

Efectividad de una cepa nativa de *Rhizobium* sp. en pasto Climacuna (*Dichanthium annulatum* (Forssk.) Stapf)

Effectiveness of a native *Rhizobium* sp. strain on Climacuna grass [*Dichanthium annulatum* (Forssk.) Stapf]

Efetividade de uma cepa nativa de *Rhizobium* sp. no capim Climacuna (*Dichanthium annulatum* (Forssk.) Stapf)

María del Carmen Carvajal Sierra

biomaria03@gmail.com

<https://orcid.org/0000-0003-3257-1919>

Universidad de Córdoba, Montería. Colombia.

Artículo recibido en diciembre de 2023, arbitrado en febrero de 2024, aprobado en mayo de 2024 y publicado en abril de 2025

RESUMEN

Esta investigación tuvo como propósito evaluar el potencial biofertilizante de una cepa nativa de *Rhizobium* sp, sobre las variables biométricas en pasto Climacuna (*Dichanthium annulatum*-Forssk-Stapf), mediante un ensayo en condiciones semicontroladas en Montería, Colombia; utilizando un DCA con arreglo factorial 2x3x2 con 3 repeticiones que incluyeron: tipo de suelo (natural-esterilizado), fertilización química (0%-50%-100%) e inoculación (con y sin). Las variables fueron medidas a los 30, 60 y 90 días después de la emergencia. En las plantas inoculadas con la cepa se evidenció un incremento significativo para los parámetros: área foliar, longitud de la planta, longitud de la raíz, peso fresco, peso seco y contenido de nitrógeno foliar. Además, se observaron resultados similares, sin diferencias estadísticamente significativas, entre la inoculación bacteriana más el 50% de fertilizante y el 100% de fertilización. Estos hallazgos indican que la inoculación con la cepa *Rhizobium* permitiría reducir las dosis de fertilización química en las pasturas.

Palabras clave: *Rhizobium* sp.; pasto Climacuna; biofertilizante; variables biométricas.

ABSTRACT

This research aimed to evaluate the biofertilizer potential of a native *Rhizobium* sp. strain on biometric variables in Climacuna grass (*Dichanthium annulatum*-Forssk-Stapf), through a semi-controlled trial in Montería, Colombia. A 2x3x2 factorial design with 3 replications was used, including: soil type (natural-sterilized), chemical fertilization (0%-50%-100%), and inoculation (with and without). Variables were measured at 30, 60, and 90 days after emergence. In plants inoculated with the strain, a significant increase was observed for the following parameters: leaf area, plant length, root length, fresh weight, dry weight, and foliar nitrogen content. Additionally, similar results were observed, without statistically significant differences, between bacterial inoculation plus 50% fertilizer and 100% fertilization. These

findings indicate that inoculation with the Rhizobium strain could allow for a reduction in chemical fertilizer doses in pastures.

Keywords: *Rhizobium sp.; climacuna grass; biofertilizer; biometric variables.*

RESUMO

Esta pesquisa teve como objetivo avaliar o potencial biofertilizante de uma cepa nativa de Rhizobium sp., sobre as variáveis biométricas em capim Climacuna (Dichanthium annulatum-Forssk-Stapf), através de um ensaio em condições semicontroladas em Montería, Colômbia; utilizando um DCA com arranjo fatorial 2x3x2 com 3 repetições que incluíram: tipo de solo (natural-esterilizado), fertilização química (0%-50%-100%) e inoculação (com e sem). As variáveis foram medidas aos 30, 60 e 90 dias após a emergência. Nas plantas inoculadas com a cepa, observou-se um aumento significativo nos parâmetros: área foliar, comprimento da planta, comprimento da raiz, peso fresco, peso seco e teor de nitrogênio foliar. Além disso, resultados semelhantes foram observados, sem diferenças estatisticamente significativas, entre a inoculação bacteriana mais 50% de fertilizante e 100% de fertilização. Estes resultados indicam que a inoculação com a cepa Rhizobium permitiria reduzir as doses de fertilização química em pastagens.

Palavras-chave: *Rhizobium sp.; capim climacuna; biofertilizante; variáveis biométricas.*

INTRODUCCIÓN

El presente artículo tipo informe de investigación, se refiere a un trabajo que demostró el potencial biofertilizante de bacterias nativas del género *Rhizobium* sp., a través de un estudio experimental y de campo con grupo de control.

La agricultura convencional, en su búsqueda por incrementar la productividad de los cultivos, recurre al uso indiscriminado de fertilizantes sintéticos. Sin embargo, esta práctica ignora los complejos mecanismos de absorción de nutrientes por parte de las plantas, las sinergias entre estos nutrientes y la crucial interacción suelo-planta-atmósfera. Como consecuencia, se generan alteraciones en las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo, deteriorando su fertilidad natural.

En este mismo orden de ideas, Rojas (2020) al referirse a la temática señala que:

En el mundo se consumen anualmente 187 millones de toneladas de fertilizantes de síntesis, la mayoría de las veces en sistemas no sostenibles de producción intensiva. Lo que conduce a un incremento en los costos de aplicación, aparición

de plagas y enfermedades en las plantas, o generación de resistencia de estas a los agroquímicos. Así mismo, conlleva a un incremento en la contaminación del ecosistema por el lavado continuo de nutrientes, pérdida de materia orgánica, erosión del suelo, supresión de microbiota benéfica del suelo, eutrofización, entre otros (p.14).

Las prácticas sostenibles en la agricultura moderna y la agricultura orgánica están ganando rápidamente importancia entre los países desarrollados y en desarrollo (Aquino *et al.*, 2020). La necesidad de alternativas a los productos químicos se vuelve cada día más imprescindible. Encontrar opciones locales para insumos agrícolas no sólo es importante para países como Colombia, donde la agricultura es parte de su economía y depende en gran medida de fertilizantes sintéticos importados (hasta el 42% del consumo se importa de Rusia y Ucrania) (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO), 2022), sino también para cualquier país que busque una agricultura sostenible.

La fijación biológica de nitrógeno (FBN) se presenta como un proceso natural, protagonizado por bacterias que convierten el nitrógeno gaseoso de la atmósfera en compuestos asimilables por las plantas. Este fenómeno no solo enriquece el suelo, sino que también incrementa la productividad de diversos cultivos. En el caso de las pasturas, la colonización por parte de bacterias fijadoras de nitrógeno resulta particularmente beneficiosa. Estas bacterias fijan cantidades considerables de nitrógeno que, de otra manera, no estarían disponibles para las plantas. Este aporte nutricional esencial promueve el crecimiento vigoroso de los pastos, en consecuencia, favorece la salud del ecosistema en general. Adicionalmente, la FBN desempeña un papel crucial en el ciclo del nitrógeno, dinamizando su flujo y garantizando su disponibilidad para los organismos vivos. Este proceso natural se convierte así en un servicio ambiental invaluable, ya que permite reducir el uso de fertilizantes químicos e industriales, los cuales generan altos costos económicos y representan un riesgo para el medio ambiente (Blanco *et al.*, 2023).

Delgado (2022), afirma que un biofertilizante debe tener propiedades que garanticen la cantidad correcta de células viables cuando se utilice en campo. Estas propiedades incluyen la capacidad de realizar funciones como la fijación de nitrógeno, la movilización de fósforo, la mejora de nutrientes y otras.

Diversas investigaciones han puesto de manifiesto el potencial de los biofertilizantes elaborados a partir de microorganismos beneficiosos del género *Rhizobium*. Estos aliados invisibles actúan como verdaderos potenciadores de la fertilidad natural del suelo, optimizando la nutrición de los cultivos y generando un impacto agrobiológico positivo en una amplia gama de producciones agrícolas (Lopez, 2023).

La región de Córdoba además de ser agrícola es considerada una importante zona ganadera que sustenta la alimentación de los animales a partir de pasturas de consumo directo y de corte, entre ellas, se destaca la Climacuna (*Dichanthium annulatum*). Esta planta se caracteriza por brindar un alto aporte nutricional al ganado, se puede también utilizar en la producción de heno, para suplir las necesidades alimenticias de los animales en procesos de producción de carne o leche, a un costo mucho menor que los concentrados (Martínez, 2019).

En ese contexto, esta investigación tuvo como objetivo evaluar bacterias simbióticas nativas con potencial biofertilizante en pasto Climacuna bajo condiciones semicontroladas (vivero) en el municipio de Montería. Los resultados obtenidos permiten tener conocimiento de las propiedades de estos microorganismos y de esta manera, convertirse en una alternativa viable para las comunidades locales del sector agropecuario que contribuiría a la sostenibilidad de los sistemas de producción, reduciendo el uso de fertilizantes nitrogenados en los cultivos de pastos.

MÉTODO

Desde un enfoque cuantitativo, se realizó una investigación experimental y de campo, cuyo proceso estuvo enmarcado dentro de las siguientes etapas:

Etapas 1. Para la preparación del bioinoculante, se utilizó un medio Burk's, y se inoculó la cepa de *Rhizobium* sp. identificada molecularmente, luego se determinó el crecimiento de las bacterias por el método de diluciones seriadas y recuento de células viables en unidades formadoras de colonias (UFC), (Park *et al.*, 2005) hasta obtener concentraciones de 10^8 UFC/ml.

Etapa 2. En cuanto al montaje del ensayo, se utilizó semillas sexuales de pasto Climacuna (*Dichanthium annulatum*-Forssk-Stapf), las cuales fueron desinfectadas y evaluadas bajo condiciones semicontroladas de vivero. Para el montaje de los tratamientos se tuvo en cuenta los siguientes factores: tipo de suelo (natural y esterilizado), dosis de fertilizante nitrogenado (0% - 50% -100%) y cepa (sin inóculo - con inóculo).

Las variables evaluadas fueron: independientes (tipo de suelo, dosis de fertilizante nitrogenado y cepa) y dependientes: número de hojas (NH), área foliar (AF), longitud de la planta (LP), longitud de la raíz (LR), peso fresco (PF), peso seco (PS), nitrógeno foliar (%N) y proteína bruta (%PB). Los tratamientos descritos en el cuadro 1 pertenecen a un DCA con arreglo factorial 2x3x2, con tres repeticiones.

Cuadro 1.

Descripción de los tratamientos evaluados con el biofertilizante en el pasto Climacuna (*Dichanthium annulatum*)

Tratamientos	Descripción
T1	Suelo natural 0% fertilizante nitrogenado, sin inóculo en la semilla
T2	Suelo natural 50% fertilizante nitrogenado, sin inóculo en la semilla
T3	Suelo natural 100% fertilizante nitrogenado, sin inóculo en la semilla
T4	Suelo esterilizado 0% fertilizante nitrogenado, sin inóculo en la semilla
T5	Suelo esterilizado 50% fertilizante nitrogenado, sin inóculo en la semilla
T6	Suelo esterilizado 100% fertilizante nitrogenado, sin inóculo en la semilla
T7	Suelo natural 0% fertilizante nitrogenado, con inóculo en la semilla
T8	Suelo natural 50% fertilizante nitrogenado, con inóculo en la semilla
T9	Suelo natural 100% fertilizante nitrogenado, con inóculo en la semilla
T10	Suelo esterilizado 0% fertilizante nitrogenado, con inóculo en la semilla
T11	Suelo esterilizado 50% fertilizante nitrogenado, con inóculo en la semilla
T12	Suelo esterilizado 100% fertilizante nitrogenado, con inóculo en la semilla

El suelo para el montaje en campo fue tomado de una zona de rastrojos del municipio de Tierralta; que presentó las siguientes características: MO= 3,91%; P= 0,9 mg.kg⁻¹, DA= 1.33 mg/m⁻³ y con una clase textural franco - arcilloso.

La fertilización química se realizó de acuerdo al análisis de suelo y los requerimientos nutricionales para el pasto Climacuna (100-46-60 kg/ha de N-P₂O₅-K₂O) (Martínez, 2019). Como cada maceta contenía 2 kg de suelo se les aplicó: 112 mg de urea, 77 mg de DAP y 77 mg de KCl. Esto correspondió a la dosis del 100%. La fertilización se hizo fraccionada en 3 partes iguales y se aplicó al momento de la siembra, a los 30 y 60 días después de la emergencia. Para la siembra y resiembra, se esparcieron 2 g de semillas en cada maceta y se incorporaron en los primeros 2 – 3 cm de profundidad. La evaluación de la emergencia se hizo a los 8 días después de la siembra. Referente al manejo de plagas, arvenses y malezas se hizo de forma manual, se evitó el uso de plaguicidas y herbicidas.

Etapas 3. Con respecto a la evaluación de parámetros biométricos se realizaron mediciones siguiendo las recomendaciones de Lara *et al.*, (2011). El número de hojas, área foliar, longitud de la planta y la longitud de la raíz se evaluaron a los 30, 60 y 90 días después de la emergencia. Se determinaron el peso fresco y seco, utilizando 3 plantas por maceta. En relación con el porcentaje de nitrógeno foliar y proteína se utilizó el método Kjeldahl. Este análisis se realizó a los 90 días después de la emergencia.

Etapas 4. Los datos fueron sometidos a un análisis de varianza (ANOVA) y para las interacciones entre los factores se usaron tablas de doble entrada con contrastes para su descomposición. De igual manera fueron procesados con el programa estadístico R versión 4.1.2 (R Core Team, 2021), donde se utilizó el paquete lsmeans para testear los contrastes de la interacción (Lenth, 2018).

RESULTADOS

El pasto Climacuna (*Dichanthium annulatum*-Forssk-Stapf.) fue usado como planta indicadora por su rápido crecimiento y por su interés agropecuario en la zona. En el gráfico 1 se observa el desarrollo del pasto cuando se evaluó la cepa perteneciente al género *Rhizobium* sp. De acuerdo al diseño utilizado, en el análisis de varianza se priorizó el efecto de las interacciones de los factores sobre las variables biométricas.



Gráfico 1.
Unidades experimentales con el pasto Climacuna (Dichanthium annulatum)

Número de hojas (u/planta). Como se presenta en el cuadro 2, esta variable no respondió a los efectos de las interacciones a los 30 días después de la emergencia. Mientras que a los 60 días hubo respuesta en el número de hojas por la interacción fertilizante-*Rhizobium* y la interacción suelo-fertilizante-*Rhizobium*. Finalmente, a los 90 días después de la emergencia este parámetro fue influenciado por las interacción fertilizante-*Rhizobium* y la interacción triple.

Cuadro 2.
ANOVA del número de hojas del pasto Climacuna en función del tipo de suelo, dosis de fertilizante y *Rhizobium* a los 30, 60 y 90 días después de la emergencia

Fuente	GL	30		60		90	
		F	p-valor	F	p-valor	F	p-valor
Suelo (S)	1	0.05	0.8235	16.33***	0.0005	12.25**	0.0018
Fertilizante (F)	2	5.02*	0.0151	6.33**	0.0062	7.00**	0.0040
<i>Rhizobium</i> (R)	1	3.53	0.0724	3.00	0.0961	6.25*	0.0197
Interacción S-F	2	0.05	0.9505	2.33	0.1186	1.00	0.3827
Interacción S-R	1	0.05	0.8235	0.33	0.5691	0.25	0.6216
Interacción F-R	2	1.23	0.3112	9.00**	0.0012	4.00*	0.0317
Interacción S-F-R	2	0.05	0.9505	10.33***	0.0006	7.00**	0.0040
Residuales	4						
CV (%)	-	4,54		5,62		5,53	

Nota. *: Diferencias estadísticas al 5%; **: diferencias significativas al 1%***: diferencias significativas al 0,1%

Con respecto al efecto de la interacción de *Rhizobium* y las dosis de fertilizante sobre el número de hojas a los 60 y 90 días después de la emergencia (Gráfico 2), no se encontró un aumento significativo de esta variable en las plantas inoculadas con la cepa, al compararse con las no inoculadas.

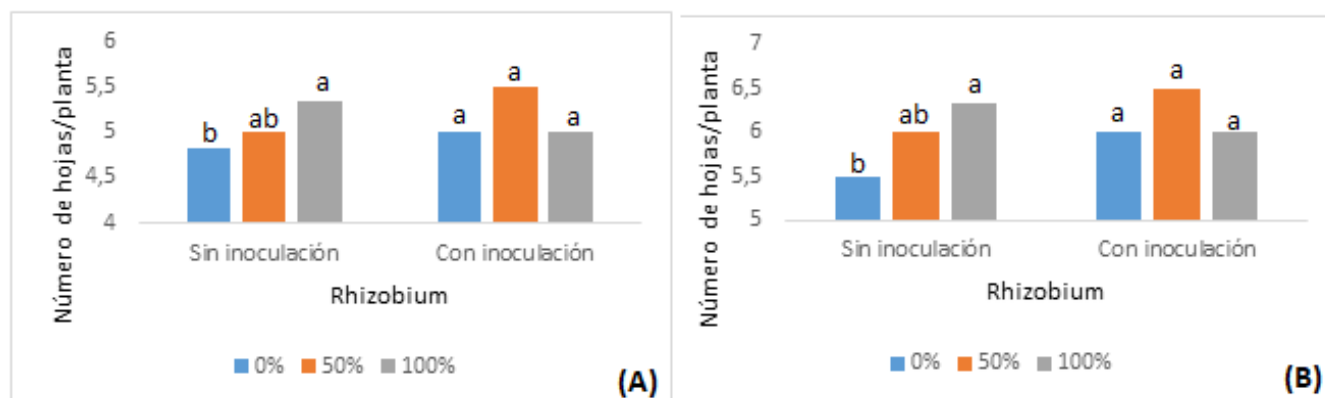


Gráfico 2.

Respuesta del número de hojas del pasto Climacuna en función de la dosis de nitrógeno y la inoculación de *Rhizobium* a los 60 (A) y 90 (B) días. Las letras minúsculas iguales sobre las barras (promedio) indican que no hay diferencias estadísticas significativas dentro de cada nivel de *Rhizobium*; los asteriscos (*) denotan diferencias entre sin - con el inóculo para un mismo nivel de dosis de fertilizante.

Los resultados obtenidos en este estudio coinciden con lo expuesto por Pérez-Flórez, (2017), quien en su investigación no estableció diferencia significativa entre los tratamientos evaluados con una cepa del género *Rhizobium* en cultivo de rábano; en contraste a estos resultados Calero *et al.*, (2019), establecieron que, en plantas de frijol común, el número de hojas fue mayor en los tratamientos con el inóculo *Rhizobium*.

Área Foliar (cm²/ planta). En el cuadro 3, se muestra que este parámetro fue influenciado desde los 30 días después de la emergencia por la interacción fertilizante – *Rhizobium*; a los 60 días el área foliar respondió a las interacciones suelo – fertilizante, fertilizante-*Rhizobium* y a la triple suelo-fertilizante-*Rhizobium*. A los 90 días después de la emergencia también hubo respuestas en esta variable por las interacciones: suelo-fertilizante, fertilizante-*Rhizobium* y la triple suelo-fertilizante-*Rhizobium*.

Cuadro 3.

ANOVA del área foliar del pasto Climacuna en función del tipo de suelo, dosis de fertilizante e inoculación con *Rhizobium*, a los 30, 60 y 90 días después de la emergencia.

Fuente	GL	30		60		90	
		F	p-valor	F	p-valor	F	p-valor
Suelo (S)	1	37.45***	<.0001	96.07***	<.0001	117.57***	<.0001
Fertilizante (F)	2	53.78***	<.0001	246.78***	<.0001	248.18***	<.0001
<i>Rhizobium</i> (R)	1	49.61***	<.0001	97.90***	<.0001	158.75***	<.0001
Interacción S-F	2	1.77	0.1913	14.08***	<.0001	16.16***	<.0001
Interacción S-R	1	3.18	0.0872	1.17	0.2899	0.09	0.7627
Interacción F-R	2	33.25***	<.0001	156.95***	<.0001	203.36***	<.0001
Interacción S-F-R	2	3.11	0.0629	27.69***	<.0001	24.95***	<.0001
Residuales	4						
CV (%)	-	7,06		4,31		3,40	

Nota. *: Diferencias estadísticas al 5%; **: diferencias significativas al 1%***: diferencias significativas al 0,1%

Al analizar la respuesta de la interacción del tipo de suelo con las dosis de fertilizante sobre el área foliar a los 60 y 90 días después de la emergencia (Gráfico 3), se observó mayor área foliar en los tratamientos con suelo natural, evidenciándose diferencias significativas entre los tipos de suelo para las dosis de fertilizante 100% y 50%. Este resultado supone que los microorganismos nativos benéficos presentes en el suelo natural aumentan la disponibilidad de nutrientes para las plantas (Instituto para la Innovación Tecnológica en la Agricultura (INTAGRI), 2018).

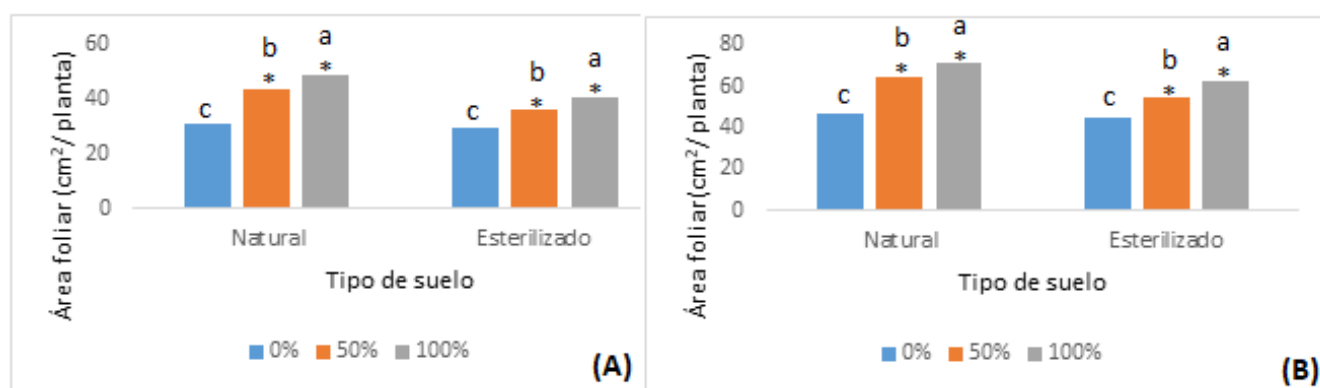


Gráfico 3.

Respuesta del área foliar del pasto Climacuna en función de la dosis de nitrógeno y el tipo de suelo a los 60 (A) y 90 (B) días. Las letras minúsculas iguales sobre las barras (promedio) indican que no hay diferencias estadísticas significativas dentro de cada nivel de suelo; los asteriscos (*) denotan diferencias entre natural-esterilizado para un mismo nivel de dosis de fertilizante.

Con relación al efecto de la interacción de *Rhizobium* y las dosis de fertilizante sobre el área foliar a los 30, 60 y 90 días después de la emergencia (gráfico 4), se observó diferencias significativas de los tratamientos con el inóculo en comparación con los tratamientos sin el inóculo. Esto concuerda con una investigación realizada por Pérez-Flórez, (2017) al inocular semillas de rábano con microorganismos pertenecientes al género *Rhizobium* estimulaba el crecimiento y desarrollo del área foliar de las plantas.

También se evidenció resultados similares para esta variable al inocular *Rhizobium* con 50% y con 100% de fertilizante. Esta observación sugiere fuertemente que la fertilización al 50% + el inóculo reemplazó parcialmente las dosis normales de fertilización con nitrógeno, lo que significa que es posible una reducción de hasta la mitad del fertilizante nitrogenado en los cultivos debido a la fertilización biológica (Romero-Perdomo *et al.*, 2017). En este sentido, la aplicación de los microorganismos eficientes mejora el crecimiento del follaje (22%), por lo tanto, se aumenta el área fotosintética de las plantas, lo que se traduce en una mayor elaboración de nutrimentos para la planta y, por ende, en un incremento de su productividad (Calero *et al.*, 2018; Quintero, *et al.*, 2018).

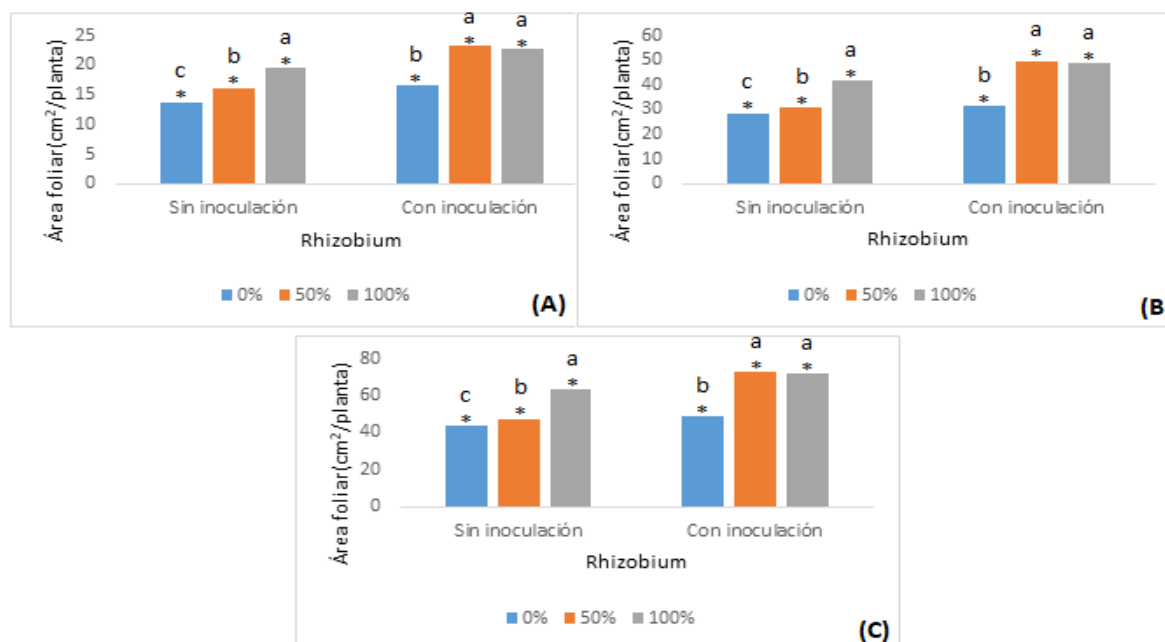


Gráfico 4.

Respuesta del área foliar del pasto *Climacuna* en función de la dosis de nitrógeno y la inoculación de *Rhizobium* a los 30 (A) y 60 (B) y 90 (C) días. Las letras minúsculas iguales sobre las barras (promedio) indican que no hay diferencias estadísticas significativas dentro de cada nivel de *Rhizobium*; los asteriscos (*) denotan diferencias entre sin - con el inóculo para un mismo nivel de dosis de fertilizante.

Longitud de la planta (cm). como se registra en el cuadro 4, a los 30 días después de la emergencia esta variable respondió a las interacciones: suelo-fertilizante, suelo-*Rhizobium*, fertilizante-*Rhizobium* y la triple interacción suelo-fertilizante-*Rhizobium*. De igual manera a los 60 días la longitud de la planta se vio influenciado por las interacciones: suelo y fertilizante, suelo-*Rhizobium*, fertilizante-*Rhizobium* y a la triple; finalmente a los 90 días después de la emergencia también hubo respuestas a la interacción de suelo-fertilizante, suelo-*Rhizobium*, fertilizante-*Rhizobium* y la interacción triple.

Cuadro 4.

ANOVA de la longitud de la planta del pasto Climacuna en función del tipo de suelo, dosis de fertilizante y *Rhizobium*, a los 30, 60 y 90 días después de la emergencia

Fuente	GL	30		60		90	
		<i>F</i>	<i>p-valor</i>	<i>F</i>	<i>p-valor</i>	<i>F</i>	<i>p-valor</i>
Suelo (S)	1	239.13***	<.0001	203.44***	<.0001	297.75***	<.0001
Fertilizante (F)	2	375.60***	<.0001	428.56***	<.0001	297.39***	<.0001
<i>Rhizobium</i> (R)	1	255.80***	<.0001	520.53***	<.0001	255.57***	<.0001
Interacción S-F	2	18.11***	<.0001	29.30***	<.0001	26.96***	<.0001
Interacción S-R	1	8.69**	0.0070	19.08***	0.0002	8.66**	0.0071
Interacción F-R	2	181.42***	<.0001	272.09***	<.0001	208.64***	<.0001
Interacción S-F-R	2	24.61***	<.0001	24.41***	<.0001	45.13***	<.0001
Residuales	4						
CV (%)	-	1,91		1,53		1,73	

Nota. *: Diferencias estadísticas al 5%; **: diferencias significativas al 1%***: diferencias significativas al 0,1%

En cuanto a la respuesta de la interacción del tipo de suelo con las dosis de fertilizante sobre la longitud de la planta a los 30, 60 días y 90 días después de la emergencia (gráfico 5), para este parámetro al igual que en el área foliar, hubo diferencias significativas entre el suelo natural y esterilizado.

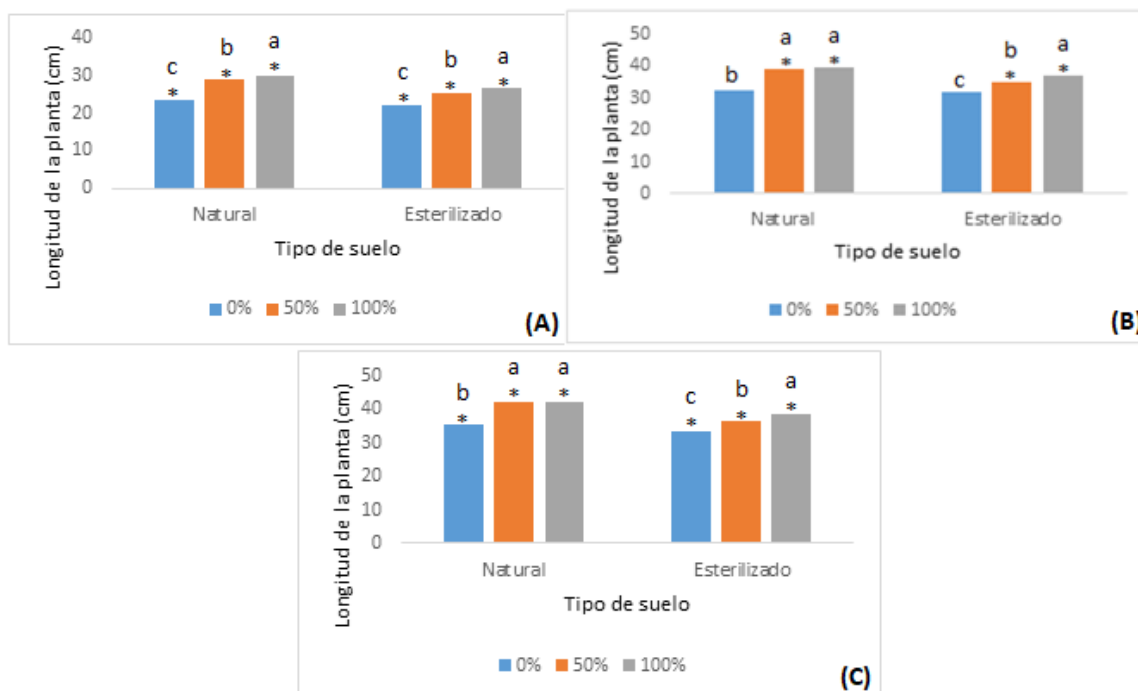
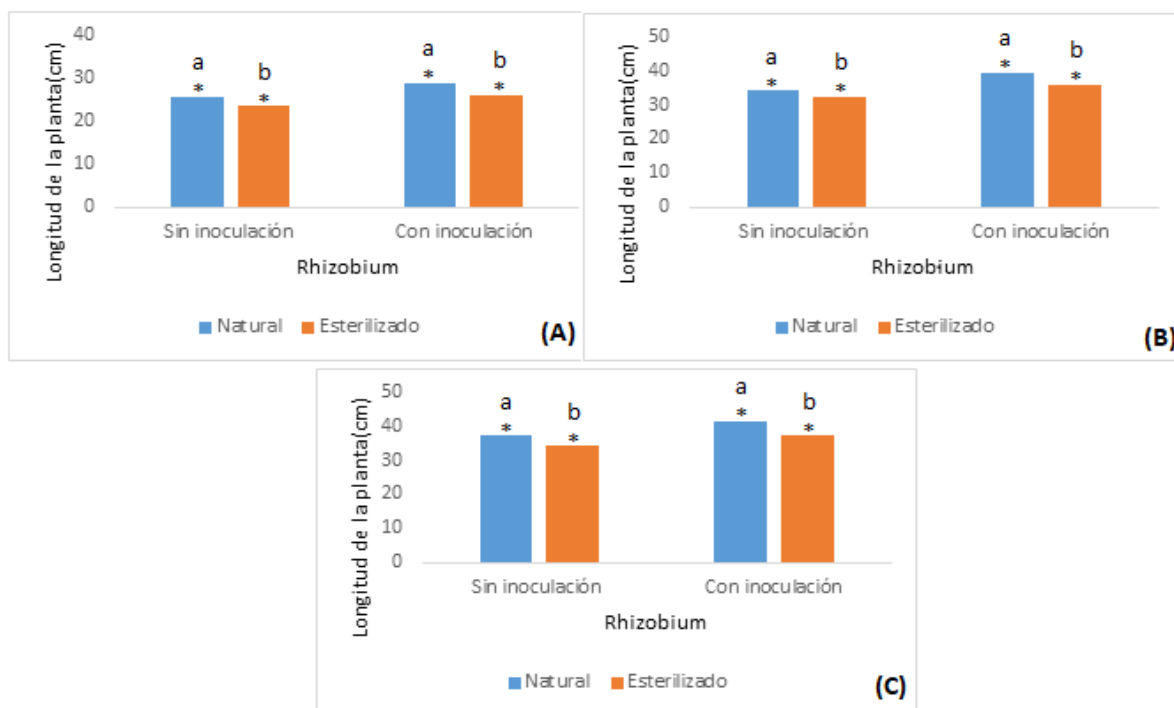


Gráfico 5.

Longitud de la planta del pasto *Climacuna* en función de la dosis de nitrógeno y el tipo de suelo a los 30 (A) y 60 (B) y 90 (C) días. Las letras minúsculas iguales sobre las barras (promedio) indican que no hay diferencias estadísticas significativas dentro de cada nivel de suelo; los asteriscos (*) denotan diferencias entre natural-esterilizado para un mismo nivel de dosis de fertilizante.

Los resultados de la interacción de *Rhizobium* con el tipo de suelo sobre este parámetro biométrico a los 30, 60 días y 90 días después de la emergencia (gráfico 6), arrojaron una mayor longitud de la planta para los tratamientos con el inóculo y el suelo natural. Este resultado probablemente se deba a que el inóculo en las semillas del pasto *Climacuna* cambió el equilibrio positivamente de la comunidad bacteriana al comienzo del crecimiento de la planta, favoreciendo el crecimiento de poblaciones beneficiosas (Nezarat y Gholami, 2009).

**Gráfico 6.**

Longitud de la planta del pasto Climacuna en función del tipo de suelo y la inoculación de *Rhizobium* a los 30 (A) y 60 (B) y 90 (C) días. Las letras minúsculas iguales sobre las barras (promedio) indican que no hay diferencias estadísticas significativas dentro de cada nivel de *Rhizobium*; los asteriscos (*) denotan diferencias entre sin - con el inóculo para un mismo nivel de tipo de suelo.

Referente al efecto de la interacción de *Rhizobium* y las dosis de fertilizante sobre la longitud de la planta a los 30, 60 y 90 días después de la emergencia (gráfico 7), esta variable muestra diferencias significativas de los tratamientos con el inóculo en comparación con los tratamientos sin el inóculo. Al igual que en el área foliar, para este parámetro se evidenció resultados similares al inocular *Rhizobium* con 50% y con 100% de fertilizante (gráfico 8). Los microorganismos eficientes que se establecen sobre las semillas durante la germinación pueden crecer y colonizar las raíces en toda su extensión. La colonización de la semilla durante la fase de impregnación o inmersión tiene un efecto significativo sobre el crecimiento de la planta (Noumavo *et al.*, 2016).

Ferrel y Soriano (2014), en su investigación reportaron una cepa del genero *Rhizobium*, la cual presentó un efecto positivo en el crecimiento de altura, en plántulas de *S. officinarum* “caña de azúcar” a los 30 y 60 días post inoculación, en condiciones de laboratorio. De igual forma Ali *et al.*, (2015), demostraron en su estudio que la especie *Rhizobium pusense* puede

ser utilizado como un biofertilizante eficiente en el mejoramiento del crecimiento y productividad en plantas de garbanzos.

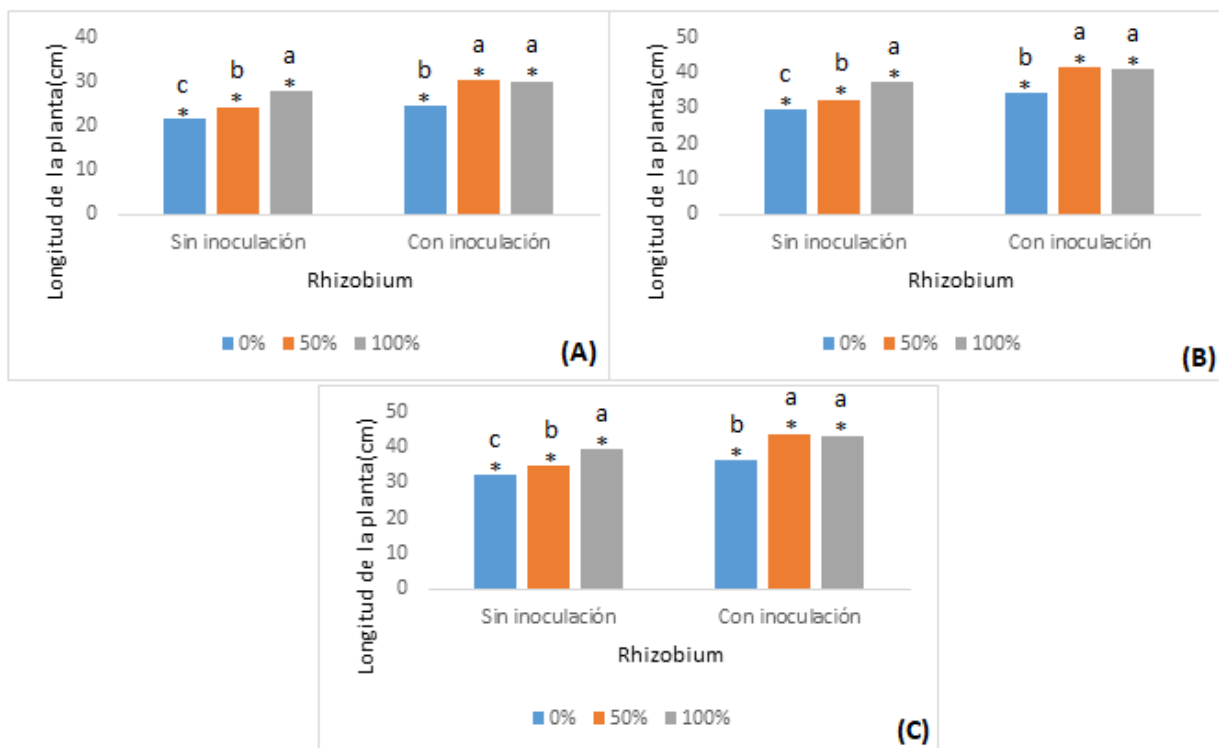


Gráfico 7.

Longitud de la planta del pasto Climacuna en función de la dosis de nitrógeno y la inoculación de *Rhizobium* a los 30 (A) y 60 (B) y 90 (C) días. Las letras minúsculas iguales sobre las barras (promedio) indican que no hay diferencias estadísticas significativas dentro de cada nivel de *Rhizobium*; los asteriscos (*) denotan diferencias entre sin - con el inóculo para un mismo nivel de dosis de fertilizante.

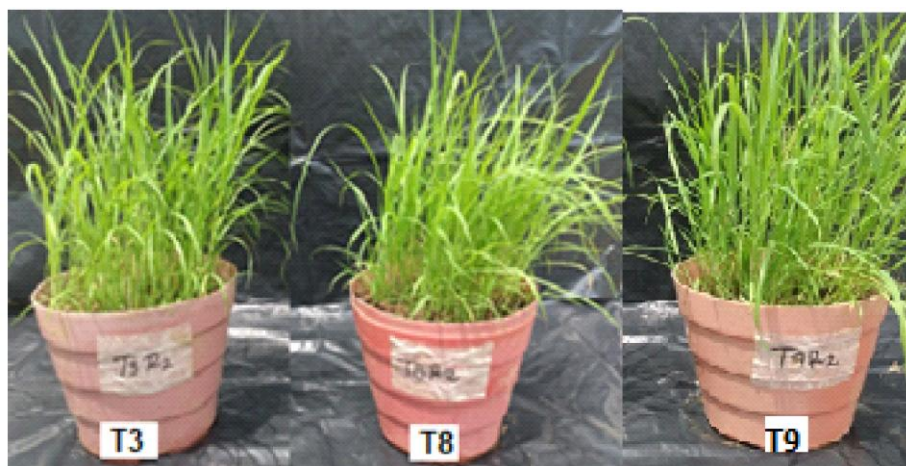


Gráfico 8.

Plantas de pasto Climacuna con alturas similares: (T3: suelo natural + 100% fertilizante), (T8: suelo natural + 50% fertilizante + inóculo), (T9: suelo natural + 100% fertilizante + inóculo).

Longitud de la raíz (cm). En el cuadro 5 se observa que a los 30 días después de la emergencia este parámetro se vio influenciado por las interacciones suelo-fertilizante y fertilizante-*Rhizobium*; a los 60 días la longitud de la raíz respondió a las interacciones: suelo y fertilizante y fertilizante-*Rhizobium*. A los 90 días después de la emergencia hubo respuestas en la variable por la interacción de suelo-fertilizante, fertilizante-*Rhizobium* y la interacción suelo-fertilizante-*Rhizobium*

Cuadro 5.

ANOVA de la longitud de la raíz del pasto Climacuna en función del tipo de suelo, dosis de fertilizante y *Rhizobium*, a los 30, 60 y 90 días después de la emergencia

Fuente	GL	30		60		90	
		F	p-valor	F	p-valor	F	p-valor
Suelo (S)	1	125.00***	<.0001	165.24***	<.0001	112.30***	<.0001
Fertilizante (F)	2	375.95***	<.0001	433.12***	<.0001	224.22***	<.0001
<i>Rhizobium</i> (R)	1	115.20***	<.0001	165.24***	<.0001	92.41***	<.0001
Interacción S-F	2	6.05**	0.0075	5.35*	0.0120	7.96**	0.0022
Interacción S-R	1	3.20	0.0863	0.53	0.4739	0.18	0.6735
Interacción F-R	2	116.25***	<.0001	134.18***	<.0001	83.24***	<.0001
Interacción S-F-R	2	0.95	0.4008	1.24	0.3086	5.48*	0.0110
Residuales	4						
CV (%)	-	3,43		2,96		4,06	

Nota. *: Diferencias estadísticas al 5%; **: diferencias significativas al 1%***: diferencias significativas al 0,1%

Con relación a la respuesta de la interacción del tipo de suelo con las dosis de fertilizante sobre la longitud de la raíz a los 30, 60 días y 90 días después de la emergencia (gráfico 9), se observó que al igual que en los parámetros área foliar y longitud de la planta, se presentó un mayor efecto para esta variable en los tratamientos con suelo natural.

De acuerdo a los resultados de la interacción de *Rhizobium* y las dosis de fertilizante sobre la longitud de la raíz a los 30, 60 y 90 días después de la emergencia (gráfico 10), se observó diferencias significativas de los tratamientos con el inóculo en comparación con los tratamientos sin el inóculo. Al igual que en los parámetros área foliar y longitud de la planta, para esta variable se evidenció resultados similares al inocular *Rhizobium* con 50% y con 100% de fertilizante químico.

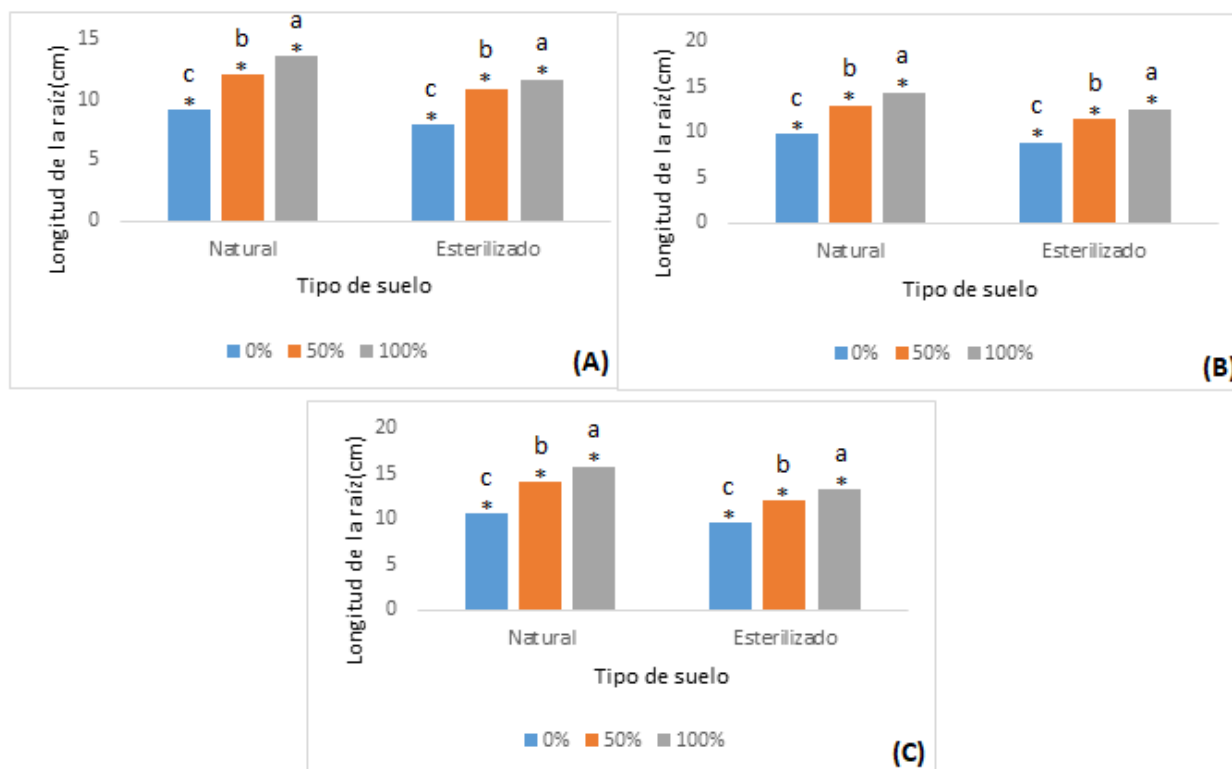


Gráfico 9. Longitud de la raíz del pasto ClimaCuna en función de la dosis de nitrógeno y el tipo de suelo a los 30 (A) y 60 (B) y 90(C) días. Las letras minúsculas iguales sobre las barras (promedio) indican que no hay diferencias estadísticas significativas dentro de cada nivel de suelo; los asteriscos (*) denotan diferencias entre natural- esterilizado para un mismo nivel de dosis de fertilizante.

Estudios han reportado que el AIA producido por bacterias promotoras de crecimiento vegetal como las del género *Rhizobium*, juegan un rol significativo en la interacción planta-microorganismo, contribuyendo en la promoción del crecimiento radicular de la planta (Vega *et al.*, 2016). Como es el caso de un trabajo realizado por Marquina *et al.*, (2018), quienes comprobaron que rizobacterias del género *Rhizobium* productoras de AIA, estimularon el crecimiento en longitud de la raíz del pimentón *Capsicum annuum* L. var. Cacique Gigante.

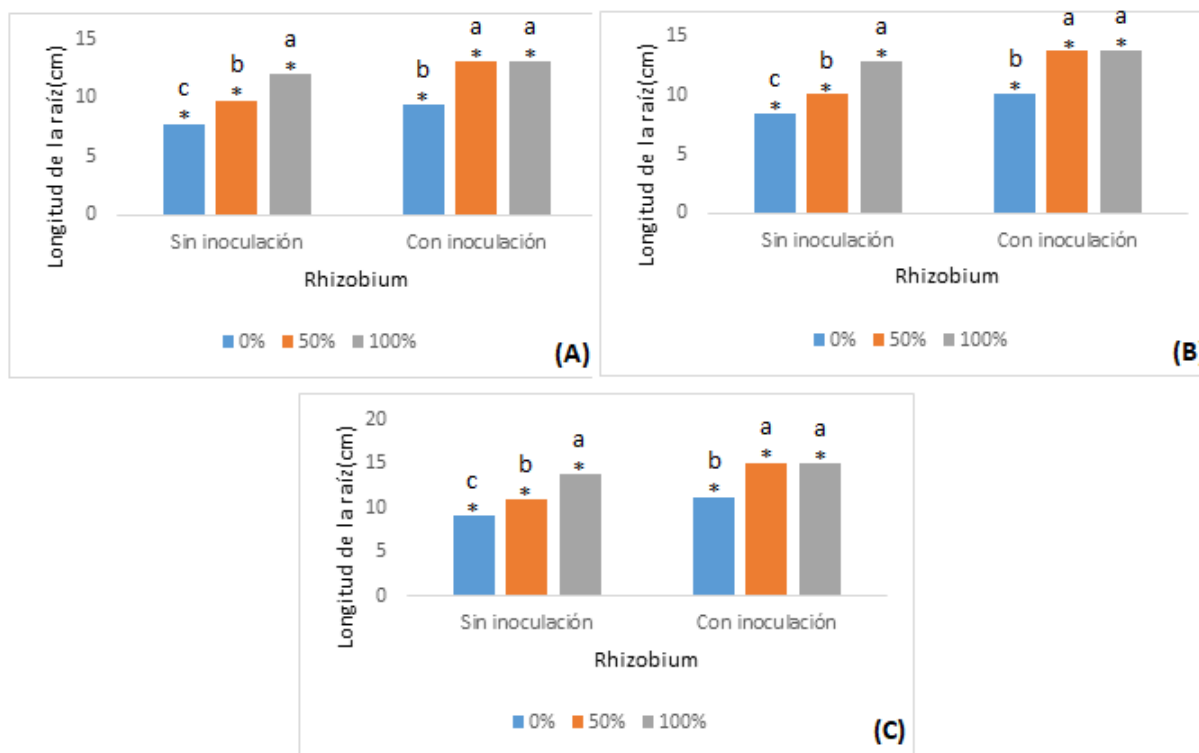


Gráfico 10.

Longitud de la raíz del pasto Climacuna en función de la dosis de nitrógeno y la inoculación de *Rhizobium* a los 30 (A) y 60 (B) y 90 (C) días. Las letras minúsculas iguales sobre las barras (promedio) indican que no hay diferencias estadísticas significativas dentro de cada nivel de *Rhizobium*; los asteriscos (*) denotan diferencias entre sin y con el inóculo para un mismo nivel de dosis de fertilizante.

Peso fresco y seco (g). En el cuadro 6, se registra que el peso fresco fue influenciado a los 30 días después de la emergencia por las interacciones suelo-fertilizante y fertilizante-*Rhizobium*, a los 60 días hubo respuesta de esta variable por la interacción fertilizante-*Rhizobium*; de igual manera a los 90 días después de la emergencia hubo efecto por la interacción fertilizante-*Rhizobium*. En el cuadro 7 se muestra que el peso seco respondió a los 30 días después de la emergencia por las interacciones suelo-fertilizante y fertilizante-*Rhizobium*, a los 60 días hubo efecto de este parámetro por la interacción fertilizante-*Rhizobium*; finalmente a los 90 días después de la emergencia también hubo respuesta por la interacción fertilizante-*Rhizobium*.

Cuadro 6.

ANOVA del peso fresco del pasto Climacuna en función del tipo de suelo, dosis de fertilizante y Rhizobium, a los 30, 60 y 90 días después de la emergencia

Fuente	GL	30		60		90	
		<i>F</i>	<i>p-valor</i>	<i>F</i>	<i>p-valor</i>	<i>F</i>	<i>p-valor</i>
Suelo (S)	1	21.34***	0.0001	9.18**	0.0058	13.70**	0.0011
Fertilizante (F)	2	17.65***	<.0001	8.13**	0.0020	19.64***	<.0001
Rhizobium (R)	1	10.24**	0.0038	7.01*	0.0141	14.40***	0.0009
Interacción S-F	2	3.62*	0.0423	0.49	0.6213	0.45	0.6406
Interacción S-R	1	0.31	0.5816	0.01	0.9263	0.81	0.3768
Interacción F-R	2	8.93**	0.0013	4.32*	0.0250	10.39***	0.0006
Interacción S-F-R	2	1.98	0.1596	0.63	0.5404	0.66	0.5263
Residuales	4						
CV (%)	-	15,53		19,85		14,79	

Nota. *: Diferencias estadísticas al 5%; **: diferencias significativas al 1%***: diferencias significativas al 0,1%

Cuadro 7.

ANOVA del peso seco del pasto Climacuna en función del tipo de suelo, dosis de fertilizante y Rhizobium, a los 30, 60 y 90 días después de la emergencia

Fuente	GL	30		60		90	
		<i>F</i>	<i>p-valor</i>	<i>F</i>	<i>p-valor</i>	<i>F</i>	<i>p-valor</i>
Suelo (S)	1	22.46***	<.0001	9.38**	0.0053	13.38**	0.0012
Fertilizante (F)	2	17.04***	<.0001	7.79**	0.0025	18.62***	<.0001
Rhizobium (R)	1	9.85**	0.0045	7.01*	0.0141	13.99**	0.0010
Interacción S-F	2	3.79*	0.0372	0.58	0.5688	0.45	0.6400
Interacción S-R	1	0.26	0.6133	0.02	0.8779	0.85	0.3649
Interacción F-R	2	8.81**	0.0014	4.39*	0.0237	9.74***	0.0008
Interacción S-F-R	2	2.04	0.1516	0.80	0.4624	0.61	0.5514
Residuales	4						
CV (%)	-	15,82		20,40		15,14	

Nota. *: Diferencias estadísticas al 5%; **: diferencias significativas al 1%***: diferencias significativas al 0,1%

Con respecto a la respuesta de la interacción del tipo de suelo con las dosis de fertilizante sobre el peso fresco y seco a los 30 días después de la emergencia (gráfico 11), para estas variables se presentó diferencias significativas entre el suelo natural y esterilizado, al igual que lo registrado para el área foliar, longitud de la planta y longitud de la raíz.

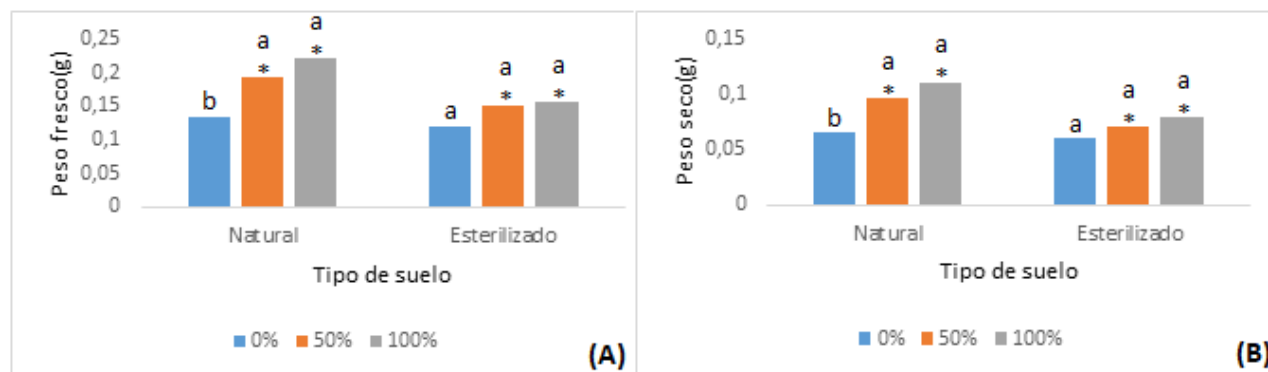


Gráfico 11.

Peso fresco (A) y seco (B) del pasto Climacuna en función de la dosis de nitrógeno y el tipo de suelo a los 30 días. Las letras minúsculas iguales sobre las barras (promedio) indican que no hay diferencias estadísticas significativas dentro de cada nivel de suelo; los asteriscos (*) denotan diferencias entre natural- esterilizado para un mismo nivel de dosis de fertilizante.

Al analizar la respuesta de la interacción de *Rhizobium* y las dosis de fertilizante sobre el peso fresco y seco a los 30, 60 y 90 días después de la emergencia (gráficos 12 y 13), se observó que, para estas variables, hubo un efecto significativo para los tratamientos del 50% de fertilizante con el inóculo al compararla con los tratamientos del 50% de fertilizante sin el inóculo. Estos resultados se relacionan con estudios como los reportados por Soto *et al.*, (2016) quienes evaluaron 3 cepas del género *Rhizobium* en plantas de maíz (*Zea mays* L.) a nivel de laboratorio y campo. Dichas cepas influyeron de forma positiva en el peso fresco y seco de las plantas.

Contenido de nitrógeno foliar (%). En el cuadro 8, se observa que el porcentaje de nitrógeno foliar fue influenciado a los 90 días después de la emergencia por las interacciones: suelo-fertilizante, suelo-*Rhizobium*, fertilizante-*Rhizobium*, y suelo-fertilizante-*Rhizobium*. De igual manera en el cuadro 8 se registra que a los 90 días después de la emergencia, hubo efecto en la proteína bruta por la interacción del suelo-fertilizante, suelo-*Rhizobium*, fertilizante-*Rhizobium* y de la interacción triple.

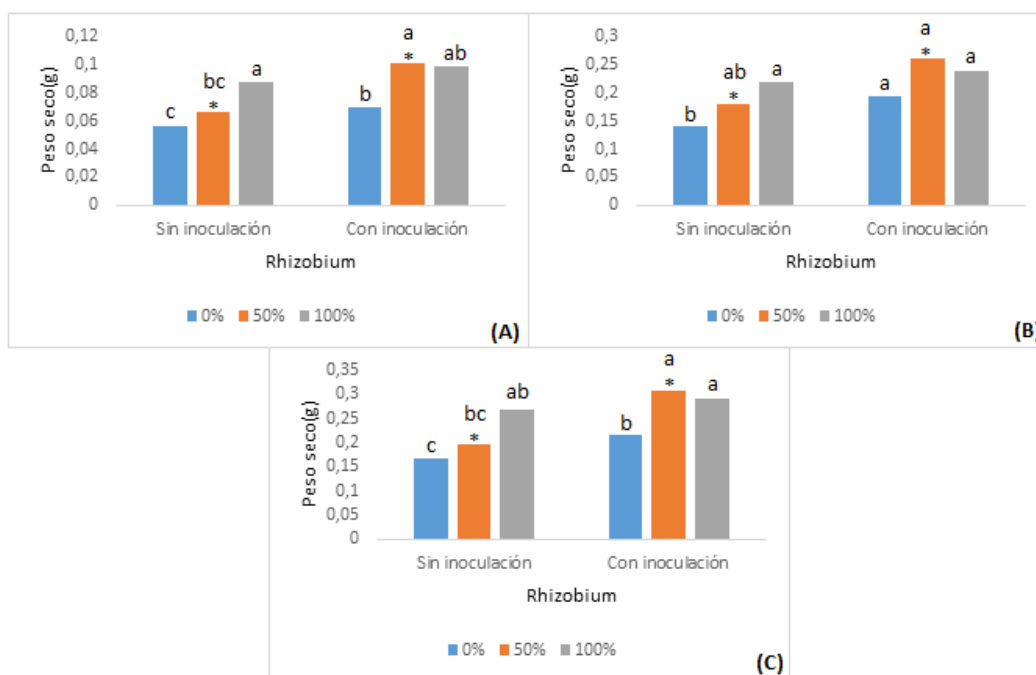


Gráfico 12.

Peso fresco del pasto Climacuna en función de la dosis de nitrógeno y la inoculación de Rhizobium a los 30 (A) y 60 (B) y 90 (C) días. Las letras minúsculas iguales sobre las barras (promedio) indican que no hay diferencias estadísticas significativas dentro de cada nivel de Rhizobium; los asteriscos (*) denotan diferencias entre sin - con el inóculo para un mismo nivel de dosis de fertilizante.

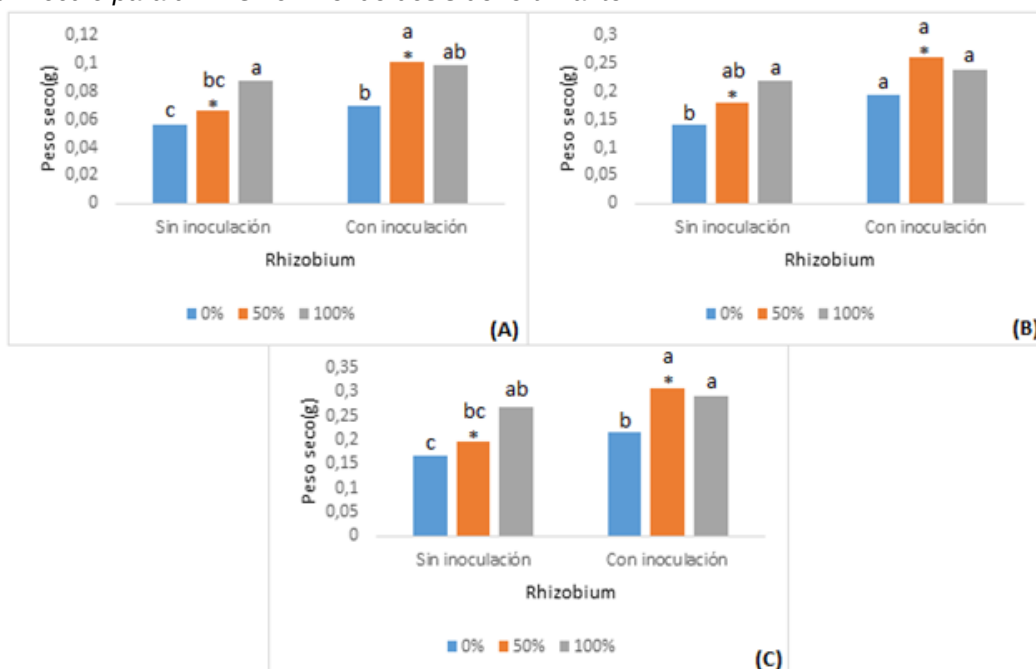


Gráfico 13.

Peso seco del pasto Climacuna en función de la dosis de nitrógeno y la inoculación de Rhizobium a los 30 (A) y 60 (B) y 90 (C) días. Las letras minúsculas iguales sobre las barras (promedio) indican que no hay diferencias estadísticas significativas dentro de cada nivel de Rhizobium; los asteriscos (*) denotan diferencias entre sin - con el inóculo para un mismo nivel de dosis de fertilizante.

Cuadro 8.

ANOVA del contenido de nitrógeno y proteína bruta del pasto Climacuna en función del tipo de suelo, dosis de fertilizante y *Rhizobium*, a los 90 días después de la emergencia

Fuente	GL	PN 90		PPB 90	
		<i>F</i>	<i>p-valor</i>	<i>F</i>	<i>p-valor</i>
Suelo (S)	1	1092.03***	<.0001	1075.34***	<.0001
Fertilizante (F)	2	2371.23***	<.0001	2334.72***	<.0001
<i>Rhizobium</i> (R)	1	2640.63***	<.0001	2595.24***	<.0001
Interacción S-F	2	49.98***	<.0001	49.35***	<.0001
Interacción S-R	1	99.23***	<.0001	96.58***	<.0001
Interacción F-R	2	1177.53***	<.0001	1155.85***	<.0001
Interacción S-F-R	2	109.58***	<.0001	107.89***	<.0001
Residuales	4				
CV (%)	-	2,15		2,17	

Nota. *: Diferencias estadísticas al 5%; **: diferencias significativas al 1%***: diferencias significativas al 0,1%

Conforme al efecto de la interacción del tipo de suelo con las dosis de fertilizante sobre el contenido de nitrógeno foliar a los 90 días después de la emergencia (gráfico 14), para esta variable se presentó diferencias significativas entre el suelo natural y esterilizado, al igual que lo registrado para los para los parámetros: área foliar, longitud de la planta, longitud de la raíz, peso seco y fresco.

Los resultados de la interacción de *Rhizobium* con el tipo de suelo sobre este parámetro biométrico a los 90 días después de la emergencia (gráfico 15), se evidenció al igual que en la longitud de la planta, un mayor contenido de nitrógeno foliar para los tratamientos con el inóculo y el suelo natural.

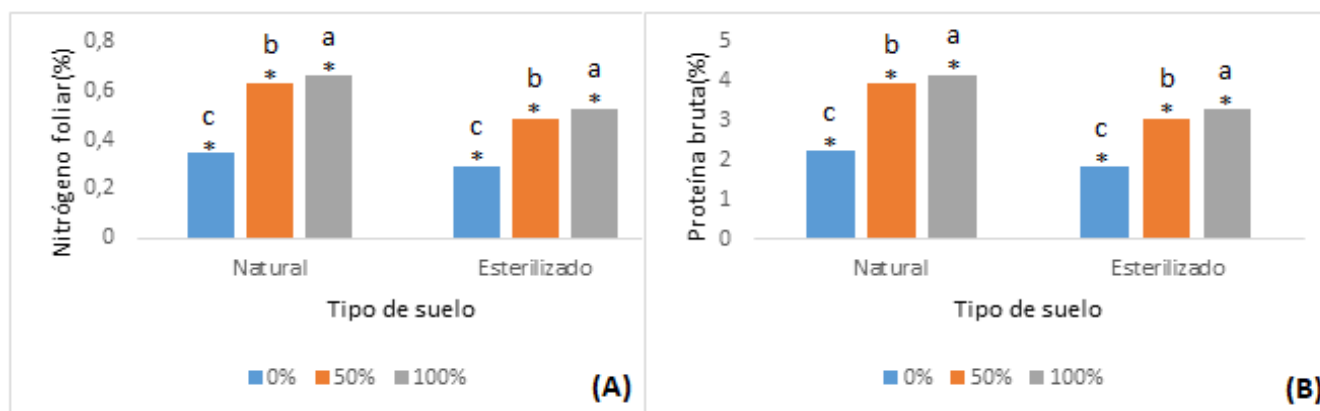


Gráfico 14.

Nitrógeno foliar (A) y la proteína bruta (B) del pasto Climacuna en función de la dosis de nitrógeno y el tipo de suelo a los 90 días. Las letras minúsculas iguales sobre las barras (promedio) indican que no hay diferencias estadísticas significativas dentro de cada nivel de suelo; los asteriscos (*) denotan diferencias entre natural-esterilizado para un mismo nivel de dosis de fertilizante.

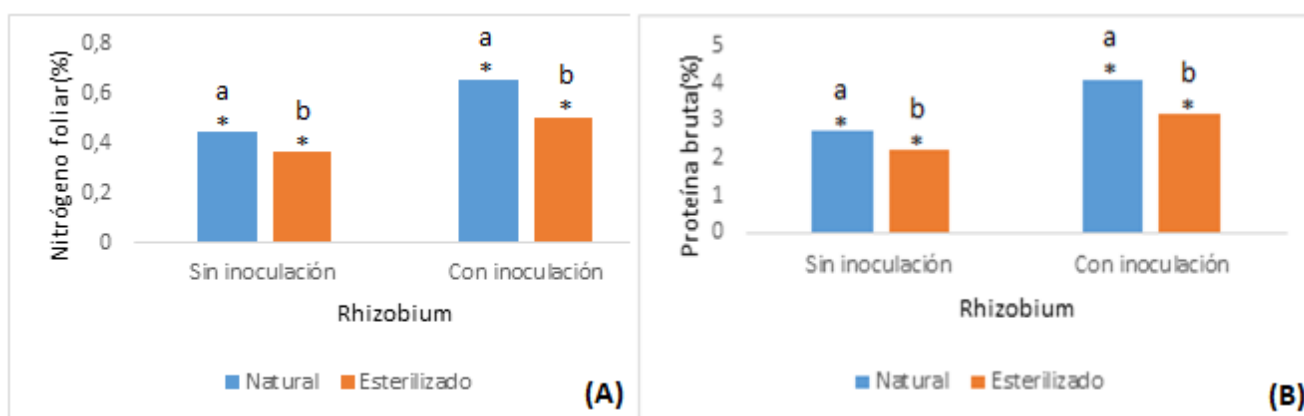


Gráfico 15.

Nitrógeno foliar (A) y la proteína bruta (B) del pasto Climacuna en función del tipo de suelo y la inoculación de Rhizobium a los 90 días. Las letras minúsculas iguales sobre las barras (promedio) indican que no hay diferencias estadísticas significativas dentro de cada nivel de Rhizobium; los asteriscos (*) denotan diferencias entre sin - con el inóculo para un mismo nivel de tipo de suelo.

Con relación a la respuesta de la interacción de *Rhizobium* y las dosis de fertilizante sobre el contenido de nitrógeno foliar a los 90 días después de la emergencia (gráfico 16), se observó diferencias significativas de los tratamientos con el inóculo en comparación con los tratamientos sin el inóculo. Al igual que en los parámetros área foliar, longitud de la planta y la longitud de la raíz, para esta variable se evidenció resultados similares al inocular *Rhizobium* con 50% y con 100% del fertilizante nitrogenado. Estos resultados concuerdan con trabajos como los realizados por Oliveira *et al.*, (2017), quienes demostraron que las

plantas de la leguminosa forrajera *Onobrychis viciifolia* Scop. inoculadas con *Rhizobium* presentaron mayores contenidos de nitrógeno foliar que los no inoculadas.

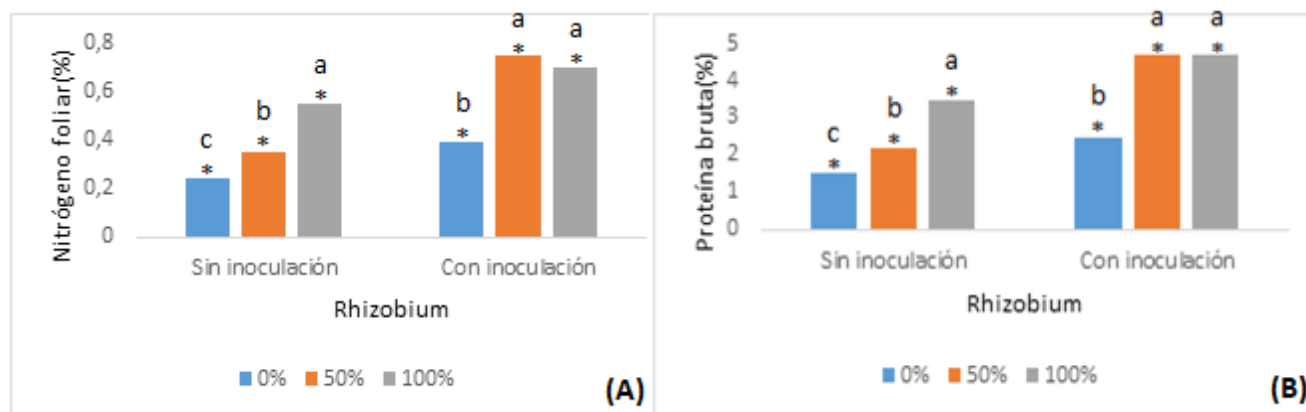


Gráfico 16.

Nitrógeno foliar (A) y la proteína bruta (B) del pasto Climacuna en función de la dosis de nitrógeno y la inoculación de *Rhizobium* a los 90 días. Las letras minúsculas iguales sobre las barras (promedio) indican que no hay diferencias estadísticas significativas dentro de cada nivel de *Rhizobium*; los asteriscos (*) denotan diferencias entre sin - con el inóculo para un mismo nivel de dosis de fertilizante.

Finalmente para este experimento el análisis de la interacción triple en las variables evaluadas arrojó como resultado que la combinación suelo natural + dosis 50% de NPK + *Rhizobium* tuvo un efecto positivo en el pasto Climacuna, lo que permite considerar el uso de este bioinóculo como un potencial biofertilizante en el cultivo de plantas no leguminosas, siendo una alternativa para la disminución hasta de un 50% de los fertilizantes minerales, el mejoramiento de los ingresos de los productores de la zona y la protección del medio ambiente.

CONCLUSIONES

En suelos de la región de Córdoba, es posible encontrar bacterias fijadoras de nitrógeno atmosférico o en su efecto, con características que coinciden con diazótrofas simbióticas.

La inoculación con *Rhizobium* sp. puede ser una alternativa biotecnológica viable para la producción de pasto Climacuna, ya que puede aumentar el crecimiento, el desarrollo y el contenido de nitrógeno foliar de la planta, mientras que reduce la necesidad de fertilizantes químicos. La combinación de suelo natural, 50% de fertilizante NPK e inoculación con

Rhizobium sp. es una práctica agrícola prometedora para el cultivo de pasto Climacuna, ya que puede mejorar la productividad y la sostenibilidad del sistema de producción.

REFERENCIAS

- Ali, A., Khalid, R., Ali, S. Akram, Z. and Hayat, R. (2015). Characterization of Plant Growth Promoting Rhizobacteria Isolated from Chickpea (*Cicer arietinum*). *British Microbiology Research Journal*, 6(1), 32-40
- Aquino, J., Taniguchi, C., Magini, C. y Berni, G. (2020). The potential of alkaline rocks from the Fortaleza volcanic province (Brazil) as natural fertilizers. *Journal of South American Earth Sciences*, 103, 102800
- Blanco-Rodríguez, J. C., Romero-Toro, J. J., y Montilla-Rodríguez, M. A. (2023). Biological Nitrogen Fixation and Cattle Production in Tropical Environments. *Ciencia y Agricultura*, 20(3), 16684. <https://doi.org/10.19053/01228420.v20.n3.2023.16684>
- Calero, A., Pérez-Díaz, Y., Quintero-Rodríguez, E., Olivera -Vicedo, D. y Peña-Calzada, K. (2019). Efecto de la aplicación asociada entre *Rhizobium leguminosarum* y microorganismos eficientes sobre la producción del frijol común. *Ciencia y Tecnología Agropecuaria*, 20(2), 295-308. https://doi.org/10.21930/rcta.vol20_num2_art:1460
- Calero, A., Quintero, E., Olivera, D., Pérez, Y., Castro, I., Jiménez, J., y López, E. (2018). Respuesta de dos cultivares de frijol común a la aplicación foliar de microorganismos eficientes. *Cultivos Tropicales*, 39(3), 5-10. <https://ediciones.inca.edu.cu/index.php/ediciones/article/view/1459>
- Delgado, D. (2021). Uso de la bacteria *Azospirillum* (*Azospirillum* sp) como biofertilizante en el cultivo de arroz (*Oryza sativa* L.), Las Gilces-Crucita. Jipijapa. UNESUM. Facultad de Ciencias Naturales y de la Agricultura. <http://repositorio.unesum.edu.ec/handle/53000/3427>
- Ferrel, N y Soriano, B. (2014). Efecto de *Rhizobium etli* en el crecimiento de plántulas de caña de azúcar, *Saccharum officinarum*, en condiciones de laboratorio. *REBIOLEST*, 2(1), e23. <https://revistas.unitru.edu.pe/index.php/ECCBB/article/view/640>
- Instituto para la Innovación Tecnológica en la Agricultura, (2018). Fijación Biológica de Nitrógeno Atmosférico. Serie Nutrición Vegetal Núm. 126. Artículos Técnicos de INTAGRI. México. 4 p. <https://www.intagri.com/articulos/nutricion-vegetal/fijacion-biologica-de-nitrogeno-atmosferico>
- Lara, C., Oviedo, L. y Betancur, C. (2011). Bacterias nativas con potencial en la producción de ácido indolacético para mejorar los pastos. *Revista Zootecnia Tropical*, 29(2), 1-10
- Lenth, R. (2018). Package 'lsmeans'. Disponible en: <https://cran.r-project.org/web/packages/lsmeans>
- Lopez, A. (2023). Bacteria *Azospirillum* (*Azospirillum* spp.) como biofertilizante para el cultivo de arroz (*Oryza sativa* L.). [Trabajo académico, Universidad Técnica de Babahoyo]. <http://dspace.utb.edu.ec/handle/49000/14810>
- Marquina, María Eugenia; Ramirez, Yuri y Castro, Yulimar. (2018). Efecto de bacterias rizosféricas en la germinación y crecimiento del pimentón *Capsicum annuum* L. var. *Cacique Gigante*. 30 (1), 3-16. http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1316-33612018000100001&lng=es&nrm=iso
- Martínez, F. (2019). Pasto Climacuna (*Dichanthium annulatum*-Forssk-Stapf). En: <https://infopastosyforrajes.com>
- Nezarat S, Gholami A. (2009). Screening plant growth promoting rhizobacteria for improving seed germination, seedling growth and yield of maize. 12(1), 26-32. doi: 10.3923/pjbs.2009.26.32
- Noumavo, P. A., Agbodjato, N. A., Baba-Moussa, F., Adjanohoun, A. y Baba-Moussa, L. (2016). Plant growth promoting rhizobacteria: Beneficial effects for healthy and sustainable agriculture. *African Journal of Biotechnology*, 15(27), 1452- 1463. doi:10.5897/ajb2016.15397
- Oliveira, J.A., Palencia, P., Afif, E., Delgado, I., Temprano, F. (2017). Efectos de la inoculación con *Rhizobium* y de la fecha de siembra en la producción y valor nutritivo de la esparceta en Asturias

(España). *Información Técnica Económica Agraria*, 113(2), 117-12.
<http://hdl.handle.net/10532/3730>

- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, (2022). Centro de conocimientos sobre agroecología. <https://www.fao.org/agroecology/overview/es/>
- Park D., Oh S., Ku KH., Mok C., Kim, SH. y Imm JY. (2005). Characteristics of yogurt-like products prepared from the combination of skim milk and soymilk containing saccharified-rice solution. *International journal of food sciences and nutrition*, 56 (1), 23-34. <https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/09637480500082181>
- Pérez-Flórez, L. (2017). Caracterización de bacterias nativas con potencial biofertilizante aisladas de suelos del departamento de Sucre. [Trabajo académico, Universidad de Córdoba]
- Quintero, E., Calero, A., Pérez, Y., y Enríquez, L. (2018). Efecto de diferentes bioestimulantes en el rendimiento del frijol común. *Centro Agrícola*, 45(3), 73-80.
- Rojas, N. L. (2020). Evaluación de dos residuos pecuarios en la elaboración de un biofertilizante empleando fermentación anaerobia [Tesis de Maestría, Universidad Pontificia Bolivariana]. <https://repository.upb.edu.co/handle/20.500.11912/6348>
- Romero-Perdomo, F., Abril, J., Camelo, M., Moreno-Galván, A., Pastrana, I., Rojas-Tapias, D., Bonilla, R. (2017). *Azotobacter chroococcum* as a potentially useful bacterial biofertilizer for cotton (*Gossypium hirsutum*): Effect in reducing N fertilization, *Revista Argentina de Microbiología*, 49 (4), 377-383. <https://doi.org/10.1016/j.ram.2017.04.006>
- Soto, J, Julio, A, Crespo A, Borbor, G y Borbor, V. (2016). Efecto de la inoculación de bacterias nativas en dos híbridos de maíz (*zea mays* L.), provincia de Santa Elena. *Revista Científica y Tecnológica UPSE*, 3(2), 50, DOI:10.26423/rctu. v3i2.154
- Vega, P, Canchignia, H, González, M, y Seeger, M. (2016). Biosíntesis de ácido indol-3-acético y promoción del crecimiento de plantas por bacterias. *Cultivos Tropicales*, 37(1), 33-39. http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S025859362016000500005&lng=es&tln=es



Esta obra está bajo una licencia internacional
Creative Commons Atribución-NoComercial-SinDerivadas