



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

COMPONENTE PRÁCTICO DEL EXAMEN DE CARÁCTER COMPLEXIVO

MODALIDAD: “REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA”

**LA MICROBIOTA DE LA RIZÓSFERA DE *LEUCAENA* EN SISTEMAS
AGROPECUARIOS Y FORESTALES: UN ANÁLISIS INTEGRAL DE SU ROL Y
APLICACIONES**

Previo a la obtención del título de:

INGENIERA AGROPECUARIA

Autor: Ginger Geomayra Gonzabay Franco.

LA LIBERTAD, 2024



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

COMPONENTE PRÁCTICO DEL EXAMEN DE CARÁCTER COMPLEXIVO

MODALIDAD: “REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA”

**LA MICROBIOTA DE LA RIZÓSFERA DE *LEUCAENA* EN SISTEMAS
AGROPECUARIOS Y FORESTALES: UN ANÁLISIS INTEGRAL DE SU ROL Y
APLICACIONES**

Previo a la obtención del Título de:

INGENIERA AGROPECUARIA

Autor/a: Ginger Geomayra Gonzabay Franco.

Tutor/a: Blgo. Javier Soto Valenzuela, PhD.

UPSE

LA LIBERTAD, 2024

TRIBUNAL DE GRADO

Componente práctico de examen complejo presentado por **Ginger Geomayra Gonzabay Franco** como requisito parcial para la obtención del grado de Ingeniero/a Agropecuario de la Carrera de Agropecuaria.

Trabajo de Integración Curricular **APROBADO** el: 10/12/2024



Firmado electrónicamente por:
**NADIA ROSAURA
QUEVEDO PINOS**

Ing. Verónica Andrade Y, Ph.D
**DIRECTORA DE CARRERA
PRESIDENTE DEL TRIBUNAL**

Ing. Nadia Quevedo Pinos, Ph.D
**PROFESORA ESPECIALISTA
MIEMBRO DEL TRIBUNAL**



Firmado electrónicamente por:
**JAVIER OSWALDO SOTO
VALENZUELA**

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



Firmado electrónicamente por:
**NADIA ROSAURA
QUEVEDO PINOS**

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



Firmado electrónicamente por:
**WASHINGTON VIDAL
PERERO VERA**

Ing. Washington Perero
**ASISTENTE ADMINISTRATIVO
SECRETARIO**

DECLARATORIA DE RESPONSABILIDAD

El presente Trabajo Práctico de Examen de Grado de carácter complejo Titulado **“LA MICROBIOTA DE LA RIZÓSFERA DE *LEUCAENA* EN SISTEMAS AGROPECUARIOS Y FORESTALES: UN ANÁLISIS INTEGRAL DE SU ROL Y APLICACIONES”** y elaborado por **Ginger Geomayra Gonzabay Franco**, 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

La presente revisión bibliográfica como modalidad de titulación de carácter complejo está dedicado principalmente a Dios, ya que sin el esto no hubiese sido posible, por darme salud y perseverancia a lo largo de este camino, sin duda alguna han sido experiencias inolvidables en toda mi carrera profesional que me han servido para aprender y mejorar con el transcurso del tiempo. A mis queridos padres, por estar siempre para mí y apoyarme en todo, a mi esposo e hija por esa motivación para no rendirme y darme fuerzas para seguir adelante, también a mis compañeros de la universidad que de alguna u otra forma me ayudaron y siempre me brindaron su apoyo.

Ginger Gonzabay Franco

AGRADECIMIENTOS

A la Universidad Estatal Península de Santa Elena por su ardua enseñanza y a los docentes de prestigio que posee, que me ayudaron con mi formación profesional a lo largo de mi carrera universitaria, por ser nuestra inspiración a ser mejores y aprender de sus enseñanzas para fortalecer nuestros conocimientos y ser mejores cada día.

En especial a mi tutor Blgo. Javier Soto Valenzuela, Ph.D. por guiarme en el desarrollo de este estudio de carácter complejo, revisión bibliográfica; con su excelente capacidad para transmitir conocimientos.

Ginger Gonzabay Franco

RESUMEN

Los microorganismos son parte fundamental de la vida en nuestro planeta. La microbiota constituye un componente esencial en los ecosistemas agropecuarios y forestales, tanto en actividad como en cantidad de biomasa, contribuyendo a la regeneración de nutrientes e interactuando con una amplia gama de organismos. Esta revisión bibliográfica abarca algunos resultados interesantes de las interacciones entre la leguminosa *Leucaena* y sus microorganismos rizosféricos, como la cuantificación del exterior e interior de los nódulos, los géneros bacterianos y fúngicos reportados; así como de los beneficios de la aplicación de estos microorganismos. Se recopila información obtenida de documentos científicos, encontrados en bases de datos y repositorios de fuentes reconocidas de los últimos dieciséis años, de una de las leguminosas prometedoras para su uso en sistemas agropecuarios y forestales.

Palabras claves: *Rizosfera, Diversidad, Microbiota, Leucaena.*

ABSTRACT

Microorganisms are a fundamental part of life on the planet. the microbiota constitutes an essential component in agricultural and forest ecosystems, both in activity and in quantity of biomass, contributing to the regeneration of nutrients and interacting with a wide range of organisms. this bibliographic review covers some interesting results of the interactions between the legume leucaena and its rhizospheres microorganisms, such as the quantifications of the exterior and interior of the nodules, mentioning the reported bacterial and fungal genera; as well as the benefits of the application of these microorganisms. information obtained from scientific documents, found in databases and repositories of recognized sources from the last sixteen years, is compiled on the rhizosphere microorganisms of one of the promising legumes for use in agricultural and forestry systems.

Keywords: Rhizosphere, Diversity, Microbial, Leucaena

INDÍCE

INTRODUCCIÓN	1
Problema.....	2
Objetivos.....	2
Objetivo general	2
Objetivos Específicos	2
2. METODOLOGÍA.....	3
2.1 Técnicas y procedimientos de recolección de datos.....	3
2.2 Investigación bibliográfica	3
2.3 Investigación exploratoria.....	3
2.4 Investigación documental	3
3. REVISIÓN DE LITERATURA	4
3.1 Generalidades e importancia de los sistemas agropecuarios y forestales	4
3.1.1 Microbiota de la rizosfera	4
3.1.2 Presencia de microbiota	5
3.1.3 Medios de cultivo.....	5
3.2 Relación de las comunidades microbianas con las plantas y el suelo.....	7
3.2.1 Generalidades del cultivo.....	7
3.2.2 Las características morfológicas y fisiológicas de Leucaena, asociada a microorganismos	7
3.3 Importancia del cultivo de Leucaena	8
3.4 Leucaena su microbiota rizosférica.....	8
4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	9
4.1. Bacterias aisladas en la rizosfera.....	9
4.1.1 Cuantificación de la rizosfera	11
4.1.2 Especificidad de los rizobios de Leucaena	12
4.1.3 Géneros de microorganismos en Leucaena.....	12

5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	17
5.1 Conclusiones.....	17
5.2 Recomendaciones.....	17
6. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	18
7. ANEXOS.....	

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Bacterias, hongos, micorrizas empleadas e inoculadas -----	19
--	-----------

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Conteos bacterianos reportados en las localidades de La Libertad, Río Verde y Manglaralto.

Figura 2. Conteos bacterianos expresados como UFC encontradas en el interior de los nódulos de los sitios de muestreo.

INTRODUCCIÓN

En el suelo se encuentran los ensamblajes más diversos en cuanto a riqueza y abundancia en la biósfera, considerada como un ambiente complejo, en el cual las comunidades microbianas del mismo juegan un papel fundamental en las funciones de los ecosistemas (Correa-Galeote et al., 2016; Santhanam et al., 2015).

Por otro lado, allí se encuentra una zona de interacciones microbianas llamada rizosfera, que es la región del suelo que rodea las raíces. Esta zona es influenciada directamente por la relación entre las raíces de la planta con los microorganismos del suelo por lo que, a pesar de tener menor diversidad, hay una alta actividad microbiana que determina el crecimiento y la capacidad de supervivencia de la misma planta (Zhang et al., 2011).

La mayoría de los microorganismos que habitan la rizosfera (bacterias, hongos, protozoos y nematodos) cumplen funciones benéficas. Las bacterias se adhieren a las raíces creando una barrera protectora contra los patógenos, además permite el intercambio de nutrientes como el nitrógeno, y la planta a cambio les proporciona glucosa en forma de exudados producidos por la fotosíntesis. Mientras que, los hongos rizosféricos producen enzimas protectoras, fitohormonas y compuestos que también controlan el crecimiento de patógenos, ayudando a la planta a enfrentar el estrés biótico y abiótico (Cuenca, 2023).

Una de las leguminosas más interesantes es la *Leucaena*, que se caracteriza por un alto rendimiento alimenticio, contenido de proteínas, minerales, digestibilidad y palatabilidad; empleados en condiciones tropicales, como fuente de alimento complementario para animales (Torral, 2005). Aunque no es una especie muy conocida existen muy buenas experiencias en la producción de leche y ganancia de peso de rumiantes (Jordan, 1999).

En este sentido, el microbioma del suelo es importante para la salud de los ecosistemas. Los procesos agrícolas y el manejo de los recursos vegetales inciden sobre este componente, afectando la diversidad y densidad de las poblaciones microbianas implicadas; los resultados pueden ser pérdida de fertilidad y progresiva degradación. Los agroecosistemas sostenibles tendrían menor dependencia de insumos químicos empleando microorganismos eficientes sobre el crecimiento y desarrollo de las plantas; así como el estudio de sus patógenos, son factores clave en su control y manejo integral de los cultivos (Olalde, 1998).

Problema:

¿Cómo influyen los microorganismos de la rizosfera en la salud del suelo y en la productividad de los sistemas agropecuarios y forestales en los cultivos de *Leucaena*?

Objetivos**Objetivo general:**

Analizar el rol de los microorganismos de la rizosfera de *Leucaena* en la salud del suelo y su impacto en la productividad de sistemas agropecuarios y forestales, evaluando sus aplicaciones para la mejora de estos sistemas.

Objetivos Específicos:

1. Caracterizar la diversidad y composición de los microorganismos en la rizosfera de *Leucaena* en contextos agropecuarios y forestales.
2. Analizar la influencia de los microorganismos de la rizosfera de *Leucaena* en la fertilidad del suelo, la absorción de nutrientes y la salud general de las plantas en sistemas agropecuarios y forestales.
3. Recomendar las posibles aplicaciones potenciales de los microorganismos rizosféricos de *Leucaena* para la mejora de la productividad en sistemas agropecuarios y forestales considerando las condiciones de nuestra región.

2. METODOLOGÍA

2.1 Técnicas y procedimientos de recolección de datos.

Para la ejecución de esta revisión bibliográfica se realizaron indagaciones acordes al tema, donde se examinaron documentos científicos de estudios realizados a nivel mundial, sobre el tema de la microbiota de la *Leucaena* en sistemas agropecuarios y forestales. Se accedió a bases de datos y gestores bibliográficos como Google académico, Scielo, Elsevier, Redalyc; así como también de los repositorios universitarios.

2.2 Investigación bibliográfica.

Esta implicó la recopilación de información de diversos artículos científicos obtenidos en bases de datos y repositorios de distintas universidades, los cuales permitieron dar soporte al tema de estudio.

2.3 Investigación exploratoria.

Brindó pautas esenciales para la comprensión de la problemática y comparación de los procesos llevados a cabo en las investigaciones consultadas.

2.4 Investigación documental.

Permitió la recolección de información de documentos científicos elaborados en sus diferentes formas, siendo los artículos, tesis e informes los seleccionados para su respectivo análisis e interpretación, que permitió aportar a la construcción de nuevos conocimientos en torno al tema en estudio.

A partir de la búsqueda de información, se elaboraron tablas y gráficos que resumen los datos presentados y sustentados por distintos autores, en ello se identificaron los tipos de microorganismos utilizados como insumos biológicos, siendo las bacterias y hongos los de mayor interés en el cultivo de la *Leucaena*.

Además, se detallan las posibles aplicaciones potenciales de los microorganismos rizosféricos de la *Leucaena*, para la mejora de la productividad en sistemas agropecuarios y forestales, los cuales permitieron el respectivo análisis e interpretación y dar soporte a los resultados, conclusiones y las recomendaciones para futuras investigaciones para su probable implementación biotecnológica en las comunidades locales.

3. REVISIÓN DE LITERATURA

3.1 Generalidades e importancia de los sistemas agropecuarios y forestales

Un sistema agroforestal puede definirse como un sistema agropecuario cuyos componentes son árboles, cultivos o animales, que presentan los atributos de cualquier sistema. En general la aplicación de técnicas agroforestales puede consolidar o aumentar la productividad de los sistemas agropecuarios y plantaciones forestales de muy diversas dimensiones, o por lo menos, evitar la degradación del suelo y pérdida de productividad en el tiempo (Vega, 1992).

Los sistemas agroforestales pueden mejorar la fertilidad del suelo, proteger los cultivos y el ganado, restaurar las tierras degradadas, mejorar la conservación del agua, limitar el desarrollo de las plagas y evitar la erosión del suelo. Tal es el caso de los sistemas agropecuarios y forestales, pues aportan grandes beneficios ambientales y socioeconómicos, en comparación con los sistemas de producción en monocultivo. Los sistemas agroforestales ofrecen al campesino varias ventajas, por ejemplo, incrementa en forma directa los ingresos a la familia campesina, combinando cultivos con ciclos de producción más equilibrada, reduce los costos de producción agropecuaria a mediano y largo plazo, los ingresos de la producción de madera y productos no maderables, como la goma, frutas, colorantes y miel pueden ser importantes (Agroforestales, 2020).

3.1.1 Microbiota de la rizosfera

Los estudios de los microorganismos de la rizosfera han tenido grandes avances debido a su importancia ecológica. Actualmente se sabe que, si bien el suelo es el banco de diversidad microbiana del que la raíz de una planta obtiene su microbioma para satisfacer sus necesidades, no todos los microorganismos pueden integrarlo. La planta tiene un lenguaje específico para atraer a los microorganismos de forma selectiva y solo aquellas poblaciones de microorganismos que cuenten con ese lenguaje podrán interactuar con la planta sin ser rechazado agresivamente. Por otro lado, los microorganismos que conforman el microbioma se encuentran interactuando entre ellos, por lo que los mecanismos de comunicación entre los microorganismos también son de gran importancia. Dicho en otras palabras, se requieren múltiples interacciones entre planta-microorganismo y microorganismo-microorganismo para el ensamble del microbioma de una planta. El microbioma central se establece y enriquece seleccionando los taxones (identidad del microorganismo) microbianos de gran importancia para el hospedero (Gopal y Gupal 2016; Mitter et al., 2019).

3.1.2 Presencia de microbiota

En la rizosfera se pueden encontrar gran cantidad de microorganismos, entre ellos **hongos, bacterias, actinomicetos, protozoarios y algas**; estos microorganismos se encuentran estableciendo una asociación con las raíces, la cual puede ser de carácter benéfico o nocivo. En el primer caso, algunos ejemplos son las micorrizas, bacterias fijadoras de nitrógeno, bacterias promotoras del crecimiento vegetal y agentes de control biológico; en el caso de los nocivos, se destacan todos aquellos microorganismos fitopatógenos. En la rizosfera se estima que la concentración de bacterias es de 10 a 1000 veces mayor que en el suelo alejado de esta zona (Lugtenberg y Kamilova, 2009).

3.1.3 Medios de cultivo

La rizosfera es uno de los ecosistemas más estudiados y desde hace muchos años, los investigadores reportan que, para las bacterias el medio empleado es el Extracto de Levadura Manitol Agar (LMA), a través del cual se han aislado *Bradyrhizobium*, *Mesorhizobium*, *Rhizobium*, *Sinorhizobium*, *Azorhizobium*, *Methylobacterium*, *Devosia*, *Burkholderia* y *Wautersia*, mencionados como simbióticos (Ormeño y Zúñiga, 1998; Martínez-Romero 2005); Zúñiga, 2012; Lloret así como los géneros *Klebsiella*, *Bacillus*, *Paenibacillus*, *Arthrobacter* y *Leifsonia*, llamados endófitos (Parker 2012; Trujillo *et al.*, 2010; Agrawal *et al.*, 2012).

Mientras que, para los hongos el medio de cultivo empleado es Potato Dextrosa Agar (PDA). Es un medio muy usado que sirve para aislar todo tipo de hongos como *Beauveria*, *Paecilomyces*, *Lecanicillium* (*Verticillium*) y *Metarhizium*, los más importantes hongos parásitos de insectos, al igual que los parásitos de plantas y los hongos saprofitos crecen muy bien y esporulan en este medio. Cuando se aíslan hongos a partir de insectos colectados del suelo, es recomendable acidificar el medio con ácido láctico al 25%. Se agregan 3 ó 4 gotas sobre el agar solidificado de la placa con el objeto de evitar el desarrollo de bacterias. Con los mismos ingredientes, excluyendo el agar, se obtiene el medio líquido de Papa Dextrosa (PD), muy utilizado para la preparación del inóculo en forma masiva (Cañedo, 2004).

3.1.3.1 Estructura de la rizosfera

La rizosfera es la porción de suelo que está firmemente unida y siempre en contacto con la raíz, y el rizoplano corresponde a la superficie externa de las células radiculares donde se desarrolla la mayor parte de las interacciones microbianas con la planta. Durante este proceso de interacción, las plantas realizan una selección microbiana que permite el ensamble y el funcionamiento de las comunidades microbianas de la rizosfera. Sin embargo, este proceso puede ser afectado por diversos factores como la expansión del hábitat, los cambios en las prácticas agrícolas, calidad del sustrato, la arquitectura y los exudados de las raíces (Müller et al., 2017).

3.1.3.2 Rizobios

Los rizobios son los simbioses de las leguminosas mejor estudiados, con alta eficiencia en la fijación biológica de nitrógeno (FBN) y puede suplir hasta el 90% de los requisitos del elemento para las plantas antes mencionadas (Soto et al., 2021a). Garabato (2018) plantea que, una de las características de los rizobios es su capacidad para formar relaciones simbióticas con las leguminosas. Durante esta simbiosis, las bacterias forman nódulos en la planta huésped, donde colonizan y llevan a cabo la FBN. En el nódulo, las bacterias obtienen compuestos carbonados y otros nutrientes de la planta, creando un ambiente favorable para la FBN. A cambio, los rizobios aportan amonio a la planta, que se utiliza en diversas rutas metodológicas para producir proteínas, ácidos nucleicos, clorofila y otras moléculas necesarias para su crecimiento.

3.1.3.3 Bacterias Promotoras de Crecimiento de Plantas (BPCP)

La capacidad de diversas bacterias para promover el crecimiento de la planta está asociada a mecanismos directos o indirectos, el mecanismo directo está relacionado con el metabolismo, mediante la adquisición de nutrientes esenciales como nitrógeno (N), fósforo (P) y hierro (Fe), o modulando los niveles de hormonas dentro de la planta huésped. Al modular los niveles hormonales puede implicar que las BPCP sintetizan una o más fitohormonas, auxina, citoquinina y giberelina. Además, algunos BPCP tienen capacidad de disminuir los niveles de la fitohormona etileno al sintetizar una enzima, 1-aminociclopropano-1 carboxilato (ACC) desaminasa, que escinde el compuesto ACC, el precursor inmediato del etileno en todas las plantas superiores. Por otro lado, los mecanismos indirectos del crecimiento de las plantas ocurren cuando una BPCP disminuye el daño a la planta después de la infección de un fitopatógeno, como pueden ser algunos hongos y

bacterias del suelo. Esto generalmente ocurre por la inhibición del patógeno por el BPCP (Rashid et al., 2012; Bulgarelli et al., 2016).

3.2 Relación de las comunidades microbianas con las plantas y el suelo

Las comunidades microbianas se ven influenciadas por las plantas y, así mismo, el ambiente del suelo. Por tratarse de una relación simbiótica, se ha encontrado que determinadas características de la planta modulan directamente propiedades de las comunidades microbianas. Uno de los factores que influyen de manera más importante la diversidad taxonómica de la rizosfera es la microbiota de la semilla, tanto en forma endófito como epífita. Otro aspecto que determina tanto la diversidad taxonómica como la expresión de las funciones de la rizosfera es el genoma o genotipo de la planta (Mendes et al., 2018).

3.2.1 Generalidades del cultivo

En el origen y adaptación del cultivo de *Leucaena* Patiño Guiza (2020) afirma que, es originaria de México, Nicaragua, El Salvador y Honduras; en el siglo XVII los españoles la distribuyeron hacia Filipinas. Después fue introducido en Indonesia, Malasia, suroeste de Asia, Nueva Guinea y Papúa. Es un arbusto de raíces profundas y resistentes a las épocas de sequía. Se adapta muy bien a zonas tropicales ubicadas entre los 30° de latitud norte y sur, puede desarrollarse bien en zonas con precipitaciones que oscilan entre 500 y 3000 mm y en una gran variedad de suelos, excepto en aquellos que son muy acuosos o ácidos.

3.2.2 Las características morfológicas y fisiológicas de *Leucaena*, asociada a microorganismos

Son una alternativa para enfrentar algunos problemas ambientales en las explotaciones ganaderas de las regiones tropicales. Como es el caso de las deficiencias de nitrógeno en las praderas, que se generan en parte por su lixiviación cuando se presentan las fuertes precipitaciones en estas regiones tropicales, aunadas a la dominancia de texturas medianas y gruesas en estos lugares, o bien, las deficiencias de fósforo debido a la condición ácida que los caracteriza. Además de considerar que tradicionalmente no se reponen los nutrientes extraídos por los bovinos en pastoreo. Así, las praderas de los trópicos reducen la disponibilidad de alimento alto en proteína para los bovinos durante la temporada de secas. La corrección de la deficiencia de proteína en las pasturas tropicales es una de las consideraciones más importantes en la producción animal y ésta se puede hacer mediante la inclusión de las leguminosas en los sistemas de producción, como las del género *Leucaena* (Hernandez 2011).

3.3 Importancia del cultivo de *Leucaena*

La *Leucaena* es una planta de gran importancia en la producción ganadera, ya que proporciona alimento de alta calidad, tolera sequías y es rápidamente consumida por el ganado. También tiene usos medicinales, por ejemplo, en problemas estomacales. Sus semillas son comestibles, es una planta forrajera que aporta a los animales las proteínas necesarias para su desarrollo (Dago et al., 2020). En el ganado lechero ha permitido a los ganaderos aumentar la capacidad de carga de sus tierras y la productividad animal siendo un componente estratégico (Escalante, 2019).

3.4 *Leucaena* su microbiota rizosférica

Los árboles que fijan nitrógeno en simbiosis con rizobios, como *Leucaena*, y que además se asocian a otras bacterias y hongos que favorecen su crecimiento, son utilizados para mejorar la calidad de las pasturas para los bovinos en pastoreo en los trópicos. Esta interacción sucede en la rizosfera donde se realiza un amplio rango de actividades entre la planta huésped y los microorganismos, mediante diferentes mecanismos de acción, como la fijación del nitrógeno o a través del transporte de nutrientes y agua a la planta. Algunas bacterias como las de los géneros *Azospirillum*, *Bacillus*, *Burkholderia* y los hongos endomicorrízicos, favorecen el incremento en la calidad del forraje y se ha demostrado que inducen mayor crecimiento radical mediante la producción de sustancias reguladoras de crecimiento (Bashan y De Bashan, 2010).

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El hecho de que la rizosfera sea una zona rica en microorganismos radica en gran medida por el hecho de que éstos encuentran un ambiente muy favorable para su desarrollo. En este sentido, se ha trabajado mucho en los últimos años en el entendimiento de los microorganismos de interés agrícola, es decir, todos aquellos que sean capaces de promover el crecimiento de las plantas o que tengan un efecto de protección ante organismos fitopatógenos. Kloepper y Schroth (1978), estimaron que entre un 2-5 % de las bacterias rizosféricas ejercen un efecto benéfico sobre el crecimiento y desarrollo de las plantas.

4.1. Bacterias aisladas en la rizosfera

Uno de los resultados obtenidos en el presente trabajo, fue encontrar que existe 50% más de publicaciones en México y el resto de América Central con respecto a Ecuador, gracias a los resultados de las propiedades alimenticias de la *Leucaena* empleada en los animales de pastoreo. Resultados parecidos también han sido publicados en Venezuela, con aislados de la familia Rhizobiaceae como *Rhizobium tropici*, *Bradyrhizobium* sp, *Sinorhizobium* sp, *Sinorhizobium* sp. Junto a varios de estos géneros también se han evaluado cepas de *Azospirillum*, también considerada como fijadora de N. Mientras que, Alonso et al. (1996) y Lezcano et al. (2007) indican que, en Perú y Cuba no se han realizado estudios profundos en este tema.

La *Leucaena* fue introducida en México y se naturalizó en el Nuevo Mundo, desde el sur de la Florida y Texas a través de las Indias Occidentales y en América del Sur hasta Brasil y Chile, hasta las Filipinas; y, en otras islas en posesión de España. La utilidad de la especie como un árbol de sombra en plantaciones de café, cacao, cinchona, pimienta, vainilla y otras cosechas (Parrotta, 2018).

Usos de la leguminosa *Leucaena*

En Estados Unidos, Perú, Paraguay y Cuba varios investigadores mencionan que, la *Leucaena* se utiliza como amortiguador para sobreponerse a las interrupciones en la alimentación del ganado que surgen de las variabilidades del clima y en sistemas agroforestales o silvopastoriles; mientras que, en los sistemas agropastoriles es una de las más usadas como forraje. Martínez (2017) publica que, *Leucaena* es una planta de gran importancia en la producción pecuaria, ya que provee alimento de alta calidad, tolera las

sequías además es consumida rápidamente por el ganado. Tiene además usos medicinales (problemas estomacales), sus semillas son comestibles, es una planta forrajera que le brinda a los animales las proteínas necesarias para su desarrollo.

En el Ecuador, autores como Soto, Amano y Díaz (2017) publicaron la presencia de rizobios al interior de nódulos de *Leucaena leucocephala* L., empleando técnicas físico-químicas y de microscopía electrónica en cultivos forestales en La Libertad, provincia de Santa Elena.

En la misma localidad, Sánchez (2022) reportó la cuantificación de las bacterias aisladas de la rizosfera e interior de los nódulos de *L. leucocephala* localizadas en La Libertad, Río Verde y Manglaralto. Resaltando que, las muestras de La Libertad presentaron mayor tamaño y diámetro (Fig. 1), quizás debido a la mayor edad de los árboles en comparación con los nódulos hallados en Río Verde y Manglaralto; coincidiendo con Graham (1981), Rosas y Bliss (1986) y Córdova et al. (2011) donde mencionan que, la nodulación y actividad de fijación están asociadas con la etapa de floración.



Figura 1. Conteos bacterianos reportados en las localidades de La Libertad, Río Verde y Manglaralto, reportados por Sánchez (2022).

Sánchez (2022) también menciona que, en el interior del nódulo el promedio del número de bacterias encontradas, donde el mayor número de bacterias se registró en Río Verde por nódulo procesado, mientras que en Manglaralto se encontró el menor número de bacterias, a diferencia de La Libertad donde no se encontraron nódulos. Esto puede deberse a diversos factores que limitan la productividad de la planta y el desarrollo de la simbiosis, hasta impedir la formación de nódulos (Cuadrado et al., 2009).

El menor conteo de bacterias en Manglaralto (Fig. 2) pudo deberse al estrés hídrico, de un área seca no irrigada como lo mencionan Pommeresche y Hansen (2017), a diferencia de Río Verde que presentó un conteo mayor, esto puede haberse debido al sistema de riego del lugar, la cual cuenta con láminas de riego que satisfacen la necesidad hídrica del cultivo.

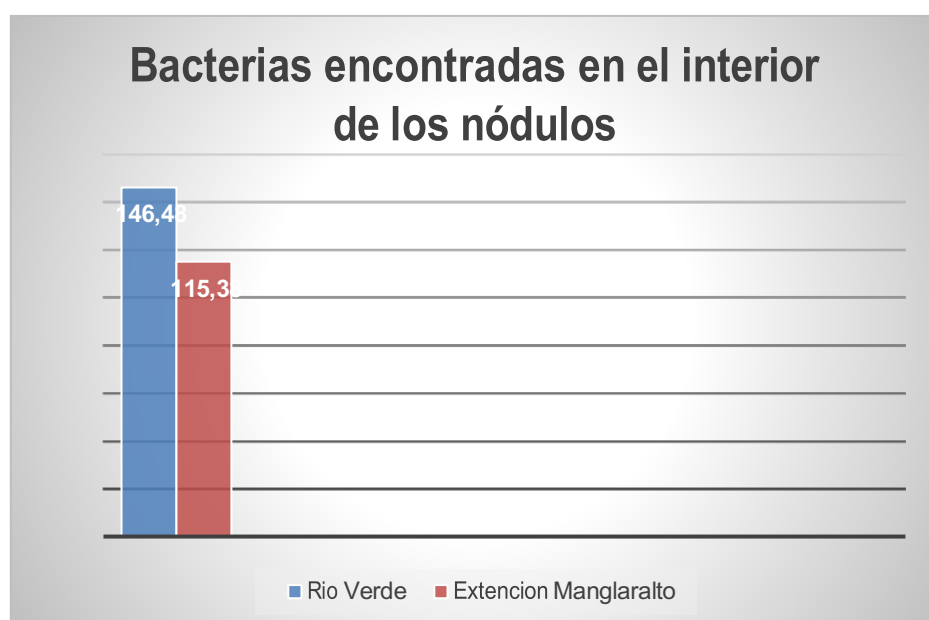


Figura 2. *Conteos bacterianos expresados como UFC encontradas en el interior de los nódulos de los sitios de muestreo, reportados por Sánchez (2022).*

4.1.1 Cuantificación de la rizosfera

Corral-Lugo et al. (2012) mencionan que, la cuantificación de microorganismos es un elemento crítico en los estudios de ecología microbiana. No solo es importante conocer al responsable de un efecto benéfico o identificar al microorganismo potencial, sino también es importante saber el número de microorganismos implicados, para establecer si éstos serán capaces de desarrollar una función benéfica o perjudicial. También menciona que en una publicación colombiana aplicada en una metodología denominada “Goteo por Sellado en

Placa Masivo” (GSPM) para cuantificar exitosamente bacterias provenientes de diferentes ambientes, como cultivos líquidos, muestras clínicas (como exudados y secreciones) y bacterias presentes en la rizosfera de plantas, por lo que la metodología GSPM podría aplicarse para contabilizar masivamente a bacterias de cualquier otra procedencia.

4.1.2 Especificidad de los rizobios de *Leucaena*

Pereira (2014), menciona la alta especificidad de la *Leucaena*, en cuanto a los requerimientos de *Rhizobium*, resaltando que, pocas cepas producen nodulación en esta especie leguminosa leñosa (Tang, 1994; Hernández, 2012); según Rincón et al. (2000), la *L. leucocephala* solo nodula con cepas aisladas de ella misma.

4.1.3 Géneros de microorganismos en *Leucaena*

Esta interacción sucede en la rizosfera donde se realiza un amplio rango de actividades entre la planta huésped y los microorganismos, mediante diferentes mecanismos de acción, como la fijación del nitrógeno o a través del transporte de nutrientes y agua a la planta. Algunas bacterias como *Azospirillum*, *Bacillus*, *Burkholderia* y los hongos endomicorrízicos, favorecen el incremento en la calidad del forraje y se ha demostrado que inducen mayor crecimiento radical mediante la producción de sustancias reguladoras del crecimiento (Kennedy, 2005; Bashan y De Bashan, 2010).

4.1.4.1 Géneros de bacterias endófitas

Pérez (2013) expone que, en la rizosfera de *Leucaena* principalmente se han reportado géneros de bacterias endófitas del género *Azospirillum*. Thakuria et al. (2004), reporta al género *Herbaspirillum* mientras que, Elbeltagy et al. (2001); Radwan et al. (2004) y Hernandez et al. (2004) mencionan también a *Pseudomonas*, *Burkholderia*, *Azetobacter* y *Bacillus*. Varios grupos de microorganismos del suelo como *Azotobacter* sp., *Azospirillum* sp., *Azoarcus* sp., *Klebsiella* sp., *Bacillus* sp., *Pseudomonas* sp., *Arthrobacter* sp., *Enterobacter* sp., *Burkholderia* sp., *Serratia* sp. y *Rhizobium* sp. Son géneros considerados benéficos (Kloepper, 1983).

4.1.4.2 Géneros de hongos

Entre los microorganismos asociados a las raíces de las plantas, se encuentran los hongos García (2021), corrobora que, las especies más comunes pertenecen al género *Aspergillus*, *Cladosporium*, *Trichoderma*, *Penicillium*, *Chaetomium*, *Aureobasidium*, *Eurotium*, *Phoma*, *Scopulariopsis* y *Rhizopus*. (Correa et al., 2019), especialmente, el género *Aspergillus* es muy activo en la producción de ácidos orgánicos.

No obstante, la literatura especializada informa que *Alternaria*, *Aspergillus*, *Botrytis*, *Cladosporium*, *Curvularia*, *Doratomyces*, *Fusarium*, *Helminthosporium*, *Macrophomina*, *Nigrospora*, *Penicillium*, *Chaetomium*, *Pestalotia* y *Rhizopus* son los géneros fungosos mayormente encontrados en la rizosfera de *Leucaena*.

4.1.4.3 Beneficios de la aplicación de microorganismos

Las investigaciones del científico Teruo Higa, profesor de horticultura de la Universidad de Ryukyus en Okinawa, Japón manifiesta que, los microorganismos han demostrado ser una alternativa eficiente y sostenible en la producción de alimentos. Sus propiedades funcionales y aplicaciones agrícolas, poseen gran diversidad microbiana entre la cual encontramos: bacterias y hongos. Desde el punto de vista agrícola estos microorganismos promueven la germinación de semillas, favorecen la floración, el crecimiento y desarrollo de los frutos y permiten una reproducción más exitosa en las plantas. Desde el punto de vista fisiológico se ha determinado que incrementan la capacidad fotosintética de los cultivos, como su capacidad para absorber agua y nutrientes (Morocho, 2019).

En Colombia, hasta 2018, se encontraban registradas como inoculantes biológicos aproximadamente 75 formulaciones, a base de microorganismos solos o en mezcla, de los géneros *Bacillus*, *Azotobacter*, *Rhizobium*, *Pseudomonas*, *Saccharomyces*, *Bradyrhizobium*, *Acetobacter*, *Geotrichum*, *Azospirillum*, *Lactobacillus*, *Trichoderma*, *Rhodopseudomonas*, *Glomus*, *Acaulospora*, *Gigaspora*, *Penicillium* y *Scutellospora*.

A continuación, en la tabla 1 se detallan bacterias, hongos, micorrizas que se han empleado e inoculado en ciertos artículos de alto impacto en la microbiota de *Leucaena*.

Tabla 1. Bacterias, hongos, micorrizas empleadas e inoculadas.

Tipo	Especie	Efectos	Autor(s)	Condiciones
Experimental	<i>Pseudomonas brassicacearum</i>	Posee factores beneficiosos para el crecimiento de las plantas (Ortet et al., 2011)	Abraham Loera Muro	Invernadero
Experimental	<i>Trichoderma</i>	Involucrados en la inducción de resistencia a fitopatógenos en plantas de importancia agrícola (Zlotek y Wojcik, 2014)	Tarsicio Santana Díaz	Campo abierto
Experimental	<i>hongos micorrízicos</i>	<i>Phylum Glomeromycota</i> (Schüßler et al., 2001), son microorganismos del suelo que interaccionan con las raíces de las plantas al formar simbiosis mutualista con más del 80 % de ellas, por lo que contribuyen de forma sustancial en la nutrición	María del Rocío Flores	Invernadero
Experimental	<i>Rizobium sp.</i>	<i>Rhizobium</i> constituye una alternativa económica y ecológicamente sustentable para la agricultura en el mejoramiento de los	Omar Prudente	Laboratorio

		cultivos, los suelos y los ecosistemas en general, fija el nitrógeno del aire en la planta en forma de amoníaco, el que actúa como un fertilizante natural (Sueiro et al., 2011).		
--	--	---	--	--

Experimental	<i>Rizobium</i> sp	<i>Rhizobium</i> constituye una alternativa económica y ecológicamente sustentable para la agricultura en el mejoramiento de los cultivos, los suelos y los ecosistemas en general, fija el nitrógeno del aire en la planta en forma de amoníaco, el que actúa como un fertilizante natural para esta. (Sueiro et al., 2011).	Omar prudente	Laboratorio
Experimental	<i>mortierella</i> sp	La identificación de las especies en hongos de <i>Mortierella</i> se ha basado principalmente en sus caracteres morfológicos (Watanabe, 2010). Importancia tecnológica al género <i>Mortierella</i>	Alejandro Andrés Londoño Úsuga	Invernadero

		como fuente alternativa de dichos compuestos (De dyukhina et al., 2014). Sin embargo, existe información escasa u obsoleta acerca de la diversidad de los Mortierellales.		
--	--	---	--	--

5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Esta investigación permitió obtener las siguientes conclusiones y recomendaciones para futuras investigaciones.

5.1 Conclusiones

Con la información de los artículos científicos investigados se confirma que, la diversidad de microorganismos (bacterias, hongos y actinomicetos) se caracteriza por facilitar la nutrición vegetal mediante una eficiente absorción de nutrientes, incluidos los mecanismos de defensa contra patógenos, que favorecen el crecimiento y el desarrollo de las plantas, permitiéndoles ser más competitivas y presentar una mayor productividad, debido a que mantienen una mayor adherencia a las superficies, mejorando el estado de agregación del suelo de la rizosfera, contextos agropecuarios y forestales.

Se recomienda el uso de microorganismos rizosféricos de la *Leucaena*, porque ejercen un papel vital e importante a nivel agropecuario y forestal. Considerando que el Ecuador se encuentra dentro de la región del trópico y condiciones edafoclimáticas adecuadas para el desarrollo de biofertilizantes en base a bacterias y hongos benéficos, probados en varias localidades con condiciones parecidas.

La influencia de las posibles aplicaciones potenciales de los microorganismos rizosféricos de *Leucaena* ofrecen en su totalidad una mejora en base a la estimulación y desarrollo de la planta a través de inoculaciones seriadas a nivel invitro, vivero y campo, que favorecen la absorción de nutrientes y la salud general de las plantas en sistemas agropecuarios y forestales.

5.2 Recomendaciones

Profundizar la investigación sobre la microbiota de la rizosfera de leguminosas tropicales, que son sitios donde existen muchas interacciones de diferentes tipos.

Es fundamental seguir desarrollando tecnologías que incluyan microorganismos benéficos, debido a que permiten disminuir productos químicos que atentan contra los ecosistemas. Así como en el ámbito económico, permiten ser más accesibles a la economía de los pequeños y medianos productores de nuestro campo.

6. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alonso, J. 2003. Factores que intervienen en la producción de biomasa de un sistema silvopastoril *leucaena* (*Leucaena leucocephala* cv Perú) y guinea (*Panicum maximum* cv Likoni). Tesis de Dr. Cs. Agríc. Instituto de Ciencia Animal. La Habana, Cuba. p. 105
- Cárdenas, G. 2000. Comparación de la composición y estructura de la avifauna en diferentes sistemas de producción. Tesis de pregrado. Universidad del Valle. Cali, Colombia.
- Allen, M. 1989. La ecología de las micorrizas arbusculares: una mirada al siglo XX y una mirada al XXI. *Investigación Micológica*, 100 (7): pp 769-782., Álvarez, C., J.C. Zuluaga, E. Gómez y F.H. Orozco. 1997. Asociación maní inoculado con *Bradyrhizobium* spp. y pasto *Brachiaria dictyoneura* en suelos degradados por minería de aluvión. *Suelos Ecuatoriales*. 27: 231-234.
- 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.
- Akhtar, M. and Siddiqui, Z. 2009. Effects of phosphate solubilizing microorganisms and Rhizobium sp. on the growth, nodulation, yield and root-rot disease complex of chickpea under field condition. *African J. Biotechn.* 8(15):3489-3496
- 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.
- Barreto, L. A., 2006. *Leucaena Leucocephala* en Venezuela. Available.
- Efecto de cuatro especies de leguminosas sobre el aporte de N y manejo de arvenses entre hileras de durazno, Quito: s.n. P.H. Graham, 1981. Algunos problemas de nodulación y fijación simbiótica de nitrógeno en *Phaseolus vulgaris* L.: Una revisión. *Investigación de cultivos extensivos*, Volumen 4, pp. 93-112. Paredes, M. C., 2013. fijación de nitrógeno en condiciones de campo. Volumen 27, p. 18.

Fijación biológica de nitrógeno en leguminosas y gramíneas, Argentina: s.n. Patiño Guiza, S. V., 2020. El uso de la *leucaena* (*leucaena leucocephala*) y sus beneficios ambientales y económicos por su implementación en sistemas agroforestales y silvopastoriles en Colombia, Colombia: s.n

Fallik E., Okon Y., Fischer M. 1988. Growth response of maize roots to *Azospirillum* inoculation: effect of soil organic matter content, number of rhizosphere bacteria and timing of inoculation. *Soil Biology and Biochemistry*. 20 (1): 45-49.

Fuentes-Ramírez L. E., Caballero-Mellado J., Sepúlveda J., Martínez Romero E. 1999. Colonization of sugarcane by *Acetobacter diazotrophicus* is inhibited by high N-fertilization. *FEMS Microbiology Ecology*. 29 (2): 117-128.

Herigstad B., Hamilton M., Heersink J. 2001. How optimize the drop plate method for enumerating bacteria. *Journal of Microbiological Methods*. 44 (2): 121-129.

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.

Janos, D.P. 1980. Vesicular- arbuscular micorrhizae affect lowland tropical rain forest plant growth. *Ecology*. 61, pp 51-162.

Jeffries, P; Gianinazzi S and S. Perotto. 2003. The contribution of arbuscular mycorrhizal fungi in sustainable maintenance of plant health and soil fertility. *Biol and fertility of soils*, Vol 37 No 1.

Jiménez, M; y Picado V. W. 1987. Algunas experiencias con *Acacia mangium* en Costa Rica. *Silvoenergia* No 22. Costa Rica.

Kim, K.y, G.A. McDonald; D. Jordan. 1997. Solubilization of hydroxyapatite by *Enterobacter agglomerans* and cloned *Escherichia coli* in culture medium. *Biology and Fertility of Soils*, 24:347-352.

Klironomos, J.N; Mccune, J; Hart, M; Neville, J. 2000. The influence of arbuscular micorrhizae on the relationship between plant diversity and productivity. *Ecol. Lett.* 3, 137-141.

Kohler, J; Caravaca, F; Carrasco, L; Roldan, A. 2007. Interactions between a plant growth-promoting rhizobacterium an AMF fungus and a phosphate-solubilizing fungus in the rhizosphere of *Lactuca sativa*. *Applied Soil Ecology* Vol 35 pp 480-487.

Kucey, R.M.N. 1983. Phosphate solubilising bacteria and fungi in various cultivated and virgin Alberta soils. *Canadian Journal of Soil Science*, 63, pp 671-678.

López Tévez, L. & Torres, C., 2006. Identificación, Argentina: Microbiología General-Carrera Farmacia. Madigan, M. T. y otros, 2015. *Biología de los microorganismos*. 14 ed.

Mendes, L. W., Raaijmakers, J. M., De Hollander, M., Mendes, R., & Tsai, S. M. (2018). Influencia del mejoramiento por resistencia en frijol común en la composición y función del microbioma de la rizosfera.

Modificación Del Caldo Extracto De Levadura Manitol Para La producción a Mediana Escala De Inoculantes Para Leguminosas. *Revista Peruana De Biología*, 31 diciembre, 5(2), pp. 83-89. Oyagata, E. A., 2021.

Patiño Guiza, S. V., 2020. El uso de la *leucaena* (*leucaena leucocephala*) y sus beneficios ambientales y económicos por su implementación en sistemas agroforestales y silvopastoriles en Colombia, Colombia: s.n.

P.H. Graham, 1981. Algunos problemas de nodulación y fijación simbiótica de nitrógeno en *Phaseolus vulgaris* L.: una revisión. *Investigación de cultivos extensivos*, Volumen 4, pp. 93-112.

Reyes, A., 2019. Rizobacterias Promotoras del Crecimiento Vegetal (PGPR) y su aporte en la nutrición mineral de tomate (*Lycopersicon sculentum* L.), Chillan: s.n.

Rodríguez, C. & Zhurbenko, R., 2018. Manual de medios de cultivos. Cuarta ed. Cuba: s.n.

Rodríguez, P. A. & Arenas, R., 2018. Hans Christian Gram y su tinción. DCMQ, Abril Junio.16(2).

Rosas, J. C. y Bliss, F., 1986. Principios y prácticas para la conducción de ensayos sobre Saldaña, J. M., 2017. Aislamiento e Identificación de Cepas nativas de *Rhizobium phaseoli*.

Santhanam, R., Luu, V. T., Weinhold, A., Goldberg, J., Oh, Y., & Baldwin, I. T. (2015). Las bacterias nativas asociadas a las raíces rescatan a una planta de una enfermedad de marchitez repentina que surgió durante el cultivo continuo.

Suelo de la Presa de la Juventud de Marín, Nuevo León. Iberoamericana de Producción académica y Gestión Educativa, Enero-Junio. Issue 07.

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.

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.

7. ANEXO

Tabla A1.

Nº	Artículos científicos	Referencias	Base de datos
1	Efecto de la inoculación con un hongo micorrizal y un hongo solubilizador de fósforo en la absorción de fosfato y crecimiento de <i>Leucaena leucocephala</i> en un oxisol	(Li <i>et al.</i> , 2010)	Elsevier ScienceDirect
2	Bacterias encontradas en la rizósfera de tres sitios de santa elena.	(Li <i>et al.</i> , 2022)	Google académico
3	Fijación biológica de nitrógeno por aislados nativos de Rhizobium sp. Simbiontes de <i>Leucaena leucocephala</i> (Lam.) de Wit.	(Li <i>et al.</i> , 2019)	Elsevier ScienceDirect
4	Microorganismos de la rizosfera de <i>Leucaena</i> y su evaluación de su uso potencial en la rehabilitación de suelos degradados.	(Li <i>et al.</i> , 2019)	Scielo

5	Evaluación de la actividad antimicrobiana de semillas de <i>Leucaena esculenta</i> y <i>Leucaena leucocephala</i> recolectadas en Tlayacapan, Morelos, México	(Li <i>et al.</i> , 2021)	Scielo
6	Ecosistema con <i>Leucaena leucocephala</i> : su efecto en la población microbiana ruminal en toros en ceba	(Li <i>et al.</i> , 2018)	Redalyc
7	Caracterización bioquímica y molecular de bacterias asociadas a nódulos de cuatro leguminosas en la provincia de Santa Elena, Ecuador	(Li <i>et al.</i> , 2018)	Redalyc
8	Microorganismos inoculados en <i>leucaena leucocephala</i> y <i>cratylia argentea</i> para el establecimiento de bancos de proteína	(Li <i>et al.</i> , 2022)	Google académico
9	Inoculación con hongos micorrícicos arbusculares y el crecimiento de plántulas de <i>leucaena</i>	(Li <i>et al.</i> , 2008)	Scielo

- | | | | |
|----|---|---------------------------|------------------------|
| 10 | Evidencia de rizobios en nódulos de <i>Leucaena leucocephala</i> (Lam.), mediante técnicas físico-químicas de cultivo y microscopía electrónica de barrido (SEM) | (Li <i>et al.</i> , 2018) | Google académico |
| 11 | Uso potencial de <i>Leucaena leucocephala</i> Lam. (<i>leucaena</i>) presente en sistemas agroforestales de Pinar del Río | (Li <i>et al.</i> , 2020) | Scielo |
| 12 | Importancia forrajera y nutricional de <i>Leucaena leucocephala</i> en sistemas silvopastoriles | (Li <i>et al.</i> , 2023) | Elsevier ScienceDirect |
| 13 | Respuesta de <i>Leucaena leucocephala</i> cv. Perú a la aplicación de diferentes dosis de MicoFert agrícola | (Li <i>et al.</i> , 2015) | Google académico |
| 14 | El uso de la <i>leucaena</i> (<i>leucaena leucocephala</i>) y sus beneficios ambientales y económicos por su implementación en sistemas agroforestales y silvopastoriles en Colombia. | (Li <i>et al.</i> , 2020) | Google académico |