

# Manual para la inoculación de **rizobios en leguminosas**



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 SUPERVISIÓN Y MONITOREO EN LAS ESTACIONES EXPERIMENTALES AGRARIAS

Manual  
para la inoculación de  
**rizobios en leguminosas**



# MANUAL PARA LA INOCULACIÓN DE RIZOBIOS EN LEGUMINOSAS

## 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**

Iván Ramos Pastor

**Jefe del INIA**

Jorge Juan Ganoza Roncal, M. Sc.

© Instituto Nacional de Innovación Agraria (INIA)

**Primera edición digital:**

Marzo 2025

**Publicado:**

Marzo 2025

**Disponible en:**

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

**ISBN:**

978-9972-44-172-1

**Editado por:**

Instituto Nacional de Innovación Agraria (INIA)

Equipo Técnico de Edición y Publicaciones

Av. La Molina 1981, Lima-Perú

Teléf. (511) 2402100 - 2402350

[www.gob.pe/inia](http://www.gob.pe/inia)

**Equipo Técnico de Edición y Publicaciones:**

Janet Flores / **Teléfono:** 964173509 / **Correo electrónico:** [comite\\_publicaciones@inia.gob.pe](mailto: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° 2025-01618

**Autores:** Lucero Huasasquiche Sarmiento, Leslie D. Velarde Apaza, Yuri Arévalo Aranda, Richard

A. Solórzano Acosta / **Editor general:** Cinthia S. Quispe-Apaza / **Revisión de contenido:** Cinthia S.

Quispe-Apaza / **Diseño y diagramación:** Miguel Alvarez-Escalante



# Tabla de contenido

<b>Presentación</b>	<b>7</b>
<b>1. Introducción</b>	<b>9</b>
<b>2. Las leguminosas</b>	<b>11</b>
2.1. Características morfológicas	11
2.2. Beneficios de las leguminosas	15
<b>3. Simbiosis rizobio-leguminosa</b>	<b>17</b>
3.1. Rizobios	17
3.2. Proceso de la fijación biológica de nitrógeno	18
3.3. Importancia de la simbiosis rizobio-leguminosa	20
<b>4. Inoculación en Leguminosas</b>	<b>23</b>
4.1. Principales leguminosas del Perú y sus rizobios	24
4.2. Tipos de inoculantes	25
4.3. Producto comercial y almacenamiento	28
4.4. Condiciones óptimas del suelo	28
4.5. Inoculación de rizobios en las semillas	29
4.6. Inoculación de rizobios al suelo	43
4.7. Reinoculaciones	45
4.8. Recomendaciones prácticas	45
4.9. Análisis costo-beneficio	46
<b>5. Conclusiones</b>	<b>51</b>
<b>6. Referencias bibliográficas</b>	<b>53</b>



# Presentación

El Instituto Nacional de Innovación Agraria (INIA) es un organismo técnico especializado adscrito al Ministerio de Desarrollo Agrario y Riego (MIDAGRI). Su labor se centra en el desarrollo de investigaciones, transferencia de tecnología, y conservación de recursos genéticos, así como en la producción de semillas, plantones y animales reproductores de alto valor genético.

El INIA, a través de la Dirección de Supervisión y Monitoreo en las Estaciones Experimentales Agrarias (DSME) viene ejecutando el proyecto 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 entre sus objetivos desarrollar capacidades en el manejo y recuperación de suelos agrícolas degradados.

En este contexto, la implementación de prácticas agrícolas que sean tanto sostenibles como productivas es crucial para evitar el uso excesivo de fertilizantes químicos, los cuales tienen un impacto negativo en la salud del suelo y la calidad del agua. Una alternativa más ecológica es la inoculación de rizobios en leguminosas. Esta técnica agrícola no solo promueve la fertilidad del suelo mediante la fijación biológica del nitrógeno, sino que también mejora el rendimiento de los cultivos. Además, esta práctica contribuye a reducir la dependencia de fertilizantes, proporcionando una solución innovadora y respetuosa con el medio ambiente para incrementar la productividad agrícola.

Este documento describe en detalle el uso y los beneficios de la inoculación de rizobios en leguminosas. Está dirigido a agricultores, profesionales del sector agropecuario y público en general interesado en conocer más sobre esta práctica agrícola y contribuir así al desarrollo de una agricultura más sustentable.

**M. Sc. Jorge Juan Ganoza Roncal**

Jefe del INIA



# 1. Introducción

Las leguminosas son especies ampliamente cultivadas en el mundo y han formado parte de la alimentación humana durante milenios (Pratap y Kumar, 2011). En los últimos años, el consumo de legumbres en el Perú incrementó de 2.2 en 2020 a 8.2 kg por persona en 2024. Actualmente, el cultivo de leguminosas constituye una actividad económica inclusiva a nivel nacional, porque más del 80 % de las tierras dedicadas a este cultivo son desarrolladas por la agricultura familiar (Ministerio de Desarrollo Agrario y Riego [MIDAGRI], 2024).

Con el tiempo se han ido conociendo no sólo los múltiples beneficios que brindan las leguminosas al ser humano, sino también sus beneficios a través de su impacto en la ganadería, la agricultura, el medio ambiente y la economía (Costa et al., 2021; Bianco y Cenzano, 2018; Herrera-Holguín, 2022). Por ejemplo, podemos destacar el alto valor nutritivo que poseen, el cual los posiciona entre los más recomendados por las organizaciones sanitarias para hacer frente a las enfermedades no transmisibles, como la diabetes y las enfermedades cardíacas (Naciones Unidas, s. f.).

La simbiosis es un fenómeno particular que sucede entre las leguminosas y los rizobios, los cuales son microorganismos fijadores de nitrógeno atmosférico. Esta interrelación leguminosa-rizobio ha resultado muy beneficiosa en el sector agrario ya que permite reducir el excesivo uso de fertilizantes sintéticos en la agricultura, los cuales generan no sólo daños en la salud humana sino también en el ambiente (Graham y Vance, 2003).

La inoculación de rizobios en leguminosas se ha convertido en una alternativa eficaz para promover una agricultura sustentable (Lodeiro, 2015; Santillana-Villanueva, 2021). En muchos países, entre los cuales destaca Brasil, esta tecnología ha sido adoptada en gran parte de las áreas cultivadas con soya (Faverin, 2023). Brasil posee una colección de rizobios validados para la producción de inoculantes en distintas leguminosas (Landgraf, 2021), y cada año continúan evaluando y seleccionando nuevos rizobios. Esta práctica es nueva en el Perú y uno de los factores limitantes para que pueda ser adoptada es su poca difusión.

En tal sentido, el presente “Manual para la inoculación de rizobios en leguminosas” tiene como objetivo exponer la importancia de esta nueva tecnología y brindar al usuario una herramienta práctica para que la inoculación de rizobios se realice de forma eficiente.



## 2. Las leguminosas

Las leguminosas son parte de la familia Fabaceae o Leguminosae, que es el tercer grupo de plantas más numeroso del mundo, con una vasta distribución y cuyo origen se remonta a hace aproximadamente 90 millones de años (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura [FAO], 2016). Las plantas de esta familia son reconocidas por formar un fruto llamado “legumbre”, el cual contiene de una a más semillas (Valladolid-Chiroque, 2016). Desde un punto de vista alimentario, el término “legumbre” es descrito por la FAO como aquellos cultivos leguminosos con semillas comestibles secas, excluyendo aquellas cosechadas en estado verde (FAO, 2016). En Perú, el término “menestra” se usa tanto para frutos secos como para aquellos que son cosechados en estado fresco (Valladolid-Chiroque, 2016).

### 2.1. Características morfológicas

Las leguminosas al ser un grupo tan diverso presentan diferentes tamaños y formas, que van desde pequeñas hierbas hasta arbustos y árboles con hojas compuestas (Llamas y Acedo, 2016). La raíz primaria de estas plantas se desarrolla como una raíz pivotante simple y cónica. Además, la mayoría de ellas forman numerosas raíces laterales, pero depende de cada especie el grado de ramificación (Jennings y Foster, 2020). Por ejemplo, el pallar posee una raíz con abundantes raíces secundarias, mientras que la crotalaria suele tener mayor presencia de raíces pivotantes (Figura 1).



Figura 1. Raíz pivotante de leguminosas. (A) *Crotalaria juncea*, (B) *Vicia faba*

Las flores de las leguminosas son zigomorfas, es decir poseen simetría bilateral (Díaz-Piedrahita, 1979), a excepción de Mimosoideae, que son radiadas. De forma general, las flores presentan cinco sépalos, cinco pétalos, diez estambres y un pistilo. Según cada subfamilia podemos describirlas de la siguiente forma (Tucker, 2003).

- **Papilionoideae o Faboideae**

Presentan flores zigomorfas (simetría bilateral) con forma de mariposa. Contienen cinco pétalos modificados distribuidos en 1 estandarte, 2 pétalos de ala y 2 pétalos de quilla (Figura 2).

- **Mimosoideae**

Las inflorescencias son en su mayoría espiciformes con glómérulos de flores. Sus flores son radiadas y generalmente pequeñas, pero con estambres libres, numerosos y vistosos.

- **Caesalpinioideae**

Las inflorescencias pueden ser en racimos, espigas o cimbras. Sus flores tienen sépalos y pétalos generalmente libres. Los estambres tienen tamaño desigual pero son de larga extensión.



**Figura 2.** Flor de *Crotalaria juncea*, especie de la subfamilia Papilionoideae

Las leguminosas presentan varios tipos de tallos aéreos: estoloníferos, como en el trébol blanco; escandentes, como en la arveja; y erectos, como en la alfalfa, el trébol rojo y el trébol vesicular (Figura 3A). Pueden ser herbáceos o leñosos, con forma cilíndrica o angulosa, pero nunca suculentos. Las hojas en el tallo generalmente están dispuestas de manera alterna (Figura 3B); aunque, en algunos casos pueden ser opuestas. Las hojas pennadas (como en la alfalfa) y trifoliadas son comunes en las leguminosas (Fontaneli et al., 2012).



**Figura 3.** Tallo y hojas de fabáceas. (A) Tallo erecto de *Crotalaria juncea*, (B) tallo de *Canavalia ensiformis* con hojas alternas

- **Subfamilia Papilionoideae o Faboideae**

Esta subfamilia es una de las tres que pertenecen a la familia Fabaceae, junto con las subfamilias Caesalpinioideae y Mimosoideae. En este grupo se encuentra una gran cantidad de plantas útiles para el hombre, entre las cuales se encuentran aquellas utilizadas como alimento, forraje, ornamentales, medicinales, etc. (Rzedowski et al., 2016). Tiene una distribución geográfica amplia, ya que se encuentra en todo el mundo y está representada por aproximadamente 750

géneros y alrededor de 20 000 especies que prosperan en una variedad de entornos (Bianco, 2020). Actualmente, la subfamilia Papilionoideae es la más estudiada en cuanto a nodulación (Bianco, 2020) y los géneros más representativos son: *Phaseolus*, *Trifolium*, *Desmodium*, *Crotalaria*, y *Ormosia* (Ruíz y Forero, 2005).

Las plantas pertenecientes a esta subfamilia pueden ser herbáceas, arbustos o árboles, y en ocasiones, presentan hábitos trepadores o rastreros. Sus hojas generalmente están dispuestas de manera alternada y suelen tener estípulas. Estas hojas son típicamente pinnadas o trifoliadas; aunque, en algunos casos pueden ser simples o tener un solo folíolo (Rzedowski et al., 2016) (Figura 4A). Las inflorescencias, por lo general, se presentan en forma de racimos, pseudoracimos, espigas o panículas. Las flores de esta subfamilia suelen tener una estructura característica llamada papilionada (Figura 4B), lo que significa que tienen simetría bilateral y constan de un pétalo exterior solitario llamado estandarte, dos pétalos laterales similares llamados alas y dos pétalos internos que se unen formando una estructura similar a una quilla, el cual rodea el androceo y el gineceo (Rzedowski et al., 2016).



**Figura 4.** Hoja y flor de *Vicia andicola*. (A) Hojas pinnadas, (B) flor papilionada

## 2.2. Beneficios de las leguminosas

### a. Leguminosas como alimento funcional

Las leguminosas como el caso del frijol común (*Phaseolus vulgaris*) y el tarwi o chocho (*Lupinus mutabilis*) destacan por su alto contenido de proteínas, con un 20 y 45 %, respectivamente (Benites-Jump, 2016). Por lo tanto, la inclusión de leguminosas en la dieta humana ofrece beneficios a la salud, contribuyendo a reducir la incidencia de enfermedades como la diabetes tipo II, hipercolesterolemia, hipertensión, cáncer, entre otras (Delgado-Andrade et al., 2016).

### b. Leguminosas en la agricultura

Las leguminosas son de gran relevancia en la agricultura, tanto por la extensa área de cultivo a nivel mundial como por su capacidad de fijar nitrógeno atmosférico gracias a la simbiosis con los rizobios presentes en el suelo (Pereira et al., 2023). Esta característica beneficia la fertilidad general del suelo y reduce la necesidad de utilizar costosos fertilizantes nitrogenados, lo que resulta en un importante impacto ecológico (Benites-Jump, 2016).

### c. Otras aplicaciones

Existen más de 15 especies que son usadas como materia prima en la industria textil. A pesar de que algunas de ellas se cultivan en nuestro país, no son aprovechadas para este uso (Díaz-Piedrahita, 1979). Por ejemplo, *Crotalaria juncea*, es una planta que en países de Sudamérica, se cultiva como abono verde y forraje, pero en la India y países vecinos (China, Corea, Pakistán y Bangladesh) es valorada por su fibra robusta que permite fabricar cuerdas y redes (Sengupta y Debnath, 2018). Otras leguminosas son usadas para obtener sustancias colorantes, como *Haematoxylum campechianum* (Palo de campeche), de cuya madera roja se obtiene un tinte básico llamado hematoxilina (Ortiz-Hidalgo y Pina-Oviedo, 2018). Además, el añil, obtenido de varias especies de *Indigofera*, proporciona colorantes azules (Guirola, 2010). En el ámbito de la perfumería, ciertas leguminosas desempeñan un papel importante, como la *Acacia*, cuyas flores proporcionan un valioso aceite esencial con aroma a violeta (Díaz-Piedrahita, 1979). Además, la Sarrapia (*Dipteryx odorata*) es otra leguminosa relevante debido a que sus semillas se utilizan para extraer un aromatizante natural conocido como cumarina (Hussain et al., 2019, citando a Leal et al., 2000). Por último, algunas leguminosas producen gomas y mucílago, sustancias solubles en agua y altamente adhesivas que se utilizan en la fabricación de pegamentos y en diversas industrias, como textil, papel, estampillas, pinturas, confitería y farmacéutica. Aquí podemos mencionar a los árboles de la especie *Acacia senegal*, quienes producen una goma natural llamada goma arábiga, una de las gomas más conocidas (Díaz-Piedrahita, 1979).



## 3. Simbiosis rizobio-leguminosa

### 3.1. Rizobios

Los rizobios son bacterias del suelo que establecen una relación simbiótica mutualista con las plantas leguminosas, y forman nódulos en sus raíces. Esta simbiosis permite a las plantas fijar nitrógeno atmosférico (Madigan et al., 2017). Este grupo de bacterias se caracterizan por ser Gram negativas, aeróbicas, no esporuladas y de forma bacilar (Zakhia y Lajudie, 2001, citando a Jordan, 1984).

Hasta 1982, todas las especies de rizobios se agrupaban bajo el género *Rhizobium*. Actualmente existen 16 géneros distintos, clasificados según las normas de taxonomía bacteriana, entre los cuales podemos mencionar a *Agrobacterium*, *Allorhizobium*, *Aminobacter*, *Azorhizobium*, *Bradyrhizobium*, *Devosia*, *Mesorhizobium*, *Methylobacterium*, *Microvirga*, *Ochrobactrum*, *Phyllobacterium*, *Rhizobium*, *Shinella* y *Ensifer* (Mousavi et al., 2014).

En la tabla 1 se muestran algunas especies de rizobios y las plantas hospederas a las cuales podrían estar asociadas.

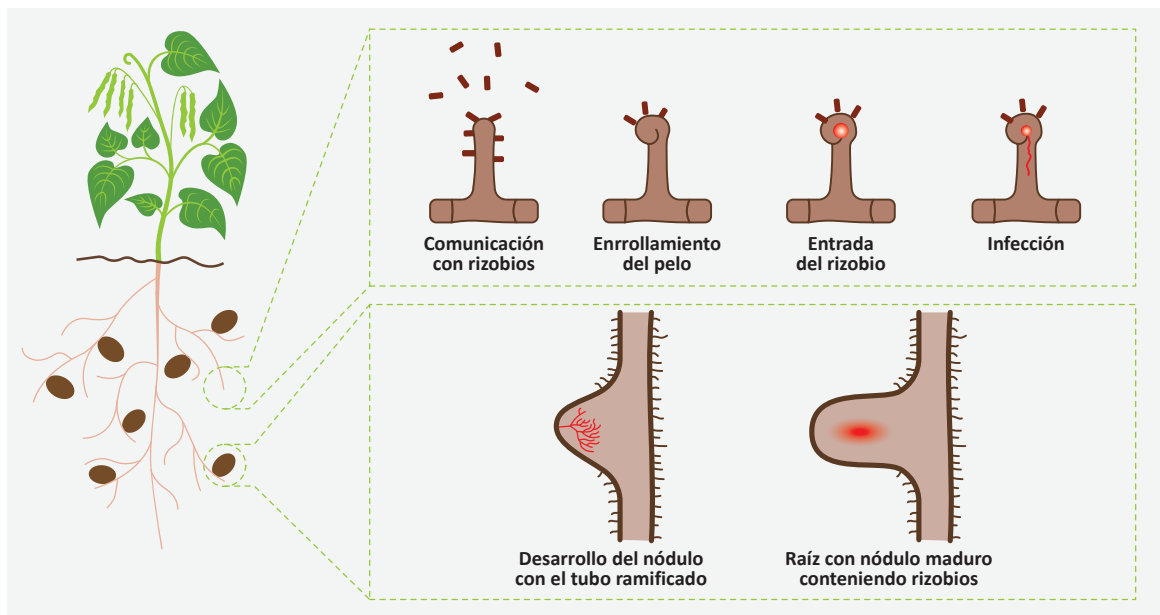
Género	Especie	Planta hospedera
<i>Rhizobium</i>	<i>R. leguminosarum</i> , <i>R. tropici</i> , <i>R. etli</i> , <i>R. hainanense</i> , <i>R. gallicum</i> , <i>R. mongolense</i> , <i>R. galegae</i> <i>R. giardinii</i> , <i>R. huautlense</i> ,	<i>Pisum sativum</i> (arveja) <i>Trifolium pratense</i> (trébol rojo) <i>Phaseolus vulgaris</i> (frijol) <i>Leucaena leucocephala</i> (guaje) <i>Mimosa affinis</i> (mimosa)
<i>Mesorhizobium</i>	<i>M. loti</i> , <i>M. huakuii</i> , <i>M. ciceri</i> , <i>M. tianshanense</i> , <i>M. mediterraneum</i> <i>M. plurifarum</i> , <i>M. amorphae</i>	<i>Lotus corniculatus</i> (trébol criollo) <i>Astragalus sinicus</i> (milkvetch chino) <i>Cicer arietinum</i> (garbanzo) <i>Glycyrrhiza pallidiflora</i> , <i>Amorpha fruticosa</i> (falso Indigo)
<i>Sinorhizobium</i>	<i>S. meliloti</i> , <i>S. fredii</i> , <i>S. sahelense</i> , <i>S. arboris</i> , <i>S. terangae</i> , <i>S. medicae</i> , <i>S. kostiense</i>	<i>Glycine max</i> (soya), <i>Medicago sativa</i> (alfalfa) <i>Sesbania</i> spp., <i>Acacia</i> spp.
<i>Azorhizobium</i>	<i>A. caulinodans</i> , <i>Azorhizobium</i> sp.	<i>Sesbania rostrata</i>
<i>Bradyrhizobium</i>	<i>B. japonicum</i> , <i>B. elkanii</i> , <i>B. liaoningense</i> , <i>Bradyrhizobium</i> sp.	<i>Glycine max</i> (soya)
<i>Allorhizobium</i>	<i>A. undicola</i>	<i>Neptunia natans</i> (mimosa acuática)

**Tabla 1.** Clasificación de las bacterias fijadoras de nitrógeno que forman simbiosis con plantas leguminosas (adaptado de Zakhia y Lajudie, 2001)

## 3.2. Proceso de la fijación biológica de nitrógeno

La infección radicular de las raíces de las leguminosas se da mediante tres mecanismos: (i) hilos de infección en los pelos radiculares, (ii) a través de la entrada por grietas o (iii) a través de las células epidérmicas de la raíz (Bianco, 2020, citando a Sprent et al., 2013).

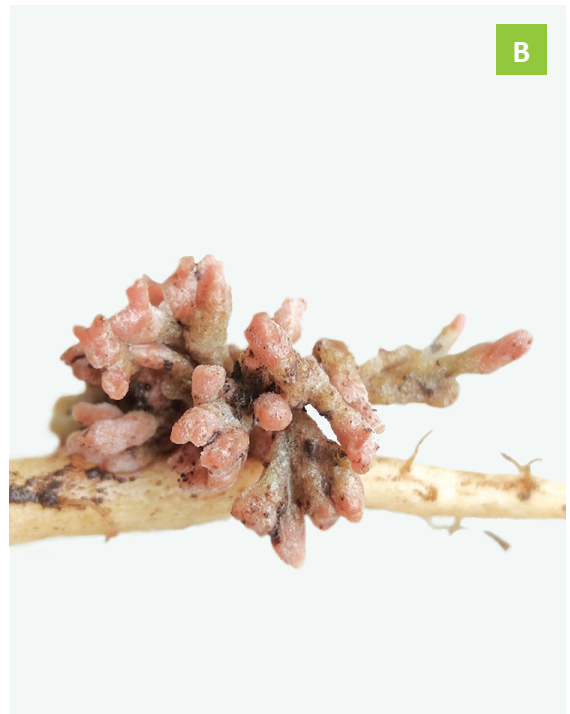
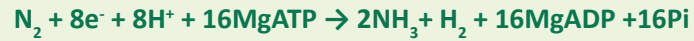
El mecanismo más común y estudiado es el que se desarrolla mediante la formación de hilos de infección en los pelos radiculares (Figura 5); en este mecanismo, las raíces secretan exudados radiculares (flavonoides, fenoles, azúcares, ácidos dicarboxílicos y aminoácidos). En respuesta a esa secreción, los rizobios sintetizan los factores de nodulación (factores Nod), los cuales desencadenan una serie de respuestas a nivel celular, entre ellas, cambios en el citoesqueleto de los pelos radicales como consecuencia de un flujo de calcio (Bianco, 2020). La percepción de los factores Nod tiene dos resultados de desarrollo, la deformación de los pelos radiculares y el inicio de las divisiones celulares corticales y del periciclo. El enrollamiento de los pelos radiculares crea un microambiente para las bacterias, enriquece los niveles del factor Nod, lo cual facilita la posterior invasión bacteriana (Kinkema et al., 2006, citando a Gresshoff et al., 2005).



**Figura 5.** Proceso de infección de rizobios a través de los pelos radiculares (adaptado de Oldroyd y Downie, 2004)

La autorregulación de la nodulación se da por una señalización entre la raíz y la parte aérea, mediante la cual, los eventos tempranos de nodulación actúan para inhibir el desarrollo posterior de los nódulos (Kinkema et al., 2006).

Las rizobios que se han diferenciado en los nódulos (Figura 6) expresan las enzimas del complejo de nitrogenasa y comienzan a fijar nitrógeno. La reducción de una molécula de  $N_2$  a dos moléculas de  $NH_4^+$  por la nitrogenasa requiere 16 moléculas de ATP y 8 electrones (Cooper y Scherer, 2012).



**Figura 6.** Nódulos en raíces. (A) Trébol blanco (*Trifolium repens*) y (B) *Crotalaria juncea*

La coloración rojiza al interior de los nódulos es un indicativo de que los rizobios se encuentran activos y fijando nitrógeno atmosférico (Figura 7A). Esta coloración se debe a la presencia de leghemoglobina, una proteína pigmentada, cuya función es captar el oxígeno y brindar un ambiente anaeróbico para proteger a la nitrogenasa (Prado-Chávarri et al., 2020, citando a Farid y Nayabi, 2015). Los nódulos que no se encuentran activos generalmente tienen una coloración verde grisácea o marrón por dentro (Figura 7B).



**Figura 7.** Coloración interna de los nódulos. (A) Indicador de la presencia de rizobios activos, (B) nódulos no activos con coloración marrón interna

### 3.3. Importancia de la simbiosis rizobio-leguminosa

Se ha indicado que la simbiosis rizobio-leguminosa tiene una serie de ventajas agronómicas, económicas y ambientales (NifTAL Center for BNF Technologies, 2000):

- Ventajas agronómicas: mejora el rendimiento de los cultivos, incrementa la fertilidad del suelo, mejora la calidad proteica de las semillas.
- Ventajas económicas: reduce los costos de producción.
- Ventajas ambientales: reduce el uso excesivo de fertilización química, disminuye la necesidad energética, mitiga la contaminación ambiental.

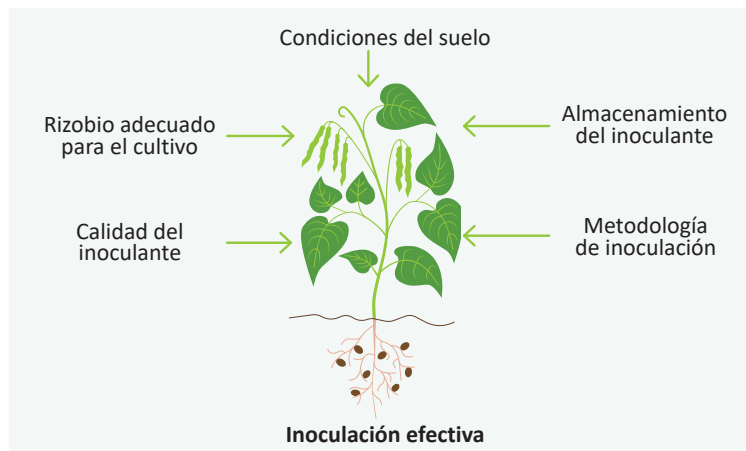




## 4. Inoculación en leguminosas

En América Latina y el Caribe, existe un interés creciente por la aplicación de bioinsumos agrícolas como una tecnología alternativa que ayude a aminorar tanto la alta dependencia de la importación de productos químicos como su uso excesivo (Aramendis et al., 2023). La inoculación con rizobios en leguminosas es una práctica que viene siendo estudiada principalmente para reducir el uso de fertilizantes nitrogenados debido a que la simbiosis rizobio-leguminosa puede proveer el nitrógeno necesario a la planta (Lapa-Unocc et al., 2023). Brasil es el país líder en el uso de inoculantes a base de rizobios, ellos ahorran aproximadamente 12 mil millones de dólares al año debido a la reducción en el uso de fertilizantes nitrogenados en el cultivo de soya (Lussani, 2023). En el Perú, se han realizado estudios de investigación básica y aplicada con rizobios en leguminosas como frijol caupí (De La Cruz-Bernilla, 2023), alfalfa (Vásquez-Castro y Millones-Chanamé, 2019), arveja (Moreno-Chirinos et al., 2016), tarwi (Taco-Taype y Zúñiga-Dávila, 2020), entre otros. Sin embargo, esta práctica no ha sido adoptada al 100 % en ninguno de los cultivos y se debe en gran parte, a la escasa transferencia tecnológica en nuestro país (Zavaleta-Verde et al., 2022).

Para que la inoculación sea efectiva, es necesario considerar los factores indicados en la figura 8.



**Figura 8.** Factores esenciales para lograr una inoculación altamente efectiva

## 4.1. Principales leguminosas del Perú y sus rizobios

El Perú es el centro de origen de leguminosas como el frijol (*Phaseolus vulgaris* L.), pallar (*Phaseolus lunatus* L.) y tarwi (*Lupinus mutabilis* Sweet.) (Valladolid-Chiroque, 2016). La producción de leguminosas en el Perú se realiza en costa, sierra y selva, en los 24 departamentos (Figura 9).



**Figura 9.** Mapa de distribución de las principales leguminosas cultivadas en los departamentos del Perú (Adaptado de Valladolid-Chiroque, 2016)

En la Tabla 2 se detallan las principales leguminosas de grano producidas en el Perú, así como sus rizobios específicos y los estudios que se han realizado aplicando inoculantes en ellas.

Leguminosa	Rizobio	Resultados principales	Fuente
Frijol ( <i>Phaseolus vulgaris</i> )	<i>Rhizobium leguminosarum</i>	La inoculación favoreció los indicadores morfológicos y productivos	Calero-Hurtado et al. (2019)
	<i>Rhizobium</i> sp.	Mejor rendimiento y crecimiento con la inoculación	Hidalgo-Rodríguez et al. (2019)
Pallar ( <i>Phaseolus lunatus</i> )	<i>Rhizobium</i> sp. (cepas PLC111, PLC213, PLB112b, PLA142a) y <i>Bradyrhizobium</i> (PLL113, PLB211b)	Peso seco de la parte aérea significativamente mayor en tratamientos inoculados	Matos-Cuzcano y Zúñiga-Dávila (2002)
Tarwi ( <i>Lupinus mutabilis</i> )	<i>Bradyrhizobium</i> spp. y <i>Azospirillum</i>	Los ecotipos inoculados fueron superiores a los tratamientos sin inoculante y abonamiento con urea	Lonazco-Palomino (2022)
Arverja ( <i>Pisum sativum</i> )	<i>Rhizobium leguminosarum</i> , <i>Rhizobium</i> spp. y <i>Burkholderia ubonensis</i>	Mayor número de nódulos cuando se inoculó con <i>Rhizobium</i> spp. Mayor masa seca de nódulos con la co-inoculación de ambos microorganismos	Prado-Chávarri et al. (2020)
	<i>Rhizobium leguminosarum</i> y <i>Burkholderia ubonensis</i>	Mayor número y peso seco de nódulos	Zavaleta - Verde et al. (2020)
Garbanzo ( <i>Cicer arietinum</i> )	<i>Mesorhizobium cicerii</i>	Mayor rendimiento en tratamiento inoculado	Nápoles et al. (2018)
	<i>Mesorhizobium</i> spp.	Mayor rendimiento y nodulación	Ortega-García et al. (2016)

**Tabla 2.** Estudios sobre inoculación con rizobios en las principales leguminosas de grano en el Perú

## 4.2. Tipos de inoculantes

Los inoculantes se pueden clasificar como inoculantes monocepa o multicepa, según el número de especies microbianas presentes en el producto (Zavaleta-Verde et al., 2020). Asimismo, según el tipo de soporte en el que se encuentren, se pueden clasificar en inoculantes sólidos y líquidos (Gastélum-Martínez y Evangelista-Martínez, 2024), siendo la turba (sólido), el soporte más usado en el caso de rizobios (Albareda et al., 2008). La característica más relevante de un inoculante es asegurar la supervivencia y viabilidad de los rizobios en el medio para una buena infección y efectividad en la inoculación (Zavaleta-Verde et al., 2022). Esta sección se centra en los productos con soporte líquido y sólido; además, se mencionan sus ventajas y desventajas.

### a. Inoculantes líquidos

Los inoculantes líquidos (Figura 10) son cultivos bacteriológicos que se comercializan en sus frascos originales de multiplicación. Presentan una alta concentración y, debido a su formulación, poseen una vida útil más limitada en comparación con otros tipos de soporte. Para extender la viabilidad de los microorganismos, estos inoculantes incorporan aditivos como el glicerol, que sirve como protector contra la desecación, y la carboximetilcelulosa, que se utiliza para mejorar la adhesión a las semillas (Zavaleta-Verde et al., 2022). La ventaja de este tipo de inoculantes es que son de fácil manipulación, porque, la mayoría son solubles en agua, lo que permite que la aplicación en la semilla sea más fácil (en spray y por inmersión) o sean compatibles con aplicaciones directas al suelo con asperjadoras. Sin embargo, requieren de un almacenamiento más estricto (temperaturas cercanas a 4 °C y evitar la desecación) y su costo de producción es mayor (Zavaleta-Verde et al., 2022).



**Figura 10.** Inoculante líquido para arveja a base de *Rhizobium leguminosarum*

### b. Inoculantes sólidos

La mayoría de inoculantes microbianos de todo el mundo se basan en formulaciones sólidas a base de turba (Figura 11) (Albareda et al., 2008), la cual es considerada como el soporte estándar para la evaluación de nuevos *carriers* (soportes) en desarrollo (Baioni-Rocha y Piña-Gomez, 2018). Debido a las propiedades de protección bacteriana de la turba, su uso como soporte resultó adecuado para el caso de inoculantes desarrollados a base de rizobios para

leguminosas (Albareda et al., 2008). Recientemente, se ha venido estudiando el uso de biochar como soporte sólido, esto debido a su estructura porosa, alto contenido de nutrientes y elevado poder de retención de agua, características que favorecen al crecimiento bacteriano (Zavaleta-Verde et al., 2022). La ventaja de los inoculantes sólidos es que tienen un almacenamiento más flexible, ya que pueden almacenarse en un rango más amplio de temperatura (4 - 28 °C) y en sombra (Moreno-Conn et al., 2014). La principal desventaja de estos inoculantes es que el sustrato debe ser esterilizado por medio de presión (autoclave) o por radiación gamma, lo que eleva los costos de producción y en el caso de la irradiación puede existir una liberación de compuestos perjudiciales para el crecimiento de los rizobios (Xavier et al., 2004).



**Figura 11.** Inoculante sólido para arveja con soporte de turba a base de *Rhizobium leguminosarum*

Es importante recordar que no hay un inoculante mejor que otro. Se deben evaluar las condiciones de logística, almacenamiento, costos, entre otros, para decidir qué inoculante es el más adecuado. Por ejemplo, cuando se trabaja en secano o se deba sembrar con una humedad reducida se podría considerar el uso de inoculantes sólidos, dado que estabilizarán la supervivencia de los rizobios hasta la emergencia de raíces.

### 4.3. Producto comercial y almacenamiento

Un producto comercial a base de rizobios debe presentar una concentración adecuada para garantizar una infección efectiva en la planta. En muchos países, la regulación de los estándares de calidad de los inoculantes es insuficiente o nula, lo que a largo plazo puede reflejarse en bajos rendimientos y desconfianza hacia estos productos (Souza et al., 2019). Además de considerar un buen soporte que asegure la supervivencia de los rizobios por al menos 6 meses, la concentración de estos microorganismos en el producto debe ser apropiada para asegurar su efectividad. Aunque, esta concentración varía entre países, generalmente se recomienda un mínimo de  $10^9$  células por gramo o mililitro (Souza et al., 2019). Por lo tanto, se recomienda verificar la concentración en el producto al momento de la compra.

Cada tipo de inoculante, debido a las distintas formulaciones que existe, tiene sus propias condiciones de conservación. Es importante siempre consultar al asesor comercial del proveedor o leer las indicaciones del producto. A continuación, se detalla algunas recomendaciones generales para el almacenamiento de inoculantes a base de rizobios.

- **Inoculantes con soporte líquido**

Se recomienda un almacenamiento en frío. Sin embargo, existen algunas formulaciones líquidas que no necesitan de frío, pero su vida útil es considerablemente menor.

- **Inoculantes con soporte sólido**

No es necesario almacenar los inoculantes en frío; pero, se debe evitar la exposición a la luz solar, ya que esto reduce su vida útil. La humedad es otro factor clave en el almacenamiento de inoculantes con soporte sólido, porque puede activar los microorganismos presentes y disminuir su eficiencia. Por esta razón, es recomendable mantenerlos en lugares frescos, secos y a temperatura ambiente.

### 4.4. Condiciones óptimas del suelo

Un inoculante microbiano es un producto que tiene como principal ingrediente al microorganismo, por ello, si se quiere lograr una buena inoculación, con alta infección y efectividad, se debe asegurar que el microorganismo tenga las condiciones óptimas en el suelo para desarrollarse. A continuación, se detalla los principales factores del suelo, que deben considerarse.

#### **a. Acidez del suelo**

Un suelo muy ácido puede afectar la viabilidad de los rizobios, ya que a medida que disminuye el pH, la sobrevivencia del rizobio también se reduce. Lo ideal es que el suelo presente un pH en el rango de 6.5 a 7.5 (López, 1984).

#### **b. Sequías prolongadas o exceso de humedad**

Condiciones extremas de humedad afectarán no sólo el desarrollo de la planta sino también impedirán la infección de los rizobios en las raíces, perjudicando finalmente a ambos simbioses.

#### **c. Elevadas temperaturas y heladas**

La temperatura ideal para la fijación biológica de nitrógeno se encuentra entre 25 y 30 °C, temperaturas extremas, tanto elevadas como bajas, reducen la viabilidad de los rizobios y afectan negativamente el proceso de fijación.

#### **d. Pesticidas y tratamientos de semillas**

Muchos de los agroquímicos usados en la actualidad afectan la diversidad biológica del suelo (Granda-Mora et al., 2017, citando a Sulieman y Tran, 2015), incluyendo a los rizobios inoculados. Si existen razones agronómicas para utilizar pesticidas, se recomienda que, estos sean compatibles con los microorganismos, o dejar un periodo de al menos 2 semanas entre la aplicación del agroquímico y la inoculación (Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria Uruguay [INIA Uruguay], 2018). Evitar el uso de pesticidas a menos que exista una razón técnica que justifique su aplicación.

#### **e. Presencia de nitratos en el suelo.**

Una gran cantidad de nitratos reduce la eficiencia en la fijación de nitrógeno atmosférico, dado que, en su presencia, la planta prefiere absorberlos en lugar de realizar la simbiosis con el rizobio (Fernández-Canigia, 2020).

### **4.5. Inoculación de rizobios en las semillas**

La inoculación en las semillas es uno de los métodos más antiguos y el más recomendado, ya que permite que el rizobio esté presente desde el inicio del desarrollo de la planta (Fernández-Canigia, 2020). Cabe destacar que en este método la dosis aplicada debe estar en función de los kilogramos de semilla que serán inoculados.

La inoculación de las semillas de leguminosas se puede realizar mediante tres métodos, su elección dependerá de factores como el tamaño de las semillas, la presencia de sustancias químicas, el equipo y materiales disponibles. Estos métodos se detallan a continuación:

#### 4.5.1. Método convencional

En este método, el inoculante ya sea líquido o sólido, se añade y mezcla con la semilla. Se recomienda para semillas de tamaño mediano a grande, como el frijol, arveja y haba. A continuación, se detalla este método para inoculantes líquido y sólido.

##### a. Inoculante con soporte líquido

Los materiales que se necesitan para esta inoculación (Figura 12) son el inoculante microbiano, las semillas a inocular, un plástico grande y un pulverizador (opcional). En caso de inocular una mayor cantidad de semillas (100 kg a más) se recomienda también un rastrillo y un cilindro.



**Figura 12.** Materiales necesarios para inoculación con producto líquido según método convencional. (A) Para cantidades mayores a 100 kg de semillas, (B) para cantidades menores a 100 kg de semillas

En la Tabla 3 se muestran las dosis necesarias de inoculante líquido según el tipo de semilla que se quiera inocular.

Tipos de semillas	Inoculante líquido	Agua no clorada	Cantidad de semillas
Semilla pequeña (trébol, alfalfa, esparceta)	300 - 400 mL	1.5 L	25 kg
Semilla grande (frijol, soya, lupinus, haba, arveja, lenteja)	70 - 120 mL	1.0 L	25 kg

**Tabla 3.** Dosis para la inoculación con soporte líquido

**Los pasos necesarios para realizar la inoculación con soporte líquido según el método convencional son:**

- Agitar el inoculante microbiano para lograr una mejor homogeneización del producto (Figura 13).



**Figura 13.** Inoculante líquido. (A) Sin agitar, se observa una acumulación bacteriana en el fondo del recipiente, (B) después de agitar, inoculante completamente homogenizado

- Extender las semillas a inocular en el recipiente o plástico. (Figura 14).



**Figura 14.** Semillas de frijol (*Phaseolus vulgaris*) extendidas en una bandeja de plástico

- Preparar la solución de inoculante según la Tabla 3 (inoculantes + agua no clorada). En la parte central de las semillas, hacer un pequeño agujero con las manos y adicionar la solución a inocular (Figura 15). Se puede también usar un rociador para que llegue de forma más homogénea a las semillas.



**Figura 15.** Adición de inoculante líquido a las semillas

- Mezclar de forma suave el inoculante y la semilla (Figura 16), procurando que todas queden totalmente humedecidas por el producto. Este procedimiento se debe realizar con delicadeza para evitar dañar las semillas. En el caso de tener mayor cantidad de semilla (100 kg a más) se recomienda el uso de un rastrillo para homogenizar.



**Figura 16.** Mezcla de inoculante líquido con las semillas

- Dejar secar en un plástico todas las semillas inoculadas (Figura 17). Procurar que se encuentren lo más extendidas posible y una vez secas sembrar inmediatamente.



Nota: Las semillas deben ser secadas bajo sombra, no deben ser expuestas a los rayos solares.



**Figura 17.** Secado bajo sombra de semillas inoculadas

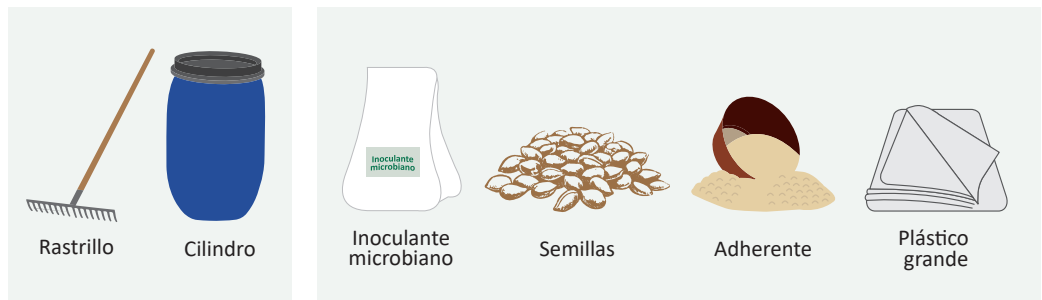
- En caso de tener mayor cantidad de semillas (100 kg a más), la metodología es la misma. Sin embargo, se recomienda realizar la homogenización dentro de un recipiente grande o cilindro. Luego, extender las semillas sobre un plástico para el secado (Figura 18).



**Figura 18.** Inoculación con producto líquido para grandes cantidades de semilla

### b. Inoculante con soporte sólido

Los materiales que se necesitan para esta inoculación son el inoculante microbiano, las semillas, una solución adherente (goma arábica 40 % o carboximetilcelulosa al 5 % o agua azucarada al 10 %), un plástico grande. En caso de inocular una mayor cantidad de semillas (100 kg a más), se recomienda también un rastrillo y un cilindro (Figura 19).



**Figura 19.** Materiales necesarios para la inoculación con un producto sólido según método convencional. (A) Para cantidades mayores a 100 kg de semilla, (B) para cantidades menores a 100 kg de semilla

En la Tabla 4 se muestran las dosis necesarias de inoculante sólido y solución adherente según el tipo de semilla que se quiera inocular.

Tipos de semillas	Inoculante sólido	Adherente	Cantidad de semillas
Semilla pequeña (trébol, alfalfa, esparceta)	400 - 450 g	100 - 150 mL	25 kg
Semilla grande (frijol, soya, lupinus, haba, arveja, lenteja)	180 - 200 g	200 - 250 mL	25 kg

**Tabla 4.** Dosis para inoculación con soporte sólido

Los pasos necesarios para realizar la inoculación con soporte sólido según el método convencional son:

- Preparar la solución adherente. Primero, se debe hervir el agua. Luego, pesar la goma arábica a razón de 40 g por cada 100 mL (Tabla 5) y adicionar poco a poco en un recipiente de vidrio conteniendo el agua hervida. Mezclar constantemente y despacio. La goma arábica se irá disolviendo poco a poco en el agua. Cuando se observe que no se disuelve más, dejar reposando hasta el día siguiente. Por ello, se recomienda preparar esta solución un día antes de la inoculación. A continuación, se muestran las cantidades necesarias de goma arábica para los diferentes volúmenes de agua.

Goma arábica (g)	Volumen de agua (mL)
40	100
200	500
400	1000
600	1500
800	2000

**Tabla 5.** Cantidades de goma arábica según diferentes volúmenes para una concentración de 40 %

- Extender las semillas a inocular sobre un recipiente (Figura 20).



**Figura 20.** Semillas de frijol (*Phaseolus vulgaris*) extendidas en una bandeja de plástico

- Agregar poco a poco la solución adherente a las semillas mientras se mezclan (Figura 21).



**Figura 21.** Adición de solución adherente a las semillas

- Mezclar la solución adherente con las semillas de forma cuidadosa hasta observar que todas se encuentren humedecidas, pero no anegadas (Figura 22).



Nota: Si se usa agua azucarada, existe el riesgo de que otros microorganismos patógenos desarrollen. Por ello, se recomienda su uso solo cuando se tenga certeza de que la semilla es de buena calidad y esté libre de patógenos que puedan proliferar.



**Figura 22.** Mezcla de la solución adherente con las semillas

- Adicionar el inoculante sólido (Figura 23) según la dosificación indicada en la Tabla 4.



**Figura 23.** Adición de inoculante sólido a las semillas

- Mezclar cuidadosamente el inoculante con las semillas hasta que todas estén totalmente cubiertas (Figura 24).



**Figura 24.** Mezcla de inoculante sólido a base de turba con las semillas

- Dejar secar sobre un plástico y bajo sombra (Figura 25). Inmediatamente después del secado, sembrar.



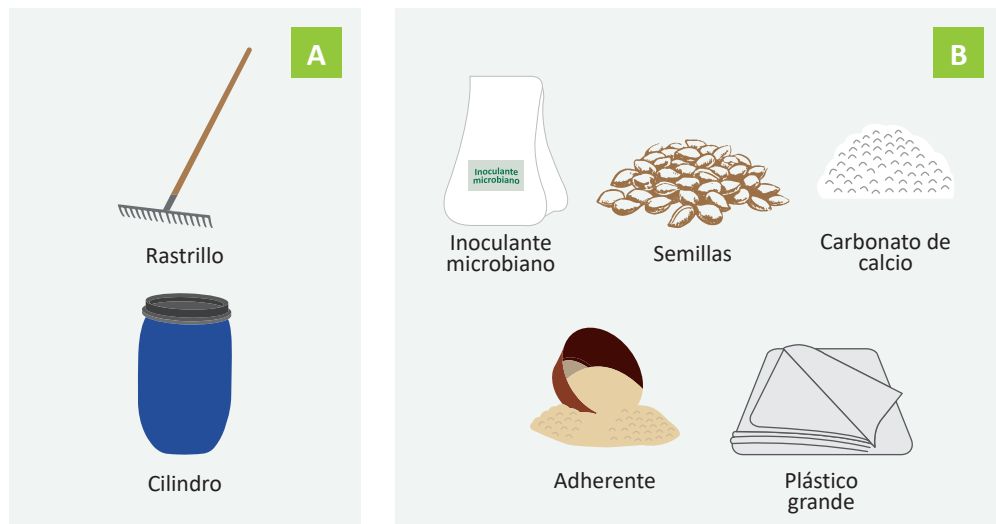
**Figura 25.** Semillas inoculadas extendidas para el secado bajo sombra

En caso de tener una mayor cantidad de semillas (100 kg a más), la metodología es la misma. Sin embargo, se recomienda realizar la homogenización dentro de un recipiente grande o cilindro. Luego extender las semillas sobre un plástico para el secado.

#### 4.5.2. Peletizado o pildorado

En este método, el inoculante se añade y mezcla con la semilla y luego se recubre con un material de revestimiento que permite formar pellets. Es recomendado para semillas que son de tamaño pequeño, como las semillas del trébol. También, se aconseja cuando se va a usar fertilizantes químicos junto con la semilla, en la siembra en cobertura, en suelos con malas condiciones de humedad o con pH muy ácido.

Los materiales necesarios para realizar este tipo de inoculación son, el inoculante microbiano de soporte sólido, solución adherente (goma arábiga 40 % o carboximetilcelulosa al 5 % o agua azucarada al 10 %), carbonato de calcio, un plástico grande y un cilindro o recipiente amplio (opcional). (Figura 26). En caso de inocular una mayor cantidad de semillas (100 kg a más) se recomienda también el uso de un cilindro.



**Figura 26.** Materiales necesarios para inoculación con producto sólido según método del peletizado. (A) Para cantidades mayores a 100 kg de semilla, (B) para cantidades menores a 100 kg de semilla

La Tabla 6 muestra las dosis necesarias de inoculante sólido, solución adherente y carbonato de calcio según el tipo de semilla que se quiera inocular.

Tipos de semillas	Inoculante líquido	Adherente	Carbonato de calcio	Cantidad de semillas
Semilla pequeña (trébol, alfalfa, esparceta)	400 - 450 g	2 L	6 - 10 kg	25 kg
Semilla grande (frijol, soya, lupinus, haba, arveja, lenteja)	180 - 200 g	1 L	6 - 10 kg	25 kg

**Tabla 6.** Dosis para inoculación según método del peletizado

Los pasos necesarios para llevar a cabo la inoculación mediante el método del peletizado son:

- Preparar la solución adherente, utilizando 2 - 4 L de solución para 25 kg de semillas (ver Tabla 5). El procedimiento de preparación es el mismo que el descrito en el método convencional.
- Colocar las semillas en un recipiente o en un cilindro. Adicionar la solución adherente a las semillas y mezclar.
- Adicionar el inoculante sólido, aproximadamente 200 - 400 g para 25 kg de semillas (ver Tabla 6) y mezclar homogéneamente (Figura 27).



Nota: También, se puede mezclar de forma conjunta la solución adherente, el inoculante y las semillas en un mismo recipiente.



**Figura 27.** Inicio de la peletización de semillas (A) Adición de inoculante sólido y solución adherente a las semillas, (B) homogeneización

- Aplicar inmediatamente el carbonato de calcio (Figura 28) según la dosificación descrita en la Tabla 6.



**Figura 28.** Adición de carbonato de calcio a las semillas inoculadas

- Homogeneizar con movimientos circulares hasta lograr la formación de pellets (Figura 29). En este proceso, el cilindro resulta útil, ya que su movimiento giratorio facilita la formación de los pellets.



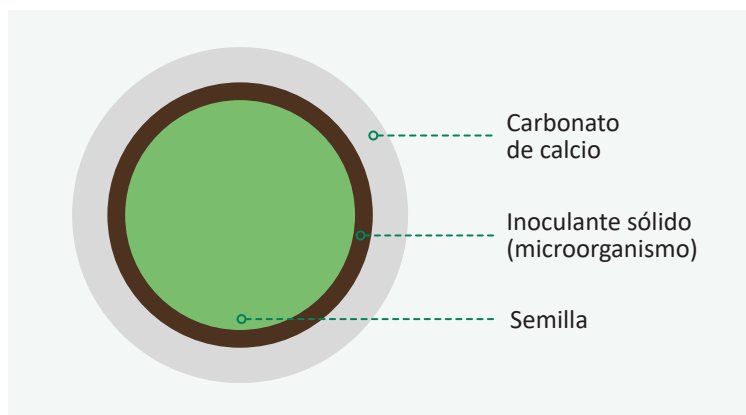
**Figura 29.** Formación de pellets

- Dejar secar bajo sombra y sembrar. La diferencia entre una semilla peletizada y una que no lo está, es claramente distingible (Figura 30).



**Figura 30.** Comparación de semillas. (A) Peletizada y (B) no peletizada

Como se observa en la Figura 31, las semillas son recubiertas por una capa de carbonato de calcio, que brindará una protección a los rizobios al momento que entren en contacto con el suelo.



**Figura 31.** Esquema de una semilla peletizada

### 4.5.3. Inoculación en semillas con curasemillas

Este método se recomienda únicamente en el caso que sea necesario aplicar un curasemillas (fungicida o insecticida). Además, es importante recordar que estos productos químicos pueden ser perjudiciales para los rizobios, y se convierten en un factor de riesgo para una nodulación efectiva.

Para la aplicación conjunta de curasemillas e inoculación de semillas, se recomienda lo siguiente:

- Se deben utilizar aquellos principios activos y formulaciones que sean menos perjudiciales para el rizobio. Es importante consultar con el asesor comercial de los insecticidas y del inoculante.
- Los procesos de curado y el de inoculación de la semilla deben realizarse por separado, con un intervalo mínimo de 10 a 15 días entre ambos. El curado debe efectuarse primero, seguido de la inoculación.
- Si no es posible realizar el tratamiento previo de la semilla. Se debe administrar primero el curasemilla, seguido del inoculante, utilizando el doble de la dosis recomendada.
- Se debe evitar la mezcla del curasemilla con el inoculante, principalmente si este es fungicida.
- Se recomienda el uso de productos bioprotectores junto con el inoculante. Consultar al asesor comercial del inoculante.
- Una vez que se inoculen las semillas, la siembra debe realizarse en menos de 24 horas.
- La siembra debe realizarse en suelos con buenas condiciones de humedad para favorecer una germinación rápida y, como consecuencia, promover la multiplicación de los rizobios.

## 4.6. Inoculación de rizobios al suelo

La inoculación de los rizobios al suelo se recomienda cuando: las semillas no han sido inoculadas, las parcelas están establecidas o se busca evitar los efectos tóxicos de las curasemillas. En estos casos, se requiere una mayor cantidad de inoculante en comparación con la inoculación en las semillas, para asegurar que los rizobios alcancen las raíces ya establecidas (Hungria y Nogueira, 2020). Las dosis varían según el producto: en soporte líquido entre 2 y 6 L/ha, y en soporte sólido 3 kg/ha.

A continuación, se describen tres métodos de inoculación al suelo. La elección de un método dependerá principalmente del sistema de riego disponible en el campo. Se recomienda utilizar inoculantes líquidos para esta aplicación (Guerriere, 2013).

### a. Vía irrigación para sistemas de riego tecnificado

El cálculo de la dosis se realizará en función del área a inocular. Para ello, se recomienda consultar con el asesor comercial o ingeniero agrónomo del proveedor.

Para realizar la inoculación de rizobios al suelo vía irrigación, se debe considerar dos pasos importantes antes de su aplicación:

- Antes de adicionar el inoculante, las tuberías deben estar lavadas. Para esto, se recomienda pasar agua no clorada a través de las tuberías durante aproximadamente 10 minutos (tiempo mínimo) para eliminar residuos químicos.
- Una vez limpias las tuberías, se debe añadir la cantidad necesaria de inoculante en la válvula y luego continuar con el proceso normal de riego.

### b. Mochila de aplicación

El principio para este método es similar al de la vía irrigación.

- Se deben desinfectar previamente las mochilas de aplicación para evitar la presencia de residuos químicos.
- La solución del inoculante debe prepararse en agua no clorada. Luego, debe ser aplicada en el cuello de las plantas utilizando una mochila de aplicación.



Nota: Se debe evitar la aplicación de la solución por vía foliar.

### c. Riego por gravedad

En este método se puede utilizar inoculantes sólidos. La dosis necesaria depende del producto, por ello es necesario consultar con el asesor comercial o el ingeniero agrónomo del proveedor.

Antes de la aplicación del inoculante se debe considerar dos pasos importantes:

- Preparar una solución de inoculante con agua no clorada y mezclar bien.



Nota: Es importante usar recipientes que hayan sido desinfectados previamente y de preferencia que no hayan tenido productos químicos.

- Una vez obtenida la solución del inoculante, esta se debe aplicar en la base del cuello de las plantas.

## 4.7. Reinoculaciones

Los rizobios pueden sobrevivir en el suelo por varios años, pero, se exponen a diversos factores como la competencia con otros microorganismos. Esto puede generar una disminución de su eficiencia para fijar nitrógeno; por ello, se recomienda inocular anualmente para mantener activa la población microbiana de rizobios altamente eficientes en el suelo (Nogueira y Hungria, 2014).

## 4.8. Recomendaciones prácticas

- El tiempo entre la inoculación y la siembra no debe exceder las 24 horas; por ello, la planificación es importante para realizar esta práctica agrícola.
- Al comprar un inoculante, se recomienda observar la fecha de elaboración y vencimiento; la concentración de los microorganismos; y las especies de microorganismos presentes en el producto. Se debe evitar el uso de productos con fecha de vencimiento caducada.
- Se debe evitar el almacenamiento de semillas inoculadas a altas temperaturas o exponerlas directamente a la luz solar. Se recomienda dejarlas secar bajo sombra.
- Es importante usar el rizobio específico para el cultivo que se desea sembrar. Recordar que la simbiosis entre la leguminosa y el rizobio es específica, es decir que, un rizobio puede nodular efectivamente con una especie vegetal, pero no con otra.
- Es recomendable usar adherente para una mayor adhesión del inoculante a la semilla.
- Una vez abierto el inoculante, debe usarse en su totalidad.
- Al momento de la siembra, evitar el manipuleo excesivo de las semillas. Evitar la mezcla con fertilizantes.

- La inoculación debe realizarse en condiciones climáticas favorables, es decir, sin mucha exposición al sol. Se recomienda inocular en horas de la mañana, o en horas de la tarde, cuando el sol disminuye su exposición.

## 4.9. Análisis costo - beneficio

La fijación biológica de nitrógeno puede brindar todo el nitrógeno necesario para la producción de soya. Brasil, uno de los países más avanzados en inoculación con rizobios, desarrolló un programa exitoso con inoculantes para la soya a base *Bradyrhizobium*, ahorrando aprox US\$ 10.2 billones en fertilizantes nitrogenados (Olmo et al., 2022).

A continuación, se muestra un ejemplo de cómo la inoculación con rizobios en leguminosas reduce considerablemente los costos de producción.

En este ejemplo se plantea que un productor de soya tiene un área de 3 000 ha con productividad media de 4 000 kg/ha de granos. En este caso, se analizarán los costos de producción utilizando fertilizantes nitrogenados e inoculante microbiano (Tabla 7).

Se estima que, para la producción de 1 000 kg de soya, se necesitan 80 kg de N/ha (Cafaro-La Menza et al., 2017). Se sabe que la eficiencia de los fertilizantes nitrogenados rara vez supera el 50 % (Viana-Patiño, 2020), debido a la alta volatilidad del nitrógeno, y a las rápidas pérdidas de este nutriente en el suelo. Por ello, es necesario aplicar 160 kg de N/ha para obtener los 80 kg de N/ha requeridos. Además, el costo promedio de una dosis de inoculante es de es US\$ 4.50 y por hectárea se recomiendan dos dosis.

Datos	
Área	3 000 ha
Productividad	4 000 kg/ha
Precio de urea (1 000 kg) <sup>1</sup>	US\$ 320
Precio de 1 dosis de inoculante <sup>2</sup>	US\$ 4.50
Cantidad de N en urea	46 %

1. IndexMundi (2024).

2. Prando et al. (2022).

**Tabla 7.** Datos para el cálculo de los costos utilizando tanto fertilizantes nitrogenados como inoculantes microbianos

## Costo aplicación de urea

### 1. Cantidad de N necesario para la productividad promedio

1 000 kg de soya → 160 kg de N

4 000 kg de soya → **640 kg de N**

Se necesitan 640 kg de N para 4 000 kg de soya

### 2. Cantidad de N necesario para el área total

1 ha → 640 kg N

3 000 ha → **1 920 000 kg N**

Se necesitan 1 920 toneladas de N para las 3 000 ha

### 3. Cantidad de urea necesaria

460 kg de N → 1 tonelada de urea

1 920 000 kg de N → **4 173.9 toneladas de urea**

Se necesitan 4 173.9 toneladas de urea en total

### 4. Costo total de la urea

1 tonelada de urea → US\$ 320

4 173.9 toneladas de urea → **US\$ 1 335 648**

Se gastarán US\$ 1 335 648 con la aplicación de urea

**Tabla 8.** Cálculo de los costos aplicando urea

### Costo aplicación con inoculante

#### 1. Cantidad de dosis de inoculante necesarias

1 ha → 2 dosis

3 000 ha → **6 000 dosis**

Se necesitan 6 000 dosis de inoculante para 3 000 ha

#### 2. Costo total de inoculante

1 dosis → US\$ 4.5

6 000 dosis → **US\$ 27 000**

Se gastarán US\$ 27 000 con la aplicación de inoculante

**Tabla 9.** Cálculo de los costos utilizando inoculantes microbianos



Nota: Estos cálculos se realizaron considerando el caso de la producción de soya en Brasil, donde el uso de fertilizantes nitrogenados fue completamente reemplazado por la inoculación con rizobios.

Se observa que la diferencia del costo entre ambos métodos (Tabla 8 y Tabla 9) es de US\$ 1 308 648 a favor del productor, si realiza la aplicación del inoculante. También, es importante mencionar que en este análisis no se considera el costo del flete, el cual disminuiría los costos de producción; porque, la cantidad del inoculante es mucho menor que el de la urea. Esto demuestra que la aplicación de inoculantes en leguminosas ofrece no sólo ventajas agronómicas y ambientales, sino también económicas.





## 5. Conclusiones

- La inoculación con rizobios es una alternativa sustentable para la agricultura, pues ofrece ventajas agronómicas, ambientales y económicas.
- Existen diversos factores que se deben considerar para una buena eficiencia de la inoculación microbiana. Entre ellos se destaca la calidad de inoculante, calidad de semilla, condiciones del suelo, condiciones climáticas, almacenamiento y método de inoculación.
- La agricultura moderna es la actividad humana con mayor impacto sobre el ambiente, lo que hace imprescindible que tecnologías como la inoculación de rizobios en leguminosas sean consideradas como parte del manejo agronómico de los cultivos.



## 6. Referencias bibliográficas

- Albareda, M., Rodríguez-Navarro, D. N., Camacho, M., y Temprano, F. J. (2008). Alternatives to peat as a carrier for rhizobia inoculants: Solid and liquid formulations. *Soil Biology and Biochemistry*, 40(11), 2771-2779. <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2008.07.021>
- Aramendis, R. H., Mondaini, A. O., y Rodriguez, A. G. (2023). *Bioinsumos de uso agrícola: Situación y perspectivas en América Latina y el Caribe*. Documentos de proyectos. Publicación LC/TS.2023/149. Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL), Naciones Unidas. <https://hdl.handle.net/11362/68714>
- Baioni-Rocha, J. N., y Piña-Gomez, V. (2018). *Desarrollo de nuevas formulaciones de bioinoculantes agrícolas mediante tecnologías de inmovilización* [Trabajo final de carrera para obtener el título de Ingeniera en Biotecnología]. Universidad ORT Uruguay. <http://hdl.handle.net/20.500.11968/3915>
- Benites-Jump, J. R. (2016). Las leguminosas en la alimentación y en la fertilidad de los suelos. *Leisa*, 36(4), 10-12. <https://leisa-al.info/index.php/journal/article/view/53>
- Bianco, L. (2020). Principales aspectos de la nodulación y fijación biológica de nitrógeno en Fabáceas. *IDESIA (Chile)*, 38(2), 21-29. <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-34292020000200021>
- Bianco, L., y Cenzano, A.M. (2018). Leguminosas nativas: estrategias adaptativas y capacidad para la fijación biológica de nitrógeno. Implicancia ecológica. *IDESIA (Chile)*, 36(4), 71-80. <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-34292018005002601>
- Cafaro-La Menza, N., Monzon, J. P., Specht, J. E., y Grassini, P. (2017). Is soybean yield limited by nitrogen supply? *Field Crops Research*, 213, 204-212. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2017.08.009>
- Calero-Hurtado, A., Pérez-Díaz, Y., Quintero-Rodríguez, E., Olivera-Viciedo, D., y Peña-Calzada, K. (2019). Efecto de la aplicación asociada entre *Rhizobium leguminosarum* y microorganismos eficientes sobre la producción del frijol común. *Ciencia & Tecnología Agropecuaria*, 20(2), 295-308. [https://doi.org/10.21930/rcta.vol20\\_num2\\_art:1460](https://doi.org/10.21930/rcta.vol20_num2_art:1460)
- Cooper, J. E., y Scherer, H. W. (2012). Nitrogen Fixation. En P. Marschner (Ed.), *Marschner's Mineral Nutrition of Higher Plants* (3.ª ed.) (pp. 389-408). Academic Press. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-384905-2.00016-9>

- Costa, M. P., Reckling, M., Chadwick, D., Rees, R. M., Saget, S., Williams, M., y Styles, D. (2021). Legume-Modified Rotations Deliver Nutrition with Lower Environmental Impact. *Frontiers in Sustainable Food Systems*, 5, 656005. <https://doi.org/10.3389/fsufs.2021.656005>
- De La Cruz-Bernilla, D. (2023) *Infectividad y efectividad de rizobios en Vigna unguiculata (L). Walp en condiciones de invernadero* [Tesis para optar el título profesional de Licenciado en Biología, Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo]. Repositorio Institucional Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo. <https://repositorio.unprg.edu.pe/handle/20.500.12893/11305>
- Delgado-Andrade, C., Olías, R., Jiménez-López, J. C., y Clemente, A. (2016). Aspectos de las legumbres nutricionales y beneficiosos para la salud humana. *Arbor*, 192(779), a313. <https://doi.org/10.3989/arbor.2016.779n3003>
- Díaz-Piedrahita, S. (1979). *Las leguminosas* (1.ª ed.). Acción Cultural Popular No. 36. Editora Dosmil. <https://babel.banrepcultural.org/digital/api/collection/p17054coll24/id/140/download>
- Faverin, V. (16 de noviembre de 2023). *Inoculantes foram utilizados em 85% da safra de soja 2022/23* [noticia en línea]. Canal Rural. Recuperado el 11 de febrero de 2025 de <https://www.canalrural.com.br/agricultura/projeto-soja-brasil/inoculantes-foram-utilizados-em-85-da-safra-de-soja-22-23/>
- Fernández-Canigia, M. V. (2020). *Factores determinantes de la Nodulación* (edición ampliada y actualizada). Novozymes BioAg América Latina. [https://biosolutions.novozymes.com/sites/default/files/file\\_download/factores\\_determinantes\\_de\\_la\\_nodulacion%20-%20web.pdf](https://biosolutions.novozymes.com/sites/default/files/file_download/factores_determinantes_de_la_nodulacion%20-%20web.pdf)
- Fontaneli, R. S., Santos, H. P. dos, y Baier, A. C. (2012). Morfología de leguminosas forrageiras. En R. S. Fontaneli, H. P. dos Santos y R. S. Fontaneli (Eds.), *Forrageiras para Integração Lavoura-Pecuária-Floresta na Região Sul-Brasileira* (2.ª ed.) (pp. 297-304). Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA). <https://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/handle/doc/1010247>
- Gastélum-Martínez, E., y Evangelista-Martínez, Z. (2024). Encapsulando a los microorganismos benéficos. En Z. Evangelista-Martínez y E. Gastélum-Martínez (Coords.), *Inoculantes Microbianos. Promotores del crecimiento vegetal como alternativa sustentable a los agroquímicos* (1.ª ed., pp. 25-26). Centro de Investigación y Asistencia en Tecnología y Diseño del Estado del Jalisco (CIATEJ).

- Graham, P. H., y Vance, C. P. (2003) Legumes: Importance and Constraints to Greater Use. *Plant Physiology*, 131(3), 872-877. <https://doi.org/10.1104/pp.017004>
- Granda-Mora, K. I., Alvarado-Capó, Y., y Torres-Gutiérrez, R. (2017). Efecto en campo de la cepa nativa COL6 de *Rhizobium leguminosarum* bv. *viciae* sobre frijol común cv. Percal en Ecuador. *Centro Agrícola*, 44(2), 5-13. <http://scielo.sld.cu/pdf/cag/v44n2/cag01217.pdf>
- Guerriere, J. O. (11 de junio de 2013). *Inoculación chorreada en la línea de siembra*. Engormix. Recuperado el 7 de julio de 2024 de [https://www.engormix.com/agricultura/inoculacion-soja/inoculacion-chorreada-lineasiembra\\_f19725/](https://www.engormix.com/agricultura/inoculacion-soja/inoculacion-chorreada-lineasiembra_f19725/)
- Guirola, C. (2010). Tintes naturales. *Su uso en Mesoamérica desde la época prehispánica*. Asociación FLAAR Mesoamérica. [http://www.maya-archaeology.org/FLAAR\\_Reports\\_on\\_Mayan\\_archaeology\\_Iconography\\_publications\\_books\\_articles/12\\_tintes\\_naturales\\_maya\\_mesoamerica\\_etnobotanica\\_codice\\_artesania\\_prehispanico\\_colonial\\_tzutujil\\_mam.pdf](http://www.maya-archaeology.org/FLAAR_Reports_on_Mayan_archaeology_Iconography_publications_books_articles/12_tintes_naturales_maya_mesoamerica_etnobotanica_codice_artesania_prehispanico_colonial_tzutujil_mam.pdf)
- Herrera-Holguín, A. J. (2022). *Importancia del uso de la asociación gramíneas y leguminosas para el pastoreo de rumiantes en el Ecuador* [Trabajo de titulación para la obtención del título de Médico Veterinario Zootecnista]. Universidad Técnica de Babahoyo (UTB). <http://dspace.utb.edu.ec/handle/49000/13357>
- Hidalgo-Rodríguez, J. E. M., Ramos-Otiniano, C. C., Lezama-Asencio, P. B., Chuna-Mogollón, P., y Chaman-Medina, M. E. (2019). Coinoculación de *Rhizophagus irregularis* y *Rhizobium* sp. en *Phaseolus vulgaris* L. var. canario (Fabaceae) "frijol canario". *Arnaldoa*, 26(3), 991-1006. <http://www.scielo.org.pe/pdf/arnal/v26n3/a09v26n3.pdf>
- Hungria, M., y Nogueira, M. A. (2020). Fixação biológica de nitrogênio. En C.D. S. Seixas, N. Neumaier, A. A. Balbinot Junior, F. C. Krzyzanowski y R. M. V. B. de C. Leite (Eds.), *Tecnologias de produção de soja* (pp. 185-196). Sistemas de Produção 17. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA). <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/1123928>
- Hussain, M. I., Syed, Q. A., Khattak, M. N. K., Hafez, B., Reigosa, M. J., y El-Keblawy, A. (2019). Natural product coumarins: biological and pharmacological perspectives. *Biologia*, 74(7), 863-888 (2019). <https://doi.org/10.2478/s11756-019-00242-x>

- IndexMundi. (2024). *Urea Precio Mensual - Dólares americanos por tonelada métrica* (ene. 2020-abr 2024). Recuperado el 4 de julio de 2024 de <https://www.indexmundi.com/es/precios-de-mercado/?mercancia=urea&meses=60>
- Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria Uruguay (INIA Uruguay). (2018). *Inoculación de leguminosas*. Ficha Técnica N° 38. Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria Uruguay (INIA Uruguay). <http://www.ainfo.inia.uy/digital/bitstream/item/11254/1/Ficha-tecnica-38-Inoculacion-leguminosas.pdf>
- Jennings, J., y Foster, J. (2020). Legume Structure and Morphology. En K. J. Moore, M. Collins, C. J. Nelson y D. D. Redfearn (Eds.), *Forages: The Science of Grassland Agriculture (Volume II)* (7.ª ed.) (pp. 51-64). John Wiley & Sons Ltd. <https://doi.org/10.1002/9781119436669.ch3>
- Kinkema, M., Scott, P. T., y Gresshoff, P. M. (2006). Legume nodulation: successful symbiosis through short- and long-distance signalling. *Functional Plant Biology*, 33(8), 707-721. <https://doi.org/10.1071/FP06056>
- Landgraf, L. (13 de abril de 2021). *Brasil tem o primeiro laboratório público de pesquisa acreditado para análise de inoculantes* [noticia en línea]. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA). Recuperado el 9 de febrero de 2025 de <https://www.embrapa.br/busca-de-noticias/-/noticia/60586241/brasil-tem-o-primeiro-laboratorio-publico-de-pesquisa-acreditado-para-analise-de-inoculantes>
- Lapa-Unocc, P. F., Laura-Lucas, L. M., Salazar-Paucar, R. E., y Saldaña-Barillas, P. I. (2023). Evaluación de la Efectividad de Cepas Nativas de Rizobios en la Producción de Diferentes Especies de Leguminosas. *Revista de Investigación Cañetana*, 2(1), 26-31. <https://doi.org/10.60091/ric.2023.v2n1.04>
- Llamas, F., y Acedo, C. (2016). Las leguminosas (Leguminosae o Fabaceae): una síntesis de las clasificaciones, taxonomía y filogenia de la familia a lo largo del tiempo. *Ambiociencias*, (14), 5-18. <https://doi.org/10.18002/ambioc.v0i14.5542>
- Lodeiro, A. R. (2015). Interrogantes en la tecnología de la inoculación de semillas de soja con *Bradyrhizobium* spp. *Revista Argentina de Microbiología*, 47(3), 261-273. <https://doi.org/10.1016/j.ram.2015.06.006>
- Lonazco-Palomino, K. M. (2022). *Co-inoculación con Bradyrhizobium y Azospirillum en el rendimiento y calidad de ecotipos de tarwi (Lupinus mutabilis Sweet), Llachoccmayo - Chiara, Ayacucho 2019* [Tesis para obtener el título profesional de Ingeniera Agrónoma]. Universidad Nacional San Cristóbal de Huamanga. <http://repositorio.unsch.edu.pe/handle/UNSCH/5508>

- López, J. E. (1984). Inoculación de leguminosas forrajeras. Importante proceso para aportar nitrógeno al suelo. *Investigación y Progreso Agropecuario La Platina*, (24), 15-19. <https://hdl.handle.net/20.500.14001/36924>
- Lussani, M. A. (9 de octubre de 2023). *Laboratório de Microbiologia Agrícola da Seapi é referência na produção de inoculantes para lavouras de soja* [noticia en línea]. Secretaria da Agricultura, Pecuária, Produção Sustentável e Irrigação, Governo do Estado Rio Grande do Sul. Recuperado el 8 de febrero de 2025 de <https://www.agricultura.rs.gov.br/laboratorio-de-microbiologia-agricola-da-seapi-e-referencia-na-producao-de-inoculantes-para-lavouras-de-soja>
- Madigan, M. T., Bender, K. S., Buckley, D. H., Sattley, W. M., y Stahl, D. A. (2019). *Brock Biology of Microorganisms* (15.ª ed.). Pearson.
- Matos-Cuzcano, G., y Zúñiga-Dávila, D. (2002). Comportamiento de cepas nativas de rizobios aisladas de la costa del Perú en dos cultivares de pallar (*Phaseolus lunatus* L.). *Ecología Aplicada*, 1(1-2), 19-24. <https://doi.org/10.21704/rea.v1i1-2.225>
- Ministerio de Desarrollo Agrario y Riego (MIDAGRI). (10 de febrero de 2024). MIDAGRI: 140 mil familias producen legumbres en el Perú [Nota de prensa en línea]. Ministerio de Desarrollo Agrario y Riego (MIDAGRI). Recuperado el 8 de febrero de 2025 de <https://www.gob.pe/institucion/midagri/noticias/904690-midagri-140-mil-familias-producen-legumbres-en-el-peru>
- Moreno-Chirinos, Z. E., Valdez-Núñez, R. A., Soriano-Bernilla, B. S., y Ruesta-Campoverde, N. A. (2016). Eficiencia en la nodulación por rizobios nativos, procedentes de nódulos de *Pisum sativum* "arveja" colectados de diferentes Departamentos del Perú. *Scientia Agropecuaria*, 7(3), 165-172. <https://doi.org/10.17268/sci.agropecu.2016.03.02>
- Moreno-Conn, L.M., Pérez, A., Ramírez, M., y Franco, M. (2014). Efecto de la temperatura de almacenamiento sobre la viabilidad de bacterias simbióticas fijadoras de nitrógeno utilizadas en la elaboración de inoculantes biológicos para arveja (*Pisum sativum*) y soja (*Glycine max*). *Revista Colombiana de Biotecnología*, 16(2), 45-56. <https://doi.org/10.15446/rev.colomb.biote.v16n2.47244>
- Mousavi, S. A., Österman, J., Wahlberg, N., Nesme, X., Lavire, C., Vial, L., Paulin, L., de Lajudie, P., Lindström, K. (2014). Phylogeny of the *Rhizobium*–*Allorhizobium*–*Agrobacterium* clade supports the delineation of *Neorhizobium* gen. nov. *Systematic and Applied Microbiology*, 37(3), 208-215. <https://doi.org/10.1016/j.syapm.2013.12.007>

- Naciones Unidas. (s. f.). *Día Mundial de las Legumbres* [en línea]. Naciones Unidas. Recuperado el 10 de febrero de 2025 de <https://www.un.org/es/observances/world-pulses-day>
- Nápoles, M. C., Cabrera, J. C., Wegria, G., Onderwater, R., Wattiez, R., Hernández, I., Costales, D., Rossi, A., Andriolo, L., y González, G. (2018). Induction of signals in *Mesorhizobium cicerii-Cicer arietinum* L. interaction. *Cultivos Tropicales*, 39(2), 101-107. <https://ediciones.inca.edu.cu/index.php/ediciones/article/view/1452>
- Nogueira, M. A., y Hungria, M. (2014). Boas práticas de inoculação em soja. En A. P. S. A. da Rosa y A. C. B. de Oliveira (Eds.), *Atas e Resumos. 40ª Reunião de Pesquisa de Soja da Região Sul* (pp. 40-45). Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA). <https://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/handle/doc/1020357>
- Oldroyd, G. E. D, y Downie, J. A. (2004). Calcium, kinases and nodulation signalling in legumes. *Nature Reviews Molecular Cell Biology*, 5(7), 566-576. <https://doi.org/10.1038/nrm1424>
- Olmo, R., Wetzels, S. U., Armanhi, J. S. L., Arruda, P., Berg, G., Cernava, T., Cotter, P. D., Araujo, S. C., Souza, R. S. C. de, Ferrocino, I., Frisvad, J. C., Georgalaki, M., Hansen, H. H., Kazou, M., Kiran, G. S., Kostic, T., Krauss-Etschmann, S., Kriaa, A., Lange, L., Maguin, E., Mitter, B., Nielsen, M. O., Olivares, M., Quijada, N. M., Romani-Pérez, M., Sanz, Y., Schloter, M., Schmitt-Kopplin, P., Seaton, S. C., Selvin, J., Sessitsch, A., Wang, M., Zwirzitz, B., Selberherr, E., y Wagner, M. (2022). Microbiome Research as an Effective Driver of Success Stories in Agrifood Systems – A Selection of Case Studies. *Frontiers in Microbiology*, 13, 834622. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2022.834622>
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO). (2016). *Legumbres: Semillas nutritivas para un futuro sostenible*. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO). <https://doi.org/10.4060/i5528s>
- Ortega-García, M., Shagarodsky-Scull, T., Dibut-Álvarez, B. L., Ríos-Rocafull, Y., Tejeda-González, G., y Gómez-Jorrián, L. A. (2016). Influencia de la interacción entre el cultivo del garbanzo (*Cicer arietinum* L.) y la inoculación con cepas seleccionadas de *Mesorhizobium* spp. *Cultivos Tropicales*, 37(5 esp.), 20-27. <https://ediciones.inca.edu.cu/index.php/ediciones/article/view/1184>
- Ortiz-Hidalgo, C., y Pina-Oviedo, S. (2018). Hematoxylin: Mesoamerica's Gift to Histopathology. Palo de Campeche (Logwood Tree), Pirates' Most Desired Treasure, and Irreplaceable Tissue Stain. *International Journal of Surgical Pathology*, 27(1), 106689691878765. [https://www.researchgate.net/publication/326379943\\_Hematoxylin\\_Mesoamerica's\\_Gift\\_to\\_Histopathology\\_Palo\\_de\\_Campeche\\_Logwood\\_Tree\\_Pirates'\\_Most\\_Desired\\_Treasure\\_and\\_Irreplaceable\\_Tissue\\_Stain](https://www.researchgate.net/publication/326379943_Hematoxylin_Mesoamerica's_Gift_to_Histopathology_Palo_de_Campeche_Logwood_Tree_Pirates'_Most_Desired_Treasure_and_Irreplaceable_Tissue_Stain)

- Pereira, G., Meneses, M., y Barcelos, C. (17 de marzo de 2023). *As leguminosas-grão e a sua importância na agricultura*. Vida Rural. Recuperado el 7 de febrero de 2025 de <https://www.vidarural.pt/premium/leguminosas-grao-importancia-agricultura/>
- Prado-Chávarri, G., Soriano-Bernilla, B., y Zavaleta-Verde, D. (2020). Efecto de la co-inoculación de *Burkholderia ubonensis* y *Rhizobium* spp. en la nodulación de *Pisum sativum*. *Manglar*, 17(4), 307-311. <https://revistas.untumbes.edu.pe/index.php/manglar/article/view/196/333>
- Prado, A. M., Oliveira, A.B. de, Lima, D. de, Possamai, E. J., Reis, E. A., Nogueira, M. A., Hungria, M., y Carnevalli, R. A. (2022). *Coinoculação da soja com Bradyrhizobium e Azospirillum na safra 2021/2022 no Paraná*. Circular Técnica 190. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA). <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/1150565>
- Pratap, A., y Kumar, J. (2011). History, Origin and Evolution. En A. Pratap y J. Kumar (Eds.), *Biology and Breeding of food legumes* (pp. 1-18). Centre for Agricultural Bioscience International (CABI). <https://doi.org/10.1079/9781845937669.0001>
- Ruiz, L. K., y Forero, E. (2005). Leguminosae subfamilia Papilionoideae. En E. Forero y C. Romero (Eds.), *Estudios en leguminosas colombianas* (pp. 329-358). Colección Jorge Álvarez Lleras No. 25. Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales. <https://repositorio.accefyn.org.co/handle/001/25>
- Rzedowski, J., Calderón-de Rzedowski, G., Torres-Colín, L., Grether, R. (2016). *Familia Leguminosae subfamilia Papilionoideae (Aeschynomene - Diphysa)*. Flora del Bajío y de Regiones Adyacentes, Fascículo 192. Instituto de Ecología, A. C. (INECOL). <https://doi.org/10.21829/fb.53.2016.192>
- Santillana-Villanueva, N. (2021). Mecanismos de inducción de rizobios para reducir el estrés por sequía en las leguminosas. *Revista de Investigaciones Altoandinas - Journal of High Andean Research*, 23(4), 258-265. <https://doi.org/10.18271/ria.2021.263>
- Sengupta, S., y Debnath, S. (2018). Development of sunnhemp (*Crotalaria juncea*) fibre based unconventional fabric. *Industrial Crops and Products*, 116, 109-115. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2018.02.059>
- Souza, G. K. de, Sampaio, J., Longoni, L., Ferreira, S., Alvarenga, S., y Beneduzi, A. (2019). Soybean inoculants in Brazil: an overview of quality control. *Brazilian Journal of Microbiology*, 50(1), 205-211. <https://doi.org/10.1007/s42770-018-0028-z>

- NiFTAL Center for BNF Technologies. (2000). Biological nitrogen fixation: nature's partnership for sustainable agricultural production. En J. A. Silva y R. S. Uchida (Eds.), *Plant Nutrient Management in Hawaii's Soils: Approaches for Tropical and Subtropical Agriculture*. College of Tropical Agriculture and Human Resources (CTAHR), University of Hawai'i at Mānoa. <http://www.ctahr.hawaii.edu/oc/freepubs/pdf/pnm13.pdf>
- Taco-Taype, N., y Zúñiga-Dávila, D. (2020). Efecto de la inoculación de plantas de Tarwi con cepas de *Bradyrhizobium* spp. aisladas de un lupino silvestre, en condiciones de invernadero. *Revista Peruana de Biología*, 27(1), 035-042. <https://doi.org/10.15381/rpb.v27i1.17577>
- Tucker, S. C. (2003). Floral Development in Legumes. *Plant Physiology*, 131(3), 911-926. <https://doi.org/10.1104/pp.102.017459>
- Valladolid-Chiroque, A. R. (2016). Leguminosas de grano: "Semillas nutritivas para un futuro sostenible". Ministerio de Agricultura y Riego (MINAGRI). <https://www.midagri.gob.pe/portal/download/legumbres/catalogo-leguminosas.pdf>
- Vásquez-Castro, E., y Millones-Chanamé, C. (2019). Crecimiento y desarrollo foliar de plantas de alfalfa (*Medicago sativa* L.), inoculadas con cepas de *Rhizobium*, aisladas de pajuro (*Erythrina edulis*). *Revista Científica UNTRM: Ciencias Naturales e Ingeniería*, 2(1), 19-25. <https://doi.org/10.25127/ucni.v2i1.443>
- Viana-Patiño, J. E. (10 de setiembre de 2020). *La eficiencia de los fertilizantes* [artículo en línea]. Engormix. Recuperado el 9 de febrero de 2025 de [https://www.engormix.com/agricultura/fertilizacion-potasica/eficiencia-fertilizantes\\_a45988/](https://www.engormix.com/agricultura/fertilizacion-potasica/eficiencia-fertilizantes_a45988/)
- Xavier, I. J., Holloway, G., y Leggett, M. (2004). Development of rhizobial inoculant formulations. *Crop Management*, 3(1), 1-6. <https://doi.org/10.1094/CM-2004-0301-06-RV>
- Zakhia, F., y Lajudie, P. de. (2001). Taxonomy of rhizobia. *Agronomie*, 21(6-7), 569-576. <https://doi.org/10.1051/agro:2001146>
- Zavaleta-Verde, D., Soriano-Bernilla, B., y López-Calvo, M. A. (2020). Inoculante constituido por *Rhizobium leguminosarum*, *Burkholderia ubonensis* y *Trichoderma harzianum* incrementa el número de sitios activos para la nodulación de *Pisum sativum*. *Manglar*, 17(1), 95-99. <https://doi.org/10.17268/manglar.2020.015>

Zavaleta-Verde, D., Valdez-Núñez, R. A., Santillana-Villanueva, N. (2022). Inoculantes para leguminosas. En R. A. Valdez-Núñez, C. C. Silvera-Pablo y E. J. Bedmar-Gómez (Eds.), *Las leguminosas y su microbioma en la agricultura sostenible* (1.ª ed., pp. 261-279). Universidad Nacional de Barranca (UNAB).





*Instituto Nacional de Innovación Agraria*





D. : Av. La Molina 1981, La Molina  
T. : (511) 240-2100 / 240-2350  
www.gob.pe/inia




PERÚ

Ministerio  
de Desarrollo Agrario  
y Riego



Instituto Nacional de Innovación Agraria

 @INIAPeru  @INIAPeru  @iniaperu  @IniaPeru  @iniaperu  @iniaperu