



SYMBIOTIC BACTERIA IN PEANUT CROP: A REVIEW

BACTERIAS SIMBIÓTICAS EN EL CULTIVO DE MANÍ: UNA REVISIÓN

**José Jahir Moreira-Moreira¹; Cristhian Alexander Reyna-Alarcón¹;
Freddy Zambrano-Gavilanes^{1*}**

¹ Facultad de Ingeniería Agronómica, Universidad Técnica de Manabí, Portoviejo, Manabí, Ecuador. E-mail: freddyzg_86@hotmail.com

* Author for correspondence: freddyzg_86@hotmail.com

José Jahir Moreira-Moreira:  <https://orcid.org/0000-0001-7151-1922>

Cristhian Alexander Reyna-Alarcón:  <https://orcid.org/0000-0001-9222-6434>

Freddy Zambrano-Gavilanes:  <https://orcid.org/0000-0003-0004-9122>

ABSTRACT

The objective of this work is to collect information on the importance of symbiotic bacteria in peanut cultivation. Peanuts are of great economic importance, being present among the four most important grains in the world. Its wide distribution ranges from Asia, Africa, America, and South America. The entire biological process of a legume is carried out in the root system where the *Rhizobium* that are part of the root nodules are responsible for fixing nitrogen independently, this process is responsible for triggering the growth, development, and performance of plants. The symbiotic bacteria present in the soil are responsible for fixing nitrogen, as well as nitrate and ammonium, these bacteria take nitrogen from the air, giving rise to compounds capable of being incorporated into the composition of living beings and the soil. Rhizobacteria have advantages related to the promotion of plant growth, through the aerial part

Este artículo es publicado por la revista Paideia XXI de la Escuela de posgrado (EPG), Universidad Ricardo Palma, Lima, Perú. Este es un artículo de acceso abierto, distribuido bajo los términos de la licencia Creative Commons Atribución 4.0 Internacional (CC BY 4.0) [<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.es>] que permite el uso, distribución y reproducción en cualquier medio, siempre que la obra original sea debidamente citada de su fuente original.

and the root, inducing the production of growth-inducing hormones in plants and helping to provide nutrients to the roots. A decrease in chemical fertilizers by symbiotic bacteria or rhizobacteria can change production techniques in the world because they are highly effective for legumes such as peanuts.

Keywords: *Arachis hypogaea* – biological fixation – *Rhizobium* – symbiosis

RESUMEN

El presente trabajo tiene como objetivo recopilar información de la importancia de las bacterias simbióticas en el cultivo de maní. El maní es de gran importancia económica, estando presente dentro de los cuatro granos más importantes del mundo. Su amplia distribución va desde Asia, África, América y Sur América. Todo el proceso biológico de una leguminosa se ejecuta en el sistema radicular en donde los *Rhizobium* que forman parte de los nódulos radiculares se encargan de fijar nitrógeno de forma independiente, este proceso se encarga de desencadenar el crecimiento, desarrollo y rendimiento de las plantas. Las bacterias simbióticas presentes en el suelo son las encargadas de fijar el nitrógeno, así como nitrato y amonio, estas bacterias toman el nitrógeno del aire, dando origen a compuestos capaces de incorporarse a la composición de los seres vivos y del suelo. Las rizobacterias tienen ventajas relacionadas con la promoción del crecimiento de las plantas, a través de la parte aérea y de la raíz, induciendo la producción de hormonas inductoras del crecimiento en las plantas y ayudando a proporcionar nutrientes a las raíces. Una disminución de fertilizantes químicos por bacterias simbióticas o rizobacterias pueden dar un giro a las técnicas de producción en el mundo por ellas ser de gran eficacia para las leguminosas como el maní.

Palabras clave: *Arachis hypogaea* – fijación biológica – *Rhizobium* simbiosis

INTRODUCCIÓN

El maní (*Arachis hypogaea* L.) es una oleaginosa de origen sudamericano que cuenta con una alta diversidad dentro de la región. Su uso es de gran importancia en campos como en la agricultura, ganadería, alimentación e industria farmacéutica. La semilla contiene componentes importantes para la alimentación y nutrición humana como lo son las grasas, carbohidratos, fibras crudas, proteínas, antioxidantes, vitaminas y minerales (Akram *et al.*, 2018). Al ser una fuente importante de aceite y proteínas comestibles es altamente cultivada en más de 100 países aumentando de (37,51 millones de t) en 2007 a (47,10 millones de t) a 2017 en consecuencia al aumento de la demanda de alimentos (Zhang *et al.*, 2019).

De acuerdo con Sarkar *et al.* (2016), China, India, Estados Unidos y Argentina son los exportadores de maní más destacados. En la actualidad el maní se ha posesionado como uno de los principales cultivos de semillas oleaginosas del mundo, se cultiva aproximadamente 26 millones de has en 120 países (FAOSTAT, 2017).

El maní es un cultivo importante de semillas oleaginosas y leguminosas, además de ser un cultivo forrajero (Hake *et al.*, 2017). Las variedades de maníes cultivados a nivel mundial son de característica ascendente o rastrera, en donde el tallo principal y las ramas primarias se extienden de 0,20 a 0,70 m de longitud, con ramificaciones herbáceas de coloración verde oscuro o verde claro. Según Gupta *et al.*

(2020) su sistema radicular se forma por abundantes raíces secundarias y un pivote que llega hasta los 1,30 m en suelos cultivados. Como tantas leguminosas el maní presenta nódulos debido a la asociación simbiótica de la planta con bacterias fijadoras de nitrógeno (N).

Un proceso simbiótico de nódulos radiculares es una interacción mutua entre leguminosas y rizobios del suelo que fijan N, en este proceso las plantas obtienen el N atmosférico fijo y proporciona a los rizobios fotosintatos como una fuente rica en carbono (Suzaki *et al.*, 2015). García (2011) explica que dentro de las bacterias simbióticas existen dos grupos de organismos. El primer grupo hace referencia a bacterias móviles del suelo que presentan atracción hacia la raíz por las sustancias que estas expulsan. Estas forman parte del grupo de quimioorganotrofos aerobios, que se denominan rizobios, a este grupo pertenecen el *Rhizobium* (nodulan en raíces de leguminosas de climas templados y subtropicales), *Azorhizobium* (nódulos en tallos y raíces) y *Bradyrhizobium* (nodula raíces de soya). El segundo grupo está formado por Actinomicetos (bacterias Gram positivas) que nodulan raíces de árboles y arbustos. Son bacterias filamentosas que viven en total simbiosis con plantas actinorricas (angiospermas capaces de generar nódulos) y son pertenecientes al género *Frankia*.

Es probable que la colonización simultánea de leguminosas con simbiontes de hongos y rizobios sea

común en la naturaleza, ya que los hongos y las bacterias viven juntos y su infección radicular sincrónica es inevitable (Peralta *et al.*, 2020).

La mayoría de los rizobios del maní pertenecen al género *Bradyrhizobium* de crecimiento lento, así también *B. arachidis* Wang *et al.*, 2013 (Wang *et al.*, 2019), *B. guangdongense* (Li *et al.*, 2015), *B. guangxiense* (Li *et al.*, 2015), *B. lablabi* (Chang *et al.*, 2011), *B. yuanmingense* (Yao *et al.*, 2002), *B. iriomotense* (Islam *et al.*, 2010), *B. japonicum* (Kirchner, 1896) y *Bradyrhizobium* spp. como los representantes (Wang *et al.*, 2019).

De acuerdo con Peralta *et al.* (2020) la inoculación con bacterias influye de manera significativa ya que las bacterias fijadoras de N del suelo (Rizobios) establecen interacciones benéficas con leguminosas, induciendo a la fijación del N atmosférico (N₂) dando paso a la formación de nódulos y así reducir la necesidad de fertilizantes nitrogenados, mejorando su producción (Peralta *et al.*, 2020).

El presente trabajo tiene como objetivo recopilar información de la importancia de las bacterias simbióticas en el cultivo de maní.

MATERIALES Y MÉTODOS

Para el desarrollo de esta revisión se realizó una búsqueda en diferentes plataformas y repositorios como Google Scholar, SCIELO, Dialnet y SCOPUS, seleccionando 53 documentos científicos, de los cuales 30 pertenecieron a la plataforma SCOPUS y 23 a las demás plataformas y repositorios que se

realizaron las búsquedas. Dentro de la investigación se consideraron las siguientes palabras claves “maní”, “maní y proceso de nodulación”, “maní y fertilización”, “maní y rizobacterias”, “maní y bacterias simbióticas”, “maní y co-inoculación de *Rhizobium* con otros microorganismos”, tanto en español, portugués e inglés. En la revisión efectuada se seleccionaron aquellos trabajos que contenían informaciones relacionadas al origen, distribución e importancia socioeconómica del cultivo del maní, descripción morfológica, procesos de nodulación, temperaturas y el pH, fertilización química y orgánica en el cultivo del maní, bacterias simbióticas asociadas al cultivo de maní, bacterias de vida libre, aplicación de inoculantes a partir de rizobios en el cultivo de maní y la co-inoculación de *Rhizobium* con otros microorganismos en cultivo de maní.

Aspectos éticos

Los autores señalan que se cumplieron todos los aspectos éticos a nivel nacional e internacional.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Origen, distribución e importancia socioeconómica del cultivo del maní

El maní, es una leguminosa que se encuentran en climas tropicales y subtropicales de Asia, África y América se cree que su domesticación comenzó en América del Sur en el área de Bolivia y Argentina (FAO, 2011).

Se menciona que hay una segunda línea de evidencia que surgió en Perú

en la antigua civilización agrícola de los incas donde cultivaban en áreas costeras. Los españoles llevaron maní a España desde donde fueron distribuidos por comerciantes a diferentes partes del mundo, incluidas Asia y África (Hammons *et al.*, 2016).

El maní tubo su aparición en África entre el siglo XV y XVII por países como España y Portugal, dando así paso a la adaptación a las condiciones agroecológicas predominantes de la zona (Tekulu *et al.*, 2020).

Esta leguminosa en la actualidad se ha convertido en uno de los cultivos de semillas oleaginosas más importantes del mundo, teniendo como sus principales exportadores China, India, Estados Unidos y Argentina cultivando aproximadamente 26 millones de has en unos 120 países y produciendo entre 35 y 40 millones de t de vainas de maní al año (Sarkar *et al.*, 2016).

De acuerdo con Variath & Janila (2017), muchas leguminosas son de importancia económica, en cuanto a eso los niveles de productividad del maní en países en desarrollo ha sido baja debido a limitaciones de producción como el estrés biótico y abiótico, semillas de calidad, tecnologías, acceso disponible a el mercado y factores relacionados con aspectos socioeconómicos. Según datos de FAOSTAT (2015) la producción en países como la India con (388 mil t), Argentina (190 mil t), EE.UU. (177 mil t) y China (176 mil t) fueron los cinco grandes exportadores de maní entre los años 2005-2013, mientras que la UE (448-497 mil toneladas) fue el principal importador de maní seguido por Holanda (288 mil t) en el mismo período.

La taxonomía del cultivo de maní se la encuentra en la Tabla 1.

Tabla 1. Taxonomía del maní (Cruz-Róbelo, 2019).

Nombre científico	<i>Arachis hypogaea</i> L.
Nombres comunes	Cacahuete, amendoim, goobers, maní
Reino	Vegetal
Case	Angiosperma
Subclase	Dicotiledonea
Orden	Leguminosae
Familia	Papilionaceae
Genero	<i>Arachis</i>
Especie	<i>hypogaea</i>

Descripción morfológica

La morfología del maní está formada por una raíz pivotante y raíces laterales, las raíces secundarias

son aproximadamente de 0,10 a 0,15 m y la principal puede crecer hasta 0,45 m, por ser una leguminosa esta presenta nódulos por la asociación

simbiótica de la planta con bacterias simbióticas presentes en el suelo. El tallo puede alcanzar los 0,70 m de altura y las ramificaciones primarias entre 0,20 y 0,40 m dependiendo las variedades existentes (García, 2017).

El maní presenta hojas compuestas alternas, compuestas por cuatro foliolos, presenta tamaño de entre 0,40 a 0,80 m, su coloración varía de acuerdo a la variedad. Sus flores presentan un cáliz con cinco sépalos, consta de dos pétalos que tienen el nombre de alas y así dos pétalos más unidos por medio de una unión alargada que forma la quilla (Torres, 2020).

Su androceo consta de diez estambres y el gineceo contiene al ovario, estilo y estigma. Todas las flores de esta especie son hermafroditas con un 97% de autofecundación, su fruto presenta vainas alargadas cilíndricas, estrechas y con estrangulaciones entre los espacios de las semillas indehiscente teniendo la capacidad de adaptarse dependiendo del medio donde se desarrolla, dentro de estas cápsulas se encuentran las semillas en donde el número y color del grano dependerá de las variedades (Ochoa-Jaramillo, 2018).

Se cultiva principalmente por sus semillas y contiene entre un 40% y un 50% de aceite, entre un 20% y un 30% de proteína y también vitamina B. Todas las demás partes de la planta pueden ser utilizadas como alimento seco para el ganado (Asante *et al.*, 2020).

Sobre la base de varias diferencias morfológicas, se han reconocido

dos subespecies (*A. hypogaea* ssp. *hypogaea* y *A. hypogaea* ssp. *fastigiata*) en el maní cultivado. *A. hypogaea* ssp. *hypogaea* se caracteriza por ramificación alterna, ausencia de flores en el eje principal, larga duración (120–160 días) y presencia de latencia de semillas, mientras que *A. hypogaea* ssp. *fastigiata* se reconoce por la ramificación secuencial, la presencia de flores en el eje principal, la corta duración (85–130 días) y la falta de latencia de las semillas. Según las diferencias morfológicas, las dos subespecies se subdividen en variedades botánicas. *A. hypogaea* ssp. *hypogaea* se divide en var. *hypogaea* (racimo/runner de Virginia) y var. *hirsuta* (runner peruano), mientras que *A. hipogea* ssp. *fastigiata* se clasifica en var. *fastigiata* (Valencia), var. *vulgaris* (racimo español), var. *aequatoriana* y var. *peruviana*. *A. hypogaea* ssp. *hypogaea* se cree que se originó por una mutación dentro de *A. hypogaea* ssp. *fastigiata* (Bhat *et al.*, 2021).

En la Tabla 2, se encuentra la clasificación de la especie *hypogaea* (Zapata *et al.*, 2017).

Tabla 2. Clasificación de la especie *hypogaea*.

Genero	Especie	Subespecie	Variiedad	Tipo
<i>Arachis</i>	<i>hypogaea</i>	<i>hipogaea</i>	<i>hipogaea</i>	Virginia y runner
		<i>festigata</i>	<i>hirsuta</i>	Peruvianun
			<i>fastigata</i>	Valencia
			<i>vulgaris</i>	Español

Procesos de nodulación

La formación de nódulos fijadores de N atmosférico en las raíces de las plantas de la familia leguminosae son inducidas por los rizobios, algunos también son capaces de inducir nódulos en el tallo de leguminosas (Paredes, 2013).

Rizobios se les denomina a las bacterias que forman parte de nódulos radiculares, estos rizobios no pueden fijar N de forma independiente, sino que requieren una planta hospedante. Ni la bacteria ni la planta pueden fijar N de manera independiente. Estas bacterias del género *Rhizobium* necesitan algo de oxígeno para fijar N (García, 2011).

Los nódulos son una perfecta relación de simbiosis entre la planta y las bacterias, cuando ambos entran en contacto se produce un cambio de diferenciación en la bacteria. Ésta se modifica dando lugar a un bacteroide. El bacteroide con posterioridad expresa su actividad nitrogenasa y gracias al complejo enzima nitrogenasa va a ser capaz de fijar el N. Un proceso en principio invasivo por parte de la bacteria se transforma en un proceso beneficioso para ambos simbioses (García, 2011).

Temperaturas y el pH

El cambio de la variabilidad climática tiene un impacto directo debido a precipitación y temperaturas, afectando de manera directa al desarrollo, crecimiento y rendimiento de la planta. Algunos estudios demuestran que un aumento en la temperatura tiene un efecto negativo en la fase de crecimiento y desarrollo del cultivo produciendo una floración temprana. Además de que por altas temperaturas incide en una reducción del rendimiento del cultivo debido a la esterilidad del polen (Virk *et al.*, 2019).

Según Halder *et al.* (2020) la simbiosis tipo mutualismo de rizobios en leguminosas es sensible al estrés ya que afecta la fijación de N y la productividad del cultivo, el rango de temperatura óptimo para el cultivo de rizobios es de 25 a 32°C y no puede exceder estas temperaturas ya que algunos no crecen incluidos los simbioses.

El pH es muy importante y tiene un efecto en la nodulación en suelos ácidos afecta negativamente su capacidad para colonizar raíces y la formación de nódulos (Sharma *et al.*, 2020).

De acuerdo con dos Santos *et al.* (2021) cuando el pH no está dentro del rango ideal para la fijación biológica (5,9 y 6,3) característico se

recomienda aplicar entre 10 y 16 kg ha⁻¹ de N. Estudios demuestran que se debe mantener el pH dentro del rango ideal de crecimiento para evitar un déficit nutricional de calcio, molibdeno y fósforo.

Fertilización química y orgánica en el cultivo del maní

Los macro y micronutrientes son indispensables para el buen desempeño productivo del cultivo de maní (Jain *et al.*, 2020). Un mejor manejo de los fertilizantes nitrogenados es esencial para mejorar la productividad de los cultivos, siendo N uno de los nutrientes más demandantes (Liu *et al.*, 2019). Según Anzuay *et al.* (2015) explican que después del N, el fósforo (P) es el segundo macronutriente de carácter de importancia en las plantas, ya que está implicado en la transferencia de energía división celular, fotosíntesis, oxidación biológica, metabolismo y reproducción.

El N es el nutriente de mayor importancia en todos los sistemas de cultivos debido a la importancia que este representa en los procesos fisiológicos y bioquímicos de la planta (Leghari *et al.*, 2016; Pourranjbari *et al.*, 2019). De acuerdo con Prasad *et al.* (2010), una dosis elevada de N inhibe el BFN (fijación biológica de nitrógeno) generando un desarrollo de nódulos ineficientes en leguminosas.

El fósforo es parte de los micronutrientes ya que este cumple con varias funciones dentro de la fisiología de la planta incluida la transferencia de la energía de los cultivos de leguminosas durante la BFN

(Krapovickas, 2017). Por estos motivos el P induce a que las leguminosas produzcan su propio N. En caso de una deficiencia de P los niveles de BFN resultarían afectados negativamente debido al número reducido de nódulos efectivos (Malhotra *et al.*, 2018).

Según Torres (2020) en la determinación de cantidad de fertilizantes que requiere el maní, es necesario conocer la cantidad de nutrientes requerido por la planta y que esta pueda absorberlo del suelo. Se estima que para obtener 2 t de frutos y 4 t de heno se requiere una inserción de nutrientes en diferentes proporciones como: N (140 kg ha⁻¹), P (21 kg ha⁻¹), K (103 kg ha⁻¹), Ca (59 kg ha⁻¹), y Mg (30 kg ha⁻¹).

Según Chen *et al.* (2018) una aplicación simultánea de abonos orgánicos y biofertilizantes es recomendada con frecuencia, con el objetivo de obtener una mejora en las propiedades físicas, biológicas y químicas del suelo por ende obtener un rendimiento agrícola alto y libre de dosis de metales pesados.

El proceso de compostaje es una de las técnicas más implementadas ya que cambia significativamente las propiedades fisicoquímicas (densidad aparente, pH, N, proporción de P, carbono total, proporción de C:N, contenido de N total y N disponible para la planta) de los desechos orgánicos. Dentro del proceso de compostaje la mineralización del N es regulada por las propiedades del compost. Incluyendo el contenido de C orgánico, N total y N disponible (Mahrous *et al.*, 2015).

El maní al ser una leguminosa formara una relación simbiótica con los rizobios presentes en el suelo. La fijación de N por las leguminosas es imprescindible en el sostenimiento de la producción de los cultivos y el mantenimiento de la fertilidad del suelo. La función de la fertilización orgánica más comúnmente implica estimular la simbiosis leguminosa-*Rhizobium* en fitohormonas que inducen la estimulación del crecimiento de las raíces, para proporcionar más sitios para la infección y la nodulación de rizobios (Argaw, 2017).

Bacterias simbióticas asociadas al cultivo de maní

La interacción de las plantas con microorganismos es constante, esta interacción incluye bacterias, hongos y virus. Solo una pequeña parte de microorganismos logran establecer una asociación simbiótica con su huésped (Bastías *et al.*, 2020).

Las bacterias o rizobios tienen el potencial de infectar la raíz, formar nódulos y fijar simbióticamente N_2 en plantas leguminosas específicas. La actividad del rizobio y la fijación de N_2 se reducen cuando el sistema carece de fósforo (P), ya que el P sirve como fuente de energía para los rizobios y también estimula el crecimiento temprano de las raíces y mejora la formación de sistemas radiculares laterales y fibrosos que son esenciales para la formación de nódulos (Asante *et al.*, 2020).

De acuerdo con Wang (2016), las bacterias simbióticas más comunes de rizobios son de la clase *Alphapro-*

teobacteria, se encuentran distribuidas en 16 géneros de siete familias: *Agrobacterium*, *Allorhizobium*, *Ensifer* (antes *Sinorhizobium*), *Neorhizobium*, *Pararhizobium*, *Rhizobium* y *Shinella* en la familia Rhizobiaceae; *Aminobacter*, *Phyllobacterium* y *Mesorhizobium* en Phyllobacteriaceae; *Bradyrhizobium* en Bradyrhizobiaceae; *Microvirga* y *Methylobacterium* en Methylobacteriaceae; *Ochrobactrum* en Brucellaceae; *Devosia* en Hyphomicrobiaceae; y *Azorhizobium* en Xanthobacteraceae. Los rizobios más comunes del maní pertenecen al género *Bradyrhizobium* de desarrollo lento, con *B. arachidis*, *B. guangdongense*, *B. guangxiense*, *B. lablabi*, *B. yuanmingense*, *B. iriomotense*, *B. japonicum* y *Bradyrhizobium* spp. como los principales representantes.

Se ha informado que el maní forma principalmente simbiosis con diferentes rizobios clasificados como *Bradyrhizobium*. Se han verificado más de 30 especies de *Bradyrhizobium* como microsimbiontes de maní, algunos de crecimiento rápido, como *Neorhizobium huautlense* (Wang *et al.*, 1998), *Neorhizobium galegae* (Lindström, 1989), *Pararhizobium giardinii* (Amarger *et al.*, 1997) y *Rhizobium tropici* (Martinez-Romero *et al.*, 1991), mismos que han sido aislados en nódulos de maní en campos marroquíes y argentinos. Sin embargo, solo han encontrado que los rizobios de crecimiento lento nodulaban el maní en diferentes regiones de China (Wang *et al.*, 2020).

Bacterias de vida libre

La BNF por las leguminosas agrega anualmente 40 millones de t de N a los suelos mejora el estado de N del suelo debido a su capacidad para obtener N fijo a partir de la simbiosis bacteriana (Furlan *et al.*, 2017).

Las bacterias de vida libre o microorganismos son un grupo limitado de bacterias simbióticas y de vida libre denominadas diazótrofes que tienen la capacidad de reducir y transformar el N atmosférico (N_2) a amonio (NH_4^+), una forma de N asimilable para las plantas estas bacterias no dependen de los exudados de la raíz de la planta para su supervivencia (Bano & Iqbal, 2016).

De acuerdo con Allan & Graham, (2014) en las BFNVL (bacterias fijadoras de N de vida libre) se pueden encontrar las anaeróbicas obligadas o facultativas como *Azospirillum* sp., *Clostridium pasteurianum* (Winogradsky, 1895), *Klebsiella* spp., *Desulfovibrio* sp.; también se pueden encontrar otras aeróbicas obligadas como *Azotobacter* spp., *Beijerinckia* sp. y fotosintéticas como las bacterias púrpuras sulfurosas y no sulfurosas y bacterias verdes sulfurosas. Según Hernández-Rodríguez & Rives-Rodríguez (2014) algunas BFNVL pueden promover el crecimiento de las plantas mediante la síntesis y la liberación de fitohormonas como auxinas, giberelinas, citocininas y ácido abscísico.

Algunas bacterias como las *Pseudomonas* han resaltado como bacterias asociadas a las raíces teniendo beneficios directos o indirectos sobre la salud y crecimiento del maní. Generalmente las bacterias pertenecientes al complejo *Pseudomonas fluorescens* (Migula,

1895) como *P. protegens* (Flügge, 1886), *P. chlororaphis* (Bergey *et al.*, 1930), *P. putida* (Trevisan, 1889), *P. cepacia* (Burkholder, 1949) y *P. stutzeri* (Lehmann & Neumann, 1896), son reconocidas como excelentes colonizadores de raíces con funciones fitoestimulantes y fitoprotectoras debido a su versatilidad metabólica (Tederso *et al.*, 2020).

Aplicación de inoculantes a partir de rizobios en el cultivo de maní

La inoculación de leguminosas con rizobios generalmente desencadena el crecimiento, desarrollo y rendimiento de las plantas y normalmente se utiliza como sustituto del fertilizante nitrogenado mineral, que a menudo es costoso (Asante *et al.*, 2020).

Los rizobios predominantes de maní pertenecen al género *Bradyrhizobium* de desarrollo lento, aunque algunos autores informan que los de crecimiento rápido (como *Rhizobium* sp. NGR234) son simbioses con características ineficaces. Por lo tanto, se considera que la selección de inoculantes de maní debe considerar primero las cepas de *Bradyrhizobium* (Wang *et al.*, 2019). La producción de inoculantes biológicos representa un gran impacto dentro del campo agropecuario, en la actualidad el Instituto Colombiano Agropecuario (ICA) avala más de 70 empresas multinacionales destinadas a la producción de inoculantes con base en microorganismos promotores del crecimiento vegetal, en este campo se encuentran las bacterias simbióticas fijadoras de N (Conn *et al.*, 2014).

Según Wang *et al.* (2019) los organismos vivos tienen preferencia por el N reducido a amonio (NH_4^+), o N oxidado, nitrato (NO_3^-), para la incorporación en sus proteínas, ADN, ARN, ATP y varios metabolitos que contienen N. De acuerdo con Chen (2019), durante generaciones atrás se utilizaron varios vehículos de inoculación como carbón, turba, lignito, arcilla, gel de celulosa, gel de poliacrilamida para lograr obtener *B. japonicum* de semillas, existen marcas como comerciales incluyen Monsanto BioAg Alliance (Optimize®), BASF (Vault®), ABM (Excalibre™), MycoGold™, y XiteBio Technologies (XiteBio® y SoyRhizo®).

Para la producción de inoculantes, los rizobios son propagados en pequeña y gran escala hasta la etapa exponencial tardía, posteriormente utilizando el cultivo mezclados con vehículos sólidos. Existen inoculantes sólidos y líquidos (granulados o en polvo), son utilizados por lo general para inoculación en leguminosas en la agricultura (Denton *et al.*, 2017). El líquido fermentado generalmente es utilizado como inoculante rizobiano, y es aplicado de manera directa a la semilla de leguminosas o en surcos de semillas. Los inoculantes sólidos presentan varias tipos de formulaciones: arcilla de atapulgita, gránulos de turba, gránulos de arcilla de bentonita y polvos liofilizados (Deaker *et al.*, 2016).

En invernadero y laboratorio, se recomienda aplicar 1ml de inoculante tipo líquido con densidades celular de hasta 108 UFC (unidad formadora de

colonias) por ml directamente sobre semillas esterilizadas su superficie. Para inducir la fijación simbiótica de N se utilizan microelementos y nutrientes minerales. En condiciones de campo el inoculante líquido es aplicado a la semilla con el adhesivo correcto como lo es carboximetilcelulosa (CMC) al 1,5-2% (Wang *et al.*, 2019).

Los inoculantes de características sólidas se utilizan para cubrir la semilla con una sustancia adhesiva o aplicada directamente a las filas de semillas. Para la aplicación de inoculantes se toman precauciones como lo es evitar sequías, altas y bajas temperaturas, fertilizantes químicos combinados, bacterias, herbicidas, agua ácida o alcalina y agua clorada, ya que estas condiciones matarían a los rizobios (Wang *et al.*, 2019).

En algunas ocasiones existe falta de respuesta a la inoculación, que puede deberse a varios factores: nodulación adecuada por parte de los rizobios autóctonos, condiciones desfavorables para la supervivencia de las cepas de rizobios introducidas y la incapacidad de las cepas inoculantes para competir con las cepas autóctonas por los sitios de nódulos (Bogino *et al.*, 2006).

Co-inoculación de *Rhizobium* con otros microorganismos en cultivo de maní

La coinoculación de todas las plantas leguminosas con bacterias del género *Rhizobium* y *Azospirillum*, genera un aumento significativo y muy importante en la nodulación y en su desarrollo radicular que, incide directamente en una mayor absorción

de agua y nutrientes, esto redundará en un beneficio de rendimiento. Esta técnica está basada en la utilización de diferentes microorganismos que producen un efecto sinérgico, y son capaces de superar los resultados productivos obtenidos cuando se usan por separado (Ferlini, 2006)

La coinoculación de *Bradyrhizobium* sp. y las rizobacterias promotoras del crecimiento de las plantas (PGPR) no solo promueven el crecimiento del maní cultivado en condiciones de suelo franco arenoso, sino que también mejoran su productividad en gran medida (Badawi *et al.*, 2011).

Se concluye que el maní al ser uno de los cultivos de alta relevancia a nivel mundial, ha sido objeto de estudio al ser un cultivo que logra

funcionar de manera simbiótica con algunas bacterias y microorganismos disponibles en el suelo. La interacción de las bacterias simbióticas con el cultivo de maní, son de gran relevancia para ambas partes, se conoció que la interacción de las plantas con microorganismos en el suelo es constante en donde solo una pequeña parte de microorganismos forma una relación simbiótica con el huésped. Las rizobacterias han demostrado durante mucho tiempo una proporción eficaz de fijación de N en conjunto con varias leguminosas, dando así solución a suelos con deficiencia de minerales. La fijación de N por las leguminosas es necesaria en la producción de estos cultivos manteniendo la fertilidad del suelo.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Akram, N. A.; Shafiq, F. & Ashraf, M. 2018. Peanut (*Arachis hypogaea* L.): A prospective legume crop to offer multiple health benefits under changing climate. *Comprehensive reviews in food science and food safety*, 17: 1325-1338.
- Allan, D. & Graham, P. 2014. *Soil 5611: Soil biology and fertility: Symbiotic nitrogen fixation, other N₂-fixing symbiosis*. Dep. of Soil, Water and Climate. University of Minnesota. <http://www.soils.agri.umn.edu/academics/classes/soil3612/SymbioticNitrogen/Other.htm> .
- Anzuay, M. S.; Ludueña, L. M.; Angelini, J. G.; Fabra, A. & Taurian, T. 2015. Beneficial effects of native phosphate solubilizing bacteria on peanut (*Arachis hypogaea* L.) growth and phosphorus acquisition. *Symbiosis*, 66: 89-97.
- Argaw, A. 2017. Organic and inorganic fertilizer application enhances the effect of *Bradyrhizobium* on nodulation and yield of peanut (*Arachis hypogaea* L.) in nutrient depleted and sandy soils of Ethiopia. *International Journal of Recycling of Organic Waste in Agriculture*, 6: 219-231.
- Asante, M.; Ahiabor, B. D. K. & Atakora, W. K. 2020. Growth, Nodulation, and Yield Responses of groundnut (*Arachis hypogaea* L.) as influenced by combined application of rhizobium inoculant and phosphorus in the Guinea

- Savanna zone of Ghana. *International Journal of Agronomy*, 2020: 1-7.
- Badawi, F.S.F.; Biomy, A.M.M. & Desoky, A.H. 2011. Peanut plant growth and yield as influenced by co-inoculation with *Bradyrhizobium* and some rhizomicroorganisms under sandy loam soil conditions. *Annals of Agricultural Sciences*, 56: 17-25.
- Bano, S. A. & Iqbal, S. M. 2016. Biological nitrogen fixation to improve plant growth and productivity. *International Journal of Agriculture Innovations and Research*. 4: 596-599.
- Bastías, D. A.; Johnson, L. J. & Card, S. D. 2020. Symbiotic bacteria of plant-associated fungi: friends or foes? *Current Opinion in Plant Biology*, 56: 1-8.
- Bhat, R. S.; Shirasawa, K.; Sharma, V.; Isobe, S. N.; Hirakawa, H.; Kuwata, C.; Pandey, M.; Varshney, R. & Gowda, M. C. 2021. *Population Genomics of Peanut*. In: Rajora, O. (Ed). *Population Genomics*. Springer. (pp. 1-43).
- Bogino, P.; Banchio, E.; Rinaudi, L.; Cerioni, G.; Bonfiglio, C. & Giordano, W. 2006. Peanut (*Arachis hypogaea*) response to inoculation with *Bradyrhizobium* sp. in soils of Argentina. *Annals of Applied Biology*, 148: 207-212.
- Chen, W. F. 2019. *Usage of rhizobial inoculants in agriculture*. In *Ecology and Evolution of Rhizobia*. Springer, Singapore. pp. 221-247
- Chen, W.; Teng, Y.; Li, Z.; Liu, W.; Ren, W.; Luo, Y. & Christie, P. 2018. Mechanisms by which organic fertilizer and effective microbes mitigate peanut continuous cropping yield constraints in a red soil of south China. *Applied Soil Ecology*, 128: 23-34.
- Conn, L. M. M.; Pérez, A.; Ramírez, M. & 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 soya (*Glycine max*). *Revista colombiana de biotecnología*, 16: 45-56.
- Cruz-Róbelo, K.I. 2019. *Respuesta de dos variedades de maní Arachis hypogaea L. mediante la evaluación de tres densidades de siembra en el cantón Milagro, provincia del Guayas* (Bachelor's thesis, Facultad de Ciencias Agrarias Universidad de Guayaquil).
- Deaker, R. Hartley, E.; Gemell, G.; Herridge, D.F. & Karanja, N. 2016. *Inoculant production and quality control*. In: Howieson, J.G. & Dilworth, M.J. (Eds). *Working with rhizobia*. Australian Centre for International Agricultural Research. (pp. 167-186).
- Denton, M.D.; Phillips, L.A.; Peoples, M.B.; Pearce, D.J.; Swan, A.D.; Mele, P.M. & Brockwell, J. 2017. Legume inoculant application methods: effects on nodulation patterns, nitrogen fixation, crop growth and yield in narrow-leaf lupin and faba bean. *Plant and Soil*, 419: 25-39.
- dos Santos, A. A. C.; de Oliveira, A. J.; de Oliveira, T. C.; da Cruz, A. K. N. & da Silva Almici, M. 2021. A cultura do *Arachis hypogaea* L.: Uma revisão. *Research, Society and Development*, 10: 1-5

- FAO. 2011. *Food and agricultural organization of the United Nation. FAO Statistical Database*. <http://faostat.fao.org/stat/collections?>
- FAOSTAT, 2017. *Statistical Databases and Data-Sets of the Food and Agriculture Organization of the United Nations*. <http://www.fao.org/faostat/>
- FAOSTAT. 2015. *Food and Agricultural Organization Statistics*. FAO.
- Ferlini, H.A. 2006. Co-Inoculación en Soja (*Glycyne max*) con *Bradyrhizobium japonicum* y *Azospirillum brasilense*. Artículo Técnico. <https://www.engormix.com/agricultura/articulos/co-inoculacion-en-soja-t26446.htm>
- Furlan, A. L.; Bianucci, E.; Castro, S. & Dietz, K. J. 2017. Metabolic features involved in drought stress tolerance mechanisms in peanut nodules and their contribution to biological nitrogen fixation. *Plant Science*, 263: 12-22.
- García, E. A. 2017. *Variabilidad del crecimiento y rendimiento de genotipos de maní (Arachis hypogaea L.) en periodo poco lluvioso*. [Doctoral dissertation, Universidad Central «Marta Abreu» de Las Villas. Facultad de Ciencias Agropecuarias. Departamento de Agronomía].
- García, S. C. 2011. Bacterias simbióticas fijadoras de nitrógeno. *Cuadernos del Tomás*, 3: 173-186.
- Gupta, V.; Kumar, G. N. & Buch, A. 2020. Colonization by multi-potential *Pseudomonas aeruginosa* P4 stimulates peanut (*Arachis hypogaea* L.) growth, defence physiology and root system functioning to benefit the root-rhizobacterial interface. *Journal of plant physiology*, 248: 153-144.
- Hake, A. A.; Shirasawa, K.; Yadawad, A.; Sukruth, M.; Patil, M.; Nayak, S. N.; Lingaraju, S.; Patil, P.; Nadaf, H., Gowda, M. & Bhat, R. S. 2017. Mapping of important taxonomic and productivity traits using genic and non-genic transposable element markers in peanut (*Arachis hypogaea* L.). *PLoS one*, 12: 10.
- Halder, D.; Kheroar, S.; Srivastava, R. K. & Panda, R. K. 2020. Assessment of future climate variability and potential adaptation strategies on yield of peanut and Kharif rice in eastern India. *Theoretical and Applied Climatology*, 140: 823-838.
- Hammons, R. O.; Herman, D. & Stalker, H. T. 2016. *Origin and early history of the peanut*. In Stalker, H.T. & Wilson, R.F. (Eds.). *Peanuts: Genetics, processing, and utilization*. Cambridge, Massachusetts, USA: Academic Press. (pp. 1-26).
- Hernández-Rodríguez, A. & Rives-Rodríguez, N. 2014. Potencialidades de las bacterias diazotróficas asociativas en la promoción del crecimiento vegetal y el control de *Pyricularia oryzae* (Sacc.) en el cultivo del arroz (*Oryza sativa* L.). *Revista de protección vegetal*, 29: 1-10.
- Jain, N. K.; Yadav, R. S. & Jat, R. A. 2020. Productivity, Profitability, Enzyme Activities and Nutrient Balance in Summer Peanut (*Arachis hypogaea* L.) as Influenced by NPK Drip Fertigation. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 52: 1-13.
- Krapovickas, A. 2017. *The origin, variability and spread of the groundnut (Arachis hypogaea)*. Dimbleby, G.W. (eds.). In: *The domestication and exploitation of*

- plants and animals*. Routledge. (pp. 427-442).
- Leghari, S.J.; Wahocho, N.A.; Laghari, G.M.; HafeezLaghari, A.; MustafaBhabhan, G.; Hussain Talpur, K.; Bhutto, T.A.; Wahocho, S.A.; Lashari, A.A. 2016. Role of nitrogen for plant growth and development: a review. *Advances in Environmental Biology*, 10: 209-219.
- Liu, Z.; Gao, F.; Yang, J.; Zhen, X.; Li, Y.; Zhao, J.; Li, J.; Qian, B.; Yang, D. & Li, X. 2019. Photosynthetic characteristics and uptake and translocation of nitrogen in peanut in a wheat-peanut rotation system under different fertilizer management regimes. *Frontiers in plant science*, 10: 86.
- Mahrous, N.M.; Safina, S. A.; Abo-Taleb, H. H. & El-Sayed, S. M. 2015. Integrated use of organic, inorganic and bio fertilizers on yield and quality of two peanut (*Arachis hypogaea* L.) cultivars grown in a sandy saline soil. *American-Eurasian Journal of Agricultural & Environmental Sciences*, 15: 1067-1074.
- Malhotra, H.; Sharma, V.S. & Pandey, R. 2018. *Phosphorus nutrition: plant growth in response to deficiency and excess*. Hasanuzzaman, M.; Fujita, M.; Oku, H.; Nahar, K. & Hawrylak-Nowak, B. (Eds.). *In Higher Education in the Era of the Fourth Industrial Revolution*. Springer Nature Singapore Pte Ltd. (pp. 171-190).
- Ochoa-Jaramillo, R.F. 2018. *Efecto del tiempo de almacenamiento en la viabilidad, germinación de semillas de maní (Arachis hypogaea L.) de la UTMACH*. (Universidad Técnica de Machala). <http://repositorio.utmachala.edu.ec/handle/48000/13260>
- Paredes, M. C. 2013. *Fijación biológica de nitrógeno en leguminosas y gramíneas* [en línea]. (Trabajo Final de Ingeniería en Producción Agropecuaria. Facultad de Ciencias Agrarias). Universidad Católica Argentina. <http://bibliotecadigital.uca.edu.ar/repositorio/tesis/fijacion-biologica-nitrogeno-leguminosas>
- Peralta, J. M.; Travaglia, C. N.; Romero-Puertas, M. C.; Furlan, A.; Castro, S. & Bianucci, E. 2020. Unraveling the impact of arsenic on the redox response of peanut plants inoculated with two different *Bradyrhizobium* sp. strains. *Chemosphere*, 259: 127410.
- Pourranjbari, S.; Souri, M.K. & Moghaddam, M. 2019. Characterization of nutrients uptake and enzymes activity in Khatouni melon (*Cucumis melo* var. inodorus) seedlings under different concentrations of nitrogen, potassium and phosphorus of nutrient solution. *Journal of Plant Nutrition*, 42:1-8.
- Prasad, P.V.; Kakani, V.G. & Upadhyaya, H.D. 2010. *Growth and production of groundnut, in soils plant growth and crop production*. Verheye, W.H. (Eds). *In Encyclopedia of Life Support Systems (EOLSS), Developed under the Auspices of the UNESCO*, Eolss Publishers. (pp. 1-26).
- Sarkar, T.; Thankappan, R.; Kumar, A.; Mishra, G. P. & Dobaría, J. R. 2016. Stress Inducible Expression of AtDREB1A transcription factor in transgenic peanut (*Arachis hypogaea* L.) conferred tolerance to soil-moisture deficit stress. *Frontiers in Plant Science*, 7: 935.

- Sharma, V.; Bhattacharyya, S.; Kumar, R.; Kumar, A.; Ibañez, F.; Wang, J.; Guo, B.; Sudini, H.K.; Gopalakrishnan, S.; DasGupta, M.; Varshney, R.K. & Pandey, M. K. 2020. Molecular basis of root nodule symbiosis between *Bradyrhizobium* and 'crack-entry' legume groundnut (*Arachis hypogaea* L.). *Plants*, 9: 276.
- Suzaki, T.; Yoro, E. & Kawaguchi, M. 2015. Leguminous plants: inventors of root nodules to accommodate symbiotic bacteria. *International review of cell and molecular biology*, 316: 111-158.
- Tedersoo, L.; Anslan, S.; Bahram, M.; Kõljalg, U. & Abarenkov, K. 2020. Identifying the 'unidentified' fungi: a global-scale long-read third-generation sequencing approach. *Fungal Diversity*, 103: 273-293.
- Tekulu, K.; Taye, G. & Assefa, D. 2020. Effect of starter nitrogen and phosphorus fertilizer rates on yield and yield components, grain protein content of groundnut (*Arachis hypogaea* L.) and residual soil nitrogen content in a semiarid north Ethiopia. *Heliyon*, 6: 10.
- Torres, J. M. 2020. Importancia nutricional y económica del maní (*Arachis hypogaea* L.). *Revista de Investigación e Innovación Agropecuaria y de Recursos Naturales*, 7: 112-125.
- Variath, M. T. & Janila, P. 2017. *Economic and academic importance of peanut*. Varshney, R.K.; Pandey, M.K. & Puppala, N. (Eds.). In *The peanut genome*. Springer. (pp. 7-26).
- Virk, G.; Pilon, C. & Snider, J. L. 2019. Impact of first true leaf photosynthetic efficiency on peanut plant growth under different early-season temperature conditions. *Peanut Science*, 46: 162-173.
- Wang, Q. 2016. *Peanuts: processing technology and product development*. 1st Ed. Elsevier.
- Wang, C. T.; Wang, X. Z.; Wang, Z. W.; Yu, Q. M.; Tang, Y. Y.; Wu, Q. & Yu, S. T. 2020. Realizing hybrids between the cultivated peanut (*Arachis hypogaea* L.) and its distantly related wild species using *in situ* embryo rescue technique. *Genetic Resources and Crop Evolution*, 67: 1-8.
- Wang, E. T.; Tian, C. F.; Chen, W. F.; Young, J. P. W. & Chen, W. X. 2019. *Ecology and evolution of Rhizobia*. Springer.
- Zapata, N.; Henriquez, L. & Finot, V. L. 2017. Caracterización y clasificación botánica de veintidós líneas de maní (*Arachis hypogaea* L.) evaluadas en la Provincia de Nuble, Chile. *Chilean journal of agricultural & animal sciences*, 33: 202-212.
- Zhang, S.; Hu, X.; Miao, H.; Chu, Y.; Cui, F.; Yang, W.; Wang, Ch.; Shen, Y.; Xu, T.; Zhao, L.; Zhang, J. & Chen, J. 2019. QTL identification for seed weight and size based on a high-density SLAF-seq genetic map in peanut (*Arachis hypogaea* L.). *BMC plant biology*, 19: 1-15.

Received March 14, 2022.

Accepted May 10, 2022.