

Respuesta de variedades de soja a la aplicación de diferentes dosis de microorganismos eficaces

Soybean cultivar production under application of varying effective microorganism rates

Samuel López Salinas¹ , Modesto Osmar Da Silva Oviedo¹ , Wilfrido Daniel Lugo Pereira¹ 

Siembra 13 (1) (2026): e9189
DOI: [10.29166/siembra.v13i1.9189](https://doi.org/10.29166/siembra.v13i1.9189)

Recibido: 13/11/2025
Revisado: 16/02/2026
Aceptado: 18/02/2026



¹ Universidad Nacional de Concepción, Facultad de Ciencias Agrarias. Concepción, Paraguay.

Correspondencia: samuel.lopezpy@gmail.com

Resumen

El objetivo del trabajo fue evaluar la respuesta de variedades de soja con aplicación de diferentes dosis de microorganismos eficaces [EM₁]. El experimento se instaló en condiciones de campo; en la estancia la Margarita II, San Pedro, Departamento de San Pedro Paraguay, con una elevación de 200 m s.n.m., con las coordenadas UTM 23°40'38,5"S 56°54'24,7"W. El diseño experimental utilizado fue el de bloques completos al azar, compuesto por ocho tratamientos y tres repeticiones totalizando 24 unidades experimentales con arreglo factorial de 2 × 4, el factor A: variedades de soja y factor B: Dosis de EM₁. Los valores obtenidos fueron sometidos a análisis de varianza, y las medias, comparadas entre sí, por la prueba de Tukey al 1 y 5%, además, se realizó el análisis de regresión. Las variables evaluadas fueron altura de plantas a los 30, 60 y 90 DDS, número de vainas por plantas, número de granos por vainas y rendimiento en kg ha⁻¹. El análisis estadístico evidenció que la altura de planta presentó diferencias significativas para el factor B dosis de EM₁ a los 30 DDS y altamente significativas para ambos factores a los 60 y 90 DDS, con interacción significativa solo a los 90 DDS. Para el número de vainas por planta, ambos factores y su interacción (A × B) fueron altamente significativos, mientras que el número de granos por vaina no mostró diferencias estadísticas. En cuanto al rendimiento, se obtuvieron diferencias significativas para ambos factores, destacándose la dosis de 30 L ha⁻¹ de EM₁, que alcanzó el mayor rendimiento con 1.916,16 kg ha⁻¹, equivalente a un incremento del 29,68 %.

Palabras clave: microorganismos eficaces, número de vainas por plantas, rendimiento, soja.

Abstract

The objective of this study was to evaluate the response of soybean cultivars under the application of different doses of Effective Microorganisms [EM₁]. The field experiment was conducted at Estancia La Margarita II, San Pedro, Department of San Pedro, Paraguay, at an elevation of 200 m a.s.l., at coordinates 23°40'38.5"S, 56°54'24.7"W. A randomized complete block design was used, with eight treatments and three replications, totaling 24 experimental units in a 2 × 4 factorial arrangement: factor A = soybean cultivars and factor B = EM₁ dose. Data were subjected to analysis of variance, and means were compared using Tukey's test at the 1% and 5% significance levels; regression analysis was also performed. Measurements included plant height at 30, 60, and 90 days after sowing [DAS], number of pods per plant, number of grains per pod, and yield

SIEMBRA
<https://revistadigital.uce.edu.ec/index.php/SIEMBRA>
ISSN-e: 2477-8850
Periodicidad: semestral
vol. 13, núm 1, 2026
siembra.fag@uce.edu.ec



© Los Autores 2026

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

(kg ha⁻¹). The statistical analysis showed that plant height differed significantly for factor B (EM₁ dose) at 30 DAS and highly significantly for both factors at 60 and 90 DAS, with a significant interaction only at 90 DAS. For pods per plant, both factors and their interaction (A × B) were highly significant, whereas grains per pod showed no statistical differences. Regarding yield, significant differences were found for both factors; notably, the 30 L ha⁻¹ EM₁ dose achieved the highest yield (1,916.16 kg ha⁻¹), corresponding to a 29.68% increase.

Keywords: effective microorganisms, grain yield, number of pods per plant, soybean.

1. Introducción

La soja (*Glycine max* L.) es un cultivo de gran relevancia económica y estratégica a nivel mundial (Mishra et al., 2024). Sus granos son ampliamente utilizados en la agroindustria, principalmente para la extracción de aceite, la elaboración de alimentos con alto contenido proteico y, la formulación de raciones balanceadas para la alimentación animal (Zhi et al., 2020). Su valor nutricional se basa en una composición química equilibrada, caracterizada por altos niveles de proteínas, aceites, carbohidratos, isoflavonas y minerales esenciales, lo que la posiciona como una de las principales fuentes vegetales de proteína y energía a nivel global.

En Paraguay, la superficie sembrada con soja ha experimentado un crecimiento sostenido a lo largo del tiempo, pasando de aproximadamente un millón a más de tres millones de hectáreas. En la campaña 2022–2023, el rendimiento promedio estimado fue de 2.743 kg ha⁻¹, destacándose como las principales regiones productoras de soja del país los departamentos de Alto Paraná, Canindeyú, Itapúa, Caaguazú y San Pedro (Cámara Paraguaya de Exportadores y Comercializadores de Cereales y Oleaginosas (CAPECO), 2023; Instituto de Biotecnología Agrícola (INBIO), 2023).

Asimismo, el tipo y las características genéticas de las variedades utilizadas por los productores influyen de manera decisiva en los niveles de productividad, ya que cada variedad responde de forma diferente a las condiciones edáficas, al grado de competencia con malezas y a la incidencia de plagas y enfermedades (Du et al., 2024; Fattah et al., 2020).

Los microorganismos eficaces [EM₁] representan una innovación biotecnológica de alto valor orientada a la agricultura sostenible, basada en la interacción sinérgica de los consorcios microbianos funcionales capaces de restablecer el equilibrio biológico del suelo y optimizar la productividad de los cultivos. Este bio complejo consiste en una mezcla definida de alrededor de 80 cepas microbianas benéficas, predominantemente bacterias ácido-lácticas, bacterias fotosintéticas, levaduras, actinomicetos y hongos fermentadores, seleccionadas por sus propiedades regenerativas, por su capacidad de promover el crecimiento

vegetal y por su habilidad para modular procesos edáficos y fisiológicos que favorecen la sostenibilidad de los agroecosistemas (Safwat y Matta, 2021; Sivasubramanian Namasivayam, 2013).

Este consorcio microbiano multiespecie, formulado en un medio líquido estable, presenta la coexistencia sinérgica de cepas benéficas capaces de desarrollarse bajo condiciones aeróbicas y anaeróbicas facultativas, mostrando alta compatibilidad metabólica y funcional. Los microorganismos presentes en EM₁ modifican el microambiente de la rizosfera mediante procesos de fermentación y biotransformación, promoviendo la colonización de microorganismos benéficos, inhibiendo el desarrollo de fitopatógenos y estimulando la actividad enzimática y biogeoquímica del suelo, contribuyendo así a mejorar su fertilidad biológica y estabilidad ecológica (Safwat y Matta, 2021).

En este contexto, el objetivo general del presente estudio fue evaluar la respuesta de variedades de soja bajo la aplicación de diferentes dosis de EM₁.

2. Materiales y Métodos

El experimento de campo se estableció en la Estancia La Margarita II (San Pedro, Departamento de San Pedro, Paraguay) desde septiembre de 2024 hasta enero de 2025, a una altitud de 200 m s.n.m., en las coordenadas 23°40'38,5" S y 56°54'24,7" O. El clima local se caracteriza por una temperatura media de 24 °C, con máximas estivales que pueden alcanzar hasta 45 °C y mínimas invernales de hasta 4 °C, con ocasionales ocurrencias de heladas (Dirección de Meteorología e Hidrología [DMH], 2025). En la Figura 1 se presenta la temperatura media y la precipitación acumulada registradas durante el período experimental.

El tipo de suelo del área de estudio pertenece al gran grupo Alfisol y al subgrupo Mollic (Molinas et al., 2024). Se tomaron muestras compuestas de suelo del horizonte 0–20 cm del área experimental para su caracterización física y química. Los resultados fueron los siguientes: pH (agua) = 6,16; materia orgánica (dag dm⁻³) = 1,55; Al³⁺ (cmol(+) dm⁻³) = 0,00; P (mg dm⁻³) = 4,86; K (cmol(+) dm⁻³) = 0,50; Ca (cmol(+) dm⁻³) = 2,59; Mg (cmol(+) dm⁻³) = 0,60; S (mg dm⁻³)

= 7,91; Fe (mg dm⁻³) = 68,60; Cu (mg dm⁻³) = 1,91; Zn (mg dm⁻³) = 4,50; B (mg dm⁻³) = 0,28; Mn (mg dm⁻³) = 57,40, y textura franco arenosa, determinada por el método táctil.

Se utilizó un diseño de bloques completos al azar [DBCA], con ocho tratamientos y tres repeticiones, en un esquema de dos factores: Factor A = variedades de soja y Factor B = dosis de EM₋₁. Cada unidad experimental tuvo dimensiones de 10 × 10 m (100 m² por parcela). El área total del experimento fue de 3.196 m², considerando pasillos de 2 m entre bloques y 2 m entre unidades experimentales. Los tratamientos utilizados se presentan en la Tabla 1.

Se utilizaron semillas de dos variedades de soja, ambas con hábito de crecimiento indeterminado: Var 1 con un ciclo estimado de 116 a 120 días, y Var 2 con un ciclo estimado de 92 a 116 días. La siembra se realizó bajo un sistema de siembra directa manejado durante los últimos cinco años, con una densidad de 11 semillas por metro lineal (equivalente a 22 semillas

m⁻²) y 0,45 m entre hileras. Cada parcela contó con 22 hileras de 10 m de longitud. Las mediciones se realizaron en cinco hileras centrales, descartando 2,5 m en cada extremo de la unidad experimental y las cinco hileras externas, para evitar el efecto de borde. Las semillas fueron tratadas con los fungicidas fludioxonil + metalaxil y el insecticida fipronil, Y posteriormente inoculadas con *Bradyrhizobium japonicum*. Para el control de malezas se aplicó glifosato al 66 %, en dosis de 2 L ha⁻¹, dos semanas antes de la siembra.

La sembradora fue calibrada para aplicar 300 kg ha⁻¹ del fertilizante mineral 00-30-10; La configuración final del sistema de transmisión fue de 18 dientes en el piñón motriz y 22 dientes en el piñón conducido.

La activación de EM₋₁ se realizó utilizando la siguiente proporción: 5% EM₋₁, 5% melaza de caña de azúcar, 90% agua libre de cloro. La mezcla se colocó en un recipiente hermético y se dejó fermentar durante 10 días en un ambiente protegido de la luz solar directa. Después de este periodo, el EM₋₁ se convirtió

Tabla 1. Descripción de los tratamientos aplicados al cultivo de soja.

Table 1. Description of treatments applied to soybean.

Tratamiento	Factor A	Factor B	Unidad
	Cultivo	Dosis de EM ₋₁ *	
T1	Var 1	0	L ha ⁻¹
T2		10	L ha ⁻¹
T3		20	L ha ⁻¹ (*)
T4		30	L ha ⁻¹
T5	Var 2	0	L ha ⁻¹
T6		10	L ha ⁻¹
T7		20	L ha ⁻¹ (*)
T8		30	L ha ⁻¹

* Las dosis fueron establecidas de acuerdo con la recomendación del fabricante del producto.

* The doses were established according to the manufacturer's recommendation for the product.

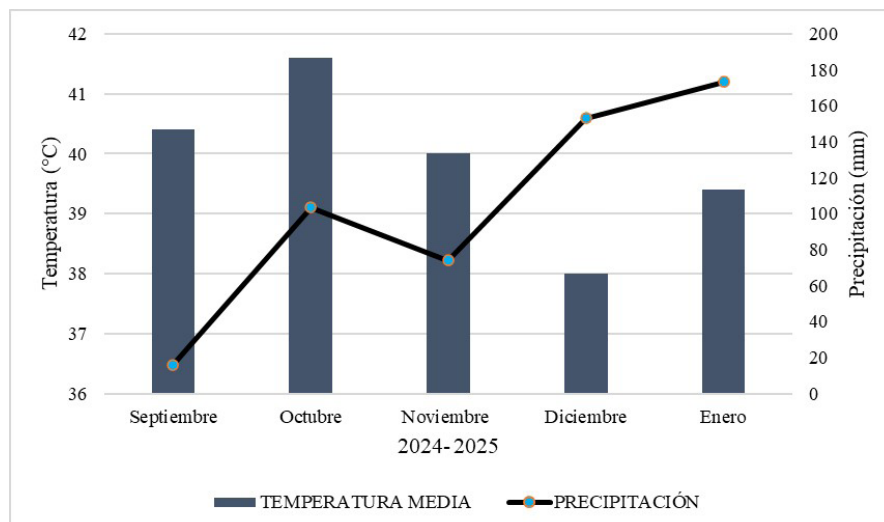


Figura 1. Temperatura media y precipitación desde septiembre de 2024 hasta enero de 2025

Figure 1. Mean temperature and precipitation from September 2024 to January 2025.

en EM activado [AEM] listo para su uso.

En términos prácticos, la proporción utilizada fue: 1 L de EM₁ + 1 L de melaza + 18 L de agua sin cloro = 20 L de AEM.

Para el tratamiento de 10 L ha⁻¹ se siguió el mismo procedimiento, ajustando proporcionalmente a partir de la recomendación del fabricante de 20 L ha⁻¹. Para el tratamiento de 30 L ha⁻¹, se añadieron 10 L adicionales para alcanzar la dosis deseada.

El AEM se aplicó tres veces al cultivo de soja, fraccionando la dosis total mediante un pulverizador manual de mochila, en los siguientes momentos: (i) durante la siembra, (ii) 20 días después de la emergencia, (iii) al inicio de la floración.

Un mes después de la siembra se realizó una aplicación de pulverizador para el control de insectos y malezas. Para insectos defoliadores y chupadores se utilizó la mezcla en un tanque compuesta por Acetamiprid (100 g ha⁻¹), benzoato de emamectina (24 g ha⁻¹), y lufenurón (75 g ha⁻¹). Simultáneamente, para el control de malezas en postemergencia se aplicó glifosato al 66% a razón de 2 L ha⁻¹, controlando tanto especies de hoja ancha como gramíneas. Dos meses después de la siembra se realizó una segunda aplicación de insecticida con la misma mezcla (acetamiprid 100g ha⁻¹ + emamectin benzoate 24 g ha⁻¹ + lufenurón 75g ha⁻¹) para mantener la protección del cultivo. Todas las aplicaciones se realizaron con un pulverizador de barra acoplado a tractor, utilizando 150 L ha⁻¹ de agua, bajo condiciones ambientales favorables para asegurar una adecuada cobertura del follaje.

La cosecha se realizó manualmente al final del ciclo del cultivo, considerando los efectos de borde. Después de la cosecha, las vainas fueron limpiadas y trilladas, y el rendimiento de grano por tratamiento se determinó mediante una balanza de precisión. La parcela útil estuvo compuesta por cinco hileras × 5 m, correspondientes al área central de cada unidad experimental, con un total de 11,25 m².

Las variables medidas fueron: a) Altura de planta: se midieron aleatoriamente plantas del área útil a los 30, 60 y 90 días después de la siembra (DDS) utilizando una cinta métrica, desde la base del tallo hasta el último brote. Los valores promedio por parcela se expresaron en cm. b) Número de vainas por planta: se contabilizó en una muestra de 10 plantas representativas por parcela. c) Número de granos por vaina: se determinó en 10 plantas representativas por parcela, expresándose los resultados como granos vaina⁻¹. d) Rendimiento de grano (kg ha⁻¹): se determinó cosechando el área de muestreo de cada unidad experimental y pesando el grano en una balanza digital.

Los datos de las variables evaluadas fueron analizados con el software AGROESTAT (Barbosa y

Maldonado, 2015). Se realizó un análisis de varianza [ANOVA] con un nivel de confianza del 95% ($\alpha = 0,05$), para evaluar los efectos de los tratamientos. Para las variables que presentaron diferencias significativas se aplicó la prueba de Tukey $p < 0,05$.

3. Resultados

3.1. Altura de planta

En la Tabla 2 se presentan los resultados de la prueba de Tukey para cultivares de soja y dosis de EM₁. A los 30 DDS no se observaron diferencias significativas para el factor A (cultivo), mientras que el factor B (dosis de EM₁) mostró diferencias altamente significativas. La mayor altura se observó con 20 L ha⁻¹ de EM₁ (21,50 cm).

A los 60 y 90 DDS, ambos factores presentaron efectos altamente significativos. Para el factor A, la variedad 1 alcanzó las mayores alturas (48,66 y 62,25 cm, respectivamente). Para el factor B, el mejor desempeño también correspondió a la dosis de 20 L ha⁻¹ de EM₁, (50,00 y 65,16 cm a los 60 y 90 DDS, respectivamente).

En la Figura 2 se presentan los resultados del desdoblamiento del factor B dentro del factor A, mostrando la altura de plantas de soja en función de la dosis de EM₁. Los datos se ajustaron a un modelo de regresión cuadrática, con coeficientes de determinación (R^2) de 0,99 para Var 1 y 0,89 para Var 2, lo que indica un ajuste de alta calidad. La ecuación cuadrática describe adecuadamente la relación entre la dosis de EM₁ (x, L ha⁻¹) y la altura de planta (y, cm), mostrando que la dosis de 20 L ha⁻¹ proporcionó los mejores resultados, 64,66 cm planta⁻¹ para Var 1 y 65,66 cm planta⁻¹ para Var 2, el control del tratamiento (0 L ha⁻¹) registró las alturas más bajas.

3.2. Número de vainas por planta y granos por vaina

En la Tabla 3 se presenta los resultados de la prueba de Tukey para el efecto de variedades de soja y dosis de EM₁ sobre el número de vainas por planta y granos por vaina. Para vainas por planta, ambos factores y su interacción (A × B) fueron altamente significativos. La Var 2 mostró el mayor promedio (50,08 vainas planta⁻¹), mientras que la dosis de 30 L ha⁻¹ de EM-1 produjo el mejor resultado (57,16 vainas planta⁻¹). Para granos por vaina, no se observaron diferencias significativas para ninguno de los factores, ni para su interacción. Desde el punto de vista agronómico, la media más alta entre variedades se observó en Var

1 (4,33 granos vaina⁻¹). Entre las dosis de EM₁, los tratamientos con aplicación presentaron valores similares ($\approx 4,50$ granos vaina⁻¹), mientras que el control de 0 L ha⁻¹ registró el valor más bajo (3,66 granos vaina⁻¹). Esto sugiere una influencia positiva del EM₁ sobre la eficiencia reproductiva del cultivo, aunque sin diferencias estadísticas significativas.

Para granos por vaina no se detectaron diferencias significativas para ninguno de los factores ni para su interacción. Agronómicamente, entre los cultivares el mayor promedio de granos por vaina se obtuvo en la variedad 1, alcanzando 4,33 granos vaina⁻¹. Con respecto a las dosis de EM₁, se observaron valores numéricamente similares entre los tratamientos de

aplicación, con un promedio de 4,50 granos vaina⁻¹, mientras que el valor más bajo correspondió al control de 0 L ha⁻¹, lo que sugiere una influencia positiva del EM₁ en la eficiencia reproductiva del cultivo, aunque sin diferencias estadísticamente significativas.

Los datos se ajustaron a una ecuación lineal positiva, con coeficientes de determinación (R²) de 0,99 para Var 1 y 0,86 para Var 2, lo que indica una fuerte asociación entre la dosis de EM₁ y el número de vainas por planta (Figura 3). Estos resultados sugieren que Var 2 presentó una respuesta más consistente y lineal al incremento de las dosis, mientras que Var 1, aunque también mostró una respuesta positiva, presentó una respuesta comparativamente menor.

Tabla 2. Comparación de medias de altura de planta bajo el efecto de diferentes variaciones de soja y de dosis de EM₁.
Table 2. Mean comparison of plant height under the effect of different soybean varieties and EM₁ doses.

Tratamiento	Descripción	Altura (cm)		
		30 DDS	60 DDS	90 DDS
Cultivo		(ns)	(**)	(**)
	Var 1	20,33	48,66 A	62,25 A
	Var 2	20,83	47,08 B	61,00 B
Dosis de EM ₁ (L ha ⁻¹)		(*)	(**)	(**)
	20	21,50 a	50,00 a	65,16 a
	30	20,33 ab	48,66 b	63,16 b
	10	20,66 ab	47,33 c	61,66 b
	0	19,83 b	45,50 d	56,50 c
Fc (A)		2,08ns	28,39**	10,94**
Fc (B)		4,08*	41,82**	96,10**
Fc (A × B)		2,24ns	0,29ns	7,44**
CV (%)		4,12	1,52	1,50
GM		20,53	47,87	61,62

Nota: ns = no significativo, * = significativo ($p < 0,05$), ** = altamente significativo ($p < 0,01$), CV = coeficiente de variación

Note: ns = not significant; * = significant (Tukey's test, $p < 0.05$); ** = highly significant (Tukey's test, $p < 0.01$), CV = coefficient of variation.

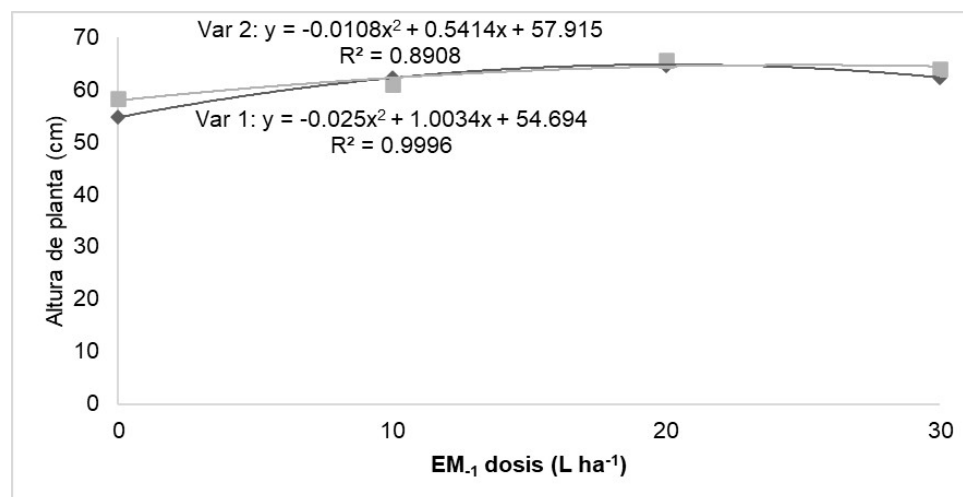


Figura 2. Análisis de regresión de la altura de planta en variedades de cultivos de soja afectadas por la aplicación de EM₁.

Figure 2. Regression analysis of plant height in soybean cultivars as affected by the application of EM₁.

3.3 Rendimiento

De acuerdo con la Tabla 4, ambos factores (variedad y dosis de EM₁) mostraron efectos significativos sobre el rendimiento, mientras que la interacción no fue significativa. En cuanto a las variedades, Var 2 produjo el mayor promedio de rendimiento (1.699,75 kg ha⁻¹). Respecto a las dosis, la aplicación de 30 L ha⁻¹ de EM₁ alcanzó el mayor rendimiento (1.916,16 kg ha⁻¹), lo que representa un incremento de 438,50 kg ha⁻¹ respecto al control del tratamiento, evidenciando un efecto positivo del EM₁. Además, no se detectaron diferencias estadísticas significativas entre los trata-

mientos de 0 y 10 L ha⁻¹; por tanto, la aplicación de 10 L ha⁻¹ representaría un costo innecesario para el productor.

El rendimiento de grano de soja muestra un patrón de respuesta lineal, consistente con lo esperado para esta variable bajo condiciones ambientales favorables (Figura 4).

La línea de tendencia positiva descrita por la ecuación $y = 15,867x + 1.442,4$ muestra que a medida que aumenta la dosis de EM₁, el rendimiento de soja se incrementa proporcionalmente. El coeficiente de determinación ($R^2 = 0,93$) indica que el 93% de la variación del rendimiento se explica por los niveles de

Tabla 3. Comparación de medias de vainas por planta y granos por vaina bajo los efectos de variaciones de soja y de la dosis de EM₁.
Table 3. Mean comparison for pods per plant and grains per pod under the effect of soybean varieties and EM₁ doses.

Tratamiento	Descripción	Vainas por planta	Granos por vaina
Cultivo		(**)	(ns)
	Var 1	50,08 A	4,33
	Var 2	55,75 B	4,25
Dosis de EM ₁ (L ha ⁻¹)		(**)	(ns)
	30	57,16 a	4,50
	20	55,16 b	4,50
	10	52,50 c	4,50
	0	46,83 d	3,66
Fc (A)		140.12**	0,12ns
Fc (B)		87.72**	3,07ns
Fc (A × B)		10.67**	0,45ns
CV (%)		2.21	13,57
GM		52.91	4,29

Nota: En cada columna, las letras mayúsculas (A, B) comparan las variedades; las letras minúsculas (a, b, c, d) comparan las dosis de EM₁ (Tukey). Códigos de significancia: ns = no significativo; * = p < 0,05; ** = p < 0,01.

Note: In each column, uppercase letters (A, B) compare varieties; lowercase letters (a, b, c, d) compare EM₁ doses (Tukey). Significance codes: ns = not significant; * = p < 0.05; ** = p < 0.01.

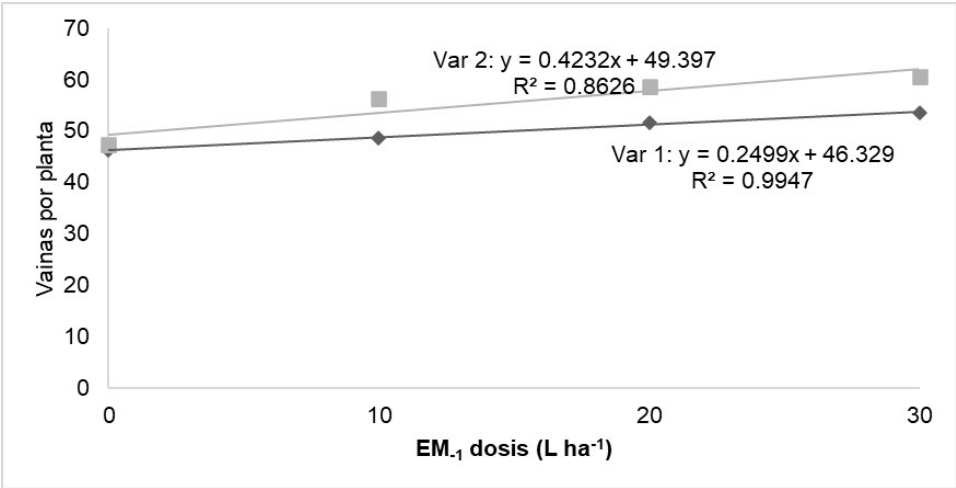


Figura 3. Análisis de regresión del número de vainas por planta en variedades de soja en función de la dosis de EM₁ (factor B dentro del factor A).
Figure 3. Regression analysis for pods per plant in soybean cultivars as a function of EM₁ dose (factor B within factor A).

EM₋₁ aplicados, mientras que el 7% restante se atribuye a factores externos no controlados en el modelo experimental (ej. variaciones ambientales o edáficas). El alto valor de R² refleja una fuerte relación entre la dosis de EM₋₁ y la productividad de la soja, confirmando la eficacia de EM₋₁ para mejorar el rendimiento del cultivo.

4. Discusión

Según Gibbert et al. (2018), en su estudio sobre características agronómicas de dos cultivares de soja, el cultivar Nidera 5909 alcanzó una altura promedio

de 91,83 cm. En el presente estudio la altura alcanzó aproximadamente 61 cm, lo que probablemente refleja condiciones de sequía que limitaron el crecimiento vegetativo en relación con su potencial, considerando que Battisti et al. (2018) y la Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuaria (EMBRAPA, 2020) indican que la soja requiere entre 500 y 650 mm de agua durante su ciclo de crecimiento para expresar adecuadamente su potencial productivo.

De acuerdo con Gawęda et al. (2018), la incorporación de EM en combinación con fertilización mineral favorece el crecimiento del tallo principal y la nodulación, atributos directamente asociados con una mayor altura de planta. De manera similar, Moretti

Tabla 4. Comparación de medias del rendimiento de grano de soja bajo el efecto de variedades y dosis de EM₋₁.
Table 4. Mean comparison of soybean grain yield under the effect of varieties and EM₋₁ doses.

Tratamiento	Descripción	Rendimiento (kg ha ⁻¹)
Cultivo		(*)
	Var 2	1.699,75 A
	Var 1	1.661,08 B
Dosis de EM ₋₁ (L ha ⁻¹)		(**)
	30	1.916,16 a
	20	1.799,50 b
	0	1.477,66 c
	10	1.528,33 c
Fc (A)		7,22*
Fc (B)		215,70**
Fc (A × B)		0,70ns
CV (%)		2,09
GM		1.680,41

Nota: ns = no significativo; * = $p < 0,05$; ** = $p < 0,01$. En cada columna, letras mayúsculas (A, B) comparan variedades y letras minúsculas comparan dosis de EM₋₁ (prueba de Tukey).

Note: ns = not significant; * = $p < 0.05$; ** = $p < 0.01$. Within each column, uppercase letters (A, B) compare varieties, and lowercase letters (a, b, c) compare EM₋₁ doses (Tukey).

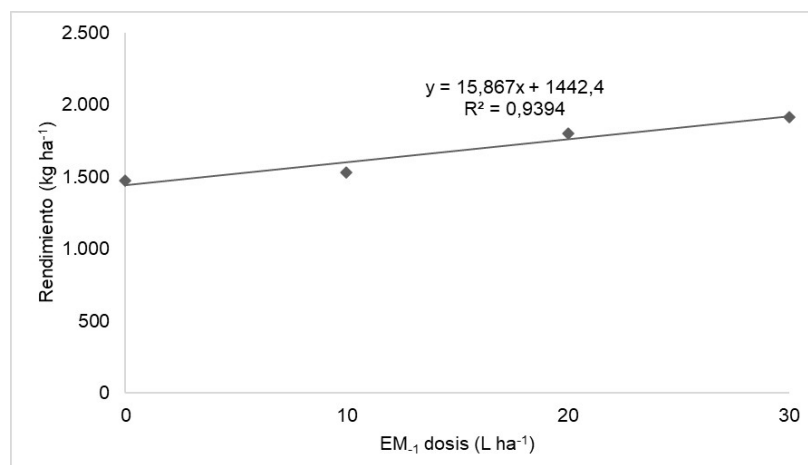


Figura 4. Análisis de regresión del rendimiento de grano de soja en función de la aplicación de EM₋₁.

Figure 4. Regression analysis of soybean grain yield as affected by the application of EM₋₁.

et al. (2021) reportaron que la interacción simbiótica entre microorganismos benéficos y la rizosfera de la soja puede aliviar el estrés oxidativo y sostener el crecimiento vegetativo bajo condiciones de sequía, reforzando el papel de los EM en la promoción de la vitalidad del cultivo y la eficiencia fisiológica.

Los resultados obtenidos demuestran el efecto positivo de EM₁ sobre el crecimiento vegetativo de la soja, atribuible al mejoramiento de la microbiota de la rizosfera y a una mayor disponibilidad de nutrientes. Estos hallazgos coinciden con los reportados por Cvijanović et al. (2024), quienes observaron que la aplicación de 20 L ha⁻¹ de EM, complementada con 5 L ha⁻¹ de aplicación foliar, incrementó significativamente la biogenicidad del suelo, la altura de las plantas y el rendimiento de grano, logrando mejoras de hasta 13,29% respecto al control. De forma similar, en el presente estudio se registró un incremento de 15,32%, confirmando la eficacia de los EM como estrategia biotecnológica para mejorar el desempeño fisiológico y la eficiencia productiva de la soja en condiciones experimentales.

Asimismo, estos resultados coinciden con Favoretto et al. (2025), quienes señalan que las diferencias genéticas entre cultivares de soja determinan el número de estructuras reproductivas, la distribución de fotoasimilados y la capacidad de llenado de grano, influyendo directamente en el rendimiento. De igual manera, Costa-Neto et al. (2023) y Vitale et al. (2024) destacan que las interacciones genotipo × ambiente (G × E) desempeñan un papel decisivo en la expresión de estos caracteres, explicando la variabilidad observada entre genotipos bajo diferentes condiciones edafoclimáticas.

Por otra parte, Kumar et al. (2017) y Gupta et al. (2021) reportaron que la inoculación con variedad microbianos basados en *Rhizobium*, *Azospirillum* y *Bacillus* spp., mejora la fertilidad biológica del sue-

lo y contribuye a incrementar el número de vainas y granos por planta en soja y otras leguminosas. En la misma línea, Santos et al. (2019) observaron que los bioestimulantes microbianos pueden mejorar el desarrollo reproductivo del cultivo, especialmente bajo condiciones de estrés moderado, aunque estos efectos no siempre resultan estadísticamente significativos.

Lavayen Toala (2024) encontró que los EM aumentaron el rendimiento de soja, alcanzando 3.450 kg ha⁻¹ con 60 L ha⁻¹, (aproximadamente 9% superior al control). De forma comparable, en el presente estudio se observó un incremento del 29,68%, aunque los rendimientos absolutos probablemente fueron limitados por condiciones de sequía, lo que restringió el potencial productivo total a pesar del efecto positivo del EM. De manera similar, Cvijanović et al. (2024) reportaron incrementos significativos en el rendimiento (≈14–16 %) cuando los EM se combinaron con fertilización mineral [NPK]. En concordancia con estos resultados, la aplicación de 30 L ha⁻¹ de EM₁ en este estudio produjo un incremento relativo aún mayor, destacando la eficacia bioestimulante del EM₁ incluso bajo condiciones de disponibilidad hídrica limitada.

5. Conclusiones

La aplicación de EM₁ tuvo un efecto positivo y significativo en el crecimiento y rendimiento de la soja, con mejoras en: altura de planta, número de vainas por planta, rendimiento de grano, especialmente con la dosis de 30 L ha⁻¹. Estos resultados confirman que EM₁ constituye una estrategia biotecnológica sostenible capaz de aumentar la productividad del cultivo, incluso bajo condiciones de estrés hídrico, contribuyendo al desarrollo de una agricultura más eficiente y ambientalmente responsable.

Contribuciones de los autores

- Samuel López Salinas: conceptualización, análisis formal, obtención de financiamiento, investigación, metodología, administración del proyecto, supervisión, validación, visualización, redacción – revisión y edición.
- Modesto Osmar Da Silva Oviedo: conceptualización, análisis formal, obtención de financiamiento, investigación, metodología, administración del proyecto, supervisión, validación, visualización, redacción – revisión y edición.
- Wilfrido Daniel Lugo Pereira: conceptualización, análisis formal, obtención de financiamiento, investigación, metodología, administración del proyecto, supervisión, validación, visualización y redacción – revisión y edición.

Disponibilidad de datos

Los datos estarán disponibles previa solicitud.

Declaración de Uso de Inteligencia Artificial

Los autores declaran que no se ha utilizado Inteligencia Artificial en la elaboración del manuscrito.

Implicaciones éticas

Los autores declaran que no existen implicaciones éticas.

Conflicto de Interés

Los autores declaran que no existen conflictos de interés financieros o no financieros que podrían haber influido en el trabajo presentado en este artículo.

Referencias

- Barbosa, J., y Maldonado W. (2015). *AgroEstat – Online statistical analyses of experimental designs*. <https://www.etp.com.py/libro/Experimenta%C3%A7ao-Agronomica--AgroEstat-104437>
- Battisti, R., Sentelhas, P. C., Pascoalino, J. A. L., Sako, H., de Sá Dantas, J. P., y Moraes, M. F. (2018). Soybean yield gap in the areas of yield contest in Brazil. *International Journal of Plant Production*, 12(3), 159–168. <https://doi.org/10.1007/s42106-018-0016-0>
- Cámara Paraguaya de Exportadores y Comercializadores de Cereales y Oleaginosas [CAPECO]. (2023). *Área de siembra, producción y rendimiento*. CAPECO. <https://capeco.org.py/area-de-siembra-produccion-y-rendimiento/>
- Costa-Neto, G., Crespo-Herrera, L., Fradgley, N., Gardner, K., Bentley, A. R., Dreisigacker, S., Fritsche-Neto, R., Montesinos-López, O. A., y Crossa, J. (2023). Envirome-wide associations enhance multi-year genome-based prediction of historical wheat breeding data. *G3*, 13(2). <https://doi.org/10.1093/g3journal/jkac313>
- Cvijanović, G., Đukić, V., Bajagić, M., Mamlić, Z., Šević, B., Cvijanović, V., y Ivetić, A. (2024a). Influence of Effective Microorganisms and mineral fertilizers on soil biogenicity parameters and soybean yield. *International Journal of Innovative Approaches in Agricultural Research*, 8(4), 324–335. <https://doi.org/10.29329/ijiaar.2024.1109.5>
- Dirección de Meteorología e Hidrología [DMH]. (2025). *Datos Actuales de la Red de Estaciones Meteorológicas Automáticas de la DMH/DINAC*. Estaciones Meteorológicas Automáticas. <https://www.meteorologia.gov.py/emas/>
- Du, K., Huang, J., Wang, W., Zeng, Y., Li, X., y Zhao, F. (2024). Monitoring low-temperature stress in winter wheat using TROPOMI solar-induced chlorophyll fluorescence. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 62, 1–11. <https://doi.org/10.1109/TGRS.2024.335114>
- Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária [EMBRAPA] (2020). *Tecnologias de produção de soja – Região Central do Brasil 2020* (Sistemas de Produção, No. 16). Embrapa Soja. <https://www.embrapa.br/soja>
- Fattah, A., Sjam, S., Daud, I. D., Dewi, V. S., e Ilyas, A. (2020). Impact of armyworm *Spodoptera litura* (Lepidoptera: Noctuidae) attack: Damage and loss of yield of three soybean varieties in South Sulawesi, Indonesia. *Journal of Crop Protection*, 9, 483–495.
- Favoretto, V. R., Murithi, H. M., Leles, E. P., da Santos, F. M., Chigeza, G., Goldsmith, P., Coyne, D., y Clough, S. J. (2025). Soybean rust-resistant and tolerant varieties identified through the Pan-African Trial Network. *Pest Management Science*, 81(6), 2769–2775. <https://doi.org/10.1002/ps.8639>
- Gawęda, D., Haliniarz, M., Woźniak, A., y Harasim, E. (2018). Yield, seed quality and nodule formation of soybean under application of effective microorganisms. *Acta Agrophysica*, 25(1), 35–43. <https://doi.org/10.31545/aagr0003>
- Gibbert, K., Melgarejo, M., Amarilla, D., Bogado, M., Bogado, B., y Jandrey, E. (2018). Características agronómicas de dos cultivares de soja sobre diferentes densidades de siembra. *Cultivando Saber*, 9(3), 61–68. <https://cultivandosaber.fag.edu.br/index.php/cultivando/article/view/875>
- Gupta, K., Dubey, N. K., Singh, S. P., Kheni, J. K., Gupta, S., y Varshney, A. (2021). Plant Growth-Promoting Rhizobacteria (PGPR): Current and future prospects for crop improvement. In A. N. Yadav, J. Singh, C. Singh, & N. Yadav (eds.), *Current Trends in Microbial Biotechnology for Sustainable Agriculture* (pp. 203–226). Springer Singapore. https://doi.org/10.1007/978-981-15-6949-4_9
- Instituto de Biotecnología Agrícola [INBIO]. (2023). *Estimación de superficies, soja-arroz-maíz, campaña agrícola 2022–2023 con teledetección satelital y sistemas de información geográfica (SIG)*. INBIO. https://inbio.org.py/wp-content/uploads/2024/01/10-Zafra-Estimacion-superficie-zafra-2022-2023_.pdf
- Kumar, A., Maurya, B. R., Raghuwanshi, R., Meena, V. S., y Tofazzal Islam, M. (2017). Co-inoculation with enterobacter and rhizobacteria on yield and nutrient uptake by wheat (*Triticum aestivum* L.) in the alluvial soil under indo-gangetic plain of India. *Journal of Plant Growth Regulation*, 36(3), 608–617. <https://doi.org/10.1007/s00344-016-9663-5>
- Lavayen Toala, G. J. (2024). Estrategias biotecnológicas para el uso de microorganismos en cultivos sustentables. *Sapiens Sciences International Journal*, 2(1), e-21008. https://sapiensdiscoveries.com/index.php/sapiens_sciences/article/view/68
- Mishra, R., Tripathi, M. K., Sikarwar, R. S., Singh, Y., y Tripathi, N. (2024). Soybean (*Glycine max* L. Merrill): a multi-purpose legume shaping our world. *Plant Cell Biotechnology and Molecular Biology*, 25(3–4), 17–37. <https://doi.org/10.56557/pcbmb/2024/v25i3-48643>
- Molinas, A. S. (2024). *Tipos de suelos en la región oriental del Paraguay según el sistema Soil Taxonomy - "Racionalización del uso de la tierra"* MAG/BM 1995. <https://ing-alfredo-molinas.blogspot.com/2025/07/tipos-de-suelos-en-la-region-oriental.html>
- Moretti, L. G., Crusciol, C. A. C., Bossolani, J. W., Calonego, J. C., Moreira, A., Garcia, A., Momesso, L., Kuramae, E. E., y Hungria, M. (2021). Beneficial microbial species and metabolites alleviate soybean oxidative damage and increase grain yield during short dry spells. *European Journal of Agronomy*, 127, 126293. <https://doi.org/10.1016/j.eja.2021.126293>
- Safwat, S. M., y Matta, M. E. (2021). Environmental applications of Effective Microorganisms: a review of current knowledge and recommendations for future directions. *Journal of Engineering and Applied Science*, 68(1), 48. <https://doi.org/10.1186/s44147-021-00049-1>
- Santos, M. S., Nogueira, M. A., y Hungria, M. (2019). Microbial inoculants: reviewing the past, discussing the present and previewing an outstanding future for the use of beneficial bacteria in agriculture. *AMB Express*, 9(1), 205. <https://doi.org/10.1186/s13568-019-0932-0>
- Sivasubramanian, S., y Namasivayam, S. K. R. (2013). Evaluation of phenol degradation by effective microorganism (EM) technology with EM-1. *African Journal of Microbiology Research*, 7(32), 4117–4122. <https://doi.org/10.5897/AJMR12.1077>
- Vitale, P., Crossa, J., Vaccino, P., y de Vita, P. (2024). Defining the target population of environments for wheat (*Triticum aestivum* L.) breeding in Italy based on historical data. *Plant Breeding*, 143(4), 518–533. <https://doi.org/10.1111/>

pbr.13192

Zhi, Y., Sun, T., Zhou, Q., y Leng, X. (2020). Screening of safe soybean cultivars for cadmium contaminated fields. *Scientific Reports*, 10, 12965. <https://doi.org/10.1038/s41598-020-69803-4>