbiosis con las raíces de las plantas, ayudan eficientemente al proceso de nutrición de los cultivos y la mejora de la fertilidad natural del suelo. proporcionando un resultado agrobiológico positivo en los cultivos agrícolas (Sangoquiza *et al.* 2019).

Como alternativa a los fertilizantes químicos, se recomienda el uso de rizobacterias promotoras del crecimiento vegetal (PGPR), que estimulan el desarrollo de las plantas mediante mecanismos directos o indirectos. A través de mecanismos directos, los metabolitos producidos por las bacterias estimulan el crecimiento de las plantas independientemente del soporte de edáfico, teniendo en cuenta la fijación de nitrógeno, la formación de reguladores del crecimiento (auxinas, citoquininas, giberelinas, inhibición de la síntesis de etileno y aumento de la permeabilidad de las raíces) (Rubiños 2019).

Los biofertilizantes son fertilizantes elaborados con uno o más microorganismos beneficiosos (hongos, bacterias y otros) que ponen más nutrientes y agua a disposición de las plantas. Hay muchos beneficios que estos biofertilizantes pueden ofrecer, incluida la reducción de los costos de producción,

la protección del medio ambiente, la mejora de la fertilidad del suelo y el aumento de la biodiversidad (Gutiérrez 2019).

La aplicación de estos organismos tiene como objetivo favorecer el rendimiento de los cultivos, mejorando su crecimiento y desarrollo. El biofertilizante debe tener propiedades que garanticen la cantidad correcta de células viables cuando se utilice en campo. Estas propiedades incluyen la capacidad de realizar funciones como la fijación de nitrógeno, la movilización de fósforo, la mejora de nutrientes y otras (Delgado 2022).

Los microorganismos que se hallan en los biofertilizantes se pueden dividir en dos grupos. El primer grupo está formado por microorganismos con capacidad de sintetizar sustancias que originan el crecimiento de las plantas, fijan nitrógeno atmosférico, solubilizan hierro y fósforo inorgánico, incrementando la tolerancia al estrés por sequía, salinidad, metales peligrosos y un exceso de pesticidas por parte de la planta (Alarcón *et al.* 2019).

Un biofertilizante es una sustancia compuesta de ingredientes activos, como microorganismos vivos o inactivos, que pueden realizar tareas como fijar nitrógeno, movilizar fósforo, mejorar nutrientes y realizar otras tareas. Con la ayuda de estos organismos, se pretende que los cultivos funcionen mejor y crezcan y se desarrollen más rápidamente. Cuando se utiliza en el campo, el biofertilizante debe tener características que aseguren el número adecuado de células viables. Para conseguir una suelta rápida y controlada y permitir su uso con maquinaria agrícola, su manipulación debe ser sencilla para el agricultor. (Aguilar 2020).

Para sustituir parcialmente o totalmente la fertilización sintética y reducir la contaminación provocada por agroquímicos, los biofertilizantes son sustancias a base de microorganismos que se emplean para el suelo y/o planta. Los microorganismos utilizados en los biofertilizantes se dividen en dos grupos. El primer grupo está formado por microorganismos con capacidad de sintetizar sustancias que promueven el crecimiento de las plantas, fijar nitrógeno atmosférico, solubilizar fósforo y hierro inorgánicos y mejorar la tolerancia al

estrés hídrico, metales tóxicos, salinidad y uso excesivo de pesticidas por parte de la planta. El segundo grupo de microorganismos incluye aquellos que pueden disminuir o detener el daño causado por el deterioro de los micropatógenos. (Burgos y Ramos 2022).

### **1.5.3. Características de la bacteria *Azospirillum* spp.**

Las cianobacterias son organismos procarióticos que se encuentran entre las primeras clases de organismos capaces de realizar la fotosíntesis. Vienen en una amplia gama de tamaños y formas, y pueden vivir tanto en ecosistemas acuáticos como terrestres, así como en ambientes marinos y de agua dulce. Debido a sus numerosos usos en la producción de alimentos, acuicultura, tratamiento de aguas residuales, uso como fertilizantes, producción de metabolitos, vitaminas, toxinas, enzimas, productos farmacéuticos y biocombustibles, entre otras cosas, estos microorganismos han ganado atención recientemente. En consecuencia, las cianobacterias tienen actualmente una gran importancia económica (Zambrano *et al.* 2019).

La caña de azúcar, el arroz, el sorgo, el trigo y las gramíneas tropicales forrajeras son los cultivos donde más se ha investigado el proceso de fijación de nitrógeno. Los géneros de bacterias fijadoras de nitrógeno de vida libre más conocidos son *Azospirillum*, *Azotobacter*, *Beijerinckia* y *Klebsiella*. Las mayores cantidades de nitrógeno atmosférico son fijadas por las leguminosas en asociación simbiótica con bacterias del género *Rhizobium*. Estas bacterias son asociativas y de vida libre. Los hongos micorrízicos, que trabajan en asociación simbiótica con las plantas para aumentar la absorción de nutrientes minerales del suelo, particularmente fósforo, se encuentran entre los microorganismos que proporcionan fósforo a las plantas y se encuentran entre sus miembros más importantes (Alarcón *et al.* 2019).

Los Microorganismos Eficientes, también conocidos como ME (Efficient Microorganism), son productos de formulación líquida que contienen más de 80 especies diferentes de microorganismos. Algunas de estas especies son especies aeróbicas, anaeróbicas e incluso fotosintéticas, pero su principal logro

es su capacidad para convivir en comunidades microbianas e incluso completarse dentro de ellas. De las principales bacterias de vida libre que son capaces de fijar nitrógeno atmosférico encontramos los géneros: *Azotobacter* y *Azospirillum* (Morocho *et al.* 2019)

El género *Azospirillum* promueve el crecimiento de las plantas mediante la liberación de auxinas, giberelinas y citoquininas, que luego estimulan a *Azospirillum* a fijar nitrógeno. Los resultados de los estudios que utilizan *A. brasilense* diferencia de las plantas no inmunizadas, que muestran el aumento del rendimiento de granos en un 35 % en los cultivos. Las pruebas de campo en el cultivo de sorgo mostraron que la inoculación de *Azospirillum* aumentó el rendimiento en un 21 % en comparación con el control no inoculado. Se ha demostrado que el uso de rizobacterias incrementó el rendimiento en un 12 %. (Pérez *et al.* 2019).

Algunas cianobacterias producen compuestos que promueven el crecimiento y la función de las plantas al tiempo que influyen en la fisiología y la arquitectura del sistema radicular. Estos compuestos también actúan como reguladores del crecimiento, influyendo en el crecimiento y desarrollo de la porción aérea de la planta. Las cianobacterias crecen en colonias filamentosas con células vegetativas y heterocistos, estos últimos especializados en fijar nitrógeno atmosférico, en ambientes deficientes en nitrógeno (Zambrano *et al.* 2019).

Entre las PGPR, las especies de *Azospirillum* son únicas y cosmopolitas en las regiones templadas y tropicales y son conocidas principalmente por la fijación de nitrógeno y la producción de reguladores del crecimiento de las plantas. Además, en condiciones adversas, utilizan pregránulos en forma de polihidroxicanoatos, que sobreviven produciéndose y acumulándose, formando quistes o formas "C" que conducen a la agregación celular. Estas propiedades hacen de *Azospirillum* una bacteria prometedora como biofertilizante en agricultura orgánica (Rubiños 2019).

Las proteobacterias gramnegativas de vida libre del género *Azospirillum* se clasifican como miembros de la familia Azotobacteraceae. Actualmente se reconocen once especies bajo el nombre de *Azospirillum*, que fue propuesto por primera vez en 1978. Las dos primeras discutidas e investigadas extensamente son *A. lipoferum* junto con *A. brasilense*. Siguiendo la especie *A. amazonense* *A. halopferans* (Ccente 2019).

Es necesario producir y utilizar biofertilizantes para mejorar el rendimiento de los cultivos a través de bacterias promotoras del crecimiento vegetal (*Azospirillum* sp) capaces de aumentar la accesibilidad a los nutrientes y al agua presentes en el suelo (Gutiérrez 2019).

Este género está formado por bacterias gramnegativas, cocos parecidos a bacilos de vida libre que miden entre 1 y 4  $\mu\text{m}$  y fijadores de N, y se utilizan sustratos como nitrato, amonio y aminoácidos como fuentes de nitrógeno. Tiene un metabolismo completo y la capacidad de adaptarse a la unión de las raíces, por lo que tiende a colonizar extensiones celulares más allá de los pelos radiculares. Actualmente se conocen siete especies del género *Azospirillum*. Primera descripción: *A. lipoferum* y *A. brasilense* que posteriormente fueron descritas como *A. amazonense*, *A. halofraferans*, *A. irakense* y *A. largimobile* (Herrería 2022).

Beijerinckii, quien originalmente lo llamó *Spirillum lipoferum*, aisló el género *Azospirillum* en 1985. Tarrant et al. revisó su clasificación en 1978, quien propuso dos especies para el género *Azospirillum* basándose en estudios de homología de ADN: *A. lipoferum* y *A. brasilense*. Gram negativo en cultivos jóvenes y posiblemente Gram variable en cultivos más antiguos, el género *Azospirillum* incluye bacilos gruesos, rectos o ligeramente curvados que frecuentemente tienen extremos puntiagudos. La forma vibroide, el pleomorfismo y el movimiento en espiral son características útiles para identificarlo. Desarrollan un flagelo polar en un ambiente líquido o semisólido, lo que permite el distintivo movimiento de "sacacorchos"; sin embargo, algunas especies desarrollan flagelos laterales en un ambiente sólido (Rubiños 2019).

El género *Azospirillum* es el más investigado entre las bacterias que estimulan el crecimiento y saltó a la fama mundial en la década de 1970. Según algunos hallazgos, las plantas eran más productivas, podían resistir mejor las sequías y podían absorber nutrientes y agua más fácilmente. Estos resultados son el resultado de una mayor producción de sustancias promotoras del crecimiento, que cambia la morfología del sistema radicular y resulta en un aumento en la cantidad y el diámetro de las raíces secundarias, laterales y adventicias (Domingues *et al.* 2020).

Dado que ha sido posible identificar miembros de este género como organismos fijadores de N<sub>2</sub>, tienen una amplia distribución ecológica. En la literatura se clasifican como bacterias Gram negativas, a pesar de que existe una variación considerable entre las diferentes cepas de *Azospirillum brasilense* (Delgado 2022).

Además de fijar nitrógeno, *Azospirillum* también produce auxinas, que ayudan al crecimiento de las plantas. Por ejemplo, el AIA provoca la deformación y el crecimiento de los pelos de las raíces, lo que da como resultado una mayor absorción de nutrientes por parte de las plantas. El ácido indolbutírico (IBA), que está presente en plántulas de maíz inoculadas con este microorganismo, también se ha relacionado con *Azospirillum brasilense* como auxina. La producción de sideróforos, la activación del mecanismo de mineralización y solubilización, la producción de antibióticos y la inducción de la expresión del factor de resistencia inducida por las plantas son mecanismos potenciales adicionales de promoción del crecimiento (Ccente 2019).

Se les conoce como diazótrofos (bacterias que fijan nitrógeno atmosférico), endófitos facultativos porque algunas especies pueden ingresar a la raíz y colonizar los espacios intercelulares. Atraídas quimiotácticamente a las raíces por sustancias que se encuentran en los exudados de las raíces, las bacterias generalmente se adhieren a la superficie de la raíz para colonizar los espacios intercelulares e intracelulares. Estos no crean estructuras distintivas. es capaz de prosperar en condiciones microaerófilas (bajos niveles de oxígeno disuelto) (Aguilar 2020).

También tienen gránulos intracelulares de polihidroxibutirato (PHB), que pueden representar entre el 25 y el 50 % del peso seco de las células cultivadas en un medio libre de nitrógeno. Las células vibroides de *Azospirillum* cambian de morfología y adoptan formas de quistes o "formas C", lo que lleva a la agregación y la formación de bultos visibles de tamaño considerable. Son catalasa y oxidasa positivas, reducen los nitratos a nitritos e hidrolizan la urea. Además, en condiciones como el envejecimiento celular y la presencia de metales, estas células cambian a "formas C", lo que hace que se conviertan en quistes (Rubiños 2019).

*Azospirillum* se conoce como un diazótrofo endofítico facultativo para colonizar tanto el interior como la superficie de las raíces, y también tiene un metabolismo flexible de carbono y nitrógeno que aumenta su capacidad para competir por la colonización de la rizosfera. La zona de elongación y la zona del pelo radicular son donde se produce la colonización con mayor frecuencia. Cuando están presentes en la rizosfera, colonizan los espacios intercelulares dentro de las raíces, así como la capa de mucigel que rodea las raíces (colonización externa) (Domingues *et al.* 2020).

Las especies de *Azospirillum* son una flora epífita no patógena que vive en la rizosfera y la filosfera. La rizosfera de las plantas superiores contiene grandes poblaciones de algunas especies que crecen en asociación con ellas y reciben nitrógeno fijo de ellas (Ccente 2019).

El rango de temperatura ideal para el crecimiento de esta bacteria es entre 28 y 41 °C. Es altamente competitivo a la hora de colonizar la rizosfera y utiliza una variedad de fuentes de nitrógeno, incluidos amoníaco, nitrito, nitrato, nitrógeno molecular y aminoácidos, así como fuentes de carbono, como los ácidos. Para mantener su metabolismo funcionando sin problemas, consume alimentos orgánicos (malato, piruvato, succinato y fructosa) (Delgado 2022).

*Azospirillum* actúa reduciendo el nitrato ( $\text{NO}_3^-$ ) en las raíces, lo que promueve el crecimiento de las plantas porque requiere menos energía para

hacerlo que convertir el nitrato en amoníaco, que luego puede usarse para otras funciones esenciales (Domingues *et al.* 2020).

Las especies de *Azospirillum* cultivadas en medios líquidos producen varios reguladores del crecimiento de las plantas. El ácido indol-3-acético (AIA) se encuentra entre los principales. El ácido indol-3-láctico, el ácido indol-3-butírico, el indol-3-etanol y el indol-3-metanol son reguladores adicionales que se han encontrado en niveles bajos, pero biológicamente significativos. También se han descubierto giberelinas, ácido abscísico y citocinas (Rubiños 2019).

#### **1.5.4. Efectos que provoca la bacteria *Azospirillum* (*Azospirillum* spp.) como biofertilizante.**

La rizosfera de las plantas contiene microorganismos fijadores de N<sub>2</sub> (diazótrofos). Los estudios han demostrado que la mayoría de las bacterias fijadoras de N<sub>2</sub> exhiben diferentes mecanismos para promover el desarrollo de las plantas y, por lo tanto, se consideran rizobacterias promotoras del crecimiento de las plantas. Los grupos de PGPR más destacados incluyen los pertenecientes a los géneros *Azotobacter* y *Azospirillum*, que son bacterias de vida libre capaces de fijar N<sub>2</sub> atmosférico (Alcarraz *et al.* 2019).

Se ha descubierto que las bacterias fijadoras de nitrógeno se han relacionado con pastos y cereales forrajeros tropicales durante los últimos 20 años. La interacción entre la disimilación y asimilación de nitratos y la fijación de nitrógeno es una de las características más cruciales, y controlarla es necesario apoyar la fijación con fertilizantes minerales (Vallejo 2019).

La inoculación de *Azospirillum* spp. Anteriormente se informó que había aumentado la altura de las plantas. en espárragos, tomates, maíz y arroz. Varias especies de *Azospirillum* también producen ácido acético, auxinas, giberelinas y citoquininas. Entre las auxinas destaca la IAA, una auxina que promueve el crecimiento en longitud de la planta, la floración, la maduración del fruto, la senescencia y el geotropismo (Rubiños 2019).

Las especies de *Azospirillum* pueden complementar las necesidades de nutrientes del cultivo fijando nitrógeno atmosférico en los campos de arroz utilizando métodos no simbióticos a razón de 25 a 30 kg ha<sup>-1</sup> (Burgos y Ramos 2022).

La agricultura sostenible es el objetivo de utilizar rizobacterias promotoras del crecimiento vegetal como biofertilizantes, una táctica ampliamente reconocida en todo el mundo como una de las formas más seguras de controlar las plagas y fomentar el crecimiento de las plantas (Alcarraz *et al.* 2019).

La inoculación de *Azospirillum* en plantas promueve una expansión significativa del sistema radicular, induce resistencia a agentes patógenos, proporciona nutrientes como nitrógeno, previene la propagación de plantas parásitas y genera hormonas que estimulan el crecimiento de las plantas, permitiendo un crecimiento más productivo y rentable de las plantas (Gutiérrez 2019).

Durante unos 20 años, el inóculo de *Azospirillum* se ha utilizado en todo el mundo y, en la mayoría de los casos, el rendimiento del arroz ha aumentado significativamente. En comparación con los fertilizantes inorgánicos convencionales, se ha demostrado que el *Azospirillum* aumenta el rendimiento del arroz hasta en un 20 % (Burgos y Ramos 2022).

Las plantas a las que se les ha inyectado *Azospirillum* experimentan cambios significativos en una serie de parámetros de crecimiento, incluida la germinación acelerada, el aumento de la biomasa aérea, el aumento del peso seco y la tasa de respiración de las raíces y el desarrollo del sistema radicular, incluidas las raíces laterales, los pelos radiculares y aumento del diámetro de la raíz (Delgado 2022).

Debido al alto interés agrícola derivado de su capacidad para fijar nitrógeno biológico y producir fitohormonas, *Azospirillum* es el género de rizobacterias de vida libre más estudiado. El género contiene varias especies de bacterias altamente adaptables que estimulan el crecimiento de las plantas. Los

efectos positivos de estas bacterias también se deben a un aumento en la absorción de nutrientes y agua, así como a la inducción de genes que hacen que las plantas sean más resistentes al estrés. Al reducir el uso de fertilizantes y fomentar la adopción de un desarrollo sostenible y sostenible del suelo, estos mecanismos pueden resultar útiles (Pérez *et al.* 2019).

A través de una variedad de mecanismos, incluida la producción de sideróforos, quitinasas, glucanasas y antibióticos, *Azospirillum* puede afectar indirectamente a las plantas, defendiéndolas y reduciendo la aparición de hongos o patógenos del suelo. Uno de los mecanismos que puede conducir a una mayor absorción de minerales y agua es la expansión del sistema radicular. La producción de sustancias que favorezcan el crecimiento de las raíces es lo que ha provocado este aumento. La auxina, y específicamente el ácido 3-inodolacético (AIA), es la principal hormona producida (Domingues *et al.* 2020).

*Azospirillum* son bacterias fijadoras de nitrógeno atmosférico que también aumentan la capacidad del suelo para unir fósforo orgánico e inorgánico. También colonizan las raíces de las plantas y producen fitohormonas como auxinas, que ayudan a las plantas a absorber nutrientes, giberelinas, que estimulan el crecimiento de las yemas laterales y controlan el crecimiento de las plantas, y citoquininas, que controlan la germinación de las semillas (Gutiérrez 2019).

Plantas inoculadas con *A. brasiliense*, descubrieron que la producción de cadaverina aceleraba el desarrollo radicular y disminuía el estrés osmótico. La aplicación de *Azospirillum* spp. El césped debe cerrar la brecha entre sostenibilidad y productividad. El uso de inoculantes basados en este microorganismo puede reducir la necesidad de fertilizantes nitrogenados sin reducir el rendimiento de los cultivos, mejorando la economía y la rentabilidad de la industria agrícola (Domingues *et al.* 2020).

Las especies de *Azospirillum* afectan a las plantas alterando la estructura de sus raíces. La vacunación fomenta el desarrollo de raíces laterales y adventicias, pelos radicales y ramificaciones de los pelos radicales. En

general, la presencia de fitohormonas y algunas moléculas relacionadas es la que provoca este mayor desarrollo radicular. Estas plantas desarrollan una mayor capacidad de absorción de agua y minerales, lo que las hace más vivaces. (Aguilar 2020).

Para lograr rendimientos óptimos en el cultivo de arroz se requiere un manejo integral, que incluye mantener la fertilización química, así como proporcionar microorganismos que ayuden en la asimilación de nutrientes del suelo o sean del tipo fijadores de nitrógeno (Burgos y Ramos 2022).

#### 1.5.5. Productos que contengan la bacteria *Azospirillum* spp. y sus dosis.

Se recomienda aplicar el biofertilizante *Azospirillum*, según se indica en la metodología adjunta, a dosis de 2 puntos 00 l/ha-1 y con una frecuencia cada 21 días con el fin de incrementar la mayor producción del cultivo de arroz. (Delgado 2022).

Los productos a base de *Azospirillum* son los siguientes (Agrocalidad 2023):

Nombre Comercial	Composición de Producto	Dosis
Orosuelo	<i>Azospirillum brasilense</i> 1.0e+04 Ufc/MI, <i>Azotobacter chroococcum</i> 1.0e+04 Ufc/MI, <i>Lactobacillus acidophillus</i> 1.0e+04 Ufc/MI, <i>Saccharomyces cerevisiae</i> 1.0e+02 Ufc/MI	1,0 L/ha
Fertybyo	<i>Azospirillum</i> Sp. 30000 Ufc/MI, <i>Bacillus</i> Sp. 5000000 Ufc/MI, <i>Pseudomonas</i> Sp. 5000000 Ufc/MI	1,2 L/ha
Buen Suelo	<i>Azospirillum brasilense</i> 5 %, <i>Azotobacter chroococcum</i> 5 %, <i>Lactobacillus acidophillus</i> 5 %, <i>Saccharomyces cerevisiae</i> 5 %	1,0 L/ha
Digestor Sc	<i>Azospirillum brasilense</i> 5 %, <i>Azotobacter chroococcum</i> 5 %, <i>Lactobacillus acidophillus</i> 5 %, <i>Saccharomyces cerevisiae</i> 5 %	1,5 L/ha

Bacthon SC	Azospirillum Brasilense 1 X 10 <sup>5</sup> Ufc/MI, Azotobacter Chroococcum 1 X 10 <sup>5</sup> Ufc/MI, Lactobacillus Acidophilus 1 X 10 <sup>5</sup> Ufc/MI, Saccharomyces Cerevisae 1 X 10 <sup>5</sup> Ufc/MI	1,0 L/ha
------------	---	----------

### 1.6. Hipótesis

Ho= la Bacteria Azospirillum (*Azospirillum* spp.) no es un biofertilizante adecuado para la producción del cultivo de arroz (*Oryza sativa* L.).

Ha= la Bacteria Azospirillum (*Azospirillum* spp.) es un biofertilizante adecuado para la producción del cultivo de arroz (*Oryza sativa* L.).

### 1.7. Metodología de la investigación

Este documento, que corresponde al componente práctico del trabajo Complexivo para la modalidad de grado, fue elaborado recopilando información de bibliotecas virtuales, textos, revistas y artículos actualizados, presentaciones, conferencias y todo el material bibliográfico de carácter científico que contribuya al desarrollo de esta investigación documental.

La información recopilada pasó por los procesos de análisis, síntesis y resumen para discutir la bacteria Azospirillum (*Azospirillum* spp.) como biofertilizante para el cultivo de arroz (*Oryza sativa* L.).

## **CAPÍTULO II**

### **RESULTADOS DE LA INVESTIGACIÓN**

#### **2.1. Desarrollo del caso**

Sobre la bacteria *Azospirillum* (*Azospirillum* spp.), se proporcionó información pertinente en el presente documento, utilizándola como biofertilizante para el cultivo de arroz (*Oryza sativa* L.).

En suelos de todo el mundo existe un género de bacterias llamada *Azospirillum* que favorece el crecimiento de las plantas. Estas bacterias actúan fortaleciendo la porción aérea y el sistema radicular de las plantas, lo que aumenta la producción y productividad de los cultivos.

#### **2.2. Situaciones detectadas (hallazgo)**

La biofertilización basada en cepas de *Azospirillum* sp facilitó una mayor asimilación de los contenidos de N y P en el tejido vegetal. El uso de estos biofertilizantes puede ser un método sostenible para complementar o disminuir el uso de fertilizantes químicos e impulsar la productividad del arroz en Ecuador.

Mediante el uso de microorganismos benéficos que se ha demostrado que realizan tareas que mantienen el equilibrio del suelo y apoyan el crecimiento de las plantas a través de una variedad de mecanismos, incluida la solubilización de fosfatos, en los últimos años se han desarrollado alternativas para reducir el uso de fertilizantes sintéticos. junto con la fijación de nitrógeno.

Las bacterias fijadoras de nitrógeno son un componente importante del suelo. Contribuyen a su fertilidad aumentando el porcentaje de nitrógeno en

condiciones adecuadas. También producen enzimas que absorben el nitrógeno gaseoso de la atmósfera y lo combinan con él a partir de los carbohidratos. Las plantas fijan nitrógeno en la biomasa bacteriana. Cuando las bacterias utilizan el nitrógeno que necesitan para sus funciones vitales, suministran el nitrógeno restante a la planta de arroz.

### **2.3. Soluciones planteadas**

Investigar la microbiota del suelo para encontrar métodos para aumentar la productividad agrícola y reducir el uso de agroquímicos, especialmente con el uso de biofertilizantes, que son sustancias elaboradas a partir de microorganismos beneficiosos que pueden ayudar a las plantas a crecer, desarrollarse y funcionar mejor.

Se debe utilizar *Azospirillum* en el cultivo de arroz debido a su capacidad para estimular el crecimiento de las plantas y la fijación de nitrógeno durante las primeras etapas del ciclo del cultivo, particularmente cuando hay estrés moderado.

Debido a que fijan nitrógeno atmosférico (70 Kg N/ha/año) y favorecen el crecimiento de las plantas, *Azospirillum* sp. son bacterias que se pueden aplicar en diversidad de suelos, climas, complementadas con prácticas agronómicas.

### **2.4. Conclusiones**

Las conclusiones planteadas son:

- Un grupo de bacterias Gram-negativas que fijan nitrógeno, producen auxinas, giberelinas y citoquininas, así como sideróforos y bacteriocinas, forman el género *Azospirillum*.
- En relación a los biofertilizantes, se ha creado un movimiento entre la producción y comercialización, que tiene como objetivo fortalecer un sistema de producción sustentable y el equilibrio ecológico del suelo reduciendo total o parcialmente el uso de fertilizantes sintéticos.

- Es más probable que las cepas nativas de microorganismos sean efectivas en el campo cuando se usan para producir biofertilizantes porque están adaptadas a las condiciones locales del suelo.
- Las auxinas (ácido indol acético), las citoquininas y el ácido abscísico son solo algunas de las hormonas que produce la bacteria *Azospirillum* para estimular el crecimiento de las plantas. También se incluyen la solubilización de fosfatos, la fijación de nitrógeno atmosférico y la creación de sustancias como sideróforos, quitinasas y antibióticos que previenen el crecimiento de microorganismos fitopatógenos.
- En el cultivo de arroz, la aplicación de *Azospirillum* acelera la germinación, aumenta la biomasa aérea de la planta, desarrolla el sistema radical (raíces laterales, diámetro de la raíz), promueve incremento de altura de plantas, floración, maduración del grano, induce la resistencia a patógenos y proporciona nutrientes como nitrógeno, incrementando el rendimiento de arroz hasta en un 20 %.
- Para garantizar la longevidad y eficacia del producto, se deben realizar pruebas de control de calidad. El recuento de células viables, la búsqueda de contaminantes y la evaluación del potencial diazotrófico y microaerófilo son algunas de las pruebas más habituales.

## **2.5.Recomendaciones**

Por lo expuesto se recomienda:

- Determinar el impacto de las especies de *Azospirillum*. En condiciones de campo, existen diferencias en el desarrollo vegetativo y el rendimiento del arroz.
- Utilizar métodos innovadores para mejorar el rendimiento de los cultivos de arroz y reducir los efectos adversos sobre el medio ambiente, como el uso de biofertilizantes derivados de la bacteria *Azospirillum*.
- De acuerdo a las condiciones del suelo, manejo y respuesta del cultivo, el uso de biofertilizantes debe realizarse inicialmente como complemento a la fertilización sintética, con el objetivo de eventualmente sustituirla.

## BIBLIOGRAFÍA

- Agrocalidad 2023. Disponible en <https://www.agrocalidad.gob.ec/wp-content/uploads/2021/01/Matriz-de-Productos-Fertilizantes.xlsx>
- Aguilar, L. A. 2020. Producción masiva de *Azospirillum* spp., formulación, control de calidad y su uso en la agricultura: Revisión de Literatura. Disponible en <https://bdigital.zamorano.edu/server/api/core/bitstreams/b300293e-14dd-4b8d-9a08-60578e467891/content>
- Alarcón Camacho, J., Recharte Pineda, D., Yanqui Díaz, F., Moreno LLacza, S., Montes Yarasca, I., Buendía Molina, M. 2019. Elaboración de un biofertilizante a partir de microorganismos eficientes autóctonos en Perú. In *Anales Científicos* (Vol. 80, No. 2, pp. 515-522). Universidad Nacional Agraria La Molina. Disponible en <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=7546802>
- Alcarráz Curi, M., Heredia Jiménez, V., Julian Ibarra, J. 2019. Cepas bacterianas nativas con actividades promotoras del crecimiento vegetal aisladas de la rizósfera de *Coffea* spp. en Pichanaqui, Perú. *Biotecnología Vegetal*, 19(4), 285-295. Epub 01 de diciembre de 2019. Recuperado en 26 de septiembre de 2023, de [http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S2074-86472019000400285&lng=es&tlng=es](http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2074-86472019000400285&lng=es&tlng=es).
- Álvarez, R., Reyes, E., Alvarado, A., Valera, E., Linarez, Y., Ramos, N., Hernández, E., & De la Cruz, R. 2023. Caracteres morfológicos asociados a la calidad del grano de la variedad de arroz Venezuela 21. *Hatun Yachay Wasi* 2(1), 42 - 53. <https://doi.org/10.57107/hyw.v2i1.34>

- Burgos Junco, P. G., & Ramos Remache, R. A. 2022. Uso microorganismos fijadores de nitrógeno, complementario a la fertilización química del cultivo de arroz (*Oryza sativa* L.) bajo riego. Disponible en <https://repositorio.uteq.edu.ec/server/api/core/bitstreams/d5712270-b0c5-4792-be7b-e4ea28e6585c/content>
- Ccente Gaspar, R. C. 2019. Identificación de *Azospirillum* spp. Asociada a las raíces del maíz amiláceo (*Zea mays* L.) en Pomacocha-Acobamba-Huancavelica Disponible en <https://apirepositorio.unh.edu.pe/server/api/core/bitstreams/ab62d993-6f5f-49b9-a4fe-587991b366f5/content>
- Delgado Flores, D. F. 2022. *Uso de la bacteria Azospirillum (Azospirillum sp) como biofertilizante en el cultivo de arroz (Oryza sativa L.),`Las Gilces-Crucita* (Bachelor's thesis, Jijipijapa. UNESUM). Disponible en <https://repositorio.unesum.edu.ec/bitstream/53000/3427/1/Danner%20Fabi%20Delgado%20Flores.pdf>
- Domingues Duarte, C. F., Cecato, U., Trento Biserra, T., Mamédio, D., & Galbeiro, S. 2020. *Azospirillum* spp. en gramíneas y forrajeras. Revisión. *Revista mexicana de ciencias pecuarias*, 11(1), 223-240. Disponible en <https://cienciaspecuarias.inifap.gob.mx/index.php/Pecuarias/article/view/4951/4228>
- García, F., Muñoz, H., Carreño, C., Mendoza, G. 2019. Caracterización de cepas nativas de *Azospirillum* spp. y su efecto en el desarrollo de *Oryza sativa* L. "arroz" en Lambayeque. *Scientia Agropecuaria*, 1(2), 107-116. Disponible en <https://revistas.unitru.edu.pe/index.php/scientiaagrop/article/view/19/34>
- Gutiérrez Contreras, B. 2019. Biofertilización con hongos micorrízicos arbusculares y *Azospirillum* sp. en el rendimiento de maíz amiláceo (*Zea mays* L.) en Quinua a 3180 msnm-Ayacucho. Disponible en

[http://repositorio.unsch.edu.pe/bitstream/UNSCH/3554/1/TESIS%20AG1241\\_Gut.pdf](http://repositorio.unsch.edu.pe/bitstream/UNSCH/3554/1/TESIS%20AG1241_Gut.pdf)

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 <http://repositorio.utn.edu.ec/bitstream/123456789/11963/2/03%20BIO%20029%20TRABAJO%20GRADO.pdf>

Infante Jiménez, Z., Ortega Gómez, P., & Coutiño Puchuli, A. E. 2020. Las Biofábricas y su relación con el Desarrollo Sostenible en Michoacán, México. Disponible en <http://ru.iiec.unam.mx/5122/1/5-049-Infante-Ortega-Coutino.pdf>

Lara M, Cecilia, Álvarez S, Andrés, Oviedo Z, Luis Eliecer. 2013. Impacto de inoculación con la bacteria nativa *Azospirillum* sobre *Oryza sativa* L. en Córdoba-Colombia. *Biotecnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial*, 11(2), 37-45. Retrieved July 23, 2023, from [http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1692-35612013000200005&lng=en&tlng=es](http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1692-35612013000200005&lng=en&tlng=es).

Luna, F. C. G., Alvarado, P. J. A., & Gómez, J. A. M. 2022. Dimensiones adecuadas de parcela experimental para ensayos de arroz en jujan, Ecuador. *Bioagro*, 34(3), 245-252. Disponible en <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=8554068>

Marín, D.; Urioste, S.; Celi, R.; Castro, M.; Pérez, P.; Aguilar, D.; Labarta, R.; Andrade, R. 2021 *Caracterización del sector arrocero en Ecuador 2014-2019: ¿Está cambiando el manejo del cultivo?* Publicación CIAT No. 511. Cali (Colombia): Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT); Fondo Latinoamericano para Arroz de Riego (FLAR); Ministerio de Agricultura y Ganadería (MAG) de Ecuador; Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias (INIAP) de Ecuador. 58 p. Disponible en <https://cgspace.cgiar.org/handle/10568/113781>

Mayoral, M. L. I., Labandera, C., & Sanjuan, J. 2020. *Biofertilizantes en Iberoamérica: una visión técnica, científica y empresarial*. Editorial Universitaria (Cuba). Disponible en [https://books.google.es/books?hl=es&lr=&id=5ufzDwAAQBAJ&oi=fnd&pg=PP2&dq=importancia+de+los+biofertilizantes+2020&ots=sI510vR57N&sig=zKIN45WBLso\\_SnYUACVQX\\_vfzb0#v=onepage&q=importancia%20de%20los%20biofertilizantes%202020&f=false](https://books.google.es/books?hl=es&lr=&id=5ufzDwAAQBAJ&oi=fnd&pg=PP2&dq=importancia+de+los+biofertilizantes+2020&ots=sI510vR57N&sig=zKIN45WBLso_SnYUACVQX_vfzb0#v=onepage&q=importancia%20de%20los%20biofertilizantes%202020&f=false)

Mendoza Avilés, Henry Emilio, Llor Bruno, Ángela Cristina, Vilema Escudero, Segundo Fabián. 2019. Rice and its importance in rural entrepreneurs of agricultural business as a local development mechanism of samborondón. *Revista Universidad y Sociedad*, 11(1), 324-330. Epub 02 de marzo de 2019. Recuperado en 22 de julio de 2023, de [http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S2218-36202019000100324&lng=es&tlng=en](http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2218-36202019000100324&lng=es&tlng=en).

Morocho, T., Mora, Michel. 2019. Microorganismos eficientes, propiedades funcionales y aplicaciones agrícolas. *Centro Agrícola*, 46(2), 93-103. Recuperado en 26 de septiembre de 2023, de [http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0253-57852019000200093&lng=es&tlng=es](http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0253-57852019000200093&lng=es&tlng=es).

Pérez Pérez, Juana Mercedes, San Juan Rodríguez, Ana Nelis, Tortora, María Laura, Vera, Lucia, & Casas González, Mario. 2019. Caracterización serológica y molecular de la cepa 8-INICA de *Azospirillum brasilense* utilizada en la biofertilización de la caña de azúcar. *Centro Agrícola*, 46(2), 5-12. Recuperado en 26 de septiembre de 2023, de [http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0253-57852019000200005&lng=es&tlng=es](http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0253-57852019000200005&lng=es&tlng=es).

Pérez-Velasco, E. A., Mendoza-Villarreal, R., Sandoval-Rangel, A., de la Fuente, M. C., Robledo-Torres, V., & Valdez-Aguilar, L. A. 2019. Evaluación del uso de endomicorrizas y *Azospirillum* sp. en la productividad y calidad

nutracéutica de Chile morrón (*Capsicum annuum*) en invernadero. *Información Técnica Económica Agraria*, 115(1). Disponible en [https://aida-itea.org/aida-itea/files/itea/revistas/2019/115-1/\(18-30\)%20REVISTA%20ITEA%20115-1.pdf](https://aida-itea.org/aida-itea/files/itea/revistas/2019/115-1/(18-30)%20REVISTA%20ITEA%20115-1.pdf)

Rubiños Rivas, T. 2019. Efecto de dos Momentos de Inoculación de *Azospirillum* Spp. Nativas en el desarrollo vegetativo de *Zea Mays* L. en condiciones de invernadero. Disponible en <https://repositorio.unprg.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12893/7086/BC-1482%20RUBI%c3%91OS%20RIVAS.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Sangoquiza Caiza, C., Yáñez Guzman, C., Borges, M. 2019. Respuesta de la absorción de nitrógeno y fósforo de una variedad de maíz al inocular *Azospirillum* sp. y *Pseudomonas fluorescens*. *ACI Avances En Ciencias E Ingenierías*, 11(1), 8-19. Disponible en <https://revistas.usfq.edu.ec/index.php/avances/article/view/943/1401>

Vallejo, Margarita M, Bonilla C, Carmen R, & Castilla, Luis A. 2019. Evaluación de la asociación bacterias fijadoras de nitrógeno - líneas interespecíficas de arroz-nitrógeno, en Typic haplustalf. Ibagué, Colombia. *Acta Agronómica*, 57(1), 43-49. Retrieved September 26, 2023, from [http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0120-28122008000100006&lng=en&tlng=es](http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0120-28122008000100006&lng=en&tlng=es).

Zambrano Gavilanes, F., Souza Andrade, D., Zucareli, C., Sarkis Yunes, J., Amaral, H., Matias da Costa, R., Raia, D., García, M., Guimarães, M. 2019. Efecto de la inoculación con cianobacterias y coinoculación con *Azospirillum brasilense* sobre características fitométricas en maíz. *Bioagro*, 31(3), 193-202. Disponible en <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=7146780>