

Guía de uso de *Azospirillum* en la producción de maíz morado en la sierra peruana



PERÚ

Ministerio
de Desarrollo Agrario
y Riego



Instituto Nacional de Innovación Agraria





MINISTERIO DE DESARROLLO AGRARIO Y RIEGO
INSTITUTO NACIONAL DE INNOVACIÓN AGRARIA
DIRECCIÓN DE SERVICIOS ESTRATÉGICOS AGRARIOS

Guía de uso de *Azospirillum* en la producción de maíz morado en la sierra peruana



GUÍA DE USO DE *Azospirillum* EN LA PRODUCCIÓN DE MAÍZ MORADO EN LA SIERRA PERUANA

MINISTERIO DE DESARROLLO AGRARIO Y RIEGO

Ministro de Desarrollo Agrario y Riego

Angel Manuel Manero Campos

Viceministra de Políticas y Supervisión del Desarrollo Agrario

Carmen Inés Vegas Guerrero

Viceministro de Desarrollo de Agricultura Familiar e Infraestructura Agraria y Riego

Orlando Hernán Chirinos Trujillo

Presidente Ejecutivo del Instituto Nacional de Innovación Agraria

Jorge Juan Ganoza Roncal, M. Sc.

© Instituto Nacional de Innovación Agraria (INIA)

Primera edición digital:

Julio, 2025

Publicado:

Julio, 2025

Disponible en:

<https://repositorio.inia.gob.pe/>

ISBN:

978-9972-44-187-5

Editado por:

Instituto Nacional de Innovación Agraria (INIA)

Av. La Molina 1981, Lima-Perú

Teléf. (511) 240-2400

www.gob.pe/inia

Equipo Técnico de Edición y Publicaciones:

Janet Flores / Teléfono: 964173509 / Correo electrónico: comite_publicaciones@inia.gob.pe

Todos los derechos reservados.

Prohibida la reproducción de este libro por cualquier medio, total o parcialmente, sin permiso expreso

Hecho el Depósito Legal en la Biblioteca Nacional del Perú N° 2025-07926

Autores: Leivi T. Condori-Ataupilco, Cayo García-Blásquez Morote, Susan M. Alarcón-Romaní, Richard Solórzano-Acosta. / **Editor general:** Cinthia S. Quispe-Apaza / **Revisión de contenido:** Héctor A. Ramírez-Maguiña / **Diseño y diagramación:** Miguel Alvarez-Escalante

Tabla de contenido

Presentación	7
1. Introducción	9
2. Características del maíz morado	11
2.1. Propiedades y beneficios del maíz morado	12
2.2. Clasificación taxonómica	12
2.3. Variedades de maíz morado	13
2.4. Producción de maíz morado en las principales regiones del Perú	15
2.5. Descripción botánica	17
2.6. Importancia del nitrógeno en la producción de maíz	20
3. <i>Azospirillum</i> como inoculante microbiano	23
3.1. Mecanismos de promoción del crecimiento vegetal de <i>Azospirillum</i>	24
3.2. Importancia de <i>Azospirillum</i> en la agricultura	28
4. Aplicación práctica sobre el uso de <i>Azospirillum</i>	33
4.1. Preparación del terreno	33
4.2. Selección de semillas	34
4.3. Inoculantes biológicos	35
4.4. Tipos de inoculantes biológicos	36
4.5. Métodos de inoculación con <i>Azospirillum</i> spp.	38
4.6. Recomendaciones para la inoculación	43
4.7. Condiciones de almacenamiento de los inoculantes	43
4.8. Ventajas y desventajas del uso de inoculantes	44
5. Efecto de <i>A. brasilense</i> en maíz morado	47
6. Consideraciones prácticas y precauciones	51
7. Estudios de caso	53
8. Referencias bibliográficas	57



Presentación

El Instituto Nacional de Innovación Agraria (INIA) es un organismo técnico especializado adscrito al Ministerio de Desarrollo Agrario y Riego (MIDAGRI) que desarrolla actividades de investigación, transferencia tecnológica, aprovechamiento y conservación de los recursos genéticos, y producción de semillas, plántones y reproductores de alto valor genético.

El INIA, a través de la Dirección de Servicios Estratégicos Agrarios (DSEA), viene ejecutando el proyecto de inversión “Mejoramiento de los servicios de investigación y transferencia tecnológica en el manejo y recuperación de suelos agrícolas degradados y aguas para riego en la pequeña y mediana agricultura en los departamentos de Lima, Áncash, San Martín, Cajamarca, Lambayeque, Junín, Ayacucho, Arequipa, Puno y Ucayali”, con CUI N° 2487112, el cual tiene como uno de sus objetivos evaluar alternativas tecnológicas para el manejo de suelos y agua en la producción agrícola.

En este contexto, la aplicación de bacterias promotoras de crecimiento vegetal (BPCV) es una alternativa prometedora para incrementar la producción de los cultivos de manera sostenible. En particular, la inoculación de *Azospirillum* en el cultivo de maíz morado ha demostrado ser una opción viable para favorecer el crecimiento y desarrollo del cultivo, y disminuir el uso de fertilizantes sintéticos.

La “Guía de uso de *Azospirillum* en la producción de maíz morado en la sierra peruana” presenta la metodología detallada para la inoculación de este microorganismo, la descripción de sus características y consideraciones para su manejo. El presente documento se pone a disposición de productores, técnicos, investigadores y público general interesado en conocer el uso de inoculantes microbianos agrícolas.

Mg. Sc. Jorge Juan Ganoza Roncal

Presidente Ejecutivo

Instituto Nacional Innovación Agraria



1. Introducción

El maíz morado (*Zea mays* L.) es una variedad originada a partir de la raza Kculli, conocido como un maíz de grano amiláceo y es utilizado como alimento y en la industria farmacéutica (Ministerio de Desarrollo Agrario y Riego [MIDAGRI], 2021). En Perú, este cultivo ha tenido un crecimiento del 2.7 % en los indicadores de producción y 2.4 % en áreas cosechadas durante el periodo de 2016-2020, siendo Lima y Ayacucho las zonas de mayor producción con más del 25.1 % de representación en el mercado (MIDAGRI, 2022).

El maíz morado se cultiva en los valles interandinos de la sierra a altitudes que oscilan entre 2 000 y 3 000 m s. n. m. Este cultivo representa una alternativa rentable para los agricultores debido a sus propiedades nutritivas, nutracéuticas, así como su alto contenido de antocianinas (antioxidantes), que han generado una creciente demanda tanto a nivel nacional como internacional. Sin embargo, la producción y productividad del maíz morado en los valles interandinos son limitadas por factores como la preparación del terreno, la calidad de la semilla, la siembra, el abonamiento y/o la fertilización. Uno de los factores limitantes en la fertilidad del maíz morado son las altas dosis de nitrógeno que requiere para cubrir la demanda para la producción de granos (MIDAGRI, 2021). En adición a ello, el uso excesivo de fertilizantes nitrogenados puede llevar a la pérdida de nitrógeno del suelo hacia el medio ambiente (Foley et al., 2011) y a la alteración de la microbiota (Sun et al., 2019).

Una alternativa a esta problemática es la inoculación con bacterias promotoras del crecimiento vegetal (BPCV), como *Azospirillum* spp. (Bashan et al., 2004). Diversos estudios han demostrado que la inoculación con *A. brasilense* permite reducir el uso de fertilizantes nitrogenados, al estimular la actividad microbiana del suelo y favorecer el equilibrio de nutrientes en el cultivo de maíz morado. Esta práctica contribuye no solo a mejorar la eficiencia en el uso de insumos, sino también a promover la sostenibilidad agrícola y a preservar la salud y fertilidad del suelo a largo plazo (Condori et al., 2024).

En este contexto, la presente guía ha sido elaborada con el objetivo de fortalecer la producción agrícola y contribuir a la mejora de la seguridad alimentaria en la región. Asimismo, busca introducir a los agricultores en prácticas innovadoras y eficaces para el manejo sostenible del cultivo de maíz morado en la región andina.



2. Características del maíz morado

El maíz morado comprende un conjunto de razas de maíz amiláceo con la característica de tener el pericarpio de los granos de color morado debido a su contenido de antocianinas. A este pigmento se le atribuyen múltiples propiedades funcionales para la salud humana. Además, se ha demostrado su potencial en la industria alimentaria, farmacéutica y de la belleza (MIDAGRI, 2021).

El origen de las variedades de maíz morado es aún tema de discusión. Los primeros estudios acerca de la variabilidad de maíces peruanos afirman que el maíz morado tendría un origen en común a partir de la raza ancestral Kculli, de la cual derivaron las razas Cuzco Morado y Morado Canteño (Grobman et al., 1961). Por otro lado, estudios recientes indican que el maíz morado se originó a partir de distintas razas, como en el caso de la variedad INIA 601, cuyo análisis genético reveló su origen alejado de la raza Kculli (Montenegro et al., 2022).

El maíz morado presenta la siguiente composición química (Tabla 1):

Tabla 1. Composición nutricional del maíz morado por 100 g

Componente	Composición
Calorías	375 kcal
Agua	11.4 g
Proteínas	6.7 g
Carbohidratos	76.9 g
Fibra	1.8 g
Cenizas	1.7 g
Calcio	12 mg
Fósforo	328 mg
Hierro	0.02 mg
Cianidina	0.06 mg
Tiamina	0.38 mg
Rivoflavina	0.02 mg
Niacina	2.8 mg

Gómez (2018), citando a Collazos (1962).

2.1. Propiedades y beneficios del maíz morado

El maíz morado, uno de los cultivos más representativos de los valles interandinos, ha adquirido reconocimiento en la salud por sus propiedades nutraceuticas y su alto contenido de antioxidantes. Entre estos, los flavonoides que contiene, siendo los más importantes las antocianinas y los glucidos de las antocianidinas. La mazorca está constituida en un 15 % de coronta y un 85 % de granos. Este pigmento llamado antocianina se encuentra en su mayoría en la coronta que en el grano (Guillén et al., 2014).

2.2. Clasificación taxonómica

La clasificación del maíz morado (Pinedo et al., 2017, citando a Takhtajan, 1980):

Reino	: Plantae
División	: Magnoliophyta
Clase	: Liliopsida
Subclase	: Commelinidae
Orden	: Poales
Familia	: Poaceae
Género	: <i>Zea</i>
Especie	: <i>Zea mays</i> L.
Nombre común	: Maíz morado

2.3. Variedades de maíz morado

a. Variedades de maíz morado más comunes

Según información del MIDAGRI (2021), estas son las siguientes:

- **Cuzco Morado:** Está asociada a la raza Cuzco Gigante, siendo una variedad de maduración tardía, caracterizada por granos grandes, dispuestos en mazorcas de 8 hileras. Su cultivo es en diferentes lugares como Cusco y Apurímac.
- **Morado Canteño:** Esta subvariedad proviene de la raza Cuzco y se distingue por presentar mazorca de tamaño más reducido en relación con otras variedades, aunque mantiene atributos similares en cuanto a su morfología y propiedades. Se trata de una variedad de ciclo precoz, es una variedad de maduración temprana y se cultiva en diversas regiones de la sierra del Perú, especialmente en las partes altas del valle del Chillón, en el departamento de Lima, hasta los 2 500 m s. n. m. Debido a su alta demanda y versatilidad, es una variedad de maíz más consumida en el departamento de Lima.
- **Morado de Caraz:** Esta variedad, originaria a partir de la raza Ancashino, su nombre se debe a que se cultiva en la localidad de Caraz, ubicada en el Callejón de Huaylas, donde se siembra en extensiones grandes; también se adapta a la costa. Presenta mazorcas de menor tamaño que las variedades de origen cusqueño y de precocidad intermedia. Entre las variedades tradicionales, sobresale por su elevado potencial de rendimiento y por poseer la coronta con mayor intensidad de pigmentación.
- **Arequipeño:** Esta variedad es más precoz en comparación con las variedades Cuzco Morado, Morado Canteño y Morado Caraz. Presenta granos de color morado dispuestos en hileras regulares a lo largo de la mazorca, siendo este de tamaño más pequeño que la variedad Cuzco Morado; sin embargo, el color de la tusa no es muy intenso como en otras variedades. Se cultiva en las zonas altas de los departamentos de Arequipa.
- **Negro de Junín:** Esta variedad se caracteriza por ser de ciclo precoz y presenta granos de color negro, de tamaño considerable, distribuidos de manera irregular en una mazorca corta y de forma redondeada. Su morfología es similar a la de la raza San Jerónimo, compartiendo rasgos distintivos en la estructura de la mazorca.

- **Huancavelicano:** Esta variedad se distribuye en las regiones de la Sierra Centro y Sur del Perú, extendiéndose hasta Arequipa. Se adapta a altitudes más elevadas en comparación con otras variedades, como las zonas altoandinas.

b. Variedades de maíz morado mejorados

- **Maíz INIA 615-Negro Canaán:** esta variedad se distingue por su incremento en productividad, alta concentración de antocianina en la tusa, mejor calidad de mazorcas y mayor adaptación en los valles interandinos de la sierra. Fue ejecutada por el Programa Nacional de Investigación en Maíz del Instituto Nacional de Innovación Agraria (INIA) en la Estación Experimental Canaán-Ayacucho. Se desarrolló a partir de germoplasma regional de la raza Kully, usando 22 accesiones de Huanta, 8 de Huamanga y 6 de San Miguel (Instituto Nacional de Innovación Agraria [INIA], 2007).
- **Maíz INIA 601:** variedad de polinización abierta, formada por la Estación Experimental Baños del Inca a partir de 256 progenies (108 Var. Morado de Caraz y 148 Negro de Parubamba, variedad local), adaptada a la sierra norte del Perú (2 600-2 900 m s. n. m.) (INIA, 2014).
- **Maíz morado PMV 581:** variedad obtenida por la Universidad Nacional Agraria La Molina (UNALM), por medio de la variedad Morado de Caraz, la cual fue adaptada a la sierra y a la costa. Son resistentes a enfermedades como *Cercospora* y la roya. Tiene un periodo vegetativo medianamente corto, con mazorcas que miden de 15 a 20 cm, alargadas, presentan alto contenido de pigmento y un rendimiento potencial de 6 t/ha (Manrique, 1997).
- **Maíz morado PMV-582:** es una variedad obtenida y mejorada por la UNALM, que tiene una adaptación a la sierra alta. Las plantas presentan un tamaño medio, alto contenido de antocianinas, mazorcas medianas y un rendimiento de 4 t/ha (Manrique, 1997).
- **Maíz morado UNC 47:** obtenida de la variedad INIA 601 y mejorada por la Universidad Nacional de Cajamarca, Perú, utilizando selección recurrente de medios hermanos (Medina-Hoyos et al., 2020).
- **Maíz morado Canteño:** Derivada de la raza Cusco, es una variedad precoz que se cultiva principalmente en las partes altas del valle del río Chillón en el departamento de Lima, a altitudes entre 1 800 y 2 500 m s. n. m. (Medina-Hoyos et al., 2020).

2.4. Producción de maíz morado en las principales regiones del Perú

La costumbre de consumir y producir maíz morado en el Perú es muy antigua principalmente en la sierra y costa (MIDAGRI, 2021). Los principales departamentos productores de maíz morado entre los años 2017 y 2020 son Lima y Ayacucho, que mantuvieron esta tendencia a lo largo de varios años (Figura 1).

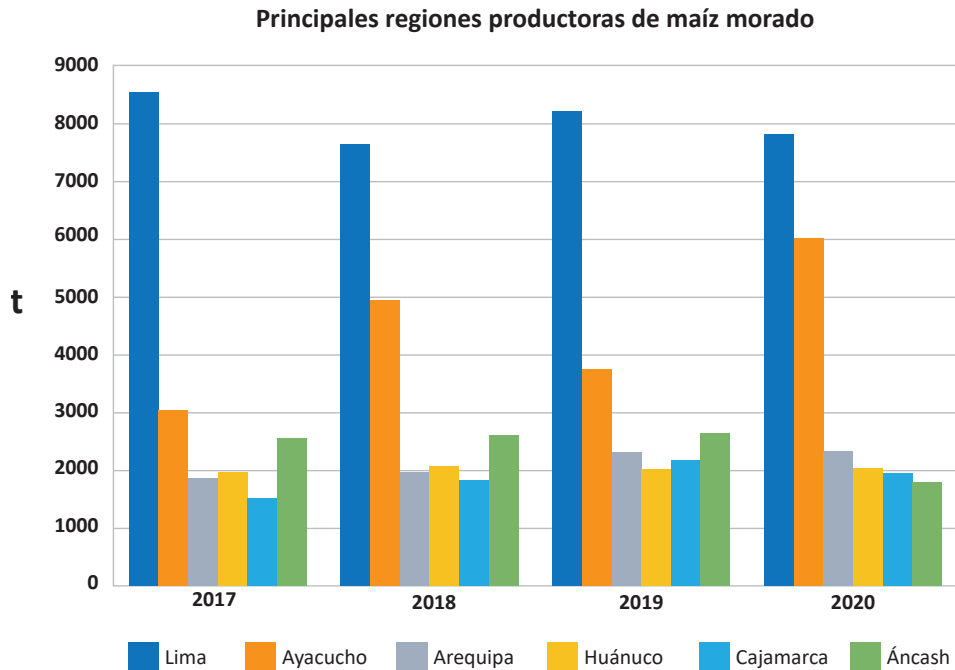


Figura 1. Principales departamentos productores de maíz morado (2017-2020)
(adaptado de Sierra y Selva Exportadora, 2021)

También, la Figura 2 muestra el porcentaje de participación de las regiones productoras de maíz morado, realizada entre los años 2016 y 2020. Se observa que Ayacucho ocupa el segundo lugar con una participación del 25.1 %.

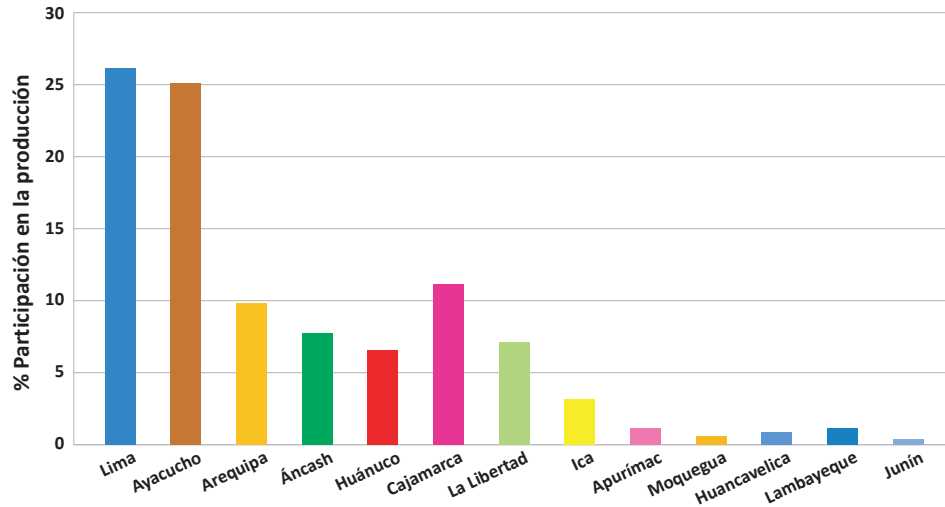


Figura 2. Participación de los departamentos en la producción de maíz morado (2016-2020)
(adaptado de Sierra y Selva Exportadora, 2021)

2.5. Descripción botánica

a. Raíz, tallo y hoja

La raíz es fasciculada y robusta; tiene la función de captar y transportar nutrientes y agua, y sirve de anclaje y soporte (Ortigoza et al., 2019).

El tallo presenta un eje de nudos y entrenudos. La parte baja y subterránea del tallo tiene entrenudos muy cortos de los que emergen los brotes laterales y las raíces principales (Figura 3). Su función es dar soporte a la planta, almacenar carbohidratos y transportar nutrientes (Medina, 2022).

La hoja nace de la parte superior del nudo (Figura 3); es una lámina de banda angosta y delgada que culmina en un ápice acentuado (Ortigoza et al., 2019).

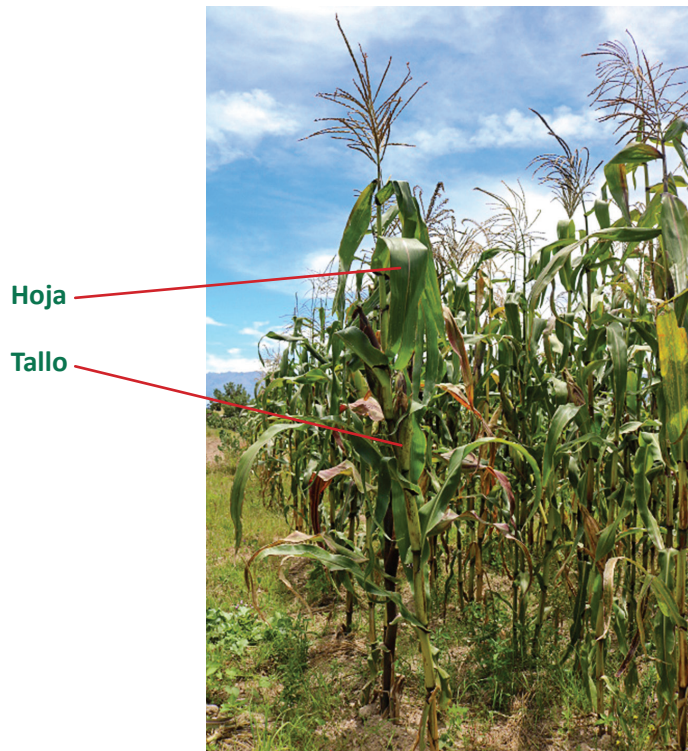


Figura 3. Estructura morfológica de los tallos y hojas del maíz morado

b. Inflorescencia

El maíz presenta flores masculinas y femeninas separadas, pero en la misma planta (Figura 4). La flor masculina (panícula) generalmente se encuentra en la parte superior de la planta. La flor femenina (mazorca) se encuentra a media altura de la planta (Ortigoza et al., 2019). En la flor masculina se forman los granos de polen y en la flor femenina, se encuentran el estigma y el ovario (Medina, 2022).



Figura 4. Tipos de flores del maíz morado. A) Flor femenina y B) flor masculina

Las etapas del crecimiento y desarrollo de la mazorca del maíz morado están compuestas por la etapa de grano lechoso, grano pastoso y granos maduros, que se muestra en la Figura 5:



Figura 5. Fases fenológicas de la mazorca de maíz observadas en la Estación Experimental Agraria Canaán. A) Mazorca en etapa de grano lechoso, B) mazorca en etapa de grano pastoso y C) mazorca con granos en estado de madurez fisiológica

2.6. Importancia del nitrógeno en la producción de maíz

El maíz es una planta C4, es decir, presenta un tipo de fotosíntesis altamente eficiente y con una gran capacidad de producción, por lo que su cultivo lo posiciona como el tercer cereal más importante a nivel mundial (Urban et al., 2021). Sin embargo, su rendimiento está fuertemente ligado a la disponibilidad de nitrógeno (N) en el suelo. La deficiencia de nitrógeno puede acelerar el envejecimiento de las hojas y disminuir su contenido de clorofila, lo cual se expresa como hojas con amarillamiento uniforme y, por consiguiente, la disminución en el rendimiento de grano (Schröder et al., 2000). Este síntoma se puede evidenciar en la Figura 6.

Los fertilizantes representan entre el 40 al 42 % del costo total de producción en el cultivo de maíz (Centro Peruano de Estudios Sociales, 2008), en otras palabras, casi la mitad de lo que cuesta producirlos. Sin embargo, la planta de maíz no aprovecha el total de fertilizantes que se les aplica, ya que se pierden por lixiviación y pueden contaminar fuentes de agua subterránea o se pierden por volatilización (Urban et al., 2021).

Alternativas como el uso de bioinoculantes de *Azospirillum* permitirían mejorar la eficiencia del uso de nitrógeno en el cultivo de maíz morado, ya que estas bacterias pueden fijar hasta 30 kg de nitrógeno por hectárea (Condori et al., 2024).



Figura 6. Campo de experimentación de Maíz morado inoculado con y sin *Azospirillum* en la Estación Experimental Agraria Canaán del INIA. A) Plantas sin inoculación con amarillamiento foliar y B) plantas inoculadas con hojas de color verde oscuro



3. *Azospirillum* como inoculante microbiano

El suelo alberga una gran diversidad de microorganismos y es el lugar donde ocurren las transformaciones de la materia orgánica y se producen los diferentes ciclos de los elementos químicos (Wall, 2019). Entre esta gran diversidad microbiana, están presentes las bacterias Gram negativas del género *Azospirillum* (Figura 7). Las bacterias de este género se caracterizan por ser microorganismos diazotróficos de vida libre y/o asociada, con capacidad de colonizar las raíces de las plantas de forma interna o externa (García-Blasquez y Sato, 2019). Los diazotrofos son un grupo de microorganismos procariontes con la capacidad de fijar N₂ desde la atmósfera, a los cuales se les atribuye el 60 % del nitrógeno presente en la biosfera (Newton, 2007). Además de *Azospirillum*, otras bacterias que conforman este grupo son *Acetobacter*, *Azoarcus*, *Azotobacter*, *Gluconacetobacter* y *Herbaspirillum* (Van y Vanderleyden, 2007).

En particular, el género *Azospirillum* llamó la atención al descubrirse su capacidad fijadora de nitrógeno en asociación con gramíneas tropicales, por lo que se tomó en cuenta como un potencial biofertilizante de uso agrícola en pastos tropicales y en cultivos importantes como el maíz y la caña de azúcar (Domingues et al., 2020; Tarrand et al., 1978).

Pedraza et al. (2020) menciona: “Se han identificado 22 especies pertenecientes a este género bacteriano: *A. lipoferum*, *A. brasilense*, *A. amazonense*, *A. halopraeferens*, *A. irakense* (ahora reclasificada por Lin et al., 2014 como *Niveispirillum irakense*), *A. largimobile* una reclasificación, realizada por Sly y Stackebrandt, 1999, de *Conglomeromonas largomobilis subsp. Largomobilis*, *A. doebereineriae*, *A. oryzae*, *A. melinis*, *A. canadense*, *A. zae*, *A. rugosum*, *Candidatus A. massiliensis* (un nombre provisional para un organismo bien caracterizado, pero aún no cultivado), *A. picis*, *A. palatum* (no validado), *A. thiophilum*, *A. formosense*, *A. fermentarium*, *A. humicireducens*, *A. himalayense* (no validada), *A. soli* y *A. agricola*. Sin embargo, las especies más investigadas son *A. brasilense* y *A. lipoferum*, que están más asociadas a las gramíneas y forrajeras”.

El género *Azospirillum* tiene cierta especificidad con las raíces de gramíneas (Brasil et al., 2005). Esta rizobacteria es importante porque permite mejorar el crecimiento, desarrollo y rendimiento de cultivos, bajo diversos ambientes y condiciones edáficas (Bashan et al., 2004).

El estudio realizado por Condori et al. (2024) en el INIA demuestra la eficacia del *Azospirillum* en la reducción de la necesidad de fertilizantes nitrogenados en 30 kg de N ha⁻¹, lo que mejora la salud y fertilidad de los suelos. Por lo que la reducción de la dependencia de los fertilizantes químicos ayuda a preservar la fertilidad del suelo a largo plazo, promueve la actividad microbiana y equilibra los nutrientes en el cultivo de maíz morado.

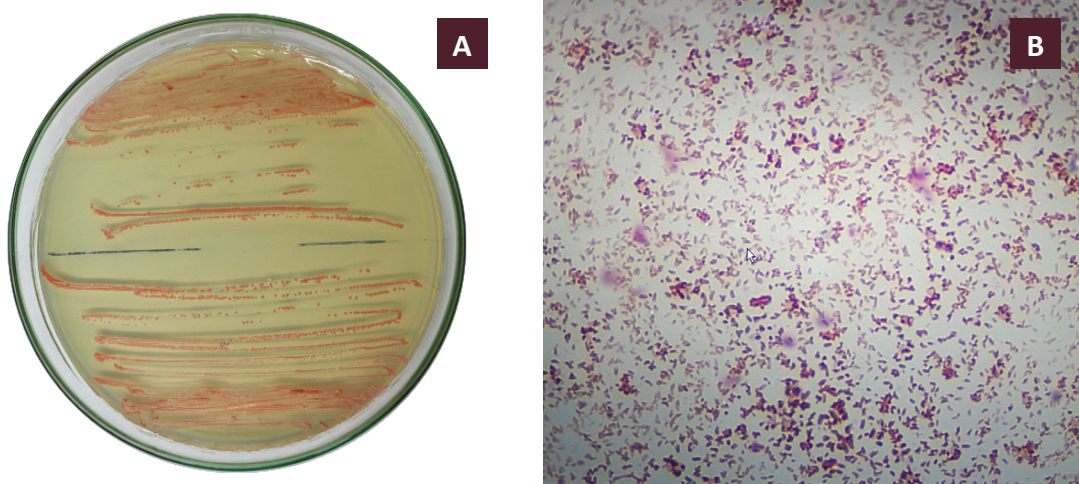


Figura 7. *Azospirillum brasilense*. A) Observación macroscópica de las colonias cultivadas en medio específico y B) observación microscópica mediante tinción de Gram

3.1. Mecanismos de promoción del crecimiento vegetal de *Azospirillum*

Los mecanismos de acción de este inoculante biológico se definen como los procesos fisiológicos de *Azospirillum* que favorecen el crecimiento de los cultivos entre los que destacan:

- Fijación de nitrógeno.
- Producción de hormonas de crecimiento vegetal.
- Producción de sideróforos.
- Producción de metabolitos secundarios con acción antibiótica.

El efecto de estos mecanismos en los cultivos comprende el aumento del rendimiento, la disminución del uso de fertilizantes sintéticos, la capacidad de biocontrol, biorremediación, entre otros.

Azospirillum es una de las bacterias promotoras de crecimiento vegetal más conocidas y estudiadas, cuyo interés surgió a partir del descubrimiento de su capacidad de fijar nitrógeno atmosférico como bacteria de vida libre (Pedraza et al., 2020). Además, posee otros mecanismos

que favorecen el crecimiento vegetal de manera directa e indirecta (Bashan y Levanony, 1990). Las características funcionales y los metabolitos secretados por *Azospirillum* aún no han sido completamente estudiados y su rol en el crecimiento vegetal es aún un tema de discusión. En los siguientes párrafos se presentan los mecanismos de acción de promoción de crecimiento vegetal de *Azospirillum* más estudiados:

a. Fijación de nitrógeno

Según Pedraza et al. (2020), este proceso ocurre por la presencia de enzimas nitrogenasas que permiten tomar nitrógeno en la forma de dinitrógeno (N_2), como se encuentra en la atmósfera, y convertirlo a amonio (NH_3). La planta absorbe este amonio para utilizarlo en la síntesis de sus biomoléculas. Sin embargo, este proceso depende de la temperatura del suelo, la afinidad con la planta hospedera, la disponibilidad de fotosintatos del hospedero y la eficiencia de la enzima.

Pese a lo mencionado, es importante señalar que la cantidad de este elemento fijado y aprovechado por la planta es variable (Bashan y Levanony, 1990; Naqqash et al., 2022). Asimismo, no hay evidencia de transporte directo bacteria-planta del nitrógeno fijado. Se hipotetiza que este nutriente sería aprovechado por la planta de forma gradual a medida que las bacterias mueren y el nitrógeno se mineraliza (Okon y Labandera-Gonzalez, 1994).

b. Producción hormonas vegetales

La producción de hormonas por *Azospirillum* es su segundo mecanismo más estudiado y caracterizado (Pedraza et al., 2020). Las hormonas que sintetiza *Azospirillum* con mayor efecto en el crecimiento vegetal son las auxinas, en especial el ácido 3-indoacético (AIA), y las giberelinas. Estas auxinas son las hormonas que aportan en mayor grado a los cambios fenotípicos inducidos en la planta, como el aumento de raíces laterales (Spaepen et al., 2007). En particular, el aumento en el volumen radicular sería el principal factor en el incremento de la absorción de nutrientes que promueve *Azospirillum* en las plantas (Bashan y de-Bashan, 2010).

Por otro lado, *Azospirillum* sintetiza hormonas capaces de regular los niveles de etileno hasta límites en los que no producen resultados adversos en el crecimiento de las plantas (Glick, 2012). Algunos autores afirman que la producción de hormonas de *Azospirillum* tiene mayor incidencia en el crecimiento vegetal que la fijación de nitrógeno (Pedraza et al., 2020).

c. Producción de sideróforos

Los sideróforos son moléculas “transportadoras de hierro” que constituyen un sistema muy eficiente para la absorción de hierro, presentes en muchos microorganismos (Scavino y Pedraza, 2013). Se han detectado cepas de *Azospirillum brasiliense* capaces de secretar este tipo de molécula, que además tienen potencial de inhibir el crecimiento de patógenos vegetales como *Colletotrichum* (Tortora et al., 2012).

La interacción entre las plantas y los microorganismos promotores de crecimiento vegetal como el *Azospirillum*, tiene varios mecanismos, como se ilustra en la Figura 8. Los mecanismos directos contribuyen a que la planta mejore su estado nutricional a partir de la producción de fitohormonas (citocininas, auxinas y giberelinas), la producción de enzimas y otros metabolitos hacia la planta, donde se incrementará el sistema radicular, permitiendo una mayor absorción de agua y nutrientes (Pandey et al., 2015). También, la planta es impactada directamente por la fijación de nitrógeno por parte de la bacteria *Azospirillum*, que puede llegar a reducir la fertilización nitrogenada hasta un 30 % (Condori et al., 2024). Los mecanismos indirectos ocurren cuando las bacterias promotoras del crecimiento vegetal (BPCV) previenen los efectos perjudiciales de los patógenos en la planta mediante la producción de sustancias inhibidoras, y también porque pueden controlar el crecimiento de los fitopatógenos, así como la liberación de sideróforos y otros (Pandey et al., 2015).

Mecanismos directos

- Fijación biológica de nitrógeno.
- Solubilización de fosfatos.
- Producción de cianuro de hidrógeno (HCN).
- Producción de sideróforos.
- Producción de fitohormonas.
- Otros metabolitos secundarios.

Mecanismos indirectos

- Actividad antifúngica.
- Actividad de los sideróforos.
- Aumentar la disponibilidad de nutrientes en la rizosfera.
- Efecto de las BPCV en el crecimiento y el rendimiento de los cultivos.

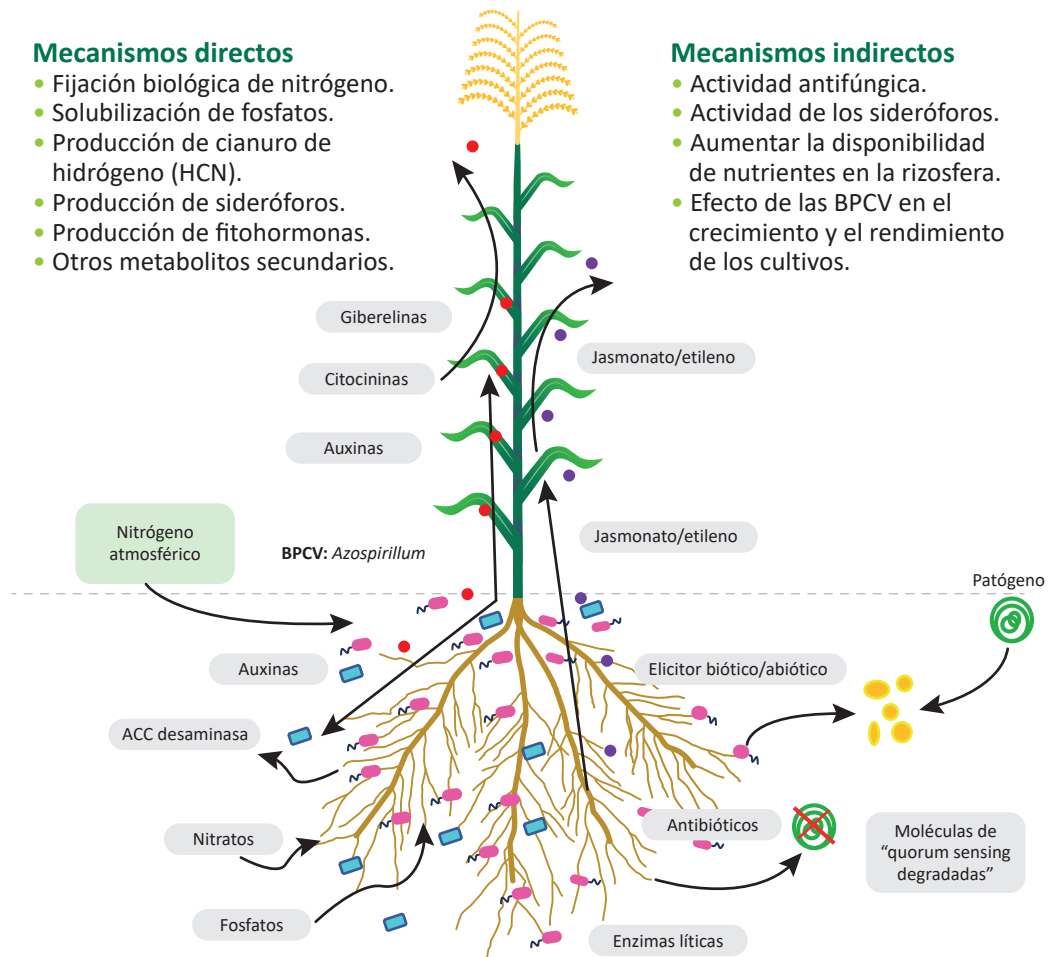


Figura 8. Representación de las interacciones entre planta y microorganismos en la rizosfera y el suelo, destacando los procesos de comunicación, simbiosis y movilización de nutrientes (Chávez-Díaz et al., 2020; Pandey et al., 2015)

3.2. Importancia de *Azospirillum* en la agricultura

a. Fijación biológica de nitrógeno

Azospirillum es una bacteria diazotrófica capaz de fijar nitrógeno atmosférico y transformarlo en formas asimilables por las plantas (Figura 9). Este proceso contribuye a reducir la dependencia de fertilizantes nitrogenados sintéticos, lo cual no solo disminuye los costos de producción, sino que también mitiga los impactos ambientales asociados, como la contaminación de suelos y cuerpos de agua por nitratos. En este sentido, el Instituto Nacional de Innovación Agraria (INIA), en colaboración con la Universidad Nacional San Cristóbal de Huamanga, desarrolló un ensayo experimental que demostró los beneficios agronómicos de la inoculación con *Azospirillum*. Los resultados indicaron un incremento del 21.8 % en el rendimiento y del 11.6 % en el peso promedio de la mazorca en comparación con los tratamientos sin inoculante. Asimismo, se evidenció que la aplicación de esta bacteria permitiría reducir hasta 30 kg de urea por hectárea respecto al mejor tratamiento sin inoculación (Condori et al., 2024).

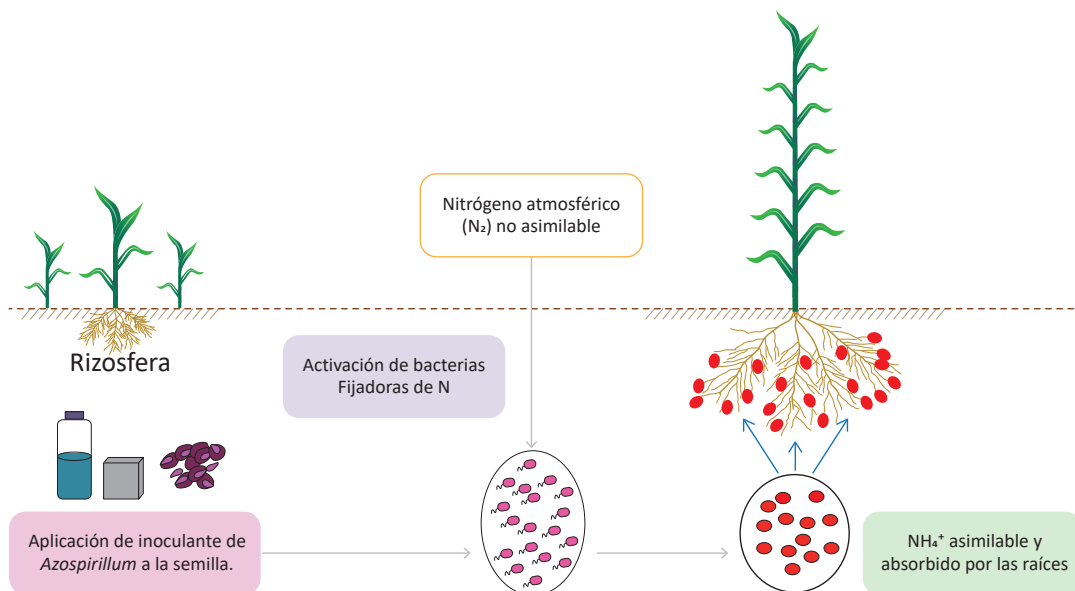


Figura 9. Representación de la fijación de nitrógeno por acción de las bacterias de *Azospirillum*

b. Incremento del crecimiento y desarrollo de la planta

Las bacterias del género *Azospirillum* pueden asociarse a una gran diversidad de cultivos, entre los cuales, el cultivo de maíz ha demostrado una asociación que incrementa la productividad a través de la mayor absorción de agua y nutrientes (Domingues et al., 2020).

Diversos estudios han demostrado que la inoculación de *Azospirillum* incrementó la altura de planta del maíz, su biomasa aérea y radicular (Rubiños, 2019), y el peso de grano (Contreras-Liza et al., 2024). Asimismo, disminuyó la duración entre la floración masculina y la madurez fisiológica de los granos (González et al., 2011, Pelloso et al., 2023) e incrementó significativamente el rendimiento (Contreras-Liza et al., 2024; González et al., 2011; Pelloso et al., 2023; Santacruz, 2018).

c. Mejora de la absorción de nutrientes

Azospirillum puede mejorar la eficiencia de absorción de nutrientes por parte de las plantas, incluso aquellos que están presentes en el suelo en cantidades limitadas. Esto puede llevar a una mejor utilización de nutrientes esenciales como nitrógeno, fósforo, potasio, microelementos y otros. En la investigación de Caiza et al. (2019), se menciona que el contenido de fósforo se incrementó después de la siembra en los tratamientos con *Azospirillum* y *Pseudomonas*.

d. Aumento de la resistencia al estrés abiótico

Las plantas inoculadas con *Azospirillum* han mostrado una mayor tolerancia a condiciones de estrés abiótico (Fukami et al., 2018), como sequía (Ngumbi y Kloepper, 2016), salinidad (Fasciglione et al., 2015) y altas temperaturas (Sharma et al., 2012). Esto puede aumentar la capacidad de la planta para enfrentar condiciones adversas del entorno.

e. Potenciación de la producción de fitohormonas

La bacteria de *Azospirillum* puede estimular la producción de fitohormonas como auxinas, citoquininas y giberelinas (Licea-Herrera et al., 2020), que son esenciales para el crecimiento y el desarrollo óptimo de las plantas.

f. Reducción del impacto ambiental

La inoculación con *Azospirillum* promueve el uso eficiente de los fertilizantes al mejorar la absorción de nutrientes (Boleta et al., 2020) y fomentar un mayor crecimiento y desarrollo radicular (Steenhoudt y Vanderleyden, 2000). Además, reduce la lixiviación de nutrientes (Fonseca-López et al., 2024) y la concentración de nitratos en el subsuelo, por lo tanto, contribuye significativamente a la mitigación del impacto ambiental. Este aspecto es crucial, dado que el uso excesivo de nitrógeno genera una serie de efectos negativos para el medio ambiente (Sá et al., 2017). En este sentido, se ha demostrado que el aumento en el rendimiento debido a la aplicación de *Azospirillum* puede traducirse en un ahorro entre el 40 y el 50 % en el uso de fertilizantes nitrogenados como la urea (Condori et al., 2024; Contreras-Liza et al., 2024; Dalla-Santa et al., 2004). Por lo tanto, el uso de microorganismos promotores de crecimiento vegetal como *Azospirillum* es una alternativa para disminuir el uso de fertilizantes nitrogenados sintéticos, reducir la contaminación ocasionada por estos y mantener una producción sostenible (Bashan et al., 2004).

g. Conservación de la biodiversidad del suelo

Al promover la actividad microbiana favorable en el suelo, la inoculación con *Azospirillum* puede contribuir en la recuperación y preservación de la biodiversidad microbiana en los agroecosistemas (Gureeva y Gureev, 2023).

h. Control biológico

La resistencia inducida de las plantas a los patógenos es una de las estrategias más prometedoras para prevenir la pérdida de rendimiento de los cultivos debido a la infección de patógenos (Köhl et al., 2019). Ciertos microorganismos, como algunas especies de *Azospirillum*, son capaces de producir metabolitos secundarios que alteran benéficamente el metabolismo de las plantas, confiriéndoles resistencia a la infección por patógenos, conocida como resistencia sistémica inducida (Sudha y Ravishankar 2002; Fukami et al., 2018, citando a van Loon y Bakker 2005). Se menciona que la inoculación con *Azospirillum* spp. suprime indirectamente algunos patógenos, lo que demostraría la importancia en programas de prevención. Los posibles mecanismos utilizados por *Azospirillum* para reducir el daño causado por patógenos, que se han demostrado hasta el momento, están relacionados con la competencia ambiental y el desplazamiento de patógenos, la inhibición de la germinación de semillas de malezas parásitas y la mejora general de la resistencia de las plantas a la infección por patógenos, así como la posible inhibición del crecimiento fúngico (Bashan et al., 2004).



4. Aplicación práctica sobre el uso de *Azospirillum*

4.1. Preparación del terreno

Esta práctica se realiza para garantizar una adecuada germinación de la semilla, favorecer el enraizamiento, facilitar la emergencia de las plántulas y lograr un establecimiento óptimo del cultivo. Para ello, se recomienda el uso de equipos que reduzcan al mínimo las pérdidas de suelo por erosión, teniendo en cuenta el tipo de suelo y la pendiente del terreno.

Los objetivos de la preparación del suelo:

- Brindar condiciones favorables para la siembra, distribución, germinación y emergencia de la semilla.
- Incorporar restos vegetales y eliminar malezas.
- Eliminar capas de compactación que se forman en la superficie para mayor aireación e infiltración de agua al suelo.
- Destruir larvas y pupas de insectos, plagas que se encuentran en hibernación.
- Exponer los microorganismos como bacterias y hongos que se encuentran en el suelo para su eliminación por radiación solar.

La preparación del terreno debe estar en función de las condiciones del suelo, tipo, pendiente, área, clima y recursos del agricultor. La preparación puede ser convencional, labranza mínima o siembra directa.

4.2. Selección de semillas

La selección de semillas es una práctica tradicional empleada por los productores para mejorar progresivamente sus cultivos (Figura 10). Esta técnica consiste en:

- Escoger granos de alta calidad y uniformidad.
- Descartar aquellos que sean pequeños o deformes.
- Seleccionar semillas provenientes del tercio medio de las mazorcas (Jara, 2012) (Figura 11).
- Utilizar semillas con un porcentaje de germinación no menor al 90 % (Guerreño et al., 2022) y con garantía de pureza varietal (Manrique-Chávez, 2000).
- Emplear preferentemente semilla certificada. En caso de utilizar semilla propia, esta debe ser seleccionada del ciclo agrícola más reciente con una tasa de germinación superior al 90 %, libre de enfermedades y con uniformidad en el tamaño (Zambrano et al., 2021; Jara, 2014).



Figura 10. Secado y selección de mazorcas de maíz morado para semilla en la EEA Canaán INIA



Figura 11. Selección de semilla de maíz morado por tamaño de grano. A) Mazorca completa, B) tercio medio de la mazorca apto para ser seleccionado como semilla.

4.3. Inoculantes biológicos

Los inoculantes biológicos o bioinoculantes son preparaciones de células vivas o latentes de cepas de microorganismos eficientes que proveen una serie de beneficios a las plantas a través de su asociación en la región rizosférica. Para fines agrícolas, estos productos pueden ser aplicados a las plantas a través de las semillas o el suelo (Kour et al., 2020). Los efectos esperados de los inoculantes de bacterias pueden incluir la fijación de nitrógeno, el biocontrol de patógenos del suelo, el incremento de la absorción de nutrientes, la solubilización de los minerales del suelo o la producción de hormonas vegetales (Bashan, 1998).

Es importante considerar que el inoculante biológico, en cualquiera de las presentaciones (sólido, líquido u otra formulación), debe garantizar que las propiedades y la cantidad de células viables se mantengan hasta el momento de ser utilizadas (Gutiérrez, 2020 citando a Bashan et al., 1998). A nivel mundial, el uso de formulaciones comerciales en *Azospirillum* está difundido en algunos países americanos (México y Argentina), Sudáfrica e India (Cassan et al., 2015; García-Blasquez y Sato, 2019; Hartmann y Bashan, 2009).

En el Perú, para el caso de *Azospirillum*, la producción de inoculantes a nivel comercial es aún escasa. Sin embargo, se tienen experiencias de trabajos científicos desarrollados por universidades e institutos de investigación con resultados alentadores que demuestran que esta es una tecnología aplicable para nuestras condiciones y, en particular, para el cultivo de maíz morado, como se indicó en secciones previas.

El inoculante de *Azospirillum* se puede usar en otras variedades de maíz y otras gramíneas (Baldani et al., 1997; Duarte et al., 2020) como trigo, cebada, centeno, avena, sorgo, arroz y otros.

4.4. Tipos de inoculantes biológicos

Los bioinoculantes pueden clasificarse según el tipo de soporte que conforma la formulación. El soporte, también llamado portador, se refiere al material inerte que sirve de transporte a las células de la cepa biológica y constituye el ingrediente de mayor volumen o peso en el inoculante (Bashan, 1998; Gonzáles de Bashan et al., 2021). Los tipos de inoculantes más usados para la aplicación de *Azospirillum* se describen en los siguientes párrafos.

a. Inoculante sólido

Es un inoculante cuyo vehículo es un material sólido. El sustrato más utilizado a nivel mundial para la formulación de este tipo de inoculantes es la turba, incluyendo las formulaciones comerciales (Bashan, 1998; García-Blasquez y Sato, 2019; González de Bashan et al., 2021) (Figura 12).

Este sustrato debe ser neutralizado (aumentar el pH), molido, embolsado y esterilizado para permitir una alta viabilidad de los microorganismos incorporados (García-Blasquez y Sato, 2019).

Otra cualidad de este sustrato es proteger a la bacteria de algunos factores externos como: pH, temperatura alta, falta de humedad y efecto tóxico de fertilizantes (García-Blásquez y Sato, 2019). Las concentraciones bacterianas de la fuente original (Bashan y de-Bashan, 2015) son 5×10^7 a 5×10^8 unidades formadoras de colonia (UFC) g^{-1} o mL^{-1} de inoculante, población que se mantendrá viable de acuerdo a las condiciones de almacenamiento.



Figura 12. Inoculante biológico con *Azospirillum brasilense* para gramíneas, formulado en soporte de turba

b. Inoculante líquido

Este inoculante biológico se formula en presentación líquida (Figura 13), contiene bacterias puras del género *Azospirillum* spp., con una concentración de aproximadamente 1×10^8 UFC mL^{-1} . Su ventaja es su fácil inoculación.



Figura 13. Inoculante a base de *Azospirillum brasilense* en formulación líquida para gramíneas

4.5. Métodos de inoculación con *Azospirillum* spp.

La forma de inoculación dependerá del tamaño de la semilla, el estado fenológico del cultivo, el sistema de riego, entre otros. Se sugiere que la inoculación se realice, preferentemente, hasta el estado vegetativo V5 del maíz, es decir, hasta que las plantas muestran su quinta hoja totalmente extendida.

a. Inoculación en semilla

Esta forma de inoculación es la más utilizada; es una operación simple que consiste en mezclar el inoculante a base de *Azospirillum*, en formulación líquida o sólida, con las semillas en la cantidad recomendada (Domingues et al., 2020). Es importante que el inoculante se fije a las semillas. En caso de utilizar inoculante a base de turba, se debe agregar agua, la cantidad dependerá del volumen y tamaño de la semilla. Para mejorar la adherencia, se puede usar una solución de goma arábiga al 40 % o carboximetilcelulosa (CMC) al 5 % (Tablas 2 y 3) (García-Blasquez y Sato, 2019). En el caso del maíz, se recomienda mezclar 150 g de inoculante en turba con 100 mL de inoculante líquido para tratar 20 kg de semillas. Es importante no exceder el uso de agua o adhesivo, ya que puede afectar la mezcla.

Tabla 2. Dosificación del inoculante sólido según la cantidad de semilla y volumen de solución adhesiva o agua

Tamaño de semillas	Inoculante (g)	Cantidad de semillas (kg)	Solución adhesiva o agua (mL)
Grandes (maíz, frijol)	250	20	200
Medianas (trigo, cebada, arroz, avena)	250	40	300

Tabla 3. Dosificación de inoculante líquido según cantidad de semilla y volumen de solución adhesiva o agua

Tamaño de semillas	Inoculante (mL)	Cantidad de semillas (kg)	Solución adhesiva o agua (mL)
Grandes (maíz, frijol)	250	20	100
Medianas (trigo, cebada, arroz, avena)	250	40	150

A continuación, se precisan los pasos para realizar la inoculación de la semilla con inoculante turboso o sólido (Figura 14):

- a. Pesar las semillas en la cantidad necesaria (ver Tabla 2).
- b. Calcular la cantidad del inoculante sólido (ver Tabla 2).
- c. Depositar las semillas en un recipiente limpio, agregar la solución adhesiva (goma arábica al 40 % o CMC al 5 %) o agua y mezclar hasta que todas las semillas queden uniformemente humedecidas.
- d. Añadir el inoculante turboso o sólido, mezclar, dejar orear por 30 minutos bajo sombra (Domingues et al., 2020) y sembrar.





Figura 14. Proceso de inoculación del maíz morado con *Azospirillum brasilense*. A) Pesado las semillas, B) pesado del inoculante sólido, C) adición de solución adhesiva o agua, D) mezcla con el inoculante sólido y E) oreado de las semillas

Procedimiento para la inoculación de semillas con inoculante líquido (Figura 15).

- a. Pesar las semillas en la cantidad necesaria (ver Tabla 3).
- b. Calcular la cantidad de inoculante líquido (ver Tabla 3).
- c. Depositar las semillas en un recipiente limpio, añadir la solución adhesiva o el agua en la cantidad que se recomienda (ver Tabla 3) y mezclar bien hasta que las semillas queden humedecidas con la solución adhesiva.
- d. Finalmente añadir el líquido inoculante, dejar orear bajo sombra por 30 minutos (Duarte et al., 2020) y sembrar.





Figura 15. Proceso de inoculación del maíz morado con inoculante a base de *Azospirillum brasilense* en formulación líquida. A) Pesado las semillas, B) cálculo del inoculante líquido, C) aplicación del inoculante a las semillas, D) mezcla de las semillas con el inoculante y E) oreado de las semillas

b. Inoculación por riego

Este método consiste en mezclar el inoculante líquido o a base de turba con el agua de riego, esta mezcla se aplica al cuello de la planta con la ayuda de equipos de aspersión. Se sugiere el empleo de este método cuando la semilla ya ha sido tratada con fungicidas u otros productos que puedan dañar el desarrollo de las bacterias. La dosis del inoculante es 6 a 10 veces más que la dosis para la inoculación de semillas con un volumen de agua entre 350 a 500 litros por hectárea (García-Blasquez y Sato, 2019).

4.6. Recomendaciones para la inoculación

- Elegir un lugar adecuado y sombreado para realizar la inoculación, ya que el contacto directo con el sol resulta perjudicial para las bacterias. Se sugiere realizar esta actividad durante las horas de menor radiación solar, temprano por la mañana o al final de la tarde (García-Blásquez y Sato, 2019).
- Evitar mezclar el inoculante con otros productos químicos como fertilizantes, pesticidas, etc (García-Blásquez y Sato, 2019).
- Realizar la inoculación preferentemente el mismo día de la siembra (Domingues et al., 2020).
- Sembrar las semillas inoculadas dentro de las 24 horas posteriores para garantizar la eficiencia del producto (Durante et al., 2020).

4.7. Condiciones de almacenamiento de los inoculantes

Las condiciones de almacenamiento de los inoculantes con *Azospirillum* son importantes para mantener la viabilidad de las bacterias, así como su calidad y eficacia en la aplicación a semillas o al suelo .

- Los inoculantes, tanto en formulación sólida como líquida deben mantenerse entre 4 y 10 °C, evitando su congelamiento y la exposición a temperaturas superiores a 30 °C. Además, deben conservarse en ambientes con poca luz o en oscuridad, lejos de la luz solar directa.
- Los envases deben permanecer bien cerrados y sin fugas para prevenir la contaminación.
- El periodo de almacenamiento varía según las especificaciones del fabricante (Bashan et al., 2014; Domingues et al., 2020; García-Blasquez y Sato, 2019).

4.8. Ventajas y desventajas del uso de inoculantes

A continuación, en la Tabla 4 se muestra las ventajas y desventajas del uso de inoculantes de *Azospirillum*:

Tabla 4. Ventajas y desventajas del uso de inoculantes

Aspecto	Ventajas	Desventajas
Fijación de nitrógeno	Mejora el uso y la disponibilidad de nitrógeno para las gramíneas.	Su efectividad estará influenciada por el suelo y el ambiente.
Crecimiento vegetal	Estimula el crecimiento radicular y el desarrollo del área foliar.	Los resultados pueden ser variables según el tipo de suelo.
Reducción de fertilizantes	Reducción de 30 Kg de N ha ⁻¹ , porque lo incorporan las bacterias de <i>Azospirillum</i> .	No reemplaza totalmente a los fertilizantes; es un complemento.
Costo de producción	Puede reducir costos a largo plazo por el menor uso de insumos químicos nitrogenados principalmente.	Puede implicar un costo inicial por la compra del inoculante de <i>Azospirillum</i> .
Sostenibilidad ambiental	Contribuye al cuidado del ambiente al reducir el uso de fertilizantes químicos y, además, se considera un producto no tóxico.	El inoculante de <i>Azospirillum</i> requiere condiciones específicas para sobrevivir y no perder eficiencia en el suelo.
Compatibilidad con cultivos	Puede aplicarse a una variedad de gramíneas (maíz, cebada, trigo, centeno, sorgo, avena y otros).	Dependiendo de la procedencia del inoculante, la respuesta del inoculante podría variar por no adaptarse a las condiciones del suelo y del ambiente.
Disponibilidad	Empresas y universidades están impulsando la investigación con la producción de <i>Azospirillum</i> .	Poca disponibilidad de oferta del inoculante de <i>Azospirillum</i> en el mercado nacional.
Aplicación de inoculante	La inoculación de semillas es de fácil aplicación debido a que requiere pocos pasos. Además, el inoculante no es tóxico.	Se debe considerar la dosis por cada cultivo.



Inia
Instituto Nacional de Innovación Agraria

PERU Ministerio de Desarrollo Agrario y Riego



5. Efecto de *A. brasilense* en maíz morado

En el estudio realizado por Condori et al. (2024), en las instalaciones de la Estación Experimental Agraria Canaán del INIA en maíz morado (Figura 16), campaña agrícola 2023-2024, inoculados con *A. brasilense* proveídas por la Universidad Nacional San Cristóbal de Huamanga (UNSCH-FOCAM), se emplearon tratamientos en dos niveles de inoculación (control-sin inoculación, inoculación con *A. brasilense*) bajo 5 dosis de N (0, 30, 60, 90, 120 kg ha⁻¹, aplicado a partir de urea). La inoculación con *A. brasilense* incrementó la altura de planta en un 10.5 %; la longitud de raíz en un 16.7 %; la biomasa fresca aérea en un 21.3 %; la biomasa fresca radicular en un 30.1 % y la concentración de nitrógeno foliar en un 27.7 %, comparados con el control no inoculado. Asimismo, se observó que los tratamientos inoculados incrementaron el rendimiento y el peso de la mazorca en un 21.8 y 11.6 %, respectivamente en comparación al control. Además, en los parámetros: altura de planta, nitrógeno foliar, longitud, diámetro y peso de mazorca, la inoculación de *A. brasilense* con 90 kg N ha⁻¹ fue estadísticamente igual o superior al control no inoculado con 120 kg N ha⁻¹.



Figura 16. Evaluación de variables de rendimiento del maíz morado en la EEA Canaán-INIA

Como se muestra en la Figura 17, el análisis de mapa de calor nos ofrece una visión más completa de los efectos sobre los parámetros evaluados. Los tratamientos con inoculación de *A. brasilense* tuvieron efectos positivos en el cultivo del maíz morado; se demostró que ayudaron a contribuir al incremento de los rendimientos. Además, con la inoculación se mejoró el uso eficiente de los fertilizantes nitrogenados, ya que se consiguió reducir 30 kg Nha⁻¹ sin alterar los valores en los parámetros. Esto puede llevar a prácticas agrícolas más eficientes y sostenibles en la fijación de nitrógeno atmosférico, mejorando el aprovechamiento del agua y de nutrientes en el suelo. De esta forma, contribuimos a la protección del medio ambiente y a afrontar el cambio climático.

En la Figura 17, se observa el mapa de calor y análisis de conglomerados de los efectos combinados entre la inoculación y la fertilización nitrogenada. La columna corresponde a los tratamientos y la fila a los parámetros evaluados. Los conglomerados están representados por las letras A–F. La escala de colores representa la representación porcentual de los tratamientos (z-score normalizado) H_plant: altura de la planta, L_root: longitud de la raíz, H_cob: altura de la mazorca, N: nitrógeno foliar, FWA: peso fresco aéreo, FWR: peso fresco de raíz, DWA: peso seco aéreo; DWR = peso seco de raíz; L_cob: longitud de la mazorca, D_cob: diámetro de la mazorca, An: antocianinas, Grains: granos por mazorca, Y_kg: rendimiento expresado en kg por ha, Y_cob: rendimiento expresado en peso de mazorca, Y_1000: rendimiento expresado en peso de mil semillas), Ino +: inoculado, Ino -: sin inocular, F120: 120 kg de urea/ha, F90: 90 kg de urea/ha, F60: 60 kg de urea/ha, F30: 30 kg de urea/ha, F0: sin urea.

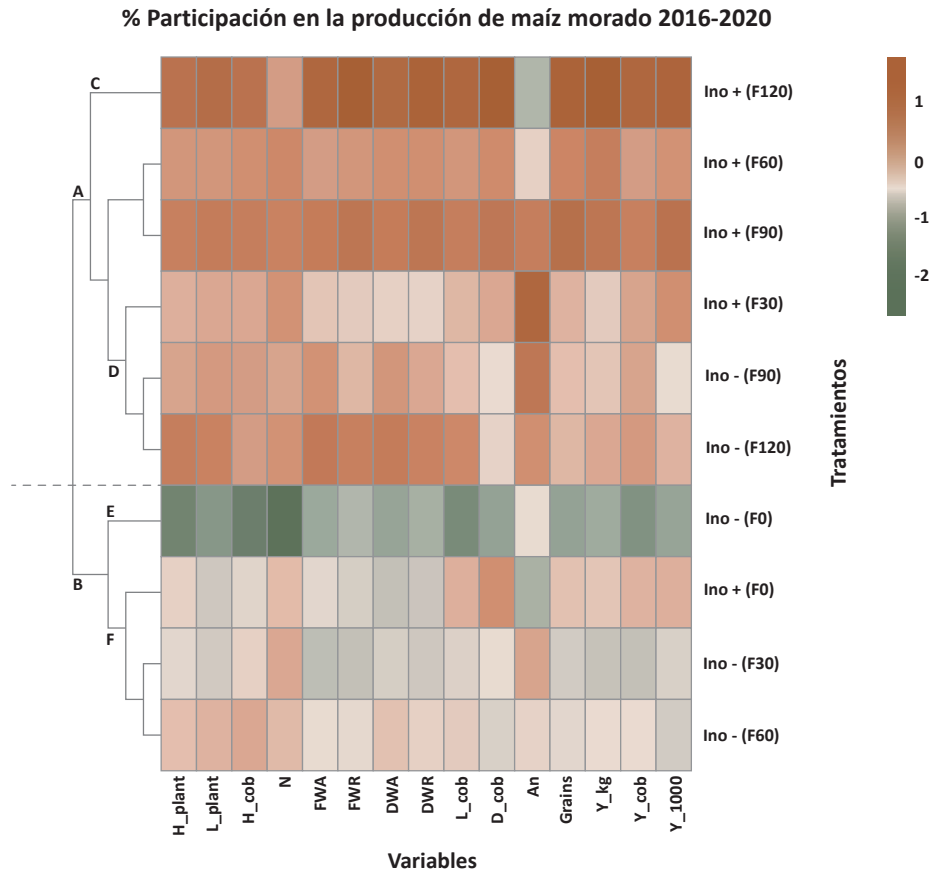


Figura 17. Resultados de la evaluación del rendimiento (kg/ha) en el trabajo de investigación: Uso de *Azospirillum* con diferentes dosis de úrea en maíz morado, EEA Canaán del INIA
Fuente: Condori et al. (2024)



6. Consideraciones prácticas y precauciones

Para asegurar la eficacia del inoculante de *Azospirillum* se debe considerar lo siguiente:

- Leer las instrucciones de uso del producto para calcular la dosis y el método de inoculación con *Azospirillum* en las semillas de maíz.
- La inoculación se debe realizar el mismo día de la siembra, en horas frescas del día, temprano en la mañana o al atardecer. Para ello, se debe ubicar un espacio bajo sombra para evitar la exposición solar directa de los microorganismos.
- Una vez inoculadas las semillas, dejarlas orear bajo sombra, aproximadamente por 30 minutos, y proceder inmediatamente a sembrar.
- El inoculante de *Azospirillum* debe estar almacenado en un lugar fresco y seco. No debe exponerse a los rayos del sol ni a temperaturas mayores a 30 °C.

Para maximizar los beneficios con el uso de *Azospirillum*, se deberá tomar las siguientes precauciones:

- Verificar la fecha de caducidad del producto antes de ser usado. En lo posible, se debe evitar mezclar el inoculante con fertilizante, pesticidas u otros productos químicos al momento de la inoculación. Sin embargo, si las semillas están tratadas con fungicida, se debe aplicar una dosis más alta del inoculante para asegurar su efectividad.
- El agua para la preparación del inóculo debe ser de una fuente limpia y no caliente.
- Con respecto a su manipulación, por su origen natural no está considerado como un producto tóxico, por lo cual debe ser suficiente tomar en cuenta las medidas de protección convencionales (overol de plástico, gorra, lentes, guantes de goma y mascarilla).
- Los materiales a utilizar, como plásticos, tinas u otros recipientes, deben estar limpios y libres de residuos de otros insumos.



7. Estudios de caso

- Rubiños (2019), en su estudio “Efecto de dos momentos de inoculación de *Azospirillum* spp. nativas en el desarrollo vegetativo de *Zea mays* L. en condiciones de invernadero”, evaluó el efecto de dos momentos de inoculación con cepas nativas de *Azospirillum* spp. en el desarrollo vegetativo de *Zea mays* L, evidenciando que los tratamientos con inoculación lograron mayores niveles de efectividad en variables como la altura de planta, biomasa aérea y biomasa radicular.
- Contreras-Liza et al. (2024), en su estudio titulado “Yield and agronomic performance of sweet corn in response to inoculation with *Azospirillum* sp. under arid land conditions”, evaluaron el efecto de un inoculante a base de *Azospirillum* sp. en combinación con dos niveles de nitrógeno (90 y 180 kg N ha⁻¹) en condiciones áridas en Huacho, Perú. Los resultados indicaron un efecto positivo sobre el rendimiento y el peso de grano por planta. Asimismo, se reportó que el uso de *Azospirillum* permitió reducir hasta en un 50 % la necesidad de fertilizante nitrogenado (urea).
- Pelloso et al. (2023), en su estudio “Agronomic performance and quality of baby corn in response to the inoculation of seeds with *Azospirillum brasilense* and nitrogen fertilization in the summer harvest”, demostraron el efecto de la inoculación de semillas del híbrido IAC 125 con *Azospirillum brasilense* en el aumento el índice de área foliar y rendimiento de espiguillas comerciales.
- González et al. (2011) en su investigación, “Respuesta de tres cultivares de maíz a la inoculación con *Azospirillum brasilense* bajo cuatro diferentes dosis de nitrógeno”, reportaron que la inoculación incrementó el rendimiento de grano en 1.47 t ha⁻¹ y redujo dos días la duración de las fases vegetativas, específicamente en la floración masculina y madurez fisiológica.
- Se realizaron dos experimentos de campo en México para evaluar los efectos de la inoculación de las cepas *Azospirillum* sp. RAM-7 y RAM-5 en maíz Cargil-909, en la investigación denominada “Effects of inoculation of *Azospirillum* sp. in maize seeds under field conditions” (Dalla-Santa et al., 2004). Los tratamientos implicaron inoculación con o sin diferentes niveles de nitrógeno (N) y control. La inoculación simple de semillas con la cepa *Azospirillum* sp. RAM-7 aumentó los rendimientos en comparación con el control. La inoculación junto con un alto nivel de N tuvo rendimientos significativamente mayores y un incremento en el contenido total de N y lípidos totales en la semilla en relación con el control. El aumento en el rendimiento del maíz con la aplicación de inoculante sobre el control se registró en N 150 kg ha⁻¹. Las cepas RAM-7 o RAM-5 redujeron el 40 % de la cantidad de fertilizante N recomendada para cada experimento ($p < 0.05$).

- Según Sangoquiza-Caiza et al. (2024), en su artículo “Respuesta del maíz harinoso (*Zea mays* L. var. *Amylacea*) a la inoculación de *Azospirillum* y *Pseudomonas*”, ubicado en la provincia de Pichincha, Ecuador, en la parroquia de Amaguaña, estudió el cultivo de maíz harinoso bajo condiciones de campo en la región altoandina. La aplicación de estas bacterias aumentó de manera significativa ($p < 0.05$) el tamaño de la raíz, el diámetro de la mazorca y el rendimiento del maíz.
- En la investigación, “Efecto de *Azospirillum brasilense* en el rendimiento del maíz en el norte de Tamaulipas, México”, se reportó que *A. brasilense* (cepa UAP154) aumentó el rendimiento del cultivo en comparación con el testigo sin fertilización ni inoculación, y en promedio se incrementó la relación beneficio/costo a 56 % (García-Olivares et al., 2012).
- Santacruz (2018) señala en su investigación: “*Azospirillum brasilense* y nitrógeno en maíz (*Zea mays* L. var. *Amylacea*) en suelos arenosos”, que, en condiciones de experimento, el rendimiento de los granos de maíz demostró diferencias significativas con la aplicación de la bacteria, así como con las dosis de nitrógeno. Los tratamientos que recibió la bacteria *Azospirillum* fueron económicamente más rentables.





8. Referencias bibliográficas

- Baldani, José L., Caruso, L., Baldani, V. L. D., Goi, S. R., y Döbereiner, J. (1997). Recent advances in BNF with non-legume plants. *Soil Biology and Biochemistry*, 29(5), 911-922. [https://doi.org/10.1016/S0038-0717\(96\)00218-0](https://doi.org/10.1016/S0038-0717(96)00218-0)
- Bashan, Y. (1998). Inoculants of plant growth-promoting bacteria for use in agriculture. *Biotechnology Advances*, 16(4), 729-770. [https://doi.org/10.1016/S0734-9750\(98\)00003-2](https://doi.org/10.1016/S0734-9750(98)00003-2)
- Bashan, Y., y de-Bashan, L. E. (2010). Cómo la bacteria promotora del crecimiento vegetal *Azospirillum* promueve el crecimiento de las plantas: Una evaluación crítica. En D. L. Sparks (Ed.), *Advances in Agronomy*, 108, 77-136. Academic Press. [https://doi.org/10.1016/S0065-2113\(10\)08002-8](https://doi.org/10.1016/S0065-2113(10)08002-8)
- Bashan, Y., y de-Bashan, L. E. (2015). Inoculant Preparation and Formulations for *Azospirillum* spp. En F. D. Cassán, Y. Okon, y C. M. Creus (Eds.), *Handbook for Azospirillum: Technical Issues and Protocols* (pp. 469-485). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-319-06542-7_26
- Bashan, Y., de-Bashan, L. E., Prabhu, S. R., y Hernandez, J.-P. (2014). Advances in plant growth-promoting bacterial inoculant technology: Formulations and practical perspectives (1998-2013). *Plant and Soil*, 378(1), 1-33. <https://doi.org/10.1007/s11104-013-1956-x>
- Bashan, Y., Holguin, G., y de-Bashan, L. E. (2004). *Azospirillum*-plant relationships: Physiological, molecular, agricultural, and environmental advances (1997-2003). *Canadian Journal of Microbiology*, 50(8), 521-577. <https://doi.org/10.1139/w04-035>
- Bashan, Y., y Levanony, H. (1990). Current status of *Azospirillum* inoculation technology: *Azospirillum* as a challenge for agriculture. *Canadian Journal of Microbiology*, 36(9), 591-608. <https://doi.org/10.1139/m90-105>
- Boleta, E. H. M., Shintate Galindo, F., Jalal, A., Santini, J. M. K., Rodrigues, W. L., Lima, B. H. de, Arf, O., Silva, M. R. da, Buzetti, S., y Teixeira Filho, M. C. M. (2020). Inoculation with growth-promoting bacteria *Azospirillum brasilense* and its effects on productivity and nutritional accumulation of wheat cultivars. *Frontiers in Sustainable Food Systems*, 4. <https://doi.org/10.3389/fsufs.2020.607262>

- Brasil, M. da S., Baldani, J. I., y Baldani, V. L. D. (2005). Ocorrência e diversidade de bactérias diazotróficas asociadas a gramíneas forrageiras do Pantanal Sul Matogrossense. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 29, 179-190. <https://www.scielo.br/j/rbcs/a/sk587X9gTJyD3HBbGQRvCJp/> <https://doi.org/10.1590/S0100-06832005000200003>
- Caiza, C. A. S., Guzmán, C. F. Y., y García, M. B. (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). <https://doi.org/10.18272/aci.v11i1.943>
- Cassan, F., Okon, Y., y Creus, C. (2015). *Handbook for Azospirillum: Technical Issues and Protocols*. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-06542-7>
- Centro Peruano de Estudios Sociales. (2008). Maíz amarillo. *La Revista Agraria* 9(99). <https://biblioteca.clacso.edu.ar/Peru/cepes/20100330024134/agra99.pdf>
- Chávez-Díaz, I. F., Zelaya Molina, L. X., Cruz Cárdenas, C. I., Rojas Anaya, E., Ruíz Ramírez, S., y De Los Santos Villalobos, S. (2020). Consideraciones sobre el uso de biofertilizantes como alternativa agro- biotecnológica sostenible para la seguridad alimentaria en México. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 11(6), 1423-1436. <https://doi.org/10.29312/remexca.v11i6.2492>
- Condori, T., Alarcón, S., Huasasquiche, L., García-Blásquez, C., Padilla-Castro, C., Velásquez, J., y Solórzano, R. (2024). Inoculation with *Azospirillum brasilense* as a strategy to reduce nitrogen fertilization in cultivating purple maize (*Zea mays* L.) in the Inter-Andean Valleys of Peru. *Microorganisms*, 12(10). <https://doi.org/10.3390/microorganisms12102107>
- Contreras-Liza, S., Villadeza, C. Y., Rodriguez-Grados, P. M., Palomares, E. G., y Arbizu, C. I. (2024). Yield and agronomic performance of sweet corn in response to inoculation with *Azospirillum* sp. under arid land conditions. *International Journal of Plant Biology*, 15(3). <https://doi.org/10.3390/ijpb15030050>
- Dalla-Santa, O. R., Socol, C. R., Ronzelli-Junior, P., Fernández-Hernández, F., Michelena-Alvarez, G. L., Dalla Santa, H. S., y Pandey, A. (2004). Effects of inoculation of *Azospirillum* sp. In maize seeds under field conditions. *Food, Agriculture y Environment*, 2(1), 238-242.
- Domingues, C. F., Cecato, U., Trento, B., Mamédio, D., y Galbeiro, S. (2020). *Azospirillum* spp. en gramíneas y forrajeras. Revisión. *Revista Mexicana de Ciencias Pecuarias*, 11(1), 223-240. <https://doi.org/10.22319/rmcp.v11i1.4951>

- Duarte, C., Cecato, U., Biserra, T., Mamédio, D., y Galbeiro, S. (2020). *Azospirillum* spp. En gramíneas y forrajeras. Revisión. *Revista Mexicana de Ciencias Pecuarias*, 11, 223-240. <https://doi.org/10.22319/rmcp.v11i1.4951>
- Fasciglione, G., Casanovas, E. M., Quillehauquy, V., Yommi, A. k., Goñi, M. G., Roura, S. I., y Barassi, C. A. (2015). *Azospirillum* inoculation effects on growth, product quality and storage life of lettuce plants grown under salt stress. *Scientia Horticulturae*, 195, 154-162. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2015.09.015>
- Foley, J. A., Ramankutty, N., Brauman, K. A., Cassidy, E. S., Gerber, J. S., Johnston, M., Mueller, N. D., O'Connell, C., Ray, D. K., West, P. C., Balzer, C., Bennett, E. M., Carpenter, S. R., Hill, J., Monfreda, C., Polasky, S., Rockström, J., Sheehan, J., Siebert, S., Pilman, D., Zaks, D. P. M. (2011). Solutions for a cultivated planet. *Nature*, 478(7369), 337-342. <https://doi.org/10.1038/nature10452>
- Fonseca-López, D., Vivas-Quila, N., Cuervo-Mulet, R., Rodríguez-Molano, C. E. (2024). Contribución de gramíneas forrajeras a la fijación biológica de nitrógeno y su respuesta a la inoculación de diazótrofes. Revisión. *Revista mexicana de ciencias pecuarias*, 15(2), 446-461. <https://doi.org/10.22319/rmcp.v15i2.6539>
- Fukami, J., Cerezini, P., y Hungria, M. (2018). *Azospirillum*: Benefits that go far beyond biological nitrogen fixation. *AMB Express*, 8(1), 73. <https://doi.org/10.1186/s13568-018-0608-1>
- García-Blasquez, C., y Sato, M. (2019). Técnicas de aislamiento, identificación, selección de cepas de *Rhizobium*, *Azospirillum* y producción de inoculantes. *Investigación*, 27(1), 175-195. <https://doi.org/10.51440/unsch.revistainvestigacion.2019.1.119>
- García-Olivares, J. G., Mendoza-Herrera, A., y Mayek-Pérez, N. (2012). Efecto de *Azospirillum brasilense* en el rendimiento del maíz en el norte de Tamaulipas, México. *Universidad y ciencia*, 28(1), 79-84. https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0186-29792012000100008
- Glick, B. R. (2012). Plant growth-promoting bacteria: Mechanisms and applications. *Scientifica*, 1(1). <https://doi.org/10.6064/2012/963401>
- Gómez, M. (2018). *Tercer ciclo de selección masal estratificada de un compuesto de maíz morado (Zea mays L.) Canaán, 2735 msnm – Ayacucho*. <https://repositorio.unsch.edu.pe/server/api/core/bitstreams/b4a1f822-8990-43ec-ac42-6184d2d6a96d/content>

- González, A., De Jesús, D., Franco-Mora, O., Melgarejo, A., Rodríguez, F., y Salas, H. (2011). Respuesta de tres cultivares de maíz a la inoculación con *Azospirillum brasilense* bajo cuatro diferentes dosis de nitrógeno. *Ciencia Ergo Sum*, 18.
- González de Bashan, L. E., Legorreta, M. M., Hernández, J. P., Prabu, S. R., y Mendoza, J. A. (2021). *Métodos de aplicación de biofertilizantes bacterianos*. Agrosavia. https://repository.agrosavia.co/bitstream/handle/20.500.12324/37082/Ver_Documento_37082.pdf?sequence=5&isAllowed=y
- Grobman, A., Salhuana, W., Sevilla, R., Mangelsdorf, P., C., C. para la P. de C. A. de M., Junta Agrícola, D. de B. y A., y Consejo Nacional de Investigación. (1961). *Races of Maize in Peru: Their Origins, Evolution and Classification*. <https://doi.org/10.17226/21228>
- Guerreño, J. O., Talavera, C. A. L., y Villalba, J. D. G. (2022). *Guía técnica para el cultivo de maíz*. Editorial Facultad de Ciencias Agrarias Universidad Nacional de Asunción. <https://www.agr.una.py/ebooks/index.php/edifca/catalog/book/9>
- Guillén, J., Mori, S., y Paucar, L. (2014). Características y propiedades funcionales del maíz morado (*Zea mays* L.) var. subnigrovioláceo. *Scientia Agropecuaria*, 5(4), 211-217. <https://doi.org/10.17268/sci.agropecu.2014.04.05>
- Gureeva, M. V., y Gureev, A. P. (2023). Molecular mechanisms determining the role of bacteria from the genus *Azospirillum* in plant adaptation to damaging environmental factors. *International Journal of Molecular Sciences*, 24(11). <https://doi.org/10.3390/ijms24119122>
- Hartmann, A., y Bashan, Y. (2009). Ecology and application of *Azospirillum* and other plant growth-promoting bacteria (PGPB). *European Journal of Soil Biology*, 45, 1-2. <https://doi.org/10.1016/j.ejsobi.2008.11.004>
- Instituto Nacional de Innovación Agraria. (2007). *Maíz INIA 615-Negro* Canaán. https://www.inia.gob.pe/wp-content/uploads/investigacion/programa/sistProductivo/variedad/maiz-amilaceo/INIA_615.pdf
- Instituto Nacional de Innovación Agraria. (2014). *Maíz INIA 601*. <https://repositorio.inia.gob.pe/items/702019aa-5fa7-44da-b39d-3f828e16d533>
- Jara, T. W. (2012). *Manejo del Maíz Amiláceo INIA 618-Blanco Quispicanchi*. <https://repositorio.inia.gob.pe/handle/20.500.12955/113>

- Jara, T. W. (2014). *Manejo integrado del cultivo y las plagas del maíz*. Instituto Nacional de Innovación Agraria. <https://repositorio.inia.gob.pe/handle/20.500.12955/112>
- Köhl, J., Kolnaar, R., y Ravensberg, W. J. (2019). Mode of action of microbial biological control agents against plant diseases: Relevance beyond efficacy. *Frontiers in Plant Science*, 10. <https://doi.org/10.3389/fpls.2019.00845>
- Kour, D., Rana, K. L., Yadav, A. N., Yadav, N., Kumar, M., Kumar, V., Vyas, P., Dhaliwal, H. S., y Saxena, A. K. (2020). Microbial biofertilizers: Bioresources and eco-friendly technologies for agricultural and environmental sustainability. *Biocatalysis and Agricultural Biotechnology*, 23. <https://doi.org/10.1016/j.bcab.2019.101487>
- Licea-Herrera, J. I., Quiroz-Velásquez, J. D. C., y Hernández-Mendoza, J. L. (2020). Impacto de *Azospirillum brasilense*, Una rizobacteria que estimula la producción del ácido indol-3-acético como el mecanismo de mejora del crecimiento de las plantas en los cultivos agrícolas. *Revista Boliviana de Química*, 37(1), 34-39.
- Lin, S.-Y., Hameed, A., Shen, F.-T., Liu, Y.-C., Hsu, Y.-H., Shahina, M., Lai, W.-A., y Young, C.-C. (2014). Description of *Niveispirillum fermenti* gen. nov., sp. nov., isolated from a fermentor in Taiwan, transfer of *Azospirillum irakense* (1989) as *Niveispirillum irakense* comb. nov., and reclassification of *Azospirillum amazonense* (1983) as *Nitrospirillum amazonense* gen. nov. *Antonie Van Leeuwenhoek*, 105(6), 1149-1162. <https://doi.org/10.1007/s10482-014-0176-6>
- Manrique-Chávez, A. (2000). *Maíz morado peruano (Zea mays L. amilaceae st.)*. Instituto Nacional de Investigación Agraria. <https://repositorio.inia.gob.pe/items/d5d896b6-4487-4f07-99fa-29cf2b02fcad>
- Manrique, P. A. (1997). *El maíz en el Perú* (2a ed). CONCYTEC.
- Medina, A. (2022). *Guía de Manejo del Cultivo de Maíz Morado (Zea mays L.)*. Instituto Nacional de Innovación Agraria. <https://repositorio.inia.gob.pe/handle/20.500.12955/1692>
- Medina-Hoyos, A., Narro-León, L. A., y Chávez-Cabrera, A. (2020). Cultivo de maíz morado (*Zea mays* L.) en zona altoandina de Perú: Adaptación e identificación de cultivares de alto rendimiento y contenido de antocianina. *Scientia Agropecuaria*.
- Ministerio de Desarrollo Agrario y Riego. (2021). *El Maíz Morado Peruano: Un producto con alto contenido de antocianina, poderoso antioxidante natural*. <http://repositorio.midagri.gob.pe:80/jspui/handle/20.500.13036/1152>

- Ministerio de Desarrollo Agrario y Riego. (2022). *Análisis de Mercado: 2015-2021. Maiz Morado*. <https://cdn.www.gob.pe/uploads/document/file/2690525/Analisis%20de%20Mercado%20-%20Maiz%20Morado%202015-2021.pdf.pdf>
- Montenegro, J. D., Julca, I., Chumbe-Nolasco, L. D., Rodríguez-Pérez, L. M., Sevilla Panizo, R., Medina-Hoyos, A., Gutiérrez-Reynoso, D. L., Guerrero-Abad, J. C., Amasifuen Guerra, C. A., y García-Serquén, A. L. (2022). Phylogenomic analysis of the plastid genome of the peruvian purple maize *Zea mays* subsp. *mays* cv. 'INIA 601'. *Plants*, 11(20). <https://doi.org/10.3390/plants11202727>
- Naqqash, T., Fatima, M., Saif-ur-Rehman, Bukhat, S., Shahid, M., Shabir, G., Tahir, M., Arshad, M., y Babar, M. (2022). Plant growth-promoting rhizobacteria significantly improves growth attributes and photosynthetic machinery in wheat. *Journal of Plant Growth Regulation*, 41(8), 3372-3386. <https://doi.org/10.1007/s00344-021-10519-8>
- Newton, W. E. (2007). Physiology, biochemistry, and molecular biology of nitrogen fixation. En H. Bothe, S. J. Ferguson, y W. E. Newton (eds.), *Biology of the Nitrogen Cycle* (pp. 109-129). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-044452857-5.50009-6>
- Ngumbi, E., y Kloepper, J. (2016). Bacterial-mediated drought tolerance: Current and future prospects. *Applied Soil Ecology*, 105, 109-125. <https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2016.04.009>
- Okon, Y., y Labandera-Gonzalez, C. A. (1994). Agronomic applications of *Azospirillum*: An evaluation of 20 years worldwide field inoculation. *Soil Biology and Biochemistry*, 26(12), 1591-1601. [https://doi.org/10.1016/0038-0717\(94\)90311-5](https://doi.org/10.1016/0038-0717(94)90311-5)
- Ortigoza, J., López, C. A., y Gonzalez, J. D. (2019). *Guía Técnica Cultivo de Maíz*. https://www.jica.go.jp/Resource/paraguay/espanol/office/others/c8h0vm0000ad5gke-att/gt_04.pdf
- Pandey, A., Bahadur, D., Maurya, B., Raghuwanshi, R., Meena, V., Singh, S., y Dixit, J. (2015). Does a plant growth promoting rhizobacteria enhance agricultural sustainability? *Journal of Pure and Applied Microbiology*, 9, 715-724. <https://microbiologyjournal.org/does-a-plant-growth-promoting-rhizobacteria-enhance-agricultural-sustainability/>

- Pedraza, R. O., Filippone, M. P., Fontana, C., Salazar, S. M., Ramírez-Mata, A., Sierra-Cacho, D., y Baca, B. E. (2020). *Azospirillum*. En N. Amaran, M. Senthil Kumar, K. Annapurna, K. Kumar, y A. Sankaranarayanan (eds.), *Beneficial Microbes in Agro-Ecology* (pp. 73-105). Academic Press. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-823414-3.00006-X>
- Pelloso, M., Vidigal Filho, P., Scapim, C., Ortiz, A., Numoto, A., y Freitas, I. (2023). Agronomic performance and quality of baby corn in response to the inoculation of seeds with *Azospirillum brasilense* and nitrogen fertilization in the summer harvest. *Heliyon*, 9. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e14618>
- Pinedo, R., Rodríguez, G., y Valverde, R. (2017). Niveles de fertilización en dos variedades de maíz morado (*Zea mays* L.) en la localidad de Canaán-Ayacucho. *Aporte Santiaguino*, 10(1), 39-50. <https://doi.org/10.32911/as.2017.v10.n1.181>
- Rabanal, M., y Medina, A. (2021). *Análisis de antocianinas en el maíz morado (Zea mays L.) del Perú y sus propiedades antioxidantes*. <https://hdl.handle.net/20.500.12955/1473>
- Rubiños, T. (2019). *Efecto de dos Momentos de Inoculación de Azospirillum spp. nativas en el desarrollo vegetativo de Zea Mays L. en condiciones de invernadero*. <https://repositorio.unprg.edu.pe/handle/20.500.12893/7086>
- Sá, J. C., Lal, R., Cerri, C. C., Lorenz, k., Hungria, M., y de Faccio Carvalho, P. C. (2017). Low-carbon agriculture in South America to mitigate global climate change and advance food security. *Environment International*, 98, 102-112. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2016.10.020>
- Sangoquiza-Caiza, C., Zambrano-Mendoza, J., Borgues-García, M., y Cho, K. J. (2024). Response of flour corn (*Zea mays* L. var. *amylacea*) to the inoculation of *Azospirillum* and *Pseudomonas*. *La Granja*, 39(1). <https://doi.org/10.17163/lgr.n39.2024.09>
- Santacruz, E. (2018). *Azospirillum brasilense* y nitrógeno en maíz (*Zea mays* L. var. *amylacea*) en suelo arenoso. XVI JJI Jornadas de Jóvenes Investigadores.
- Scavino, A. F., y Pedraza, R. O. (2013). The role of siderophores in plant growth-promoting bacteria. En D. K. Maheshwari, M. Saraf, y A. Aeron (eds.), *Bacteria in Agrobiolgy: Crop productivity* (pp. 265-285). Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-642-37241-4_11

- Schröder, J. J., Neeteson, J. J., Oenema, O., y Struik, P. C. (2000). Does the crop or the soil indicate how to save nitrogen in maize production? Reviewing the state of the art. *Field Crops Research*, 66(2), 151-164. [https://doi.org/10.1016/S0378-4290\(00\)00072-1](https://doi.org/10.1016/S0378-4290(00)00072-1)
- Sharma, P., Jha, A. B., Dubey, R. S., y Pessarakli, M. (2012). Reactive oxygen species, oxidative damage, and antioxidative defense mechanism in plants under stressful conditions. *Journal of Botany*, 2012(1). <https://doi.org/10.1155/2012/217037>
- Sierra y Selva Exportadora. (2021). *Análisis de Mercado-Maíz Morado 2015 -2021*. <https://www.gob.pe/institucion/sse/informes-publicaciones/2624383-analisis-de-mercado-maiz-morado-2015-2021>
- Sly, L. I., y Stackebrandt, E. (1999). Description of *Skermanella parooensis* gen. nov., sp. nov. to accommodate *Conglomeromonas largomobilis* subsp. *parooensis* following the transfer of *Conglomeromonas largomobilis* subsp. *largomobilis* to the genus *Azospirillum*. *International Journal of Systematic and Evolutionary Microbiology*, 49(2), 541-544. <https://doi.org/10.1099/00207713-49-2-541>
- Spaepen, S., Vanderleyden, J., y Remans, R. (2007). Indole-3-acetic acid in microbial and microorganism-plant signaling. *FEMS Microbiology Reviews*, 31(4), 425-448. <https://doi.org/10.1111/j.1574-6976.2007.00072.x>
- Steenhoudt, O., y Vanderleyden, J. (2000). *Azospirillum*, una bacteria fijadora de nitrógeno de vida libre estrechamente asociada con las gramíneas: Aspectos genéticos, bioquímicos y ecológicos. *FEMS Microbiology Reviews*, 24(4), 487-506. [https://doi.org/10.1016/S0168-6445\(00\)00036-X](https://doi.org/10.1016/S0168-6445(00)00036-X)
- Sun, R., Li, W., Hu, Ch., y Liu, B. (2019). Long-term urea fertilization alters the composition and increases the abundance of soil ureolytic bacterial communities in an upland soil. *FEMS Microbiology Ecology*, 95(5). <https://doi.org/10.1093/femsec/fiz044>
- Tarrand, J. J., Krieg, N. R., y Döbereiner, J. (1978). A taxonomic study of the *Spirillum lipoferum* group, with descriptions of a new genus, *Azospirillum* gen. nov. and two species, *Azospirillum lipoferum* (Beijerinck) comb. nov. and *Azospirillum brasilense* sp. nov. *Canadian Journal of Microbiology*, 24(8), 967-980. <https://doi.org/10.1139/m78-160>
- Tortora, M. L., Díaz-Ricci, J. C., y Pedraza, R. O. (2012). Protection of strawberry plants (*Fragaria ananassa* Duch.) against anthracnose disease induced by *Azospirillum brasilense*. *Plant and Soil*, 356(1), 279-290. <https://doi.org/10.1007/s11104-011-0916-6>

- Urban, A., Rogowski, P., Wasilewska-Dębowska, W., y Romanowska, E. (2021). Understanding maize response to nitrogen limitation in different light conditions for the improvement of photosynthesis. *Plants*, 10(9). <https://doi.org/10.3390/plants10091932>
- Van, A., y Vanderleyden, J. (2007). Associative nitrogen fixation. En *Biology of the Nitrogen Cycle* (pp. 179-192). <https://doi.org/10.1016/B978-044452857-5.50013-8>
- Wall, L. G. (2019). *La ecología microbiana y la agricultura*. <https://ri.conicet.gov.ar/handle/11336/135423>
- Zambrano, J. L., Velásquez, J. S., Peñaherrera, D. F., Sangoquiza, C. A., Cartagena, Y. E., Villacrés, C. E., Garcés, S., Ortíz, R., León, J., Campaña, D., López, V. A., Asaquibay, C., Nieto, M., Sanmartín, G. del R., Pintado, P., Yáñez, C., y Racines, M. R. (2021). *Guía para la producción sustentable de maíz en la Sierra ecuatoriana*. Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias. <https://repositorio.iniap.gob.ec/handle/41000/5796>



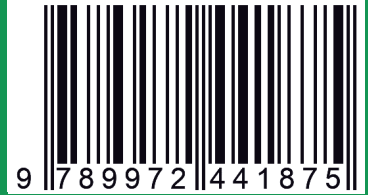
Instituto Nacional de Innovación Agraria





D. : Av. La Molina 1981, La Molina
T. : (511) 240-2400
www.gob.pe/inia

ISBN: 978-9972-44-187-5



PERÚ

Ministerio
de Desarrollo Agrario
y Riego



Instituto Nacional de Innovación Agraria

