# Efectividad de diferentes cepas de rizobios en el rendimiento del cultivo de frijol canario (*Phaseolus vulgaris* L.)

Frank Puma

*a EP. Ingeniería Ambiental, Facultad de Ingeniería y Arquitectura, Universidad Peruana Unión*

# INTRODUCCIÓN

La efectividad de cepas de rizobios son el significado de una solución a los problemas que se tiene actualmente, lo cual es que debido a la creciente demanda de alimentos que existe hoy por hoy, ha llevado al uso excesivo de fertilizantes químicos, lo que ha causado problemas ambientales y de salud. Este uso de fertilizantes y pesticidas es muy común en las prácticas de agricultura, pero tiene una desventaja debido a que también es muy superior su costo para los agricultores y el impacto negativo que causa en el medio (Vásquez & Dávila, 2008) Estas cepas de rizobios son bacterias Gram-negativas, que se encuentran en los nódulos radiculares de las plantas leguminosas, que son conocidas por la capacidad que tienen para generar carbono a cambio de fijar nitrógeno para las leguminosas hospedantes que se hallan entre estos (Mukhtar, 2020)

Siendo así las cepas de rizobios E10 y LMT-R28 se pusieron a prueba, para una mejora en el ambiente y en el futuro, siendo así la primera prueba en el frijol de canario, el frijol común (*Phaseolus vulgaris* L.), que es alimento y leguminosa vital a nivel mundial, por su adaptabilidad a diferentes partes del mundo; son las leguminosas alimenticias de mayor distribución en muchas partes de las regiones tropicales, subtropicales y templadas (Aserse et al., 2012).El frijol de canario, ya que es la leguminosa de grano más cosechada en todo el mundo, que también tiene muchas ventajas a nivel nutricional, las cuales son: vitaminas, carbohidratos, minerales y proteínas, que sirve y ayuda mucho a personas que tienen bajos recursos (Bigo, 2001). En la parte ambiental se vio que las cepas de rizobios tienes una efectividad única en la fertilización del suelo y la rotación de cultivos; esto es debido a que los *Rhizobium* compiten contra los microrganismos indígenas que son persistentes y bien amoldados y dispuestos a sobrevivir a condiciones ambientales variables (Rich et al., 1983). Finalizando, el objetivo de este artículo narrativo es explicar y dar a conocer sobre la efectividad que tienen estas cepas de rizobios en los frijoles a nivel global, para así solucionar los diferentes tipos de problemas que ocurren en el mundo del uso excesivo de fertilizantes y otros, dañando los suelos y con ello todo el ambiente y salud.

1. Frijol de canario

El frijol generalmente se refiere a las leguminosas, que pertenecen al género Phaseolus (Lioi & Piergiovanni, 2013) y presenta una gran variedad a nivel mundial en lo cual encontramos a esta planta de frijol de canario ( *Phaseolus vulgaris* L), esta es la leguminosa de grano más cosechada en todo el mundo y fundamental en Latinoamérica y África; donde encontramos la mayor parte de sus progenitores silvestres en Norteamérica, en el lado norte de México y así hasta llegar al noroeste de Argentina, pasando por la mayoría de países de Latinoamérica, este también tiene muchas ventajas a nivel nutricional (Pounis, 2019a), que la cual se usa comúnmente como un grano seco , las cuales son: vitaminas, carbohidratos, minerales y proteínas, que sirve o ayuda mucho a personas que tienen bajos recursos (Ministerio de Agricultura y Riego, 2001), también es una fibra dietética y tiene varias propiedades antioxidantes (Carbas et al., 2020) además aporta en fitonutrientes, ácido fólico y proporciona así una digestión saludable para millones de personas (Silva-Gigante et al., 2023). Con el valioso valor nutricional e importancia cultural, el frijol común es un alimento primordial, vital en la dieta humana en todo el mundo. Esta planta (semilla) al tener un consumo extensivo en el mundo, desempeña un papel importante en el valor nutricional, el cual es crucial para así garantizar una buena seguridad alimentaria en las distintas partes de todo el mundo. Esta semilla/grano es originario de Mesoamérica, probablemente de México, ya que es donde más se cultiva estos diferentes tipos de plantas y semillas (Bitocchi, 2012).

Por otro lado, estas plantas están afines con el microbiota del suelo, donde podemos encontrar a las bacterias fijadoras de nitrógeno al crear una simbiosis con los rizobios (*Rhizobium)* (Pérez-Peralta et al., 2019), rizobios (Dasgupta et al., 2021a) ,y hongos protectores como las micorrizas arbusculares (Ayub et al., 2020) y trichoderma (Siddiquee, 2014) ,las cuales son de suma importancia en este cultivo (De Ron & Rodiño, 2024).

Existe un elemento químico, que es el níquel (Ni), el cual es un micronutriente necesario para la nodulación de las semillas, la germinación y la absorción de nitrógeno por las plantas, pero tiene un problema, el cual es que al momento de acumular en exceso este puede provocar mucha toxicidad. Este exceso proviene de los metales pesados ​​(MH) el cual perjudica el crecimiento, desarrollo y la reproducción de las plantas, en lo cual se generan rarezas, afectando a la disminución de la germinación en las semillas, retardo en su crecimiento, amarillamiento de las hojas, decoloración, necrosis y encogimiento de las raíces (Feng et al., 2023) .

Siendo así, en el *Phaseolus vulgaris* L., se reportaron que algunos de estos compuestos mencionados tienen una actividad antibacteriana, que se efectúa principalmente en la cubierta pigmentada del grano de la planta, esta es rica en metabolitos secundarios bioactivos (Pina-Pérez & Ferrús Pérez, 2018), todo esto afectando a la planta de frijol de canario, debido a los diferentes químicos o metales con la cual la planta tiene contacto, por lo cual se usaron los rizobios para poder mejorar todo esto, tanto en la salud como en los suelos.

1. **La definición de los rizobios (bacterias)-Rhizobium**

Los rizobios, en termino general con bacterias, que las cuales son fijadores de nitrógeno y colonizadores de raíces, , las cuales están ubicadas-viven-en la simbiosis con las plantas leguminosas al ser microbios abundantes en el suelo; estos pertenecen también a los microorganismos, las cuales están en el suelo, por lo cual estos microbios son primordial para el recurso natural, para el desarrollo verde, siendo así llamativo e interesante para todo el mundo, ya que proporciona beneficiosos directos a los huéspedes al determinar el nitrógeno y promover la adquisición de nutrientes, también es algo innovador para el desarrollo saludable de las plantas y útil y sano para el suelo (Kuppe et al., 2022) . Sin embargo, estos rizobios no son tan conocidos por completo, ya que este también ayuda indirectamente en el rendimiento de la planta, deteriorando a las plagas de insectos, y a los patógenos transmitidos por insectos, pero se vio que los resultados actuales del laboratorio con los ya existentes son contradictorios (Chisholm et al., 2025) .

Además del simbionte de rizobios, las otras bacterias pueden incluso hasta mejorar su nodulación y su tasa de fijación de nitrógeno de las demás plantas, todo esto mediante distintos mecanismos; por lo cual a estas bacterias o microorganismos se le denominaron bacterias auxiliares de rizobios (RHB) (Vo, 2021).

Estos también mejoran la salud del suelo, el cual se encuentra dañino, debido a los altos químicos o metales pesados que injertan en el suelo para una mejora en la planta; además de eso, contribuye al crecimiento de los cultivos mediante el uso de fertilizantes ricos en microorganismos, es muy favorable ya que mantiene un equilibrio entre una producción eficiente de cultivos y una agricultura sostenible (Nosheen et al., 2021) .

En los rizobios podemos ver que son sorprendentemente competentes y uno que otro puede fijar nitrógeno en estado de vida libre, ya que estos rizobios son bacterias de vida libre, y para observar cual es el factor que hace que estos rizobios aumenten de su tamaño de población, son el estrés ambiental (como la acidez del suelo), el pastoreo de protozoos y algunos factores asociados a la intensificación agrícola (aumento de salinidad, contaminación del suelo por metales pesados y otros) y eso en ausencia de las leguminosas hospedantes, ya que las poblaciones de rizobios generalmente aumentan en respuesta a la presencia de la leguminosa hospedante (Kahindi et al., 1997).

1. **Problemas dados sin las cepas de rizobios de solución**

Para satisfacer la creciente demanda de alimentos provocada por el crecimiento de la población, es necesario introducir una gran cantidad de fertilizantes químicos en el entorno agrícola durante el proceso de cultivo de alimentos para aumentar la producción de alimentos (Akanmu et al., 2023), por lo cual debido a ello se genera un daño al suelo, ya que hay un uso excesivo de fertilizantes químicos.

Los fertilizantes químicos se han utilizado durante mucho tiempo para mejorar el rendimiento de los cultivos. Sin embargo, este podría generar algunos efectos negativos en el suelo, en la salud humana y animal, que la mayor cantidad de estos son o lo generan indirectamente, por perdidas de minerales que impactan, por ejemplo, sobre la calidad nutricional de los alimentos, y también están los daños directamente, los cuales son, la exposición de sus componentes abióticos y bióticos, como microorganismos y sus toxinas (Zabaloy, 2021), esta última característica implica la producción de alimentos sin diseños detectables de agroquímicos, los que podrían amenazar la salud del consumidor, ya que para la vista del ser humano, esto es totalmente no visible. También, el uso a largo plazo de estos agroquímicos no solo afecta la fertilidad del suelo, sino que también contamina los ecosistemas al introducir sustancias tóxicas (Bezner Kerr et al., 2021). Estos contaminantes son persistentes y se acumulan en el medio ambiente con el tiempo, lo que provoca la contaminación de la cadena alimentaria y, en última instancia, representa una amenaza para la salud humana. Por ende, para lograr el desarrollo verde y sostenible de la agricultura y garantizar la vida sana de los seres humanos, se debe reducir el uso de fertilizantes químicos (Chaudhary et al., 2023).

1. **La selección de cepas de rizobios para la planta de frijol de canario**

Para la selección de estos cepas de rizobios, primero es ver el proceso por el cual vaya a pasar los frijoles, en lo cual el proceso de nodulación es muy complejo y se tiende en varias etapas, que incluyen los siguientes sucesos: un intercambio de señales moleculares que aprueba el reconocimiento simbiótico entre la planta y la bacteria-lo cual es muy indispensable-, la adhesión de la bacteria a la superficie radical, la contaminación de la raíz por dentro de los pelos radicales, la diferenciación y el progreso del nódulo en la planta disparados por moléculas del rizobio, la invasión de los nódulos y la diferencia de los rizobios dentro de los nódulos a las formas competentes de catalizar la fijación de N2 (Oldroyd et al., 2011)

En un estudio principal se utilizaron las cepas E10 (*Rhizobium*) y LMT-R28 (Brady*rhizobium*) de rizobios como inoculantes, donde en ellas se obtuvieron nódulos de las *Phaseolus vulgaris* L. y frijol de pallar (*Phaseolus lunatus* L.) los cuales fueron una colección del Laboratorio de Ecología Microbiana y Biotecnología Marino Tabusso de la Universidad Nacional Agraria La Molina (UNALM).

Para poder ver cual cepa de rizobio es más efectiva y cual trae consigo mayor utilidad, primero se identifica cual de todas trabaja mejor conforme con la planta de frijol de canario.

Luego, aislamos una cepa de *Burkholderia cepacia* (SAOCV2) (Vio et al., 2020); la eficacia que tiene esta cepa es más que todo para un crecimiento y contenido mejor para el *Phaseolus*, mediante bacterias *“Paraburkholderia”* (P) en el frijol común (Jain et al., 2022); este se evaluó en un suelo tradicionalmente cultivado con esta especie, en este suelo el frijol común es afectado por*Fusarium* (puede causar hasta una pudrición en una planta). Los resultados muestran que esta cepa SAOCV2 fue capaz de poder movilizar a todas las P eficientemente en el frijol común, siendo así que el contenido de P en el frijol común tuvo un aumento en un 44% con respecto a las otras plantas, las cuales no fueron inoculadas, pero que las cuales no fue mucha la diferencia con respecto a las plantas que son tratadas con fungicida (Smart, 2003) . Además, en lo que si resalta es que, en el contenido de N en plantas inoculadas con la cepa SAOCV2 fue convincentemente mayor que en las plantas no inoculadas. Todo este resultado se correlaciona con un mayor número de nódulos en plantas inoculadas con SAOCV2 y alternadas con fungicida, e indica que la separación del crecimiento fúngico ayuda a la prosperidad de la comunidad bacteriana (Jang & Seo, 2023) en la rizosfera vegetal (Gwinnup & Schnoor, 2014) también incluyendo los rizobios (Dasgupta et al., 2021b). Los resultados dados ya del final sugieren que la inoculación con la cepa SAOCV2 origina el crecimiento la planta de frijol común, mediante diferentes tipos de mecanismos, donde encontramos a la movilización de P, la oposición hacia reinos patógenos de*Fusarium*e, y también indirectamente con un aumento de la nodulación (Cabello et al., 2009), que puede conducir a un aumento de la fijación de N2 (Peix et al., 2001).

En los *Rhizobium* (Dasgupta et al., 2021c) encontramos también las cepas élite *Rhizobium tropici* CIAT 899, *R. tropici* CPAC H12 y *R. freirei*PRF 81, estos se utilizan rutinariamente en la mayoría de estudios de estos, que involucran la fijación biológica de nitrógeno (FBN) (Gupta et al., 2021) en el frijol común (*Phaseolus Vulgaris L*.), y como nuevos modelos para una selección de nuevas cepas (Abou-Shanab et al., 2019; Chekanai et al., 2018; Moreira et al., 2017). Sin embargo, *P. vulgaris* podría ser nodulada por otras varias cepas *de Rhizobium* y entre otras especies rizóbicas (Michiels et al., 1998; Tong et al., 2018; Wong-Villarreal & Caballero-Mellado, 2010). Por lo tanto, esta localización de estas cepas de elite es perfecta para que así puedan asegurar un hábitat los nódulos de manera efectiva (Rilling et al., 2019). A pesar de estos resultados prometedores tras todo el proceso de su inoculación (Hungria & Vargas, n.d.; Mostasso et al., 2002), sus tasas de ocupación nodular generalmente llegan a descuidarse. La evaluación dada de la ocupación nodular y el establecimiento de estas cepas en el sistema suelo-planta permiten evaluar una aptitud y rendimiento seguro, bajo diferentes condiciones de cultivo.

Por consiguiente, la mayor parte de la investigación se centra en el desarrollo de fertilizantes microbianos sólidos (cepas de rizobios en solidos).

1. **Los diferentes tipos de factores que influyen en la efectividad**

Según Tofiño Rivera et al. (2020), comprendió a su metodología que, para hacer todos estos estudios, primero lo esencial es hacer un análisis correlacional de indicadores de calidad del suelo, rendimiento del cultivo y persistencia en los granos de la planta que se vaya a trabajar. Durante el cultivo se consideró el uso de Acidpro (Ácido desincrustante) para asegurar una distribución, penetración y adherencia óptimas de los productos aplicados en el follaje. La cosecha se realizó 110 días después de sembrar, tras realizar un método de manejo integrado de plagas y prácticas culturales para gestionar las enfermedades y plagas. Se seleccionaron al azar diez plantas de cada unidad experimental para la evaluación, las cuales fueron cosechadas manualmente. Las muestras y la evaluación de los datos se realizaron durante la cosecha a los 110 días después de la siembra. No dejar atrás, que la altura de la planta se evaluó semanalmente después de la siembra.

Durante el análisis se midió la altura de planta, el número de vainas, el tamaño de las vainas, el peso de 100 semillas, la longitud de raíz, el peso seco de raíz y el rendimiento. En la parte del peso seco de raíz, este se analizó después de secarse en una estufa durante 72 horas a 65 °C en el laboratorio de Sanidad Vegetal de la UNDC. La cosecha se realizó en el momento en que las semillas y las plantas estaban completamente secas; las semillas se secaron al sol durante dos días y se determinó su peso por parcela. Además, se hizo el trabajo de remover todas las plantas y contar el número de plantas por parcela, también hubo una división entre el peso seco de las semillas y el número de las plantas cosechadas, y luego se multiplicó por el número estimado de plantas por hectárea, todo esto para calcular el rendimiento de cada parcela.

Para las técnicas de monitoreo, se rastrearon cepas inoculas, las cuales han sido recurrentes desde que se hizo la selección de rizobios elite. Estas técnicas de monitoreo sirven para rastrear cepas inóculos, las cuales han sido recurrentes desde el inicio de la selección de rizobios élite (De Oliveira et al., 2006; Pillai et al., 1992). Sin embargo, existe una alta diversidad de microbios (microbiana) que está asociada a las plantas, lo cual no en todas, pero limita la especificación de la mayoría de estas técnicas (Kandel et al., 2017).

No olvidar también de que para cada planta existe un único genotipo o cepa rizóbica, esto con fines de establecer una fijación efectiva de N (es decir, la base de la industria de inóculos rizóbicos), esta parte es cuestionable ya que la biodiversidad dentro de las especies es necesaria para asegurar tal función, aunque esto puede conferir resiliencia frente a mayores tensiones ambientales (Kahindi et al., 1997).

1. **La inmunización y formulación**

Primeramente, tenemos dos tipos de fertilizantes en los microbianos (rizobios), que son fertilizantes liquidas y solidas según la forma farmacéutica terminada. Ya después de la preparación del líquido, se procede a tirar/aplicar al suelo, siendo así que los microorganismos (rizobios) libres en ella entran en contacto directo con el ambiente externo y llegando así a carecer de protección (Meftah Kadmiri, 2021). En la parte de los líquidos, su tasa de utilización real de las bacterias líquidas es generalmente baja y el tiempo de uso es corto, solo se utilizan como un suplemento a corto plazo. En cambio, también encontramos a los fertilizantes sólidos, donde están los polvos y los gránulos, estos se elaboran esencialmente al mezclar microorganismos líquidos con portadores y secándolos a baja temperatura. Como los microorganismos están protegidos por los portadores, estos mismos microorganismos dentro de los fertilizantes sólidos, pueden aislarse del mundo exterior cuando se enfrentan a condiciones ambientales externas adversas, lo que reduce eficazmente el impacto de las condiciones adversas en los microorganismos. Además, los fertilizantes solidos tienen muchas ventajas, las cuales serían: ventajas de un transporte cómodo, un alto contenido bacteriano, una aplicación sencilla, un aumento significativo del rendimiento y una larga vida útil (Wu et al., 2019).  Por consiguiente, la mayor parte de la investigación se centra en el desarrollo de fertilizantes microbianos sólidos (He et al., 2015; Zhu et al., 2023)

Es fundamental que los materiales de soporte para esta investigación y para la producción de los frijoles sean rentables, considerados con el medio ambiente y eficientes para los microorganismos paralizados (Rojas-Sánchez et al., 2022).

Se realizo un plan de estudio, en el cual este fue utilizado en el campo experimental de la UNDC (13°4′57″S 76°23′19″W), el cuál consistió en un diseño de bloques completamente al azar que incluyó 4 tratamientos (Cepa E10, Cepa LMT - R28, Fertilización N y Testigo) y cuatro bloques, lo que dio en un total de 16 parcelas experimentales. Cada parcela estaba constituida por 14,4 m2, con cinco hileras separadas por 0,8 m y plantas separadas por 0,3 m con un total de 60 plantas por parcela.

En cuatro de las parcelas experimentales se añadieron 5 g de nitrógeno por planta después de la siembra. Esta cantidad fue calculada basándose en referencias, análisis de suelo y rendimientos previstos. Los tratamientos consistieron en frijoles inoculados con dos cepas de rizobios (E10 y LMT - R28), así como dos tratamientos no inoculados, uno fertilizado y el otro no, con 5 g de nitrógeno.

Se ha demostrado que los inóculos de las cepas *Rhizobium* obtenidas de *Vicia faba* L. y *Pisum sativum macrocarpum* proporcionan mayor longitud de vaina, número de vainas por rama y rendimiento de vaina verde. Además, se observa una amplia variación entre los tratamientos, lo que confirma la capacidad de interacción de este cultivo, teniendo en cuenta que el uso de cepas nativas de *Rhizobium* puede ayudar a regenerar la calidad del suelo al incrementar su contenido de nitrógeno y promover la salud de las plantas

También encontramos a diferentes tipos de cepas de rizobios, las cuales son 4 cepas de *Rhizobium phaseoli* (KIM5s, CIAT 895, CIAT 7202, CIAT 151) y 1 cepa de *Rhizobium tropici* (CIAT 899) las cuales fueron trasladados con las cepas, para así determinar la capacidad de nodulación de estas cepas en el Phaseolus *vulgaris* en suelo (Streit et al., 1995). Para ello, se pusieron diez cultivares de *Phaseolus vulgaris* con diferente contenido de taninos en las semillas, estos se cultivaron en macetas en un invernadero en suelo a pH 4,5 o 5,5, inoculados con cantidades iguales de las cepas CIAT 899 y KIM5. A pH 5,5, se vio que en todos los cultivares de la cepa KIM5 se ocupó una gran cantidad de nódulos, más que la cepa CIAT 899. Esto se revirtió a pH 4,5; pasado 21 dias después de la inoculación, el número y el peso de los nódulos se redujeron considerablemente, en cambio las concentraciones de taninos en las raíces se doblaron a pH 4,5. Estos números de nódulos, se correlacionaron negativamente con la concentración de taninos en las raíces a ambos valores de pH, en el caso del contenido de taninos en las semillas, se correlacionó negativamente con la nodulación temprana, pero esto fue estadísticamente significativo solo a un pH de 5,5. La nodulación de los cultivares con alto contenido de taninos en las semillas fue generalmente más comprensivo a la acidez que la de aquellos con bajo contenido de taninos en las semillas. Ya en un segundo experimento, se plantaron seis cultivares *de Phaseolus vulgaris* en dos diferentes sitios de campo, uno con suelo ácido y uno en sitio con suelo neutro. En el campo, se observó lo mismo que ocurrió con las macetas, ya que sus números de nódulos en las primeras etapas del desarrollo de la planta tuvo una reducción, el cual fue entre un 30% y un 50% en los suelos ácidos en comparación con el suelo neutro. Por el contrario, el contenido de taninos en las raíces en suelos ácidos fue el doble que en el suelo neutro. Por ende, se vio la importancia de ver/mirar los efectos significativos de solamente cultivar al azar y otro por cultivar por ubicación (Wolff et al., 1993).

Según (Lapa-Unocc et al., 2024a), en su artículo de investigación se presentó un resultado, donde se da a conocer diferentes tipos de detalles de la planta, como la altura de planta, el número de vainas por planta, tamaño de vainas, peso de 100 semillas, longitud de raíz, peso seco de raíz y rendimiento de las plantas de frijol canario inoculadas con dos cepas de rizobios, y la prueba de control con fertilización nitrogenada y sin control nitrogenada. Asimismo, se observa la prueba de significancia de Duncan (p <0,05). Todo esto con fines de mostrar la labor de una cepa de rizobio en una planta y los diferentes tipos que influyen en los resultados.

Tabla 1 **Resultados promedio de las variables evaluadas en plantas de frijol canario.**

| **Tratamientos** | **Altura de plantas (cm)** | **Número de vainas** | **Tamaño de vainas (cm)** | **Peso de 100 semillas(g)** | **Longitud de raíz(cm)** | **Peso seco de raíz(g)** | **Rendimiento (kg ha-1)** |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **Cepa E10** | 45,22 c | 14,97 b | 11,17 b | 30,32 ab | 22,07 b | 2,07 a | 1516,12 ab |
| **Cepa LMT - R28** | 42,70 bc | 15,67 b | 11,30 b | 34,10 b | 14,47 a | 2,56 a | 1705,12 b |
| **Fertilización N** | 40,72 b | 14,45 b | 11,12 b | 29,83 a | 13,59 a | 1,86 a | 1491,62 a |
| **Testigo** | 29,05 a | 11,77 a | 10,45 a | 27,84 a | 13,45 a | 1,31 a | 1391,75 a |

Fuente (Lapa-Unocc et al., 2024b) Nota: Letras diferentes por columnas son diferentes con p-valor de 0.05 según Tukey

1. **Desenlace de los rizobios**

Diferentes estudios de investigación han demostrado que los fertilizantes microbianos elaborados a partir de rizo-bacterias promotoras del crecimiento de las plantas (PGPR), tienen un papel importante en la mejora de la fertilidad del suelo y la promoción del crecimiento de cultivos (Chanratana, 2018) el cual es una ventaja sumamente para los agricultores y para el medio ambiente. Las PGPR, un tipo de probiótico vegetal, ayudan a que el suelo y el crecimiento de las plantas tengan una fertilidad firme y así mantenerlo. Tanto a nivel nacional como internacional, se han descubierto más de 20 especies de PGPR, las cuales pueden descomponer la materia orgánica en el suelo, inhabilitar las enfermedades transmitidas por el suelo y así promover el crecimiento y la firmeza de los cultivos (Hyder, 2023).

Otro de los resultados importantes son en el suelo rizosfera, donde su crecimiento de las plantas se benefició de diversas bacterias con funciones promotoras del crecimiento, las cuales desempeñan un papel fundamental en el ciclo de nutrientes del suelo. Además, las plantas secretan metabolitos secundarios para nutrir a los microorganismos presentes en la rizosfera, manteniendo así una alta actividad microbiana (Chamkhi et al., 2022). Los *Rhizobium*, como *Brady Rhizobium* y *Rhizobium*, suelen invadir las raíces de los cultivos, formando nódulos radiculares y estimulando directa o indirectamente su crecimiento (PN Bhattacharyya, 2011), lo cual genera una fertilidad sana al suelo debido a esas bacterias inoculadas en la planta, y así nutrir al suelo de manera efectiva, sirviendo para otra cosecha de plantas y/o frijoles.

1. **Beneficios de los rizobios**

Decir que, para las pruebas dadas, se tuvo que hacer una elección de rizobios con la cual se iba a trabajar, las cuales fueron iniciadas con las cepas nativas de rizobios, con la cual se obtuvo *Phaseolus vulgaris* y *Phaseolus lunatus*, el cual fue injertado en el cultivo de frijol, la cual se convierte en una elección realizable y sostenible a la aplicación de fertilizantes nitrogenados, donde estos son muy costosos y pueden provocar impactos negativos en el ecosistema.

La forma en que los rizobios se asocian con las raíces de los frijoles sugiere que esta conexión es crucial. Además, modelos estadísticos revelaron que inocular con rizobios fue más efectivo que usar fertilizantes nitrogenados artificiales para hacer que los guisantes fueran más resistentes a los pulgones y al virus del mosaico enano del frijol (PEMV). De hecho, los rizobios aportaron mayores beneficios al rendimiento de los cultivos en comparación con los fertilizantes.

Por otro lado, al esterilizar el suelo, se observó un aumento en la cantidad de pulgones y en la presencia del PEMV en comparación con las plantas que se inocularon con rizobios. Además, la esterilización del suelo disminuyó la producción de guisantes. Estos hallazgos indican que los microorganismos beneficiosos del suelo pueden tener un impacto significativo en las interacciones que ocurren en la parte aérea de las plantas. Esto se debe a que promueven directamente el crecimiento de las plantas y alteran su capacidad para tolerar insectos y enfermedades.

Los resultados de este estudio demuestran que las cepas nativas de rizobios evaluadas tienen un impacto significativo en el rendimiento del cultivo de frijol. En una investigación previa se utilizaron dos cepas de *Rhizobium* sp., denominadas LMT10 y LMT15, en cuatro variedades de frijol. Se utilizo el análisis de varianza, para comparar los diferentes tipos de cepas de rizobios en el *Phaseolus vulgaris* L. en las estadísticas de los resultados dados, el cual reveló diferencias altamente significativas (p < 0,001) entre las variedades, en cuanto al número de vainas por planta, número de granos por vaina y rendimiento de grano seco. Estos hallazgos son coherentes con investigaciones anteriores que han destacado la importancia de la simbiosis entre rizobios y plantas leguminosas en la fijación de nitrógeno y, por ende, en el rendimiento de los cultivos.

La utilización de cepas nativas de rizobios obtenidas de *Phaseolus vulgaris* y *Phaseolus lunatus* en el cultivo de frijol se convierte en una alternativa viable y sostenible a la aplicación de fertilizantes nitrogenados, que son costosos y pueden provocar impactos negativos en el ecosistema. Se ha demostrado que los inóculos de las cepas *Rhizobium* obtenidas de *Vicia faba* L. y *Pisum sativum macrocarpum* evaluadas proporcionan una mayor longitud de vaina, número de vainas por rama y rendimiento de vaina verde. Además, se observa una amplia variación entre los tratamientos, lo que confirma la capacidad de interacción de este cultivo, teniendo en cuenta que el uso de cepas nativas de *Rhizobium* puede ayudar a regenerar la calidad del suelo al incrementar su contenido de nitrógeno y promover la salud de las plantas.

De hecho, el*Rhizobium* modificado genéticamente aumentó el número de unidades de colonización de MA y la capacidad de adquisición de nutrientes en la planta micorrízica, con respecto a la cepa rizóbica de tipo silvestre (Tobar et al., 1996).

1. **Impacto ambiental en la agricultura (suelos).**

En primer lugar estas prácticas agrícolas y también agroecológicas tienen como objetivo optimizar los procesos ecológicos, la salud y los bienestares ambientales y públicos, y con eso también poder restar los costos socio-ecológicos de la agricultura, como la degradación del suelo  [(Ritsema et al., 2004)](https://www.sciencedirect.com/topics/agricultural-and-biological-sciences/soil-degradation), la contaminación del agua, las emisiones de gases de efecto invernadero, el agotamiento de los recursos renovables (Hutu & Onan, 2019) y las distribuciones sociales inequitativas (Dumont et al., 2013; HLPE, 2019).

Estos también traen cambios a nivel de campo basados en los principios de degestión del suelo (Esfandiarpour-Borujeni et al., 2018)y la salud animal, estos pueden avanzar sucesivamente hacia un enfoque agroecológico al mejorar la eficiencia de los insumos no renovables y a través de la sustitución, como el reemplazo de fertilizantes sintéticos con enmiendas orgánicas del suelo, pero todo esto sería verdad si no fuera por el uso de los fertilizantes nitrogenados y por la mala gestión de las diferentes ciudades o países del mundo de los metales pesados que llegan a contaminar a suelo y así por consiguiente al medio ambiente.

 A nivel mundial, las fincas pequeñas y medianas proporcionan proporciones significativas de diversos grupos de alimentos (por ejemplo, verduras, frutas, legumbres) (Herrero et al., 2017), lo que contribuye a la nutrición humana (Pounis, 2019b), y por esto se genera la fuerte demanda de alimentos, lo cual a su vez también trae consigo a la agricultura, la cual debido a su fuerte demanda de alimentos, necesitan tener más rápidos sus productos para que así los mismos agricultores generen su propia ganancia, pero que en lo cual dentro de ese proceso de productividad, está el uso excesivo de fertilizantes químicos o nitrogenados para que el alimento pueda salir más rápido y así poder entregarlo a las personas, dañando así la salud de las personas, pero más importante dañando los suelos y viniendo la degradación de los suelos en diferentes partes del mundo.

CONCLUSIÓN

Después de a ver analizado y explicado los subtemas de la efectividad de las cepas de rizobios en el mundo, se constata que las cepas de rizobios inoculadas en el frijol canario (*Phaseolus vulgaris* L.) influyen positivamente y significativamente en los cultivos (agricultura), especialmente y resaltando a la cepa LMT – R28, que muestra instrumentos más equilibrados en los parámetros evaluados y produce un mejor rendimiento en el crecimiento vegetativo y en la cepa SAOCV2 que también muestra un mejor rendimiento en la fertilización nitrogenada. Aunque hubo varios factores que influyeron, en lo cual se notó esa diferencia, como en el número de vainas, también posiblemente a las condiciones climáticas ambientales desfavorable; los beneficios en el rendimiento del frijol fueron evidentes con las cepas de rizobios inoculadas.

Este estudio demuestra que las cepas nativas de rizobios de alguna manera son de mucha ayuda para el ser humano en la agricultura como también para el ambiente, también que estos pueden incrementar significativamente la producción de los frijoles sin el exceso de uso de fertilizantes químicos o nitrogenados, las cuales son un contaminante para el suelo. Se recomienda realizar más investigaciones con diferentes tipos de cepas para que así se pueda identificar con más eficacia en diferentes condiciones ambientales. Estas investigaciones resaltan sus resultados para ver el potencial de la inoculación, el cual acrecienta la productividad del frijol común y así mejorar la producción de diferentes cultivos agrícolas con la aportación de nitrógeno al agroecosistema.

# Referencias

Anaya, A. ,.-B. (Agosto de 1995). Allelopathic potential of Ipomoea tricolor (Convulvaceae) in a greenhouse experiment. *Revista de ecología química, 21*(8), 1085-1102. Obtenido de https://www.scopus.com/record/display.uri?eid=2-s2.0-0028896605&origin=inward&txGid=83a28deb34fe91b1088898189cf6b464

Aregu Amsalu Aserse, L. A. (Marzo de 2012). Filogenia y diversidad genética de rizobios noduladores nativos del frijol común ( Phaseolus vulgaris L.) en Etiopía. *Sciencedirect, 35*(2), 120-131. Obtenido de https://doi.org/10.1016/j.syapm.2011.11.005

Bigo, A. v. (Junio de 2001). *El cultivo del frijol (Phaseolus vulgaris L.) en la costa del Perú.* Lima-Perú: Instituto Nacional de Investigación Agraria. Obtenido de https://repositorio.midagri.gob.pe/bitstream/20.500.13036/590/1/Cultivo\_Frijol\_costa.pdf

Bitocchi, E. ,. (2012). El origen mesoamericano del frijol común ( Phaseolus vulgaris L.) se revela mediante datos de secuenciación. *Actas de la Academia Nacional de Ciencias, 109*(14), E788-E796. Obtenido de

https://www.scopus.com/record/display.uri?eid=2-s2.0-84859448338&origin=inward&txGid=ade5c76c299f88989df63773218d4825

Bruna Carbas, N. M. (2020). Nutrientes, antinutrientes, composición fenólica y actividad antioxidante de cultivares de frijol común y su potencial para aplicaciones alimentarias. *Antioxidantes, 9*(2). Obtenido de

https://www.mdpi.com/2076-3921/9/2/186

Chanratana, M. ,. (19 de Septiembre de 2018). Evaluación de Methylobacterium oryzae CBMB20 inmovilizado con quitosano y alginato en el crecimiento de plantas de tomate. *Archivos de Agronomía y Ciencias del Suelo, 64*(11), 1489-1502. Obtenido de https://www.scopus.com/record/display.uri?eid=2-s2.0-85042928887&origin=inward&txGid=523f66dc297fe7c079f2d594aa723164

Hyder, S. R.-V. (2023). Aplicaciones de las rizobacterias promotoras del crecimiento vegetal para aumentar la producción y la resiliencia de los cultivos. *Revista de nutrición vegetal, 46*(10), 2551-2580. Obtenido de

https://www.scopus.com/record/display.uri?eid=2-s2.0-85145454748&origin=inward&txGid=bb3b8453f12cc57f5adf7cdbb2463e7c

Juan, R. ,. (2011). Bioencapsulación de células microbianas para administración agrícola dirigida. *Crit. Rev. Biotechnol, 31*, 211-226. Obtenido de https://www.scopus.com/record/display.uri?eid=2-s2.0-80051926962&origin=inward&txGid=4fc93aa47bbdd2386e12bb21ebbadac3

Meftah Kadmiri, I. E. (Enero de 2021). Bioformulación de fertilizante microbiano a base de arcilla y encapsulado de alginato. *Curr. Microbiol, 78*(1), 86-94. Obtenido de https://www.scopus.com/record/display.uri?eid=2-s2.0-85093972792&origin=inward&txGid=ea4621db6ed24bb18fd37dd9976f3a22

Ministerio de Agricultura y Riego, I. N. (2001). Cultivo del Frijol en la Costa del Perú. *Alicia*. Obtenido de

http://repositorio.minagri.gob.pe:80/jspui/handle/MINAGRI/590

Mukhtar, A. M. (31 de agosto de 2020). Impacto de la salinidad del suelo en el microbioma de los nódulos del caupí y el aislamiento de cepas de PGPR halotolerantes para promover el crecimiento de las plantas bajo estrés salino. *Online publications, 4*(4), 364-374. Obtenido de

file:///C:/Users/USUARIO/Downloads/1-s2.0-S259026282200003X-main.pdf

PA Rich, C. H. (1983). Establecimiento y nodulación del trébol de hojas de flecha. *Agronomy Journal, 75*(1), 83-86. Obtenido de

https://pdf.sciencedirectassets.com/314038/1-s2.0-S1512188717X00043/1-s2.0-S1512188716300483/main.pdf?X-Amz-Security-Token=IQoJb3JpZ2luX2VjEJr%2F%2F%2F%2F%2F%2F%2F%2F%2F%2FwEaCXVzLWVhc3QtMSJGMEQCIHps99yWdBVKeqRs35subS5rPzKJe%2B1gOmU5DeAd4DCbAiAhSfvVrT%2Bx

PN Bhattacharyya, D. J. (24 de Diciembre de 2011). Rizobacterias promotoras del crecimiento vegetal (PGPR): aparición en la agricultura. *Revista mundial de microbiología y biotecnología, 28*, 1327-1350. Obtenido de https://link.springer.com/article/10.1007/s11274-011-0979-9#article-info

Vásquez, E. R., & Dávila, D. Z. (2008). Efecto de diferentes inoculantes sobre la actividad microbiana en la rizósfera del cultivo de pallar (Phaseolus lunatus var. sieva) en condiciones de campo. *Ecología Aplicada, 7*(1-2), 1331-139. Obtenido de http://www.scielo.org.pe/scielo.php?script=sci\_arttext&pid=S1726-22162008000100016

Vo, Q. ,. (2021). Aislamiento y caracterización de actinobacterias endófitas y su efecto sobre el crecimiento y nodulación del garbanzo ( Cicer arietinum ). *Suelo Vegetal, 466*, 351-371. Obtenido de

https://www.scopus.com/record/display.uri?eid=2-s2.0-85109320472&origin=inward&txGid=2dc78bd40805cf514f71f261ca8974fc

Abou-Shanab, R. A. I., Wongphatcharachai, M., Sheaffer, C. C., & Sadowsky, M. J. (2019). Response of dry bean (Phaseolus vulgaris L.) to inoculation with indigenous and commercial Rhizobium strains under organic farming systems in Minnesota. *Symbiosis*, *78*(2), 125–134. https://doi.org/10.1007/s13199-019-00609-3

Akanmu, A. O., Olowe, O. M., Phiri, A. T., Nirere, D., Odebode, A. J., Karemera Umuhoza, N. J., Asemoloye, M. D., & Babalola, O. O. (2023). Bioresources in Organic Farming: Implications for Sustainable Agricultural Systems. In *Horticulturae* (Vol. 9, Issue 6). Multidisciplinary Digital Publishing Institute (MDPI). https://doi.org/10.3390/horticulturae9060659

Aserse, A. A., Räsänen, L. A., Assefa, F., Hailemariam, A., & Lindström, K. (2012). Phylogeny and genetic diversity of native rhizobia nodulating common bean (Phaseolus vulgaris L.) in Ethiopia. *Systematic and Applied Microbiology*, *35*(2), 120–131. https://doi.org/10.1016/J.SYAPM.2011.11.005

Ayub, M. A., Ahmad, H. R., Ali, M., Rizwan, M., Ali, S., Zia Ur Rehman, M., & Waris, A. A. (2020). Salinity and its tolerance strategies in plants. *Plant Life under Changing Environment: Responses and Management*, 47–76. https://doi.org/10.1016/B978-0-12-818204-8.00003-5

Bezner Kerr, R., Madsen, S., Stüber, M., Liebert, J., Enloe, S., Borghino, N., Parros, P., Mutyambai, D. M., Prudhon, M., & Wezel, A. (2021). Can agroecology improve food security and nutrition? A review. In *Global Food Security* (Vol. 29). Elsevier B.V. https://doi.org/10.1016/j.gfs.2021.100540

Cabello, P., Roldán, M. D., Castillo, F., & Moreno-Vivián, C. (2009). Nitrogen Cycle. *Encyclopedia of Microbiology, Third Edition*, 299–321. https://doi.org/10.1016/B978-012373944-5.00055-9

Carbas, B., Machado, N., Oppolzer, D., Ferreira, L., Queiroz, M., Brites, C., Rosa, E. A. S., & Barros, A. I. R. N. A. (2020). Nutrients, antinutrients, phenolic composition, and antioxidant activity of common bean cultivars and their potential for food applications. *Antioxidants*, *9*(2). https://doi.org/10.3390/antiox9020186

Chamkhi, I., El Omari, N., Balahbib, A., El Menyiy, N., Benali, T., & Ghoulam, C. (2022). Is —— the rhizosphere a source of applicable multi-beneficial microorganisms for plant enhancement? In *Saudi Journal of Biological Sciences* (Vol. 29, Issue 2, pp. 1246–1259). Elsevier B.V. https://doi.org/10.1016/j.sjbs.2021.09.032

Chaudhary, S., Sindhu, S. S., Dhanker, R., & Kumari, A. (2023). Microbes-mediated sulphur cycling in soil: Impact on soil fertility, crop production and environmental sustainability. In *Microbiological Research* (Vol. 271). Elsevier GmbH. https://doi.org/10.1016/j.micres.2023.127340

Chekanai, V., Chikowo, R., & Vanlauwe, B. (2018). Response of common bean (Phaseolus vulgaris L.) to nitrogen, phosphorus and rhizobia inoculation across variable soils in Zimbabwe. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, *266*, 167–173. https://doi.org/10.1016/j.agee.2018.08.010

Chisholm, P. J., Charlton, A., Anderson, R. M., Oeller, L., Reganold, J. P., & Crowder, D. W. (2025). Soil rhizobia promote plant yield by increasing tolerance to pests and pathogens under field conditions. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, *384*, 109552. https://doi.org/10.1016/J.AGEE.2025.109552

Dasgupta, D., Kumar, K., Miglani, R., Mishra, R., Panda, A. K., & Bisht, S. S. (2021a). Microbial biofertilizers: Recent trends and future outlook. *Recent Advancement in Microbial Biotechnology: Agricultural and Industrial Approach*, 1–26. https://doi.org/10.1016/B978-0-12-822098-6.00001-X

Dasgupta, D., Kumar, K., Miglani, R., Mishra, R., Panda, A. K., & Bisht, S. S. (2021b). Microbial biofertilizers: Recent trends and future outlook. *Recent Advancement in Microbial Biotechnology: Agricultural and Industrial Approach*, 1–26. https://doi.org/10.1016/B978-0-12-822098-6.00001-X

Dasgupta, D., Kumar, K., Miglani, R., Mishra, R., Panda, A. K., & Bisht, S. S. (2021c). Microbial biofertilizers: Recent trends and future outlook. *Recent Advancement in Microbial Biotechnology: Agricultural and Industrial Approach*, 1–26. https://doi.org/10.1016/B978-0-12-822098-6.00001-X

De Oliveira, V. M., Manfio, G. P., Da Costa Coutinho, H. L., Keijzer-Wolters, A. C., & Van Elsas, J. D. (2006). A ribosomal RNA gene intergenic spacer based PCR and DGGE fingerprinting method for the analysis of specific rhizobial communities in soil. *Journal of Microbiological Methods*, *64*(3), 366–379. https://doi.org/10.1016/J.MIMET.2005.05.015

De Ron, A. M., & Rodiño, A. P. (2024). Phaseolus Vulgaris (Beans). *Reference Module in Life Sciences*. https://doi.org/10.1016/B978-0-12-822563-9.00181-5

Dumont, B., Fortun-Lamothe, L., Jouven, M., Thomas, M., & Tichit, M. (2013). Prospects from agroecology and industrial ecology for animal production in the 21st century. *Animal*, *7*(6), 1028–1043. https://doi.org/10.1017/S1751731112002418

Esfandiarpour-Borujeni, I., Mosleh, Z., & Javaheri, F. (2018). Iranian Soil Science Congress: History (1972–2017) and selected highlights. *Geoderma*, *332*, 29–36. https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2018.07.007

Feng, D., Wang, R., Sun, X., Liu, L., Liu, P., Tang, J., Zhang, C., & Liu, H. (2023). Heavy metal stress in plants: Ways to alleviate with exogenous substances. In *Science of the Total Environment* (Vol. 897). Elsevier B.V. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.165397

Gupta, M., Topgyal, T., Zahoor, A., & Gupta, S. (2021). Rhizobium: Eco-friendly microbes for global food security. *Microbial Management of Plant Stresses: Current Trends, Application and Challenges*, 221–233. https://doi.org/10.1016/B978-0-323-85193-0.00013-9

Gwinnup, A. L., & Schnoor, J. L. (2014). Water Quality in the Mississippi River and Gulf Hypoxia☆. *Reference Module in Earth Systems and Environmental Sciences*. https://doi.org/10.1016/B978-0-12-409548-9.09134-X

He, Y., Wu, Z., Tu, L., Han, Y., Zhang, G., & Li, C. (2015). Encapsulation and characterization of slow-release microbial fertilizer from the composites of bentonite and alginate. *Applied Clay Science*, *109–110*, 68–75. https://doi.org/10.1016/j.clay.2015.02.001

Herrero, M., Thornton, P. K., Power, B., Bogard, J. R., Remans, R., Fritz, S., Gerber, J. S., Nelson, G., See, L., Waha, K., Watson, R. A., West, P. C., Samberg, L. H., van de Steeg, J., Stephenson, E., van Wijk, M., & Havlík, P. (2017). Farming and the geography of nutrient production for human use: a transdisciplinary analysis. *The Lancet Planetary Health*, *1*(1), e33–e42. https://doi.org/10.1016/S2542-5196(17)30007-4

*HLPE High Level Panel of Experts HLPE High Level Panel of Experts Agroecological and other innovative approaches A report by The High Level Panel of Experts on Food Security and Nutrition*. (2019). www.fao.org/cfs/cfs-hlpe

Hungria, M., & Vargas, M. A. T. (n.d.). *Environmental factors affecting N 2 ®xation in grain legumes in the tropics, with an emphasis on Brazil*.

Hutu, I., & Onan, G. (2019). Efficiency of swine production. *Alternative Swine Management Systems*, 133–141. https://doi.org/10.1016/B978-0-12-818967-2.00006-X

Jain, P., Singh, S., Sinha, S., Padhy, A. K., Singh, B., Das, A., Sahu, S., & Wani, S. H. (2022). Common bean disease improvement using QTL mapping. *Qtl Mapping in Crop Improvement: Present Progress and Future Perspectives*, 355–376. https://doi.org/10.1016/B978-0-323-85243-2.00007-6

Jang, H., & Seo, S. (2023). Interaction of microbial pathogens with plants: attachment to persistence. *The Produce Contamination Problem: Causes and Solutions, Third Edition*, 13–45. https://doi.org/10.1016/B978-0-12-819524-6.00013-6

Kahindi, J. H. P., Woomer, P., George, T., De Souza Moreira, F. M., Karanja, N. K., & Giller, K. E. (1997). Agricultural intensification, soil biodiversity and ecosystem function in the tropics: the role of nitrogen-fixing bacteria. *Applied Soil Ecology*, *6*(1), 55–76. https://doi.org/10.1016/S0929-1393(96)00151-5

Kandel, S. L., Joubert, P. M., & Doty, S. L. (2017). Bacterial endophyte colonization and distribution within plants. In *Microorganisms* (Vol. 5, Issue 4). MDPI AG. https://doi.org/10.3390/microorganisms5040077

Kuppe, C. W., Schnepf, A., von Lieres, E., Watt, M., & Postma, J. A. (2022). Rhizosphere models: their concepts and application to plant-soil ecosystems. In *Plant and Soil* (Vol. 474, Issues 1–2, pp. 17–55). Springer Science and Business Media Deutschland GmbH. https://doi.org/10.1007/s11104-021-05201-7

Lapa-Unocc, P. F., Salazar-Paucar, R. E., Saldaña-Barillas, P. I., Laura-Lucas, L. M., Taipe-Cancho, M. H., & Mañuico-Mendoza, R. (2024a). Effectiveness of different strains of rhizobia on the yield of canary bean (Phaseolus vulgaris L.) cultivation in Peru. *Idesia*, *42*(3), 55–62. https://doi.org/10.4067/S0718-34292024000300055

Lapa-Unocc, P. F., Salazar-Paucar, R. E., Saldaña-Barillas, P. I., Laura-Lucas, L. M., Taipe-Cancho, M. H., & Mañuico-Mendoza, R. (2024b). Effectiveness of different strains of rhizobia on the yield of canary bean (Phaseolus vulgaris L.) cultivation in Peru. *Idesia*, *42*(3), 55–62. https://doi.org/10.4067/S0718-34292024000300055

Lioi, L., & Piergiovanni, A. R. (2013). European Common Bean. *Genetic and Genomic Resources of Grain Legume Improvement*, 11–40. https://doi.org/10.1016/B978-0-12-397935-3.00002-5

Michiels, J., Dombrecht, B., Vermeiren, N., Xi, C., Luyten, E., & Vanderleyden, J. (1998). Phaseolus vulgaris is a non-selective host for nodulation. *FEMS Microbiology Ecology*, *26*(3), 193–205. https://doi.org/10.1016/S0168-6496(98)00035-X

Moreira, L. P., Oliveira, A. P. S., & Ferreira, E. P. de B. (2017). Nodulation, contribution of biological N2 fixation, and productivity of the common bean (Phaseolus vulgaris L.) inoculated with rhizobia isolates. *Australian Journal of Crop Science*, *11*(6), 644–651. https://doi.org/10.21475/ajcs.17.11.06.p310

Mostasso, L., Mostasso, F. L., Dias, B. G., Vargas, M. A. T., & Hungria, M. (2002). Selection of bean (Phaseolus vulgaris L.) rhizobial strains for the Brazilian Cerrados. *Field Crops Research*, *73*(2–3), 121–132. https://doi.org/10.1016/S0378-4290(01)00186-1

Nosheen, S., Ajmal, I., & Song, Y. (2021). Microbes as biofertilizers, a potential approach for sustainable crop production. In *Sustainability (Switzerland)* (Vol. 13, Issue 4, pp. 1–20). MDPI AG. https://doi.org/10.3390/su13041868

Oldroyd, G. E. D., Murray, J. D., Poole, P. S., & Downie, J. A. (2011). The rules of engagement in the legume-rhizobial symbiosis. *Annual Review of Genetics*, *45*, 119–144. https://doi.org/10.1146/annurev-genet-110410-132549

Peix, A., Mateos, P. F., Rodriguez-Barrueco, C., Martinez-Molina, E., & Velazquez, E. (2001). Growth promotion of common bean (Phaseolus vulgaris L.) by a strain of Burkholderia cepacia under growth chamber conditions. *Soil Biology and Biochemistry*, *33*(14), 1927–1935. https://doi.org/10.1016/S0038-0717(01)00119-5

Pérez-Peralta, P. J., Ferrera-Cerrato, R., Alarcón, A., Trejo-Téllez, L. I., Cruz-Ortega, R., & Silva-Rojas, H. V. (2019). Respuesta del simbiosistema frijol (Phaseolus vulgaris L.) y Rhizobium tropici CIAT899 ante el efecto alelopático de Ipomoea purpurea L. Roth. *Revista Argentina de Microbiología*, *51*(1), 47–55. https://doi.org/10.1016/J.RAM.2018.01.006

Pillai, S. D., Josephson, K. L., Bailey, R. L., & Pepper, I. L. (1992). SPECIFIC DETECTION OF RHIZOBIA IN ROOT NODULES AND SOIL USING THE POLYMERASE CHAIN REACTION. In *Soil Biol. Biochem* (Vol. 24, Issue 9).

Pina-Pérez, M. C., & Ferrús Pérez, M. A. (2018). Antimicrobial potential of legume extracts against foodborne pathogens: A review. In *Trends in Food Science and Technology* (Vol. 72, pp. 114–124). Elsevier Ltd. https://doi.org/10.1016/j.tifs.2017.12.007

Pounis, G. (2019a). Design of Observational Nutrition Studies. *Analysis in Nutrition Research: Principles of Statistical Methodology and Interpretation of the Results*, 3–22. https://doi.org/10.1016/B978-0-12-814556-2.00001-4

Pounis, G. (2019b). Design of Observational Nutrition Studies. *Analysis in Nutrition Research: Principles of Statistical Methodology and Interpretation of the Results*, 3–22. https://doi.org/10.1016/B978-0-12-814556-2.00001-4

Rich, P. A., Holt, E. C., & Weaver, R. W. (1983). *Establishment and Nodulation of Arrowleaf Clover 1*.

Rilling, J. I., Acuña, J. J., Nannipieri, P., Cassan, F., Maruyama, F., & Jorquera, M. A. (2019). Current opinion and perspectives on the methods for tracking and monitoring plant growth‒promoting bacteria. In *Soil Biology and Biochemistry* (Vol. 130, pp. 205–219). Elsevier Ltd. https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2018.12.012

Ritsema, C. J., van Lynden, G. W. J., Jetten, V. G., & de Jong, S. M. (2004). Degradation. *Encyclopedia of Soils in the Environment*, *4*, 370–377. https://doi.org/10.1016/B0-12-348530-4/00091-6

Rojas-Sánchez, B., Guzmán-Guzmán, P., Morales-Cedeño, L. R., Orozco-Mosqueda, Ma. del C., Saucedo-Martínez, B. C., Sánchez-Yáñez, J. M., Fadiji, A. E., Babalola, O. O., Glick, B. R., & Santoyo, G. (2022). Bioencapsulation of Microbial Inoculants: Mechanisms, Formulation Types and Application Techniques. *Applied Biosciences*, *1*(2), 198–220. https://doi.org/10.3390/applbiosci1020013

Siddiquee, S. (2014). Recent Advancements on the Role and Analysis of Volatile Compounds (VOCs) from Trichoderma. *Biotechnology and Biology of Trichoderma*, 139–175. https://doi.org/10.1016/B978-0-444-59576-8.00011-4

Silva-Gigante, M., Hinojosa-Reyes, L., Rosas-Castor, J. M., Quero-Jiménez, P. C., Pino-Sandoval, D. A., & Guzmán-Mar, J. L. (2023). Heavy metals and metalloids accumulation in common beans (Phaseolus vulgaris L.): A review. *Chemosphere*, *335*. https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2023.139010

Smart, N. A. (2003). FUNGICIDES. *Encyclopedia of Food Sciences and Nutrition*, 2832–2842. https://doi.org/10.1016/B0-12-227055-X/00543-5

Streit, W., Botero, L., Werner, D., & Beck, D. (1995). Competition for nodule occupancy on Phaseolus vulgaris by Rhizobium etli and Rhizobium tropici strains can be efficiently monitored in an ultisol during the early stages of growth using a constitutive GUS gene fusion. *Soil Biology and Biochemistry*, *27*(8), 1075–1081.

https://doi.org/10.1016/0038-0717(95)00003-W

Tobar, R. M., Azcón-Aguilar, C., Sanjuán, J., & Barea, J. M. (1996). Impact of a genetically modified Rhizobium strain with improved nodulation competitiveness on the early stages of arbuscular mycorrhiza formation. *Applied Soil Ecology*, *4*(1), 15–21. https://doi.org/10.1016/0929-1393(96)00104-7

Tofiño Rivera, A. P., Carbono Murgas, R. E., Melo Ríos, A. E., & Merini, L. J. (2020). Efecto del glifosato sobre la microbiota, calidad del suelo y cultivo de frijol biofortificado en el departamento del Cesar, Colombia. *Revista Argentina de Microbiología*, *52*(1), 61–71. https://doi.org/10.1016/J.RAM.2019.01.006

Tong, W., Li, X., Huo, Y., Zhang, L., Cao, Y., Wang, E., Chen, W., Tao, S., & Wei, G. (2018). Genomic insight into the taxonomy of Rhizobium genospecies that nodulate Phaseolus vulgaris. *Systematic and Applied Microbiology*, *41*(4), 300–310. https://doi.org/10.1016/j.syapm.2018.03.001

Vio, S. A., García, S. S., Casajus, V., Arango, J. S., Galar, M. L., Bernabeu, P. R., & Luna, M. F. (2020). Paraburkholderia. *Beneficial Microbes in Agro-Ecology: Bacteria and Fungi*, 271–311. https://doi.org/10.1016/B978-0-12-823414-3.00015-0

Wolff, A. B., Singleton, P. W., Sidirelli, M., & Bohlool, B. B. (1993). Influence of acid soil on nodulation and interstrain competitiveness in relation to tannin concentrations in seeds and roots of Phaseolus vulgaris. *Soil Biology and Biochemistry*, *25*(6), 715–721. https://doi.org/10.1016/0038-0717(93)90112-O

Wong-Villarreal, A., & Caballero-Mellado, J. (2010). Rapid identification of nitrogen-fixing and legume-nodulating Burkholderia species based on PCR 16S rRNA species-specific oligonucleotides. *Systematic and Applied Microbiology*, *33*(1), 35–43. https://doi.org/10.1016/J.SYAPM.2009.10.004

Wu, Z., Li, X., Liu, X., Dong, J., Fan, D., Xu, X., & He, Y. (2019). Membrane shell permeability of Rs-198 microcapsules and their ability for growth promoting bioactivity compound releasing. *RSC Advances*, *10*(2), 1159–1171. https://doi.org/10.1039/c9ra06935f

Zabaloy, M. C. (2021). Una sola salud: la salud del suelo y su vínculo con la salud humana. *Revista Argentina de Microbiología*, *53*(4), 275–276. https://doi.org/10.1016/J.RAM.2021.11.001

Zhu, S., He, Y., Dong, J., Dong, Y., Li, C., Wu, Z., & Lu, Y. (2023). Preparation of slow-release regulated Rs-198 bilayer microcapsules and application of its lyophilized bacterial inoculant on Capsicum annuum L. under salt stress. *Particuology*, *79*, 54–63. https://doi.org/10.1016/j.partic.2022.11.007