

**Evaluación de la capacidad promotora del crecimiento vegetal con bacterias simbióticas y asimbióticas eficientes en la fijación biológica del nitrógeno, en el cultivo de moringa (*Moringa oleifera*), en invernadero**

**Evaluation of plant growth-promoting capacity with symbiotic and symbiotic bacteria efficient in the biological fixation of nitrogen, in the cultivation of moringa (*Moringa oleifera*), in greenhouse**

Atilio Cadenillas Martínez<sup>1\*</sup>, Marcial Gallardo Aguilar<sup>1</sup>, Genaro D. Carrión Ballena<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Laboratorio de Rhizobiología, Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Nacional de Cajamarca, Av. Atahualpa 1070, C.P. 06003, Cajamarca, Perú

<sup>2</sup>Director del Centro de Investigación y Promoción de Energías No Convencionales (CIPENC), Universidad Nacional de Cajamarca, Av. Atahualpa 1070, CP. 06003, Cajamarca, Perú

\* Autor de correspondencia: [acadenillas@unc.edu.pe](mailto:acadenillas@unc.edu.pe)

**Resumen**

El presente trabajo de investigación se realizó con el objetivo de evaluar la capacidad promotora de crecimiento de las bacterias simbióticas y asimbióticas, utilizando una cepa de *Azotobacter* sp, una cepa de *Rhizobium leguminosarum* y un biomedio de procedencia mexicana (consocios de microorganismos). Con estas cepas se prepararon inoculantes y se procedió a inocular las semillas de moringa, individualmente en cada cepa, en combinación con dos cepas y utilizando los tres productos de acuerdo a las evaluaciones que se planteó. Se formaron seis grupos de tratamientos y un grupo control. Los resultados indicaron altos porcentajes de germinación en el T4 (semilla de moringa + *Rhizobium leguminosarum*) y T7 (semilla de moringa + *Azotobacter* + *Rhizobium leguminosarum* y biomedio), alcanzando el mayor porcentaje de germinación con el 85.7%, superando en 18% al grupo control. La biomasa de la parte aérea y de raíz, así como la altura de planta, los tratamientos que fueron inoculados con *Azotobacter* sp, *Rhizobium leguminosarum* y biomedio individualmente o combinados mostraron resultados positivos, no habiendo diferencia significativa entre sí, pero siendo superiores al control (semilla de moringa sin inocular). Se concluye que la capacidad promotora del crecimiento vegetal con bacterias simbióticas y asimbióticas en la moringa es eficiente reflejándose en el rendimiento de biomasa el cual se incrementó en 41% en la parte aérea y 65% en la raíz respecto al control.

**Palabras clave:** *Azotobacter* sp, bacterias asimbióticas, bacterias simbióticas, biomasa, capacidad promotora de crecimiento, *Moringa oleifera*, *Rhizobium leguminosarum*

## Abstract

The present research work was conducted with the aim of evaluating the growth-promoting capacity of symbiotic and non-symbiotic bacteria, using a strain of *Azotobacter* sp, a strain of *Rhizobium leguminosarum*, and a biomedium of Mexican origin (a consortium of microorganisms). Inoculants were prepared with these strains, and moringa seeds were individually inoculated with each strain, in combination with two strains, and using all three products according to the planned evaluations. Six treatment groups and one control group were formed. The results indicated high germination percentages in T4 (moringa seed + *Rhizobium leguminosarum*) and T7 (moringa seed + *Azotobacter* + *Rhizobium leguminosarum* and biomedium), with the highest germination percentage reaching 85.7%, surpassing the control group by 18%. The biomass of the aboveground and root parts, as well as plant height, in treatments that were inoculated with *Azotobacter* sp, *Rhizobium leguminosarum*, and biomedium individually or in combination, showed positive results, with no significant differences among them but superior to the control (moringa seeds without inoculation). It is concluded that the growth-promoting capacity of symbiotic and non-symbiotic bacteria in moringa is efficient, reflected in the biomass yield, which increased by 41% in the aboveground part and 65% in the root compared to the control.

**Keywords:** *Azotobacter* sp, *asymbiotic* bacteria, symbiotic bacteria, biomass, growth-promoting capacity, *Moringa oleifera*, *Rhizobium leguminosarum*

## Introducción

La moringa es una planta que proviene de la India. Es miembro de la familia *Moringaceae* que crece en el trópico y es originaria del sur del Himalaya, noreste de India, Pakistán, Bangladeshy Afganistán (Makkar y Becker, 1995). Esta planta se presenta como una alternativa donde los subproductos están tomando una posición importante como una alternativa en el mundo de los suplementos nutricionales naturales que aporta vitaminas y aminoácidos que son esenciales en la nutrición humana. Esta especie tiene un futuro prometedor en la industria dietética y como alimento proteico para deportistas especialmente atendiendo a su carácter de alimento de origen vegetal (Madrigal y Avalos, 1998).

El nitrógeno es el factor limitante más importante para el desarrollo de las plantas que lo necesitan para formar proteínas, ácidos nucleicos, etc. A pesar de la abundancia de  $N_2$  en la atmósfera (más del 70%), no es aprovechable por las plantas que se ven obligadas a utilizar las formas combinadas que se encuentra en el suelo en cantidades insuficientes. Debido a esto, hoy en día la Fijación biológica del nitrógeno (FBN) cobra mayor valor en la agricultura sostenible por suministrar el nitrógeno requerido por las plantas.

La fijación biológica del nitrógeno es realizada principalmente por bacterias. Existen dos tipos de bacterias fijadoras de nitrógeno, las de vida libre y las simbióticas. Las de vida libre como *Azotobacter* y *Pseudomonas* spp habitan en la rizósfera en los suelos, consumiendo los exudados de azúcares que la planta libera por sus

raíces, utilizando esta fuente de energía como combustible para realizar la conversión de nitrógeno gaseoso en nitrógeno disponible. Las bacterias simbióticas como el *Rhizobium* sp viven en los espacios intracelulares del sistema vascular de la planta y toman el nitrógeno gaseoso no disponible disuelto en el flujo de la savia, convirtiéndolo en formas disponibles para la planta (aminas y nitrógeno amoniacal).

En este contexto, el presente trabajo de investigación se realizó con el objetivo de evaluar la capacidad promotora de crecimiento de las bacterias simbióticas y asimbióticas, utilizando una cepa de *Azotobacter* sp, una cepa de *Rhizobium leguminosarum* y un biomedio de procedencia mexicana (consocios de microorganismos).

## **Materiales y métodos**

El estudio se realizó en el Laboratorio e invernadero de Rhizobiología de la Escuela Académico Profesional de Agronomía, Facultad de Ciencias Agrarias, de la Universidad Nacional de Cajamarca. Este Laboratorio se ubica en 7° 29'45" latitud sur y 78°10'12" longitud oeste, a una altitud de 2670 msnm.

Mediante diseño completamente randomizado, se formaron siete grupos de tratamiento, incluido el grupo control con tres repeticiones cada uno. Así, se usaron semillas de moringa, una cepa de *Azotobacter* sp, una cepa de *Rhizobium leguminosarum* y biomedio. Se evaluaron la emergencia, altura de planta al momento de la floración, rendimiento de biomasa de la parte aérea, tamaño y peso de la raíz y biomasa de la raíz hasta el día 120.

Los promedios de los grupos se compararon con el estadístico de Duncan, considerando un nivel de significancia de  $p < 0.05$ .

## **Resultados y discusión**

Se observaron promedios altos porcentajes de los parámetros evaluados en algunos grupos de tratamiento en relación al grupo control (Tabla 1). El porcentaje de germinación, la biomasa de la parte aérea y de raíz, así como la altura de planta, los tratamientos que fueron inoculados con *Azotobacter* sp, *Rhizobium leguminosarum* y biomedio individualmente o combinados mostraron resultados positivos.

**Tabla 1.** Promedios de los grupos tratamiento y grupo control

Tratamientos	Germinación (%)	Altura de planta (cm)	Peso seco de la parte aérea (g)	Longitud de raíz (cm)	Peso seco de raíz (g)
T1: Semilla de moringa + <i>Azotobacter</i> sp	84.33 <sup>ab</sup>	83.44 <sup>ab</sup>	5.27 <sup>a</sup>	17.72 <sup>a</sup>	2.62 <sup>a</sup>
T2 Semilla de moringa + biomedio	82.67 <sup>ab</sup>	88.11 <sup>ab</sup>	5.16 <sup>a</sup>	16.42 <sup>a</sup>	2.92 <sup>a</sup>
T3: Control (Semilla de moringa sin inocular)	67.67 <sup>c</sup>	47.78 <sup>c</sup>	3.34 <sup>b</sup>	9.83 <sup>b</sup>	1.23 <sup>b</sup>
T4: Semilla de moringa + <i>Rhizobiumleguminosarum</i>	85.67 <sup>a</sup>	83.11 <sup>ab</sup>	5.49 <sup>a</sup>	16.78 <sup>a</sup>	3.57 <sup>a</sup>
T5: Semilla de moringa + <i>Azotobacter</i> sp + Biomedio	79.33 <sup>b</sup>	81.00 <sup>b</sup>	5.13 <sup>a</sup>	16.22 <sup>a</sup>	2.69 <sup>a</sup>
T6: Semilla de moringa + <i>Azotobacter</i>	84.33 <sup>ab</sup>	79.67 <sup>b</sup>	4.94 <sup>a</sup>	16.67 <sup>a</sup>	2.79 <sup>a</sup>
T7: Semilla de moringa <i>Azotobacter</i> sp +Biomedio + <i>Rhizobium leguminosarum</i>	85.67 <sup>a</sup>	90.67 <sup>a</sup>	5.72 <sup>a</sup>	17.05 <sup>a</sup>	3.11 <sup>a</sup>
Signif. (5%)	**	**	**	**	**
C.V. (%)	3.29	20.10	5.79	14.38	12.80
	7.65	12.69			

Promedios seguidos de la misma letra no presentan diferencias significativas ( $p > 0.05$ , prueba de Duncan)

\*\* Estadísticamente significativo.

Al igual que en la presente investigación, en otros estudios el uso de productos naturales y bio preparados bacterianos rizosféricos han incrementado la germinación de las semillas de moringa en un 98 % y la bacteria en un 96 % por encima del control. Además, los autores indican que este comportamiento está relacionado con la actividadauxina, ya que la cepa que estudiaron fue un *Brevibacillus borstelensis* la que posee la capacidad de liberar al medio las fitohormonas como etileno y ácido indol acético que permiten la germinación y la emisión de raíces (Nápoles-Vinent et al., 2017).

En otro estudio se encontró que la altura de planta está influenciada por la inoculación de la semilla con bacterias fijadoras de nitrógeno y el abonamiento (Choque, 2017). Por otro lado, se ha demostrado que el uso de *Azotobacter chroococum* y *Rhizobium etli*, como bacterias fijadoras de nitrógeno y como promotoras de crecimiento de plantas no leguminosas generan buenos resultados. Según estos estudios, los rizobios no solo colonizan la superficie de las raíces, sino también las células lisadas de la corteza de la raíz y entre el espacio de las células cilindro de las raíces (Sánchez, 2015).

Según los resultados obtenidos, existen efectos sinérgicos de la inoculación combinada con *Rhizobium*, *Azotobacter* y otras rizobacterias estimuladoras del crecimiento vegetal, ya que aumentan la fijación del nitrógeno, aumentan el contenido macro y micronutrientes en comparación con la inoculación individual de *Rhizobium* sp. Los grupos con microorganismos fijadores de nitrógeno de vida libre mostraron que la longitud de las raíces a los 120 días sigue manteniendo la misma tendencia de los pesos y tamaño de raíces y tallos. Resultados similares a los encontrados por Kloepper et al. (1991), quienes sostienen que el desarrollo de las raíces es mejorado por efecto

de la inoculación de las bacterias, y como resultado existe un mayor crecimiento de la parte aérea del cultivo ya que las bacterias promotoras de crecimiento se caracterizan por incrementar el desarrollo radical, lo que repercute directamente en el rendimiento del cultivo.

De modo similar, los tratamientos inoculados con *Azotobacter*, *Rhizobium* y el bioesmedio tuvieron mayor rendimiento en el crecimiento de la raíz y su rendimiento en biomasa tanto radicular como de la parte aérea. Lo mencionado concuerda con un estudio en el que Las plantas de *L. sativa* (lechuga) co inoculadas con *Azotobacter chroococcum* y *Bradyrhizobium yuanmingense* incrementaron significativamente ( $p < 0.05$ ) la longitud de tallo y raíz, así como el número de hojas y por consiguiente el rendimiento de la biomasa en comparación con los grupos controles (Cerna-Yamali et al., 2018).

## Conclusiones

Los grupos en los que se usaron inóculos mostraron mayores porcentajes de germinación de la moringa, así como mayores alturas, mejor rendimiento de biomasa de la parte aérea y de la raíz. Los resultados corroboran el valor que tienen las bacterias de los géneros *Azotobacter* y *Rhizobium*, así como las rizobacterias que tiene un efecto positivo en procesos biológicos fundamentales como la fijación del nitrógeno y otros nutrientes por lo que se puede utilizar como biofertilizantes que pueden disminuir el uso indiscriminado de la urea en los cultivos.

## Recomendaciones

Se recomienda mayores evaluaciones de las bacterias utilizadas en otros cultivos para comprobar su efectividad en el incremento del rendimiento. A su vez, identificar los microorganismos presentes en el biomedio y probar su efectividad individualmente en diferentes cultivos, así como asociados.

## Referencias

Cerna-Yamali, T.; Salinas-Aranda, E.; Soriano-Bernilla, B. 2018. "Sinergismo entre *Azotobacter chroococcum* y *Bradyrhizobium yuanmingense* en el crecimiento de *Lactuca sativa* "lechuga". Scientia Agropecuaria 9: 519-526.

Choque, R. 2017. Influencia de tres bacterias fijadoras de nitrógeno con y sin abonamiento en suelos degradados, en el cultivo de quinua (*Chenopodium quinoa Willd.*) en la Estación Experimental de Patacamaya [Tesis Ingeniero Agrónomo, Universidad Mayor de San Andrés]. 77 p.

Kloepper, J.W.; Zablotowicz, R.M.; Tipping, E.M.; R, L. 1991. Plant growth promotion mediated by bacterial rhizosphere colonizer. D.L. Keister y P.B. Cregan (eds.). The rhizosphere and plant rhizosphere and plant growth., growth., Kluwer. Dordrecht, The Kluwer. Dordrecht, The Netherlands. Netherlands., pp 315-326.

Madrigal, L. y Avalos, C. 1998. *Moringa oleifera*. Universidad Nacional de Nicaragua. 24 p.

Makkar, H.; Becker, K. 1995. Studies on utilization of *Moringa oleifera* leaves as animal feed Institute for Animal Production in the tropics and Subtropics. University of Hohehheim. Germany. 60 p.

Napoles-Vinent, S.; Medina-Mitchell, V.M.; Serra-Díaz, M.; Orberá-Ratón, T.; Reynaldo-Escobar, I.M.; Ferrera-Fabré, J.A. 2017. Impacto de los productos naturales Pectimorf® y biopreparado bacteriano rizosférico en la producción de *Moringa oleifera lam* en vivero. Ciencia en su PC 3: 53-65.

Sánchez, D.A. 2015. Efecto de la coinoculación de *Azotobacter chroococum* y *Rhizobium etli* sobre el crecimiento radicular y aéreo de *Capsicum annuum* L. var. *Longum* "paprika" a nivel de campo. Tesis. Universidad Nacional de Trujillo. Perú.