



**UNIVERSIDAD ESTATAL PENÍNSULA DE SANTA ELENA
FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS
CARRERA DE AGROPECUARIA**

COMPONENTE PRÁCTICO DEL EXAMEN DE CARÁCTER COMPLEXIVO

MODALIDAD: “REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA”

**ESTUDIO BIBLIOGRÁFICO DE LOS RIZOBIOS EN
SIMBIOSIS CON LEGUMINOSAS ALIMENTICIAS Y
FORESTALES, REPORTADAS EN EL TROPICO SECO.**

Previo a la obtención del título de:

INGENIERA AGROPECUARIA

Autor: Shirley Adriana Dominguez Orrala

LA LIBERTAD, 2025



**UNIVERSIDAD ESTATAL PENÍNSULA DE SANTA ELENA
FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS
CARRERA DE AGROPECUARIA**

COMPONENTE PRÁCTICO DEL EXAMEN DE CARÁCTER COMPLEXIVO

MODALIDAD: “REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA”

**ESTUDIO BIBLIOGRÁFICO DE LOS RIZOBIOS EN
SIMBIOSIS CON LEGUMINOSAS ALIMENTICIAS Y
FORESTALES, REPORTADAS EN EL TROPICO SECO**

Previo a la obtención del Título de:

INGENIERA AGROPECUARIA

Autora: Shirley Adriana Dominguez Orrala

Tutor: Blgo. Javier Soto Valenzuela Ph.D.

LA LIBERTAD, 2025

TRIBUNAL DE GRADO

Componente práctico de examen complejo presentado por **Shirley Adriana Dominguez Orrala** como requisito parcial para la obtención del grado de Ingeniero/a Agropecuario de la Carrera de Agropecuaria.

Trabajo de Integración Curricular **APROBADO** el: 7 /Julio / 2025

Ing. Veronica Cristina Andrade Yucaila,
Ph.D
**DIRECTORA DE CARRERA
PRESIDENTE DEL TRIBUNAL**

Ing. Agrop. Ligia Araceli Solís Lucas,
Ph.D
**PROFESORA ESPECIALISTA
MIEMBRO DEL TRIBUNAL**

Blgo. Javier Oswaldo Soto Valenzuela,
Ph.D
**PROFESOR TUTOR
MIEMBRO DEL TRIBUNAL**

Ing. Agr. Nadia Rosaura Quevedo Pinos,
Ph.D
**PROFESORA GUÍA DE LA UIC
MIEMBRO DEL TRIBUNAL**

Ing. Com. Washington Vidal, Perero
Vera, Mgtr
**ASISTENTE ADMINISTRATIVO
SECRETARIO**

DECLARATORIA DE RESPONSABILIDAD

El presente Trabajo Práctico de Examen de Grado de carácter complejo Titulado “**Estudio bibliográfico de los rizobios en simbiosis con leguminosas alimenticias y forestales, reportadas en el trópico seco**” y elaborado por **Shirley Adriana Dominguez Orrala**, declara que la concepción, análisis y resultados son originales y aportan a la actividad científica educativa agropecuaria.

Transferencia de derechos autorales.

"El contenido del presente Trabajo de Graduación es de mi responsabilidad; el patrimonio intelectual del mismo pertenece a la Universidad Estatal Península de Santa Elena".

Firma del estudiante

DEDICATORIA

El siguiente trabajo está dedicado a Dios, por darme salud, inteligencia y perseverancia para culminar este camino llamado universidad, el cual no fue fácil pero tampoco imposible.

A mis amados padres Xavier y Maribell, que siempre me alentaron a seguir adelante y dieron todo de si para que hoy sea una mujer de bien, a mi hijo que es mi mayor motivo de superación, a mis hermanos por brindarme su granito de su apoyo, también a mis compañeros de la universidad que de alguna forma me brindaron su ayuda y colaboración.

Pero sobre todo a mí, que a pesar de todos los obstáculos que se presentaron pude culminar con éxito esta etapa de mi vida.

Shirley Dominguez Orrala

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a mis amados padres Xavier Dominguez y Maribell Orrala, por darme todo lo necesario para poder terminar mi carrera universitaria, alentándome para seguir adelante y por nunca dejarme sola a pesar de todos los obstáculos que se presentaron.

A mi compañero de vida, por darme su apoyo incondicional en los momentos difíciles que se han presentado en este proceso.

A la Universidad Estatal Península de Santa Elena por permitirme ser parte de esta institución, por brindarme su calidad de enseñanza y a los docentes que ayudaron a mi formación profesional a lo largo de mi carrera universitaria, por permitir conocer a mis amistades Denisse, Ginger, Genesis, Andrea y Juan quienes me dieron su apoyo en nuestro tiempo académico.

En especial a mi tutor Blgo. Javier Soto Valenzuela, PhD, por la paciencia y dedicación en guiarme en el desarrollo de mi trabajo.

Shirley Dominguez Orrala

RESUMEN

Parte de las necesidades de los nutrientes para la regeneración de los bosques tropicales, se cubren mediante las leguminosas que forman simbiosis con las bacterias fijadoras de nitrógeno, conocidas como rizobios. Sin embargo, la mayor parte del conocimiento sobre la abundancia de estas relaciones proviene de las regiones tropicales húmedas, mientras que se sabe muy poco sobre las comunidades microbianas del suelo en los bosques tropicales, que presentan sequías estacionales. Esta revisión bibliográfica abarca algunos resultados interesantes sobre los rizobios en simbiosis reportados en el trópico seco, en temas como los géneros de las bacterias fijadoras de nitrógeno (BFN), la formación de nódulos, fijación de N y beneficios de las relaciones simbióticas; en leguminosas empleadas en alimentación humana, estudios forestales y de forraje. Esta revisión de la información proveniente de las principales bases de datos científicos durante la última década, evidenciando que existe una amplia diversidad de rizobios con un papel relevante en la actividad agropecuaria.

Palabras claves: Bosques secos tropicales, Rizobios, Leguminosas, Simbiosis.

ABSTRACT

Part of the nutrient requirements for tropical forest regeneration are met by legumes that form symbioses with nitrogen-fixing bacteria, known as rhizobia. However, most of the knowledge about the abundance of these relationships comes from humid tropical regions, while very little is known about soil microbial communities in tropical forests, which experience seasonal droughts. This literature review covers some interesting results on rhizobia in symbiosis in the dry tropics, on topics such as the genera of nitrogen-fixing bacteria (NFB), nodule formation, N fixation, and the benefits of symbiotic relationships in legumes used in human food, forestry, and forage studies. This review of information from major scientific databases over the last decade demonstrates the existence of a wide diversity of rhizobia with a relevant role in agricultural activity.

Keywords: Tropical dry forests, Rhizobia, Legumes, Symbiosis.

ÍNDICE

1	INTRODUCCIÓN	1
	Problema:	2
	Objetivos	2
	Objetivo general:.....	2
	Objetivos Específicos:	2
2	MÉTODOLÓGÍA	3
2.1	Técnicas y procedimientos de recolección de datos.....	3
2.2	Estrategia de búsqueda	3
2.3	Investigación exploratoria	3
2.4	Análisis de la información.....	3
3	REVISIÓN DE LITERATURA	4
3.1	Generalidades de los rizobios.....	4
3.1.1	Genero Rhizobium	4
3.1.2	Rizobios	4
3.1.3	Taxonomía de los rizobios	4
3.2	Nitrógeno.....	5
3.3	Fijación de nitrógeno.....	5
3.4	Bacterias fijadoras de Nitrógeno	5
3.5	Formación de nódulos	6
3.6	Leguminosas.....	7
3.7	Asociación rizobio- leguminosas	7
3.8	Beneficios de la relación simbiótica.....	8
3.9	Simbiosis con leguminosas de uso en alimento humano	8
3.10	Simbiosis con leguminosas forrajeras	9
3.11	Simbiosis con leguminosas forestales	10
3.12	Especificidad	11
3.13	Bosques secos tropicales	12
3.14	Remanentes en bosques seco tropicales.....	12
4	CONCLUSIONES.....	13
5	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	
	ANEXOS	

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Rizobacterias promotoras del crecimiento vegetal	6
Tabla 2. Generalidades de diferentes leguminosas comestibles	9
Tabla 3. Generalidades de leguminosas forestales	11

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Etapas de crecimiento de una planta forrajera.

Figura 2. Especies de leguminosas forestales localizadas en los bosques secos tropicales de Ecuador.

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1. Esquema del proceso de infección de los rizobios en las leguminosas.

Anexo 2. Tipos de leguminosas.

1 INTRODUCCIÓN

Las comunidades microbianas del suelo, formadas principalmente por bacterias y hongos son un componente clave de los ecosistemas naturales y agrícola, debidos a que participan de manera activa en numerosos procesos ecológicos fundamentales para el mantenimiento de la vida sobre nuestro planeta (Maestre, 2016).

Las demandas de nutrientes para la regeneración de bosques tropicales se satisfacen en parte con árboles de leguminosas en simbiosis con bacterias fijadoras de nitrógeno, llamadas comúnmente rizobios. Se comprende la abundancia de esas especies, esta sesgada hacia las regiones tropicales húmedas mientras que las comunidades microbianas del suelo en los bosques tropicales estacionalmente secos son pocos conocidos (Gei *et al.*, 2018).

La simbiosis fue reconocida por primera vez hace más de 100 años, y su importancia agrícola ha sido asegurada a través de las investigaciones científicas realizadas en el mundo. Una característica inusual de estas investigaciones ha sido relacionada con la diversidad taxonómica de las plantas y sus simbioses. Los esfuerzos encaminados en este aspecto, lejos de ser una pérdida de tiempo, han proporcionado una información comparativa que permite distinguir los casos específicos de los generales (Young y Johnston, 1989).

La simbiosis leguminosa-rizobio es la relación recíproca entre plantas y las bacterias. Las bacterias invaden las raíces o en casos raros a los tallos, e induce la formación de un nódulo, en el cual esta reduce el nitrógeno atmosférico en amonio y proporciona a las plantas de compuestos nitrogenados a cambio de compuestos carbonatados y otros nutrientes. Las plantas ganan en habilidad para crecer en suelos pobres en nitrógeno y la bacteria obtiene una cubierta protectora en la que se multiplica, y de la cual escapa en un gran número al ocurrir senescencia del nódulo. Las leguminosas como *Leucaena leucocephala* (Lam), pueden favorecer la producción de biomasa de calidad, en temporadas de disminución de las precipitaciones, debido a que poseen un sistema radical pivotante y a la facultad de asociarse con bacterias fijadoras de nitrógeno como *Rhizobium*, *Bradyrhizobium* y *Mesorhizobium* (Elzanaty *et al.*, 2021).

Otros estudios, complementan los beneficios de los rizobios más allá del rendimiento, reportan el aumento del 28% de N disponible en el suelo de bosque gracias al efecto de la rizodeposición de las leguminosas noduladas por rizobios, lo que sin duda es

clave de mitigación de los efectos de la emisión de gases de efecto invernadero. Por otro lado, los rizobios representan una potencial herramienta biotecnológica de fácil aplicación agrícola sin los efectos nocivos por el mal uso de los fertilizantes químicamente sintetizados en el ambiente (Calero *et al.*, 2019).

Lo descrito anteriormente pretende informar sobre el estudio de rizobios en simbiosis con leguminosas cultivadas y forestales en el trópico seco del Ecuador en los últimos diez años.

Problema:

¿Existe información científica actualizada sobre los estudios de rizobios en simbiosis con leguminosas alimenticias y forestales reportados en el trópico seco?

Objetivos

Objetivo general:

Describir los avances científicos de los rizobios en simbiosis con leguminosas alimenticias y forestales.

Objetivos Específicos:

1. Revisar la información publicada en las principales bases de datos científicos sobre el estudio de los rizobios en simbiosis con leguminosas alimenticias y forestales.
2. Mostrar los aspectos más importantes sobre el estudio de los rizobios en simbiosis en base a los resultados obtenidos en la búsqueda bibliográfica.

2 MÉTODOLÓGÍA

2.1 Técnicas y procedimientos de recolección de datos

Esta investigación se realizó como modalidad de revisión bibliográfica tipo narrativa, con enfoque temático, cuyo objetivo fue recopilar, organizar y analizar información científica sobre el estudio de rizobios en simbiosis con leguminosas alimenticias y forestales, se recopiló información de investigaciones acordes al tema, tales como documentos científicos de estudios realizados a nivel local y mundial en gestores bibliográficos.

2.2 Estrategia de búsqueda

La búsqueda bibliográfica se realizó utilizando bases de datos académicas reconocidas por su rigurosidad científica como: Scopus, Web of Science, Google Scholar, SciELO y RedALyC. También se consultaron repositorios institucionales, revistas científicas especializadas y documentos técnicos publicados por organismos de investigación y desarrollo agropecuario en publicaciones nacionales y regionales.

2.3 Investigación exploratoria

Para asegurar la pertinencia y calidad del documento se emplearon varias combinaciones de palabras claves como: “simbiosis”, “rizobios”, “fijación de nitrógeno”, “Rhizobia”, “leguminosas”, “especificidad” y “nodulación”, también por medio de operadores booleanos (AND, OR). Se aplicaron filtros por idiomas español e inglés, tipo de documento (artículos científicos y revisiones) y periodo de publicación (2015-2025).

2.4 Análisis de la información

La información recolectada fue clasificada y referenciada mediante el software Zotero. Posteriormente, se sistematizó por categorías temáticas relacionadas con:

- Mecanismos de acción de la simbiosis, leguminosas y rizobios;
- Efectos de la fijación de N, nutrición y sanidad vegetal;
- Beneficios de la simbiosis en leguminosas empleadas en alimentación y forestales.

La síntesis de los hallazgos se realizó mediante matrices de comparación, resúmenes analíticos y elaboración de tablas explicativas, permitiendo contrastar evidencias científicas y extraer conclusiones integradoras para identificar tendencias, beneficios, limitaciones y perspectivas de uso de estas estrategias en nuestro país.

3 REVISIÓN DE LITERATURA

3.1 Generalidades de los rizobios

3.1.1 Género *Rhizobium*

El género *Rhizobium* está compuesto por dos subramas: las especies *R. galegae* y *R. huautlense* junto con *Allorhizobium* y tres especies de *Agrobacterium* forman la primera subrama; el resto de las especies, incluyendo la especie tipo *R. leguminosarum*, y *A. rhizogenes* forman la otra subrama. También hay bacterias no-simbióticas cercanamente relacionadas con cada uno de los géneros de rizobios, las bacterias de este género son bacilos que miden 0.5-1.0x1.2-3.0µm. por medio de 1-6 flagelos que pueden ser peritricales o subpolares pueden realizar movimientos.

Actualmente los estudios realizados demuestran 73 especies bacterianas dentro del género *Rhizobium*, aunque algunas de ellas no se han identificado especificidad a un hospedador específico (Diez, 2019).

Las colonias de este género se las considera de crecimiento rápido en medio de cultivo LMA (Extracto de Levadura Manitol Agar) presentando características en el medio de cultivo de color blancas o beige a ligeramente rosadas, formas circulares, convexas, lisas, semi-translúcidas y opacas; que miden de 2 a 4 mm de diámetro a los 3- 5 días de incubación (Saldaña, 2017).

3.1.2 Rizobios

Los rizobios son un grupo de bacterias gramnegativas pertenecientes al *Phylum Proteobacteria* y con alguna excepción establecen la simbiosis con plantas de la familia de las leguminosas. Tienen una alta eficiencia en la fijación biológica de nitrógeno (FBN) y puede suplir hasta el 90% de los requerimientos de este elemento en las leguminosas. Forman dos grupos: en simbiosis y de vida libre (Soto *et al.*, 2021).

3.1.3 Taxonomía de los rizobios

La actual taxonomía de los rizobios se apoya en un enfoque polifásico que abarca la morfología, bioquímica, fisiología, genética y la filogenética. De acuerdo con la definición de especie aceptada en bacteriología, cada especie de *Rhizobium* se compone de un grupo de cepas que comparten las características distintivas de un grupo particular de bacterias. El

análisis de secuencias de los genes ARNr 16S se ha vuelto de gran importancia debido que permite la descripción de los géneros y las especies de *Rhizobium* (Wang *et al.*, 2012).

Investigaciones más recientes (2021–2023) han considerado hasta 21 géneros bacterianos capaces de formar nódulos con leguminosas, incluyendo tanto α - como β -proteobacterias como *Cupriavidus*, *Paraburkholderia* y *Trinickia*.

Asimismo, se han reconocido géneros como *Ciceribacter*, *Endobacterium*, *Gellertiella*, *Georhizobium*, *Hoeflea*, *Lentilitoribacter*, *Liberibacter*, *Mycoplana*, *Pseudorhizobium*, *Peteryoungia* y otros dentro de Rhizobiaceae, aunque no todos sus miembros son necesariamente simbióticos (Jaiswal *et al.*, 2021).

3.2 Nitrógeno

El nitrógeno (N) es el elemento más limitante en los ecosistemas terrestres, de todos los nutrientes del suelo necesario para el crecimiento de las plantas, en especial en ecosistemas áridos y semiáridos. El nitrógeno inorgánico está constituido por las formas solubles como nitrito y nitrato, amonio intercambiable y no intercambiable fijado en las arcillas (Rutherford *et al.*, 2007). El contenido de nitrógeno orgánico en el suelo incluye una gran variedad de formas, puede no estar disponible para las plantas en moléculas complejas o perderse por desnitrificación, erosión del suelo, lixiviado, volatilización, este desempeña un papel importante en la composición y diversidad de las especies, y en la dinámica y funcionamiento de la mayoría de los ecosistemas.

3.3 Fijación de nitrógeno

Esto ocurre por la asociación simbiótica que establecen las plantas con algunas bacterias pertenecientes a la familia *Rhizobiaceae* y que infectan a las raíces de las plantas formando nódulos. Si estas cepas no existen en el suelo será necesario introducirlas y la forma más sencilla es inocular las semillas con un cultivo apropiado de *Rhizobium*, esta se conoce con el nombre de inoculante. Las bacterias ceden el nitrógeno fijado a la planta y a su vez, suministra al nódulo los carbohidratos que proveen la energía necesaria para el proceso de fijación (Rodiño *et al.*, 2004).

3.4 Bacterias fijadoras de Nitrógeno

Las bacterias fijadoras de nitrógeno codifican la nitrogenasa, donde el nitrógeno atmosférico a través del proceso de FBN es convertido en compuestos inorgánicos como el amoniaco, mejorando el crecimiento y rendimiento de las plantas (Tovar, 2023).

Rodríguez (2022) precisó que, entre las bacterias fijadoras de nitrógeno encontramos dos grupos de organismos. El primer grupo pertenece a las bacterias móviles del suelo estas son atraídas hacia las raíces de las plantas gracias a las sustancias que emiten los vegetales, este grupo pertenece a los organismos aeróbicos esta categoría incluye rizobios (nódulos en raíces de leguminosas) y bradirizobios (nódulos en raíces de soja). El segundo grupo está formado por actinomicetos (bacterias grampositivas), que forman nódulos en las raíces de árboles y arbustos (angiospermas capaces de formar nódulos).

3.5 Formación de nódulos

La simbiosis entre planta y bacteria comienza a partir de compuestos flavonoides o isoflavonoides. Estas moléculas son excretadas por las raíces de las leguminosas, las cuales activan la expresión de los genes Nod de parte de *Rhizobium* (Jiménez, 2022).

En la siguiente fase la bacteria se incorpora a su anfitrión, ya que la planta libera glicoproteínas específicas para tentar a la bacteria *Rhizobium* cerca de la raíz, estas liberan lipopolisacárido como factor NOD las cuales produce las deformaciones en los pelos radiculares, los factores Nod inducen en los pelos radiculares de la planta huésped cambios en el flujo de calcio, inducción de proteínas conocidas como nodulinas, rearrreglos de citoesqueletos, las alteraciones en la morfología y crecimiento del pelo, morfogénesis de estructuras tipo nódulo (Villafuerte, 2020).

Jimenes (2022) señala que, mediante el tubo de infección los rizobios llegan hasta las células del córtex de la raíz el cual se convierte en el sitio propicio para la multiplicación de la bacteria formando en esta estructura una colonia. La pared de la planta se disuelve para originar una estructura tubular llamada cordón de infección, a través de este cordón las bacterias pueden penetrar en las células de la planta.

Este proceso finaliza con la liberación de las bacterias en el citoplasma de las células corticales de la raíz. Estas bacterias permaneces rodeadas por la membrana de la célula hospedadora fabricada en el hilo de infección (membrana peribacteroidal), originando a un nuevo organelo denominado simbiosoma. Las bacterias transformadas en bacteroides fijan nitrógeno, recibiendo fuertes de carbono y energía suministradas por partes de la planta.

3.6 Leguminosas

Las leguminosas son una familia extensa que se caracteriza por su fruto en forma de legumbre, donde se albergan las semillas. Las legumbres son las semillas secas (principalmente de la familia de las leguminosas, subfamilia Papilionáceas), que por su bajo contenido en grasa se diferencian de las semillas oleaginosas (Olmedilla *et al.*, 2010).

Tienen en común, albergar bacterias fijadoras de nitrógeno atmosférico en sus raíces, formando así los nódulos radicales. Estas bacterias aportan el N necesario a la planta, por lo que las leguminosas, además de no necesitar fertilizantes para su desarrollo, también se utilizan en la rotación de cultivos.

Este grupo de plantas han impulsado la evolución de los rizobios para adaptarse a la necesidad de nodular su planta hospedera bajo condiciones locales, principalmente de pH y disponibilidad de nutrientes en el suelo (Llamas y Acedo, 2016).

3.7 Asociación rizobio- leguminosas

López Alcocer *et al.* (2017) consideran que, la asociación rizobio-leguminosas es un proceso de alta eficiencia en la FBN, que pueden ser capaces de abastecer hasta un 90% de las necesidades de N en dichas plantas. El grupo de los rizobios está formado por alfaproteobacterias o betaproteobacterias del suelo que forman simbiosis con sus hospederas leguminosas, compitiendo con otros miembros de la microbiota, formando los bacteroides en el interior de los nódulos, que es la forma en la que las bacterias se convierten en fijadoras de nitrógeno (Poole *et al.*, 2018).

En la Tabla 1 se muestran los géneros de las rizobacterias promotoras del crecimiento vegetal (RPCV), sus efectos y en los cultivos en los que se han encontrado.

Tabla 1. *Rizobacterias promotoras del crecimiento vegetal.*

RPCV	Efecto	Cultivos
<i>Azospirillum spp.</i> , <i>Azotobacter spp.</i> , <i>Bacillus spp.</i> , <i>Burkholderia spp.</i> , <i>Gluconacetobacter spp.</i> , <i>Herbaspirillum spp.</i>	Biofertilizante fijan N ₂	Maíz, arroz, trigo, sorgo, caña de azúcar.
<i>Bacillus spp.</i> , <i>Pseudomonas spp.</i> , <i>Streptomyces spp.</i> , <i>Paenibacillus spp.</i> , <i>Enterobacter spp.</i> , <i>Azospirillum spp.</i>	Biocontrol (enfermedades, patógenos e insectos)	Tomate, tabaco, pepino, pimiento, morrón, maní, alfalfa, garbanzo, frijol, ciruelo.

<i>Methylobacterium spp.</i> , <i>Bacillus spp.</i> , <i>Alcaligenes spp.</i> , <i>Pseudomonas spp.</i> , <i>Variovorax spp.</i> , <i>Enterobacter spp.</i> , <i>Azospirillum spp.</i> , <i>Rhizobium spp.</i> , <i>Klebsilla spp.</i>	Elongación, crecimiento	Nabo, clavel, canola, soya, frijol, maíz, judías, chicharos.
<i>Aeromonas spp.</i> , <i>Agrobacterium spp.</i> , <i>Alcaligenes spp.</i> , <i>Azospirillum spp.</i> , <i>Bradyrhizobium spp.</i> , <i>Comamonas spp.</i> , <i>Enterobacter spp.</i> , <i>Rhizobium spp.</i> , <i>Paenibacillus spp.</i> , <i>Pseudomonas spp.</i> , <i>Bacillus spp.</i>	Productoras de fitohormonas (citoquininas, giberelinas)	Arroz, lechuga, trigo, soya, rábano, colza, aliso.

Fuente: Parray *et al.* (2016).

3.8 Beneficios de la relación simbiótica

Coque (2021) menciona que, la asociación que existe entre microorganismos y plantas aportan varios beneficios como promover el buen desarrollo de las plantas e incrementar la mayor absorción de nutrientes que se encuentran en el suelo.

Durante la simbiosis de leguminosas con *Rhizobium* las plantas suministran energía y carbono en forma de azúcares y protección a la bacteria a cambio esta le otorga de nitrógeno atmosférico fijado a la planta para su desarrollo (Rodríguez, 2022).

3.9 Simbiosis con leguminosas de uso en alimento humano

Las leguminosas son las plantas más cultivadas actualmente, perteneciente a la familia fabáceas. Consiste en un grupo de casi 20.000 especies, siendo arboles a herbáceas, pasando por arbustos y por último en enredaderas. Se dice que las leguminosas es la segunda familia más importante de plantas cultivadas después de la familia de la Gramíneas o Poaceae (Foresto, 2021).

Estas se caracterizan por sus frutos en forma de vaina, en su interior se encuentran sus semillas, las cuales se conocen como legumbres. Estos productos son de gran importancia en la industria alimentaria humana a nivel mundial ya que son alimentos bajos en grasas, ricos en proteínas, fibra, vitaminas y minerales (Acosta, 2024).

Gallo (2024) señala que, Ecuador dispone de zonas aptas para el desarrollo de legumbres vegetativos y fisiológico de manera normal, a nivel nacional cuenta con un área cultivada de plantas de 19.438 Ha, con un promedio en su producción de 550 Kg/ha. En Manabí se encuentran 472 ha cultivada de estas especies vegetales. También menciona que,

el consumo de leguminosas es de granos tanto en estado maduro como tierno, cuenta con alto contenido de proteína (24.1% en seco y 6.3% en verde).

En la Tabla 2 se presentan características y hábitos de crecimiento de algunas leguminosas comestibles.

Tabla 2. Generalidades de diferentes leguminosas comestibles.

Especie	Tipo de planta	Hábito de crecimiento	Características
Frejol palo (<i>Cajanus cajan</i>)	arbustiva semiperenne	Tolera la sequía y crecen en suelos pobres, con texturas franco-arenosos a franco-arcilloso. Temperaturas de 16 a 35°C.	Adecuado para consumo humano y animal debido a su elevado contenido proteico que oscila entre el 16 a 22% con digestibilidad de la materia seca del 59%
Chocho (<i>Lupinus mutabilis sweet</i>)	Herbácea trepadora	Se adapta a una variedad de suelos que van desde franco arenosos a franco arcillosos. Temperatura optima entre 15 a 18°C con mínimo de 10°C.	Consumo humano y animal. Contiene entre 18 a 20% de materia seca, de las cuales 12% son carbohidratos y el 5 y 8 % son proteínas.
Arveja (<i>Pisum sativum L.</i>)	Herbácea trepadora	Se adapta a una variedad de suelos que van desde franco arenosos a franco arcillosos. Temperatura óptima entre 15 a 18°C con mínimo de 10°C.	Consumo humano y animal. Contiene entre 18 a 20% de materia seca, de las cuales 12% son carbohidratos y el 5 y 8 % son proteínas.
Frejol común (<i>Phaseolus vulgaris</i>)	Herbácea anual	Se adaptan a diferentes tipos de suelo arenosos y arcillosa franca. Necesitan un clima con poca humedad.	Importantes en la dieta humana, proporciona fuente de proteína y de alta calidad.

3.10 Simbiosis con leguminosas forrajeras

Las leguminosas herbáceas tienen la capacidad de fijar nitrógeno atmosférico mediante la simbiosis con bacterias de *Rhizobium* en sus raíces. Mediante este proceso el suelo se enriquece de nitrógeno y nutrientes esenciales para las plantas, reduce la necesidad de fertilizantes sintéticos, contribuyendo la mejora de fertilidad en el suelo de manera natural de manera que reduce la contaminación por fertilizantes químicos (Taípe *et al.*, 2024). En la figura 1 se muestran las etapas de crecimiento de una planta forrajera.

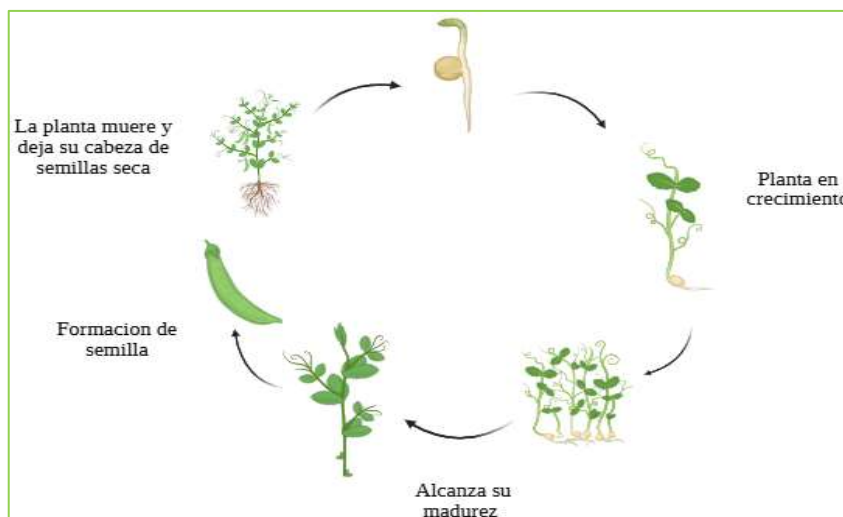


Figura 1. *Etapas de crecimiento de una planta forrajera.*

3.11 Simbiosis con leguminosas forestales

Las leguminosas forestales se caracterizan por ser individuos de porte arbustivo o arbóreo, también han tenido un significativo rol en los estudios de recuperación de suelos degradados. Estas especies presentan un mejor aprovechamiento de nutrientes y una buena capacidad de crecimiento en condiciones adversas del suelo, cuando están asociadas a bacterias fijadoras de nitrógeno y a hongos micorrícicos. De este grupo se destacan especies de los géneros *Inga*, *Leucaena*, *Prosopis* y *Tara*, muchos de ellos son fuentes de forrajes, leña, cercos vivos y alimento animal (Tarazona *et al.*, 2022).

En la tabla 3 se muestran las características de algunas leguminosas forestales

Tabla 3. *Generalidades de leguminosas forestales.*

Especie	Origen/Distribución	Característica botánica	Requerimiento edafoclimático	Composición química	Capacidad simbiótica
Guaba (<i>Inga edulis</i> Mart)	Nativo de áreas tropicales, restringidas en América	Altura variada, hojas bipinnadas alternas o vellosas.	Crece en suelos profundos franco arcilloso a arcilloso, toleran niveles de acidez elevadas.	Fuente de antocianinas bioactivas con potencial farmacológico.	Destacan géneros Bradyrhizobium spp. logra cierta especificidad con la especie <i>Inga edulis</i> .

Algarrobo (<i>Prosopis pallida</i>)	El 90% son nativas de Norte y Sudamérica, pocas son distribuidas en África.	Árbol no caducifolio, hojas verdes grisáceas, con 6 a 15 foliolos oblongos-elípticos.	Se encuentran en bajas altitudes en el Sur y elevaciones superiores en el norte del Perú y Ecuador.	En la composición de la pulpa de <i>P. pallida</i> , se encuentra los minerales, valor energético y fibra dietética.	Tienen relación simbiótica con bacterias fijadoras de nitrógeno, además forman micorrizas.
Molina (<i>Caesalpinia spinosa</i>)	Nativa de Perú y se distribuye en zonas áridas de la costa peruana.	Altura de hasta 5m. Hojas alternas, perennes y bipinnadas.	Crece en áreas con lluvias moderadas y temperaturas templadas de 12 a 24°C. Prefiere suelos franco arenosos, algo calcáreos.	Alta concentración de taninos, empleado para impermeabilizar ollas de barro y elaborar tintes para textiles y cerámicas.	No forma asociaciones simbióticas con rizobios, pero si con hongos ectomicorrizicos.
Leucaena (<i>Leucocephala Lam</i>)	Nativa de Norteamérica, México.	Arbusto de 6 metros, madera de marrón oscuro. Con hojas alternas. Flores blancas a crema, sus vainas crecen de 3 a 20 por capitulo.	Requiere suelos bien drenados con saturación base de Al bajo. Crece mal en suelos con bajos niveles de pH y P; y alta saturación de Al y salinidad.	Su forraje es altamente nutritivo, posee entre un 55 a 70% de digestibilidad, entre un 3 a 4.5% de nitrógeno.	Hace simbiosis con varios géneros rizobianos. Se ha reportado la nodulación con cepas de Bradyrhizobium canariense.

3.12 Especificidad

La especificidad de los *Rizobios* para nodular una leguminosa esta codificada en elementos genéticos susceptibles de ser transferidos entre especies, incluso entre géneros, esta capacidad para transferirse horizontalmente determina el espectro del hospedador de un rizobio. Esta transferencia genética permitiría a cepas de distintas especies, que pertenecen a la misma simbiovariedad, nodular la misma leguminosa y que una misma especie de rhizobia que contenga cepas pertenecientes a diferentes simbiovariedades pueda nodular a diferentes leguminosas. Por otra, parte las leguminosas pueden tener diferente grado de especificidad de modo que leguminosas muy promiscuas pueden formar nódulos con cepas de rhizobia de diferentes simbiovariedad (Ramírez *et al.*, 2016).

3.13 Bosques secos tropicales

Espinoza *et al.* (2012) manifiesta que, los bosques secos tropicales (BST) son uno de los ecosistemas más amenazadas del mundo, por su acelerada pérdida de cobertura vegetal. Tienen una gran diversidad y abundancia de leguminosas con aporte a la FBN. Sin embargo, hay pocas estimaciones de cantidades de nitrógeno fijadas, lo que dificulta la comprensión de los factores que controlan la FBN en esos ecosistemas.

3.14 Remanentes en bosques seco tropicales

En Ecuador uno de sus ecosistemas importantes son los bosques secos pluvioestacionales que se encuentran en el centro y sur de la región occidental de los Andes, en las provincias de Imbabura, Esmeraldas, Manabí, Guayas, El Oro y Loja. Los bosques secos se desarrollan en condiciones climáticas extremas, una precipitación anual de 400-600mm, en un periodo de 3-4 meses, generalmente en febrero, marzo y abril; la temperatura media anual es de 24,9°C.

La existencia del bosque seco en Ecuador se atribuye a la presencia de la corriente fría de Humboldt y a la Cordillera de los Andes, no permiten el paso de la humedad de la Amazonia, la gran mayoría de este ecosistema se encuentra en la costa (Aguirre, 2012).

En la Figura 2, se muestra el porcentaje de las especies forestales localizadas en los bosques secos tropicales de Ecuador.

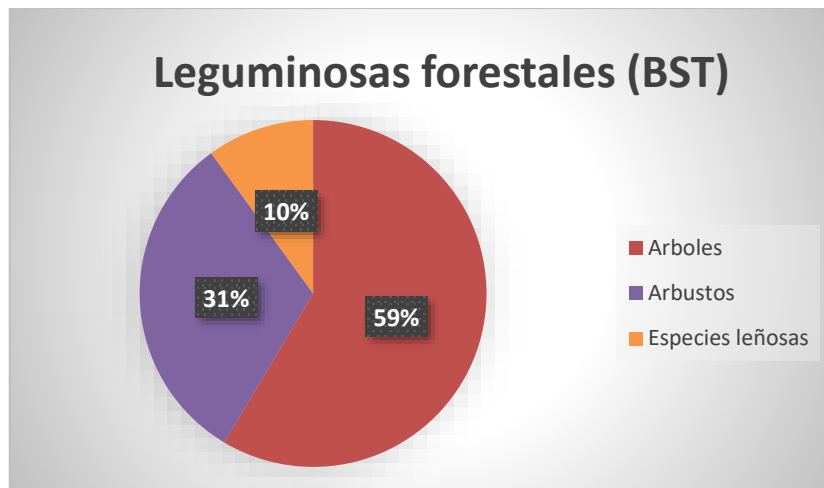


Figura 2. Especies de leguminosas forestales localizadas en los bosques secos tropicales de Ecuador.

La mayoría de los estudios realizados en Ecuador se han enfocado en plantas leguminosas comunes y han identificado predominantemente estos dos géneros. No hay evidencia sólida de que se hayan aislado géneros adicionales de rizobios (como *Mesorhizobium*, *Cupriavidus*, u otros) en estudios en Ecuador durante la última década.

4 CONCLUSIONES

Con la información revisada de las principales bases de datos científicos en los últimos 10 años confirmó que, actualmente existe una gran cantidad, aproximadamente diecinueve cepas de rizobios que ocupan un lugar importante en la agricultura y son utilizadas como inoculantes, ya que mejoran en gran medida la fijación biológica de nitrógeno en condiciones adversas. Se destaca la tolerancia a distintos tipos de estrés, como salino, osmótico y presencia de metales pesados en el suelo.

También existen aspectos de importancia agroecológica como la demanda de nutrientes en la regeneración de bosques tropicales, se satisface con árboles de leguminosas en simbiosis con bacterias fijadoras de nitrógeno, llamadas comúnmente rizobios.

Se encontraron el tipo de planta, su hábito de crecimiento y características importantes de cuatro especies de leguminosas empleadas en la alimentación humana, como también las características botánicas, requerimiento edafoclimático, la composición química y capacidad simbiótica de cuatro especies de leguminosas forestales en el trópico seco. Sin embargo, según los estudios científicos publicados en los últimos diez años, en Ecuador se han aislado únicamente dos géneros de bacterias rizobiales, basándose en reportes en Scopus, Web of Science y Scielo.

5 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Díez Méndez, A. D. (2019) *Análisis genómico y funcional de Rhizobium cellulosilyticum ALA10B2T como bioinoculante agrícola y estudio de la regulación del operón celABC en la biosíntesis de celulosa bacteriana*. Doctorado. Departamento de Microbiología y Genética. Universidad de Salamanca.
- Saldaña, J. (2017) 'Aislamiento e Identificación de Cepas nativas de *Rhizobium phaseoli* de Suelo de la Presa de la Juventud de Marín, Nuevo León.', *Revista Iberoamericana de Producción Académica y Gestión Educativa*, 4(7). Para mayor conocimiento puede consultar el siguiente vínculo:
<https://rua.ua.es/dspace/bitstream/10045/45402/8/Estilo-Harvard.pdf>
- Coque, C. A. M. (2021). *Evaluación de un biofertilizante a base de rhizobium en la producción del cultivo de arveja (Pisum sativum L.) variedad temprana perfecta*. COQUE, C. A. M. (2021). *Tesis-284 Ingeniería Agronómica - Coque Calvache Ana Mishell*.
- Soto Valenzuela, J.; Amano, y Diaz, L. 2017. Evidencia de Rizobios en Nódulos de *Leucaena leucocephala* (Lam.), mediante técnicas fisicoquímicas de cultivo y Microscopía Electrónica de Barrido (SEM). *RCTU [online]*. Vol.4, n.3 [citado 2024-12-19], pp.133-138.
- Rodríguez, P. J. C. (2022). Efecto de la inoculación de cepas de *Rhizobium* eficientes en la fijación biológica de nitrógeno sobre los parámetros de rendimiento de *Phaseolus vulgaris* "frejol común" var. panamito bajo condiciones de campo en el sector Aucasoma. <https://orcid.org/0009-0001-5370-6969>
<https://repositorio.unesum.edu.ec/bitstream/53000/7392/1/NOBOA%20PIN%20MELANY%20MELISSA.pdf>
- Noboa, M. P. (2024) *Nivel de nitrógeno en la relación simbiótica leguminosa- Rhizobium, en la finca Tóala León de la comuna Joa*. Facultad de Ciencias Naturales y de la Agricultura, Universidad Estatal del sur de Manabí. 'iniapscbd333.pdf' (no date). Available at:
<https://repositorio.iniap.gob.ec/bitstream/41000/298/1/iniapscbd333.pdf> (Accessed: 19 May 2025).

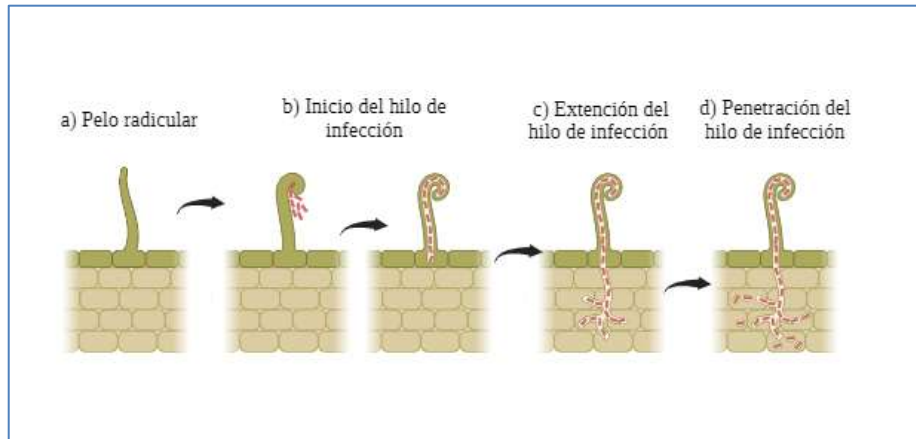
- Taípe, M., Cedeño, K., Tumbaco, J., Gilces, J. and Molina, C. (2024) ‘Métodos eficientes para la producción de biomasa forrajera y multiplicación de semilla de leguminosas herbáceas’, *Emergentes- Revista Científica*. 4. 265-282.10.60112/erc. v4i4.262.
- Ramírez-Bahena, M.; Peix, Á.; Velázquez, E. y Bedmar, E.J. (2016). Historia de la investigación en la simbiosis leguminosa-bacteria: una perspectiva didáctica. *Arbor*, 192 (779): a319. doi: <http://dx.doi.org/10.3989/arbor.2016.779n3009>
- Aguirre Z. 2012. Especies forestales de los bosques secos del Ecuador. Guía dendrología para su identificación y caracterización. Proyecto Manejo Sostenible ante el Cambio Climático. MAE/FAO- Finlandia. Quito. Ecuador.140p.
- Rizobacterias promotoras del crecimiento vegetal: una alternativa de biofertilización para la agricultura sustentable. *Revista Colombiana de Biotecnología*, vol. XX, núm. 1, págs. 68-83, 2018. Instituto de Biotecnología, Universidad Nacional de Colombia.
- Bardin, S. D.; Huang, H.-C.; Pinto, J.; Amundsen, E. J., and Erickson, R. S. 2004. Biological control of Pythium damping-off of pea and sugar beet by *Rhizobium leguminosarum* y viceae. *Canadian Journal of Botany*, 82(3), 291–296. Doi: 10.1139/b04- 003.
- Kohler, J; Caravaca, F; Carrasco, L; Roldan, A. 2007. Interactions between a plant growthpromoting rhizobacterium an AMF fungus and a phosphate-solubilizing fungus in the rhizosphere of *Lactuca sativa*. *Applied Soil Ecology* Vol 35 pp 480-487.
- Soto, J. O., Borbor, G. C. y Borbor, V., 2013b. Identificación y caracterización de cepas nativas de *Rhizobium* en la Provincia de Santa Elena. *Revista Científica y Tecnológicas UPSE-CTU*, 1(1), p. 007.
- Hoben H. J., Somasegaran P. 1982. Comparison of the pour, spread, and drop plate methods for enumeration of *Rhizobium* spp. In inoculants made from presterilized peatt. *Applied and Environmental Microbiology*. 44 (5): 1246-1247.
- Villanueva, Nery Santillana. (2021). Mecanismos de inducción de rizobios para reducir el estrés por sequía en las leguminosas. *Revista de Investigaciones Altoandinas*, 23(4), 258-265. Epub 00 de octubre de 2021. <https://doi.org/10.18271/ria.2021.263>

- Ahemad, M. y Kibret, M. 2014. Mechanisms and Applications of Plant Growth Promoting Rhizobacteria: Current Perspective. *Journal of King Saud University-Science*, 26: 1-20. doi: 10.1016/j.jksus.2013.05.001.
- Bardin, S. D.; Huang, H.-C.; Pinto, J.; Amundsen, E. J., and Erickson, R. S. 2004. Biological control of *Pythium* damping-off of pea and sugar beet by *Rhizobium leguminosarum* y *viciae*. *Canadian Journal of Botany*, 82(3), 291–296. Doi: 10.1139/b04- 003.
- Soto-Valenzuela, Javier, Ormeño-Orrillo, Ernesto, & Zúñiga-Dávila, Doris. (2021). Diversidad de rizobios y fijación biológica de nitrógeno en aislados de *Clitoria brachystegia*, en remanentes de bosque seco tropical de Ecuador y Perú. *Revista mexicana de biodiversidad*, 92, e923426. Epub 25 de octubre de 2021. <https://doi.org/10.22201/ib.20078706e.2021.92.3426>
- Bécquer, C. J. (2002). La simbiosis leguminosa rizobio: Características generales e importancia productiva. *Pastos y Forrajes*, 25(2), 63-79.
- Bianco, L., & Cenzano, A. M. (2018). Leguminosas nativas: estrategias adaptativas y capacidad para la fijación biológica de nitrógeno. Implicancia ecológica. *Idesia (Arica)*, 36(4), 71-80.
- Polanco Norori, F., & Vanegas Acuña, M. (2023). *Efecto de la inoculación con rizobios y micorrizas sobre el crecimiento, rendimiento y la rentabilidad del cultivo de frijol común (Phaseolus vulgaris L.), Sabana Grande, Managua, 2021* (Doctoral dissertation, Universidad Nacional Agraria).
- Chaupin Arones, J. (2024). Efecto de *Rhizobium leguminosarum* biovar *viciae* en el rendimiento de variedades y accesiones de arveja (*Pisum sativum* L.) Pampa del Arco, Ayacucho a 2750 msnm.
- Jaiswal, S. K., Mohammed, M., Ibny, F. Y. I. & Dakora, F. D. (2021). Rhizobia as a Source of Plant Growth-Promoting Molecules: Potential Applications and Possible Operational Mechanisms. *Frontiers in sustainable food systems*, 4. doi:10.3389/fsufs.2020.619676

ANEXOS

Anexo 1. Esquema del proceso de infección de los rizobios en las leguminosas.

(Eastman, 2020)



Anexo 2. Tipos de leguminosas (Angulo,2022).

