

DISTRIBUCIÓN
GRATUITA

VOL. 3 - NUM. 1
2025



Revista Latinoamericana de Ciencias Agrarias

ISSN (en línea):
2961-2764



Soluciones agronómicas para los desafíos de la agricultura moderna



PERUVIAN SCIENCE
CENTRO EDITORIAL

OJS: revistas.peruvianscience.org/index.php/rlca
Mail: rlca@revistas.peruvianscience.org

Soluciones agronómicas para los desafíos de la agricultura moderna

Vol. 3 N° 1 – Junio 2025

La Revista Latinoamericana de Ciencias Agrarias es una revista de publicación semestral de acceso abierto, editada por Peruvian Science. Dedicada a la difusión científica de artículos originales, de revisión, inéditas, de autores de universidades, instituciones de investigación, organismos oficiales. El criterio principal para la publicación es que el manuscrito debe contener ideas originales y significativas que conduzcan a una mejor comprensión del campo agrícola. Los artículos centrados en los diferentes cultivos deberán ser de interés para una amplia audiencia y los métodos empleados dan como resultado una mejora sustancial sobre las técnicas y enfoques establecidos existentes. El idioma puede ser español, inglés y/o quechua. La revista busca a partir de las publicaciones promover el desarrollo de la investigación en el sector agrícola.

Edición: Junio – 2025

ISSN (en línea): 2961-2764

Hecho el depósito legal en la Biblioteca Nacional del Perú

N° 2023-07404

©CENTRO EDITORIAL PERUVIAN SCIENCE S.A.C.

Dirección: Mza. E Lt. 7 Urb. Santa Fe de Naranjal

San Martín de Porres

Lima, Perú

peruvianscience.org

revistas.peruvianscience.org

Editor en Jefe

Ing. Ana Lizeth Luna Abarca

Comité Editorial

Dr. Armando Vasquez Matute

Dr. Andrés Ultreras Rodríguez

Dr. José Abelardo Castillo Navarro

Dr. Liberato Cervantes Martínez

Dr. Yhosvanni Pérez Rodríguez

Dr. Yoandris Socarrás Armenteros

Mg. Jhon Dany Castañeda Requejo

Mg. Wilmer Aquino Minchan

Comité Científico

PhD. Fred William Chu Koo

Dr. Guillermo Gomer Cotrina Cabello

Dr. Henry López López

Dr. José Gregorio Joya Dávila

Dr. Juan Gabriel Brigido Morales

Dr. Mario Ben-Hur Chuc Armendáriz

Dra. Claudia Yared Michel López

Dra. Fabiola Garrido

Mg. Francisco Andrés Villalobo
Brunello

Mc. Gilbert Fresh López López

Mg. Hector Cantaro Segura

Mg. María Yesenia Ruiz Aguilar

Mg. Neiba Yadira Echeagaray Solorza

Ing. David Saravia Navarro

Ing. Kennedy Zela Uscamayta

Blga. Ana Belén Espinoza Jara

Coordinación Editorial

Camila Valentina Marzal Rios

Equipo de apoyo Editorial

Ing. Ebed Guerra Borda

Natalia Stefani Aranda Tarazona

Ing. Christian Raúl Linares Coronado

Jael Angely Chaupis Salgado

Lic. Benjamin Gregorio Alejos Cuchura

Lic. Oliver Rosman Quispe Huillca

Bach. Celedonio Roberth Llanos Llanos

Índice

Carta Editorial	4
Aplicación de diferentes dosis de molibdeno sobre la producción de la soja (<i>Glycine max</i> L.)	6
Lourdes Romina Encina Espinola, Diana Lisset Doldán Franco, Balbino Rodas & Ariel Aguilera Portillo	
Respuesta del cultivo de maíz (<i>Zea mays</i>) a diferentes estrategias de aplicación de biofertilizantes	18
Julio César Karajallo Figueredo, Laura Vicenta González Cantero, Daisy Leticia Ramírez Monzón, Patricia Rojas Nerhot & Evelyn Paola Paster	
Componente de siembra con sistema electrónico para dosificación precisa de semillas de tamaño medio.....	31
Raúl Vidal García Hernández, Noé Velázquez López, Pedro Cruz Meza, Gilberto de Jesús López Canteñs, Guillermo García Sánchez & Alan Hernández Mercado	
Efecto de un biopreparado con microorganismos eficientes en el cultivo de <i>Vigna unguiculata</i> L.....	41
Alejandro Raúl González Cruz, Cynthia Cardoso Águila & Enrique Casanovas Cosío	



REVISTA LATINOAMERICANA DE CIENCIAS AGRARIAS

SOLUCIONES AGRONÓMICAS PARA LOS DESAFÍOS DE LA AGRICULTURA MODERNA

Carta Editorial

Estimados autores y lectores de nuestra revista:

Es un honor darle la bienvenida a un nuevo número de la Revista Latinoamericana de Ciencias Agrarias, un espacio reservado para la divulgación del conocimiento en el ámbito de las ciencias agrícolas.

Hablar de agronomía en la época actual nos lleva a pensar en los grandes retos a los que se enfrenta la agricultura moderna, pues existe una población en constante crecimiento y es necesario garantizar la seguridad alimentaria al mismo tiempo que nos enfrentamos a cambios en los patrones del clima y debemos buscar alternativas que nos permitan adaptarnos para producir más y al mismo tiempo enfocarnos en reducir el impacto ambiental generado por nuestras actividades. Para superar estos desafíos es necesario de un enfoque interdisciplinario en el que se integren ciencia, tecnología y políticas públicas, lo cual sin duda podría reducir la brecha entre la investigación científica y su aplicación.

Este nuevo número es resultado del esfuerzo de académicos e investigadores comprometidos con la generación de conocimientos útiles para el campo y su desarrollo sostenible; cada artículo publicando refleja la diversidad temática y la riqueza del quehacer científico, abarcando temas como la nutrición vegetal y la búsqueda de

alternativas biológicas que favorezcan el desarrollo de cultivos, calidad y conservación de suelos para la sostenibilidad ambiental, así como innovación tecnológica para mejorar los procesos de automatización y precisión en la siembra de semillas.

Extendemos nuestra gratitud a todos los autores que decidieron elegir esta revista para compartir sus hallazgos con nuestra comunidad lectora y confiamos en que su contribución enriquecerá el debate, inspirando diálogos interdisciplinarios y reforzando así el propósito de la revista de ser un espacio de difusión accesible donde se impulsa la mejora continua del campo agrícola.

Esperamos que esta edición resulte interesante para nuestros lectores, de tal manera que pueda convertirse en un puente entre la investigación científica y la práctica agrícola cotidiana. Asimismo, invitamos a la comunidad científica, técnica y académica a seguir participando, difundiendo y consultando los trabajos publicados periódicamente para que juntos podamos seguir impulsando el conocimiento en beneficio del sector agrícola.

Dr. Juan Gabriel Brigido Morales

 0000-0003-3442-9510

Instituto de Ciencias Agrícolas

Universidad Autónoma de Baja California

juan.brigido@uabc.edu.mx



Aplicación de diferentes dosis de molibdeno sobre la producción de la soja (*Glycine max* L.)

Application of different doses of molybdenum on soybean production (*Glycine max* L.)

Lourdes Romina Encina Espinola

Facultad de Ciencias Agropecuarias

Universidad Privada del Este, Paraguay

0009-0005-6429-5092 | encinalourdes1@gmail.com

Diana Lisset Doldán Franco

Facultad de Ciencias Agropecuarias

Universidad Privada del Este, Paraguay

0009-0009-9516-967X | dianadoldanfranco99@gmail.com

Balbino Rodas

Facultad de Ciencias Agropecuarias

Universidad Privada del Este, Paraguay

0009-0004-2400-4855 | balbino.rodas1616@gmail.com

Ariel Aguilera Portillo

Facultad de Ciencias Agropecuarias

Universidad Privada del Este, Paraguay

0009-0004-2947-6878 | arielaguileraportillo2017@gmail.com

Resumen

El cultivo de la soja es uno de los rubros, conjuntamente con el maíz, trigo entre otros más importante en la agricultura paraguaya, siendo el principal en la generación de divisas del país y de mayor peso para la economía nacional. En los últimos años la fertilización foliar constituye una de las técnicas muy utilizadas debido a su efectividad y eficiencia, para suplir las necesidades de micronutrientes. La presente investigación se realizó con el objetivo de analizar los efectos de diferentes dosis de Molibdeno y su relación sobre los parámetros de crecimientos y rendimiento del cultivo de soja (*Glycine max* L.), siendo conducida en el distrito de Santa Fe del Paraná, Alto Paraná, en una propiedad privada, en la que se utilizó el diseño experimental de bloques completamente aleatorio con 5 dosis de molibdeno y 4 repeticiones, totalizando 20 unidades experimentales. Los tratamientos fueron; T1 testigo, T2 0,150 l ha⁻¹, T3 0,250 l ha⁻¹, T4 0,350 l ha⁻¹, T5 0,450 l ha⁻¹ de Molibdeno aplicado en el estado fenológico V4. Las variables evaluadas son altura de planta, número de vainas por planta, peso de mil granos y rendimiento de granos. Los datos fueron sometidos al análisis de varianza (ANOVA), a través del cual se constató que ninguna de las cuatro variables presentó resultados estadísticos significativos. Los rangos de altura de plantas fueron de 1,07 a 1,13 m; vainas por planta 82,43 a 88,00 unidades; peso de mil granos de 137 a 144 g y rendimiento por hectárea de 2662,5 a 2789,6 kg. La altura de planta número de vainas por planta, peso de mil semillas y rendimiento no fueron afectado por la utilización de molibdeno vía foliar aplicado en el estadio V4.

Palabras clave: fertilización, vainas, rendimiento.

Aplicación de diferentes dosis de molibdeno sobre la producción de la soja (*Glycine max* L.)

Abstract

Soybean cultivation, along with corn and wheat, is one of the most important crops in Paraguayan agriculture. It is the country's main source of foreign currency and a key contributor to the national economy. In recent years, foliar fertilization has become a widely used technique due to its effectiveness and efficiency in meeting micronutrient needs. This research was carried out with the objective of analyzing the effects of different doses of Molybdenum and its relationship on the growth and yield parameters of the soybean crop (*Glycine max* L.), being conducted in the district of Santa Fe del Paraná, Alto Paraná, in a private property, in which the experimental design of completely randomized blocks was used with 5 doses of molybdenum and 4 repetitions, totaling 20 experimental units. The treatments were: T1 control, T2 0.150 l ha⁻¹, T3 0.250 l ha⁻¹, T4 0.350 l ha⁻¹, T5 0.450 l ha⁻¹ of Molybdenum applied at the V4 phenological stage. The variables evaluated were plant height, number of pods per plant, thousand-grain weight and grain yield. The data were subjected to analysis of variance (ANOVA), through which it was found that none of the four variables presented statistically significant results. Plant height ranged from 1.07 to 1.13 m; pods per plant, 82.43 to 88.00 pods; thousand-kernel weight, 137 to 144 g; and yield per hectare, 2662.5 to 2789.6 kg. Plant height, number of pods per plant, thousand-grain weight and yield were not affected by the use of foliar molybdenum applied at the V4 stage.

Key Words: fertilization, pods, yield

Introducción

Según el Departamento de Agricultura de los Estados Unidos (USDA), la producción mundial de soja proyectada para el cierre de la campaña 2024/25 se situaría en 425,40 millones de toneladas, lo que representa un incremento de 30,67 millones de toneladas en comparación con la campaña previa. Paraguay bajó dos lugares tanto en el ranking mundial de productores como de exportadores de soja, por lo que se posiciona como el octavo mayor productor y el sexto mayor exportador del grano (CAPECO, 2023).

El molibdeno (Mo) es muy importante para la fijación biológica de nitrógeno por formar parte de la enzima nitrogenasa, esto sintetizada por bacterias en la simbiosis. El Mo es considerado uno de los elementos esenciales para las plantas (Martens y Westermann 1991).

Melgar (2011), afirma que se necesita de una adecuada disponibilidad de molibdeno en el suelo para que el proceso de fijación ocurra, su función es doble ya que se requiere en la planta y para la fijación biológica del nitrógeno. Ciampitti y Garcia (2007), comentaron que el molibdeno pese a los requerimientos bajos por unidad de rendimiento es esencial, que oscilan a los 7g por tonelada de rendimiento, sin embargo, las plantas pueden tolerar altas concentraciones de este nutriente llegando hasta los 1 g/kg de materia seca.

La presente investigación tiene como objetivo estudiar el efecto de diferentes dosis de molibdeno aplicado en forma foliar sobre la producción de soja, mientras que los objetivos específicos son analizar la altura de planta (AP), cantidad de vaina (CV), peso de mil semillas (PMS) y rendimiento (R).

Metodología

El experimento se llevó a cabo en la colonia Paraguasil, perteneciente al distrito de Santa Fe del Paraná, localizada en el departamento del Alto Paraná, cuyas coordenadas son 25°11'09.3"S 54°40'56.6"W. La parcela está ubicada a unos 50 km de Ciudad del Este y a 15km de la supercarretera Itaipú.

El suelo de la zona corresponde a la textura arcillosa del orden Oxisol, suborden Udox y subgrupo Rhodic Acrudox, se caracterizan por ser suelos profundos, de color rojo, poseen una alta permeabilidad que pueden considerarse como altamente resistentes a la erosión hídrica, pendientes suaves. La fertilidad es baja, aunque tiene una moderada capacidad de intercambio catiónico, pero con buenas propiedades físicas (López et al., 1995). Los principales resultados de análisis de suelos fueron pH, 5,7; calcio 5,4 cmolc dm⁻³, magnesio 1.8 cmolc dm⁻³, fósforo, 33,2 mg dm⁻³, potasio 0,39 cmolc dm⁻³.

El tipo de clima de la zona es el subtropical húmedo, se destaca por presentar temperatura media anual que oscila entre 21 y 22 °C y una precipitación media anual alrededor de 1650 a 1700 mm (Huespe et al., 1995).

Aplicación de diferentes dosis de molibdeno sobre la producción de la soja (*Glycine max L.*)

La investigación es de carácter experimental con un diseño de bloques completos al azar, que constó de 5 dosis de molibdeno con 4 repeticiones, totalizando 20 unidades experimentales; cada unidad experimental tuvo una dimensión de 6 metros de largo y 4 metros de ancho, totalizando 24 m², siendo la parcela útil de 12 m², la dimensión total de la parcela fue de 646 m².

Los tratamientos se basaron en aplicaciones foliares al cultivo de soja Tabla 1. La concentración del Molibdeno en el producto fue de 20,25%. Las dosis utilizadas fueron establecidas a partir de las recomendaciones del producto para el cultivo de soja; 0,250-0,300 l ha⁻¹.

Dichas aplicaciones fueron realizadas en el estado vegetativo V4, teniendo en cuenta las recomendaciones de Moraes et al., (2008), quienes observaron que en la etapa vegetativa V4 se produjeron aumentos significativos en la soja tras la aplicación foliar de molibdeno.

Tabla 1. *Dosis Molibdeno, aplicado al cultivo de soja. UPE-2024.*

Tratamientos	Dosis de Molibdeno (l ha ⁻¹)
T 1	0
T 2	0,150
T 3	0,250
T 4	0,350
T 5	0,450

Se procedió a la aplicación a través de una mochila pulverizadora con presión de 3 bar, pico de color amarillo, con un ángulo de 110 grados (grado de inclinación), el caudal utilizado fue 150 l/ha y el tamaño de gotas 226 a 335 micras, para evitar derivas se tuvo en cuenta la velocidad del viento, que en dicho momento fue de 3km/h.

La variedad utilizada fue la M 5947 Ipro, que se caracteriza por su buena capacidad de ramificación, sistema radicular vigoroso, excelente comportamiento al estrés hídrico y arquitectura erecta de planta. Su ciclo es de aproximadamente 125 días. El color de la floración es purpura, presenta resistencia al Cancro del tallo (*Diaporthe* spp), resistencia moderada a la Mancha de ojo de rana (A.C. *Cercospora* sojina) y resulta susceptible a *Phytophthora*.

La siembra fue posterior a la cosecha del cultivo de trigo, en fecha 24 de octubre del año 2022, se realizó a través de maquinarias con una separación de 45 cm entre hileras y 10 cm entre plantas, totalizando una densidad de plantas de 222.222 por hectárea.

Las malezas fueron controladas de manera manual en los primeros 20 a 80 días, según la frecuencia de aparición y evitando que estas generen competencia con el cultivo. Los Productos como fungicidas e insecticidas se aplicaron de forma mecanizada, según el tipo de plaga presente, su incidencia y de acuerdo con el nivel de daño detectado, a continuación, se mencionan los productos aplicados en V3 se aplicó Glifosato 1.5 kg ha⁻¹ – Cletodin 0.8 l ha⁻¹ – aminoácido 0.8 l ha⁻¹. En V6: Difeconazole 0.5 l ha⁻¹, en R2: Fungicida bixafren, protioconazole y trifloxistrobin 0.5 l ha⁻¹– Mancozeb 1.5 kg ha⁻¹ y fosfito de cobre 0.4l ha⁻¹, mientras que en R4 se aplicaron Fenpropimorf 300ml ha⁻¹ – Insecticida Bifentrin + thiametoxan 300 ml ha⁻¹. En R6: Fungicida Picostrobin + Ciproconazole 300 ml/ha Insecticida Imidacloprid + lamdacialotrina 300 ml ha⁻¹ en R8: Herbicida Paraquat 2.7 l ha⁻¹.

Una vez que la soja alcanzo la madurez fisiológica se realizó la cosecha de manera manual, aproximadamente a los 125 días después de la siembra. Las variables del estudio se recabaron en la cosecha, teniendo en cuenta la parcela útil, utilizando cinta métrica, balanza de precisión y para separar las vainas y semillas se utilizaron bolsas de plásticos identificadas con el tratamiento y la repetición.

Las vainas fueron cuantificadas, tomando 15 plantas al azar de la parcela útil y contando, realizando esto en cada parcela.

Para la medición de la altura, al momento de la cosecha fueron tomadas al azar 15 plantas de cada parcela útil, los resultados arrojados fueron expresados en centímetros. Con ayuda de una cinta métrica se procedió a medir desde al ras de suelo hasta la yema apical de la planta.

Con la ayuda de una balanza de precisión, se procedió a pesar 1000 granos que fueron extraídos al azar de cada parcela útil, posteriormente la medida fue expresada en gramos.

Para definir el rendimiento por hectárea, se pesó los granos cosechados de la parcela útil, calculado con la conversión en kg/ha, teniendo en cuenta la humedad, ajustada a 14%.

Los datos recolectados fueron analizados mediante el análisis de varianza (ANOVA) del diseño bloque completo al azar, utilizando el programa INFOSTAT.

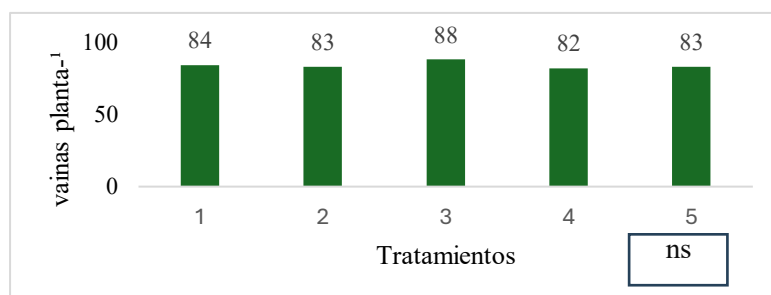
Aplicación de diferentes dosis de molibdeno sobre la producción de la soja (*Glycine max L.*)

Resultados

En esta parte se presentan los resultados de todas las variables estudiadas, AP, VP, PMS y R de semillas mediante representaciones gráficas a fin de facilitar la interpretación de estos.

Conforme al ANOVA, se observa que no existió diferencia significativa entre los tratamientos en cantidad de vainas por planta, que estuvo entre 82 y 88 unidades, ver Figura 1, con un coeficiente de variación de 7,12%,

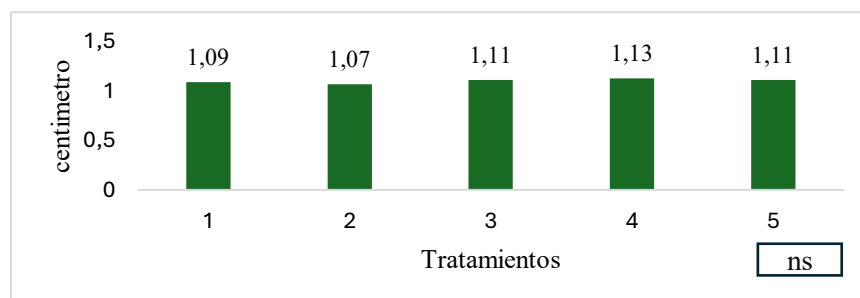
Figura 1. Vaina por planta de soja (*Glycine max L.*), aplicando diferentes dosis de Molibdeno. Ciudad de Santa Fe del Paraná – Paraguay 2023.



ns: No Significativo ($p > 0,05$)

Según la Figura 2, se observa que, de acuerdo con el ANOVA, no existió diferencias significativas para la variable AP, que estuvo entre 1,07 y 1,13 metros, con un coeficiente de variación de 4,09%.

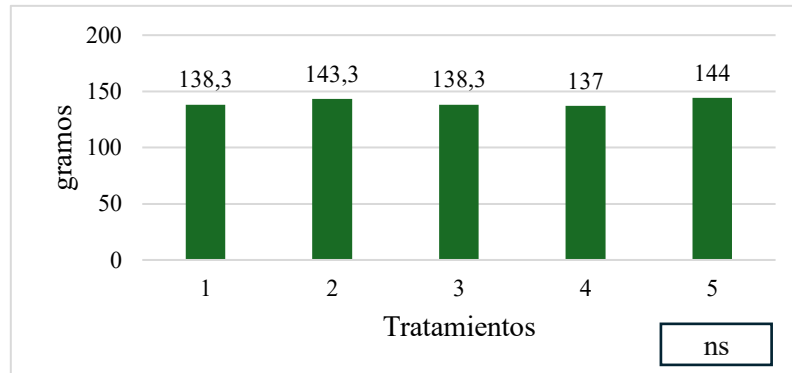
Figura 2. Altura de la planta de soja (*Glycine max L.*), obtenidas mediante la aplicación de diferentes dosis de Molibdeno. Ciudad de Santa Fe del Paraná – Paraguay 2023.



ns: No significativo ($p > 0,05$)

De acuerdo con el ANOVA, no existió diferencias significativas entre los tratamientos en relación al peso de 1000 semillas por que el p-valor es mayor a 0,05 y con un CV: 3 %. Según la Figura 3 oscilo entre 137 y 144 gramos.

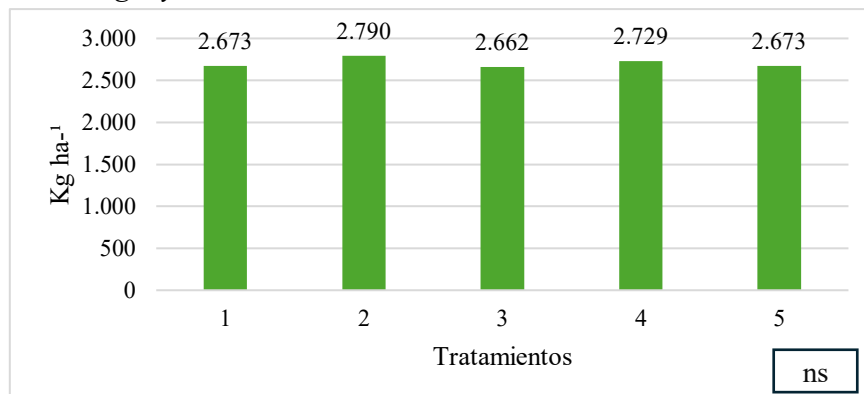
Figura 3. *Peso de 1000 granos de soja (Glycine max L.), obtenidas mediante la aplicación de diferentes dosis de Molibdeno. Ciudad de Santa Fe del Paraná – Paraguay 2023.*



ns: No significativo ($p > 0,05$)

Los datos de la Figura 4, conforme al ANOVA, demuestran que no existió diferencias significativas entre los tratamientos en la variable de rendimiento de grano de soja, con CV: 10%.

Figura 4. *Valores de variable de rendimiento de soja por hectárea (Glycine max L.), obtenidas mediante la aplicación de diferentes dosis de Molibdeno. Ciudad de Santa Fe del Paraná – Paraguay 2023.*



ns: No significativo ($p > 0,05$)

Aplicación de diferentes dosis de molibdeno sobre la producción de la soja (*Glycine max L.*)

Discusión

En relación al número de vaina no hubo efecto del molibdeno, generalmente este parámetro está muy relacionado con la variedad, los resultados coinciden con lo descrito por Marcondes y Caires (2005), quienes no encontraron incremento en el número de vainas por planta cuando se aplicó molibdeno en dosis de 0 y 48 g ha⁻¹. Del mismo modo Nascimento (2004), no observó la influencia de Mo sobre la cantidad de vainas por planta. Igualmente, Soratto (2000), estudiando el comportamiento de la leguminosa bajo la aplicación de Mo foliar, verificó que hubo efecto significativo en el número de vainas por planta.

La altura de planta no fue afectada por la aplicación de diferentes dosis de molibdeno, dicho resultado difiere de Milani (2008), en donde observó que la altura de la planta varió significativamente, la diferencia que se aplicó en R5.2 y R5.4.

Con respecto a peso de mil semillas, tampoco se encontró diferencia significativa, lo que difiere de Barbosa et al. (2005), que en sus estudios realizados encontraron resultados positivos respecto a la aplicación de Mo en el peso de 1000 granos, a partir de semillas tratadas con el mismo y aplicación foliar, efectuado en dos años consecutivos y con diferentes variedades.

El rendimiento promedio fue de 2.705 kg ha⁻¹, la aplicación foliar de molibdeno no afectó a dicha variable, contrariamente a los resultados obtenidos, Amorim et al. (1997), encontraron que a través de la aplicación foliar de Mo ha sido posible aumentar el rendimiento de la soja. Del mismo modo, Berger et al. (1996) comprobaron que la dosis foliar de 80 y 90 g ha⁻¹ de Mo proporciona mayor rendimiento en las leguminosas y que el mejor momento para su aplicación está entre los 14 y 28 días después de la emergencia (V2 -V3).

Asimismo, Polvani (2012), también agrega que la ganancia de productividad fue progresiva con fertilización foliar utilizando la dosis de 20 g. ha⁻¹ de Mo, donde obtuvieron un aumento de 600 kg ha⁻¹ con fertilización foliar, en comparación con el testigo.

Conclusión

Generalmente la aplicación de molibdeno es más eficiente cuando se aplica vía semillas, en este caso en particular la aplicación vía foliar no afectó las variables evaluadas, cantidad de vainas por plantas, altura de planta, peso de mil semilla y rendimientos de la soja.

Para la soja el molibdeno es un micronutriente esencial, por lo que requiere de una cantidad adecuada para ayudar en la fijación de nitrógeno, un proceso que permite a las plantas absorber dichos elementos. Es importante tener en cuenta que, en general, la

aplicación foliar de micronutrientes es utilizada como corrección de deficiencias de las mismas.

Referencias

- Amorim, R.S.S.; Taketa, S.T.; Senna, L.F.N.; Dorneles, M.S. & Jacob-Neto, J. Efecto de aplicación foliar de sal de cocina y Mo en la nodulación de la soja. Disponible en: Congresso Brasileiro De Ciencia Do Solo, Rio de Janeiro, 1997. Anais. Rio de Janeiro, 1997.
- Barbosa, G.F.; Arf, O.; De Sá, M.E.; Do Nascimento, M.S., Orioli Júnior, V.; Fonseca, A.E.; Costa, R.S.S. Efeitos de doses de nitrogênio e de molibdênio na qualidade fisiológica das sementes e produtividade do feijoeiro (*Phaseolus vulgaris*) de inverno em sistema de plantio direto. Informativo ABRATES, v.15, n.1/2/3, p.106, 2005.
- Berger, P.; Vieira, C.; Araújo, G. Efectos de dosis y tiempos de aplicación de molibdeno en el cultivo de frijol. Investigación Agropecuaria Brasileña, Brasília, v.31, n.7, p.473-480, 1996.
- CAPECO (Cámara paraguaya de exportadores y comercializadores de cereales y oleaginosas). 2023. Ranking de exportadores de soja (en línea). Consultado 15 abr. 2023. Disponible en <https://capeco.org.py/2023/01/13/paraguay-desciende-dos-lugares-en-el-ranking-mundial-de-mayores-productores-y-exportadores-de-soja/#:~:text=Paraguay%20baj%C3%B3%20dos%20lugares%20tanto,Comercializadores%20de%20Cereales%20y%20Oleaginosas%20>
- Ciampitti, I., Garcia, F. Requerimientos nutricionales. Absorción y extracción de macronutrientes y nutrientes secundarios. I. Cereales, oleaginosos e industriales. Archivo Agronómico 11. 2007. <https://inta.gob.ar/sites/default/files/script-tmp-inta-fertilizacin-con-cobalto-y-molibdeno-soja.pdf>
- Huespe, H.; Spinzi, L.; Curiel, M.; Burgos, S. 1995. Atlas ambiental de la región oriental del Paraguay. San Lorenzo, PY: CIF / FCA / GTZ. 2 v, 68 p.
- López, O. G., Erico, E. G., De Llamas, P. A., Molinas, A. S., Franco, E. S., García, S., y Ríos, E. O. (1995). Estudio de reconocimiento de suelos, capacidad de uso de la tierra y propuesta de ordenamiento territorial preliminar de la región oriental del Paraguay. Asunción - Paraguay: VOL. 1. Consultado en 12 de Abril de 2022. Disponible en: <https://www.geologiadelparaguay.com/Estudio-de-Reconocimiento-de-Suelos-Regi%C3%B3n-Oriental-Paraguay.pdf>
- Marcondes, J.A.P. y Caires, E.F. (2005). Aplicação de molibdênio e cobalto na semente para cultivo da soja. Bragantia, vol. 64, n. 4, p. 687-694. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1590/S0006-87052005000400019>.

Aplicación de diferentes dosis de molibdeno sobre la producción de la soja (*Glycine max* L.)

- Martens, DD; Westermann, DT. 1991. Fertilizer applications for correcting micronutrient deficiencies. In Michelson, SH. Micronutrients in Agriculture. 2 ed. Madison, US, SSSA. p. 549-584.
- Milani, G.L.; Oliveira, J.A.; Silva, L.H.C.; Pinho, E.V.R.V. & Guimarães, R.M. (2008) Nodulação e desen-volvimento de plantas oriundas de sementes de soja com altos teores de molibdênio. Revista Brasileira de Sementes, vol. 30, n. 2, p. 19- 27.3
- Melgar, R. (2011). Molibdeno y Cobalto: Dos micronutrientes esenciales en la producción de soja. Revista Fertilizar, 26-29 p.
- Moraes, L. M. F., Lana, R. M. Q, Mendes, C., Mendes, M., Monteiro, A., Alves, J. F., (2008). Redistribución del molibdeno aplicado via foliar em diferentes momentos del cultivo de soja. Consultado el 03 de mayo de 2022. Disponible en: <https://www.scielo.br/j/cagro/a/VMr8gkWdpFJ5ZLRqx5QLGXF/?format=pdf&lang=pt>
- Nascimento, M. S.; ARF, O.; SILVA, M. G. Resposta do feijoeiro à aplicação de nitrogênio em cobertura e molibdênio via foliar. Acta Scientiarum. Agronomy, v. 26, n. 2, p. 153-159, 2004.
- Polvani, Rafael Leibanteet et al. Respostas da soja inoculada a diferentes doses de molibdênio. 2012.
- Soratto, R. P.; Silva, T. R. B.; Chidi, S. N.; Arf, O.; Sá, M. E.; Buzetti, S. Feijoeiro irrigado e a aplicação de nitrogênio em cobertura e molibdênio via foliar. Cultura Agronômica, v. 9, n. 1, p. 115-132, 2000.



Respuesta del cultivo de maíz (*Zea mays*) a diferentes estrategias de aplicación de biofertilizantes

Response of corn (*Zea mays*) crops to different biofertilizer application strategies

Julio César Karajallo Figueredo

Facultad de Ingeniería Agronómica-Universidad Nacional del Este

0009-0001-5099-8652 | krajallojc@hotmail.com

Laura Vicenta González Cantero

Facultad de Ingeniería Agronómica-Universidad Nacional del Este

0009-0007-1942-1162 | lauv_gz@hotmail.com

Daisy Leticia Ramírez Monzón

Facultad de Ingeniería Agronómica-Universidad Nacional del Este

0000-0003-1161-1408 | daisyrami@gmail.com

Patricia Rojas Nerhot

Facultad de Ingeniería Agronómica-Universidad Nacional del Este

0000-0001-5168-8237 | patyrojas83@hotmail.com

Evelyn Paola Paster

Facultad de Ingeniería Agronómica-Universidad Nacional del Este

0009-0008-4606-7055 | evepaster@gmail.com

Resumen

La agricultura moderna de hoy en día busca alternativa de producción sostenible y la utilización de biofertilizante es una buena opción. El objetivo de esta investigación fue evaluar la implementación de diversos biofertilizantes comerciales, a través de la semilla, el follaje y el surco, en el cultivo de maíz. El experimento se llevó a cabo en una parcela situada en Minga Guazú, en el departamento de Alto Paraná, Paraguay. Se evaluaron la altura de las plantas, peso fresco radicular, nitrógeno y fosforo foliar. El diseño fue de bloques totalmente al azar, con arreglo bifactorial, 4x3, factor uno (cuatro biofertilizantes, *Azospirillum brasilienses* (Ab), *Bacillus subtilis* (Bs), *Pseudomonas flourences* (Pf) y micorriza (M)) y factor dos (tres métodos de aplicación, semillas (S), surco, (s) y foliar (f)), siendo doce tratamientos y tres bloques, totalizando 36 unidades experimentales. Los datos fueron sometidos al ANDEVA y comparados por la prueba de Tukey. Los resultados indican que hubo interacción únicamente para la variable peso seco radicular con p-valor 0.0001. La altura de planta fue influenciada por los tratamientos que recibieron biofertilizantes como la *Pseudomonas flourences*, micorriza, *Basillus subtilis* y *Azospirillum brasilienses*, en comparación al testigo siendo las medias de 1.89, 1.89, 1.88, y 1.87 y 1.81 metros, respectivamente y los mejores en cuanto a los métodos de aplicación fueron la de semilla y foliar con 1.92 y 1.88 metros. No hubo incidencia de los tratamientos sobre la concentración de nitrógeno y fosforo foliar del maíz.

Palabras clave: semilla, foliar, surco, micorriza.

Respuesta del cultivo de maíz (*Zea mays*) a diferentes estrategias de aplicación de biofertilizantes

Abstract

Today's modern agriculture is seeking sustainable production alternatives, and the use of biofertilizers is one such option. The objective of this research was to evaluate the implementation of various commercial biofertilizers, delivered through the seed, foliage, and furrow, in corn cultivation. The experiment was carried out in a plot located in Minga Guazú, in the department of Alto Paraná, Paraguay. Plant height, root fresh weight, foliar nitrogen and phosphorus were evaluated. The design was a completely randomized block, with a bifactorial arrangement, 4x3, factor one (four biofertilizers, *Azospirillum brasilienses* (Ab), *Bacillus subtilis* (Bs), *Pseudomonas flourences* (Pf) and mycorrhiza (M)) and factor two (three application methods, seeds (S), furrow (s) and foliar (f)), being twelve treatments and three blocks, totaling 36 experimental units. The data were submitted to ANOVA and compared using the Tukey test. The results indicate an interaction only for the root dry weight variable, with a p-value of 0.0001. Plant height was influenced by treatments that received biofertilizers such as *Pseudomonas flourences*, mycorrhiza, *Basillus subtilis* and *Azospirillum brasilienses*, compared to the control, with averages of 1.89, 1.89, 1.88, and 1.87 and 1.81 meters, respectively, and the best in terms of application methods were seed and foliar with 1.92 and 1.88 meters. There was no incidence of the treatments on the concentration of nitrogen and phosphorus in the corn leaves.

Key words: seed, foliar, furrow, mycorrhiza.

Introducción

La necesidad de buscar tecnología de producción sustentables y económicamente viable, para el cultivo de maíz, es muy necesarios hoy en día, en este caso en particular los fertilizantes biológicos son alternativas para lograr dichos propósitos, por poseer series de ventajas.

En referencia a la producción del maíz en Paraguay en el periodo 2024/2025, tuvo un rendimiento promedio de 3034 kg ha⁻¹, con un área de siembra de 3.650.000 ha, (CAPECO, 2025).

Según Ortigoza et al., (2019), el rendimiento promedio nacional del maíz está muy por debajo de los rendimientos deseados, en comparación con otros países y existen series de factores desde la variedad, clima, manejo y la fertilidad de suelos que pueden afectar el comportamiento productivo del cultivo, desde el punto de vista de manejo del cultivo y del suelo se puede aplicar tecnología que mejoren la producción, como el uso de fertilizantes biológicos (*azospirillum*, *pseudomonas*, *bacillus*, micorriza) asociados a la forma de aplicación (inoculado en la semillas, aplicado en el suelo o vía foliar), para así incentivar a los productores a practicar la agricultura sostenible.

Existen antecedentes sobre la utilización de fertilizantes biológicos como *azospirillum*, *pseudomonas*, *bacillus* y micorrizas, en donde demuestran que existe efecto significativo sobre los rendimientos del maíz, como las de Ayvar et al. (2020) y Zermeños et al. (2015).

Con relación a la forma de aplicación hoy en día se está buscando alternativas más eficientes como aplicación directa en surco, la más utilizadas es la de inoculación en la semillas y vía foliar. Costa y Tozoni (2017), realizaron la aplicaron de un fertilizante biológico en la semilla y en la etapa V3 del maíz. Concluyendo que, sin importar la forma de aplicación, se observaron efectos positivos en el rendimiento del grano, con un incremento del 34% en comparación al testigo.

Las citas de párrafos anteriores en donde los autores encuentra efecto positivos y negativos sobre el rendimiento del maíz, es importantes realizar trabajo sobre los tipos y formas de aplicación de biofertilizantes y así obtener datos locales y regionales, para minimizar de algunas maneras la falta de informaciones científicas local y que esto le sirva a los técnicos productores e interesado en general. El objetivo del trabajo es evaluar los efectos de la aplicación de los diferentes tipos de biofertilizantes comerciales (*azospirillum*, *pseudomonas*, *bacillus*, micorriza) aplicado en el surco, vía foliar e inoculado en la semilla.

Materiales y métodos

El experimento se realizó, en una parcela ubicada en el Distrito de Minga Guazú del departamento del Alto Paraná, republica del Paraguay, la misma se instaló en un suelo clasificado como *Rhodic Kandiudox* del orden oxisol; de textura arcillosa fina y de origen basáltica. La topografía del suelo presenta relieve suave a moderadamente ondulado entre la clase II – II (López et al. 1995). El clima es subtropical con una temperatura media anual de

Respuesta del cultivo de maíz (*Zea mays*) a diferentes estrategias de aplicación de biofertilizantes

23,3 °C y precipitaciones de 1.795 mm en el año, siendo la estación más lluviosa en verano y más seca en el invierno (DINAC, 2025). El experimento se realizó entre los meses de enero a abril del 2024.

El experimento se realizó bajo un diseño de bloques completo aleatorio con arreglo bifactorial 4x3, más un testigo siendo trece tratamientos y tres bloques, totalizando 39 unidades experimentales. Los tratamientos consistieron en cuatro tipos de biofertilizantes (*Azospirillum brasiliensis*, *Bacillus subtilis*, *Pseudomonas flourences* y *micorriza*); formas de aplicación (en la semilla, en el surco y vía foliar). Los tratamientos de la investigación se definen en la Tabla 1.

Tabla 1. *Diferentes fertilizantes biológicos y métodos de aplicación en el cultivo de maíz.*

Biofertilizantes (F1)	Métodos de aplicación (F2)	Combinación de factores (F1 X F2)
Testigo	Sin aplicación de biofertilizantes	
<i>Azospirillum brasilienses</i> (Ab)	Semilla (S)	Ab x S
<i>Azospirillum brasilienses</i> (Ab)	Foliar (f)	Ab x f
<i>Azospirillum brasilienses</i> (Ab)	Surco (s)	Ab x s
<i>Bacillus subtilis</i> (Bs)	Semilla (S)	Bs x S
<i>Bacillus subtilis</i> (Bs)	Foliar(f)	Bs x f
<i>Bacillus subtilis</i> (Bs)	Surco(s)	Bs x s
<i>Pseudomonas flourences</i> (Pf)	Semilla (S)	Pf x S
<i>Pseudomonas flourences</i> (Pf)	Foliar (f)	Pf x f
<i>Pseudomonas flourences</i> (Pf)	Surco (s)	Pf x s
<i>Micorriza</i> (M)	Semilla (S)	M x S
<i>Micorriza</i> (M)	Foliar (f)	M x f
<i>Micorriza</i> (M)	Surco (s)	M x s

La preparación de suelo se realizó con la aplicación de glifosato para el control de malezas ocho días antes de la siembra posterior a esto se realizó la marcación de las unidades experimentales. Se utilizo el hibrido DKB265PRO3 1850 VT Triple PRO (DEKALB), que se destaca por su alto potencial productivo y precocidad (Bayer-Paraguay, 2023).

La siembra se realizó con matraca, con un espaciamiento de 50 cm entre hileras y una densidad de 3,25 semillas por metro lineal (población de 65.000 plantas por hectárea). Las dosis de los fertilizantes biológicos en las semillas fue de 5 ml kg⁻¹. En surco y foliar fue a razón de 1,5 L ha⁻¹, la aplicación se realizó en el momento de la siembra y en el estadio vegetativo 4 (V4) respectivamente. Las malezas fueron controladas de manera manual. Para el control de plagas se aplicó insecticidas como tiametoxam al 25 % y bifentrina al 10 % con

una dosis de 240 mL ha⁻¹, también se utilizó tebuconazol para las enfermedades fúngicas a una dosis de 500 mL ha⁻¹.

Altura de planta (AP): La medición de esta variable se realizó antes de la cosecha aproximadamente 85 días después de la emergencia de la se seleccionaron 10 plantas al azar por cada unidad experimental una vez que las mismas alcanzarán la maduración, se midieron con cinta métrica y los resultados se expresa en metro.

Peso de la masa radicular seca (PMRS): El análisis de estas variables se realizó antes de la cosecha colectando tres plantas de la parcela, posteriormente se separaron la parte aérea y radicular y se pesaron en una balanza de precisión y los resultados se expresaron en t ha⁻¹. La misma se realizaron 97 días después de la emergencia.

Nitrógeno y Fósforo foliar: La recolección y el análisis foliar se realizaron según la norma de Embrapa (2.009), dicho análisis tuvo lugar en el Laboratorio de la FIA.UNE, utilizando digestores húmeda ácido sulfúrico (H₂SO₄) + espectrofotometría, las unidades de medida es en g kg⁻¹.

Para el análisis estadístico se utilizó el Análisis de varianza utilizando un diseño bloques completo aleatorio con arreglo factorial, y la comparación de media se realizó mediante la prueba de Tukey al 5% de probabilidad de error. Los datos fueron acondicionados en programa Excel y procesado en software estadístico Infostat versión 2022.

Resultados

Para la variable altura de planta no se obtuvo interacción entre los biofertilizantes y el método de aplicación con un p-valor de 0.2072. Según el ANDEVA, existió diferencia significativa para la variable altura de la planta, en relación a la aplicación de diferentes biofertilizantes. En la Tabla 2, se observan que los tratamientos que tuvieron mejores desempeños fueron *Pseudomonas flourences*, *Bacillus subtilis* y las micorrizas, en comparación al testigo.

Tabla 2. Altura de planta de maíz aplicando diferentes biofertilizantes

Biofertilizantes	Altura de planta (m)
<i>Pseudomonas flourences</i>	1.89* a
<i>Micorriza</i>	1.89 a
<i>Bacillus subtilis</i>	1.88 a
<i>Azospirillum brasilienses</i>	1.87 ab
Testigo	1.81 b
CV (%)	1.79
p-valor	0.0214

*Medias con una letra común no son significativamente diferentes según Tukey ($p > 0,05$).

Respuesta del cultivo de maíz (*Zea mays*) a diferentes estrategias de aplicación de biofertilizantes

En la Tabla 3, los métodos de aplicación vía foliar y semillas mejoraron la altura de planta en comparación al testigo.

Tabla 3. *Altura de planta de maíz aplicando utilizando diferentes métodos de aplicación*

Métodos de aplicación	Altura de planta (m)
Foliar	1.92* a
Semilla	1.88 ab
Surco	1.85 bc
Testigo	1.81 c
CV (%)	1.79
p-valor	0.0001

*Medias con una letra común no son significativamente diferentes según Tukey ($p > 0,05$)

Según el análisis de varianza, existió interacción entre los factores, para la variable PSMR. En la Tabla 4, se observa que el mayor peso radicular correspondes a los tratamientos con (*Pf*) aplicados en surco y semillas, seguido por el (*Bs*) aplicado en surco y foliar, seguido por la aplicación de micorriza en semillas y foliar, *también el (Ab) aplicado en semillas y surco mejoro el PMSR.*

Tabla 4. *Interacción entre diferentes biofertilizantes y métodos de aplicación para el peso de la masa radicular del maíz.*

Peso seco radicular (t ha ⁻¹)			
Biofertilizantes	Métodos de aplicación		
	Semilla	Surco	Foliar
<i>Azospirillum brasilienses (Ab)</i>	1.87 abc	1.83 abc	1.51 bc
<i>Bacillus subtilis (Bs)</i>	1.30 bc	1.98 abc	1.93 abc
<i>Pseudomonas flourences (Pf)</i>	1.89 abc	2.55 a	1.15 c
<i>Micorriza</i>	2.02 ab	1.58 bc	2.12 ab
CV (%): 15.43			
p-valor de la interacción: 0.0001			

*Medias con una letra común en la columna y en la fila no son significativamente diferentes, según Tukey ($p > 0,05$)

En la Tabla 5, se demuestra que no existió diferencia significativa para las variables nitrógeno foliar y fósforo foliar utilizando diferentes biofertilizantes.

Tabla 5. Valores de nitrógeno foliar aplicando diferentes biofertilizantes en maíz.

Biofertilizantes	Nitrógeno Foliar (g kg ⁻¹)	Fósforo Foliar (g kg ⁻¹)
Testigo	18.05 ^{ns}	1.24 ^{ns}
<i>Azospirillum brasilienses</i> (Ab)	17.95	1.24
<i>Bacillus subtilis</i> (Bs)	17.52	1.38
<i>Pseudomonas flourences</i>	15.66	1.41
Micorriza	17.45	1.28
p-valor:	0.5840	0.3059
CV (%)	18.80	14.23

ns: no significativo al 5% de probabilidad del error

De acuerdo a la Tabla 6 se observa que no existió diferencia significativa, en cuantos a los métodos de aplicación de biofertilizantes para la variable nitrógeno foliar y fósforo foliar.

Tabla 6. Concentración de nitrógeno foliar, con diferentes métodos de aplicación de biofertilizantes en maíz.

Métodos de aplicación	Nitrógeno Foliar (g kg ⁻¹)	Fósforo foliar (g kg ⁻¹)
Testigo	18.05 ^{ns}	1.24 ^{ns}
Semilla	16.61	1.26
Surco	16.78	1.46
Foliar	18.05	1.27
CV (%)	20.94	15.03

ns: no significativo al 5% de probabilidad del error

Discusión

Los resultados de la presente investigación en relación a la altura de planta coinciden con los datos de Roveda, et al., (2008), que un biofertilizante al ser inoculado en el suelo o semilla, favorece el crecimiento y desarrollo de las plantas, de la misma manera Tognetti et al., (2005), mencionan que la utilización de los biofertilizantes es para conservar el equilibrio ecológico en los suelos y para mejorar el desarrollo de los cultivos y fortalecer la producción agrícola sostenible.

Zermeño et al., (2015), mencionan que la biofertilización, incrementar el rendimiento de los cultivos, además las plantas que recibieron fertilización biológica incrementaron la

Respuesta del cultivo de maíz (*Zea mays*) a diferentes estrategias de aplicación de biofertilizantes

altura de planta (17.3%), coincidiendo con el resultado del trabajo y peso seco de planta (14.8%) respecto a las plantas sin aplicación de fertilizantes biológicos.

Pulido (2016) encontró que la inoculación del microorganismo como *B. subtilis*, incrementa el crecimiento y desarrollo de las plantas de maíz por producir metabolitos secundarios, el *B. subtilis* es una especie bacteriana muy diversa, capaz de crecer dentro de muchos entornos (Earl et al., 2008). Se destaca por su capacidad para producir una amplia gama compuestos estructuralmente diversos con fuertes propiedades antifúngicas, baja toxicidad y alta biodegradabilidad (Chen et al., 2008; Stein, 2005).

Las plantas pueden liberar compuestos orgánicos como, carbohidratos, aminoácidos, nucleótidos, flavonoides, enzimas, hormonas, lípidos y vitaminas a través de sus raíces los cuales crean un entorno dinámico estimulando el desarrollo de un gran número de microorganismos y la actividad de los mismos en el suelo (Denef et al., 2009; Habibi et al., 2014; Lugtenberg et al., 1999; Siddiqui et al., 2006).

Estos microorganismos también pueden tener efecto negativo, retrasa el crecimiento aéreo y radicular de las plantas debido a la secreción de fitotóxicas, fitohormonas o a la competencia de nutriente con otros microorganismos nativos (Siddiqui et al., 2006).

Se ha demostrado que estas bacterias poseen características que les permiten su utilización como promotores del crecimiento vegetal (Grobelak et al., 2015). Estas bacterias poseen varias estrategias para potenciar el crecimiento de la planta como la solubilización y reciclaje de nutrientes, la producción de hormonas estimuladoras del crecimiento, la fijación de nitrógeno, la inducción de defensa de las plantas, la producción de antibióticos y otras sustancias antimicrobianas, y la desintoxicación del suelo, entre otras ([Rai et al., 2017](#)).

El trabajo de Maidana et al., (2020), coincide con el presente trabajo en donde la utilización *A. brasiliense* en semillas de maíz produjeron diferencias significativas en la variable peso radicular, incrementando en un 27%.

Roveda, et al (2008), mencionan que el uso de biofertilizantes incrementa la disponibilidad de nutrientes, mejora la eficiencia de toma, transporte y absorción de nutriente. La relación simbiótica entre hongos micorrícicos y raíces de la mayoría de las plantas es benéfica ya que el hongo coloniza la corteza de la raíz para obtener carbono a partir de la planta hospedera, mientras le ayuda a la planta a tomar fósforo y otros nutrientes minerales del suelo (Harrison y Van Buuren, 1995).

Así también Moreira y Siqueira, (2006); Brahma Prakash y Sahu, (2012) indican que el aumento de la capacidad de absorción de nutrientes es promovido por la interacción de los hongos micorrícicos con las especies vegetales.

El conocimiento de las interacciones de hongos y las condiciones edáficas puede llevar al establecimiento de poblaciones mejor adaptadas y más efectivas que garanticen los beneficios de la asociación simbiótica, ya que, aunque la asociación micorrícica arbuscular ha sido definida generalmente como inespecífica, se ha determinado que el comportamiento de las poblaciones de micorriza es modulado por diversos factores ambientales pueden afectar su comportamiento (McGonigle y Fitter, 1990)

Se demuestra que los resultados del nitrógeno y fósforo foliar estuvieron por debajo del rango ideal que es de 27 a 35 g kg⁻¹ y 2 a 4 g kg⁻¹, respectivamente (Embrapa 2009).

Conclusión

Con la interpretación de los resultados se observaron que hubo diferencia significativa e interacción de los diferentes biofertilizantes y el método de aplicación para el peso seco de la raíz.

Las aplicaciones de micorriza en semillas y foliar, la *Pf* y *Ab* en surco y semillas y la *Bs* en surco y foliar mejoraron el PMSR del maíz

La altura de planta fue afectada por los diferentes biofertilizantes las que tuvieron mejores desempeños fueron *Pseudomonas flourences* (*Pf*) *Bacillus subtilis* (*Bs*) e micorriza y en relación al método de aplicación fue el foliar y semillas.

La utilización de los diferentes biofertilizantes no tuvo efecto sobre la concentración de nitrógeno y fosforo foliar.

Para futuros experimentos realizar mezcla de los biofertilizantes, verificar dosis y en diferentes condiciones ambientales.

Referencias

- Ayvar-Serna, S., J. F. Díaz-Nájera, M. Vargas-Hernández, A. Mena-Bahena, M. A. Tejeda-Reyes y Z. Cuevas-Apresa. (2020). Rentabilidad de sistemas de producción de grano y forraje de híbridos de maíz, con fertilización biológica y química en trópico seco. Terra Latinoamericana 38: 9-16. DOI: <https://doi.org/10.28940/terra.v38i1.50>
- Bayer-Paraguay (15 de agosto de 2023). Dekalb DKB265PRO3 <https://www.cropscience.bayer.com.py/es-py/other-products/dekalb-detail-page-/details.html/dkb265pro3.html>
- Brahmaprakash, G.; Sahu, P. Biofertilizantes para la sostenibilidad. Revista del Instituto Indio de Ciencias. v. 92, núm. 1, pág. 37-62, 2012.
- Capeco (2025). Área de siembra, producción y rendimientos. <http://capeco.org.py/area-de-siembra-produccion-y-rendimiento/>
- Costa, L. y Tozoni, M. (2017). Inoculação de estirpes de azospirillum brasilense associado à fertilização nitrogenada na cultura do milho Revista Científica Eletrônica de Agronomia ISSN: 1677-0293 (31). http://faef.revista.inf.br/imagens_arquivos/arquivos_destaque/KhyNCctt3_02h9Tk_201_8-1-25-14-44-31.pdf

Respuesta del cultivo de maíz (*Zea mays*) a diferentes estrategias de aplicación de biofertilizantes

- Chen, H., Wang, L., Su, C.X., Gong, G.H., Wang, P., Yu, Z.L., 2008. Isolation and characterization of lipopeptide antibiotics produced by *Bacillus subtilis*. *Letters in Applied Microbiology* 47, 180-186.
- Denef, K., Roobroeck, D., Wadu, M., Lootens, P., Boeckx, P., 2009. Microbial community composition and rhizodeposit-carbon assimilation in differently managed temperate grassland soils. *Soil Biology & Biochemistry* 41, 144-153.
- Dinac (2025) Boletín Agrometeorológico en https://www.meteorologia.gov.py/wp-content/uploads/2025/04/Boletin_Agro_actualizado_MARZO2025.pdf
- Embrapa (2009) Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes / editor técnico, Fábio Cesar da Silva. – 2. ed. rev. ampl. - Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica, 2009. 627 p. ISBN 978-85-7383-430-7 <http://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/330496>
- Earl, A.M., Losick, R., Kolter, R., (2008). Ecology and genomics of *Bacillus subtilis*. *Trends in Microbiology* 16, 269-275.
- Grobelak, A., Napora, A. y Kacprzak, M. (2015). Using plant growth-promoting rhizobacteria (PGPR) to improve plant growth. *Ecological Engineering*. 84: 22-8. DOI: 10.1016/j.ecoleng.2015.07.019
- Habibi, S., Djedidi, S., Prongjunthuek, K., Mortuza, M.F., Ohkama-Ohtsu, N., Sekimoto, H., Yokoyama, T., 2014. Physiological and genetic characterization of rice nitrogen fixer PGPR isolated from rhizosphere soils of different crops. *Plant and Soil* 379, 51-66.
- Harrison, M. and Van Buuren, M. (1995). A phosphate transporter from the mycorrhizal fungus *Glomus versiforme*. *Nature* 378(7): 626-629.
- López O, González E, De Llamas P, Molinas A, Franco S, García S, Ríos E (1995) Estudio de Reconocimiento de suelos, capacidad de uso de la tierra y propuesta de ordenamiento territorial preliminar de la Región Oriental del Paraguay. Proyecto de Racionalización del uso de la tierra. SSERNMA/MAG/Banco Mundial. Asunción, PY
- Lugtenberg, B.J.J., Kravchenko, L.V., Simons, M., 1999. Tomato seed and root exudate sugars: composition, utilization by *Pseudomonas* biocontrol strains and role in rhizosphere colonization. *Environmental Microbiology* 1, 439-446.
- Maidana, E. Melgarejo M., Amarilla, D., Ocampos V., Colman, P., Mendoza, M., Bogado, M., Franco, R., Silvero O. Características agronómicas del maíz inoculado con diferentes dosis de *Azospirillum brasilense*. (2020). *Revista De La Sociedad Científica Del Paraguay*, 25(1), 49-57. <https://doi.org/10.32480/rscp.2020-25-1.49-57>
- Mcgonigle T. and Fitter A. 1990. Ecological specificity of vesicular mycorrhizal associations. *Mycological Research* 94(1): 120-122
- Moreira, F; Siqueira, J. (2006) Microbiología y bioquímica del suelo. 2da ed. Lavras: Ed. UFLA.

- Pulido A. (2016). Evaluación del efecto de *Bacillus subtilis* EA-CB0575 en la promoción de crecimiento de *Zea mays* y *Solanum lycopersicum* a nivel de invernadero. Tesis de Grado Universidad EAFIT Escuela de Ingeniería Departamento de Ingeniería de Procesos Medellín, Colombia. 107 p. Disponible en <https://repository.eafit.edu.co/items/d4f10a50-1d05-4b21-afb0-90ce935bd8be>
- Ortigoza, J., López, C., González, J. (2019) Guía Técnica Cultivo de Maíz. San Lorenzo, Paraguay FCA, UNA. <https://www.jica.go.jp/Resource/paraguay/espanol/>
- Rai, A. y Nabti, E. (2017). Plant Growth-Promoting Bacteria: Importance in Vegetable Production. En: Zaidi A.; Khan, M.S. editors. Microbial Strategies for Vegetable Production. Chapter 2. Springer International Publishing AG. Switzerland, p. 23-48. ISBN 978-3-319-54400-7. DOI 10.1007/978-3-319-54401-4
- Roveda, G. Ramírez, M. Bonilla R. (2008) Fertilizantes biológicos <https://repository.agrosavia.co/bitstream/handle/20.500.12324/36039/36039.pdf?sequence=1>
- Siddiqui, Z., Antoun, H., Prévost, D., (2006). Ecology of Plant Growth Promoting Rhizobacteria, PGPR: Biocontrol and Biofertilization. Springer Netherlands, pp. 1-38.
- Stein, T., 2005. *Bacillus subtilis* antibiotics: structures, syntheses and specific functions. . Molecular Microbiology 56, 845-857.
- Tognetti, C., F. Laos, M. J. Mazzarino, and M. T. Hernández. 2005. Composting vs. Vermicomposting: A comparison of end product quality. Compost Sci.Utilizat. 13: 6-13. doi: [https:// doi.org/10.1080/1065657X.2005.10702212](https://doi.org/10.1080/1065657X.2005.10702212).
- Zermeño González, A., Cárdenas Palomo, J., Ramírez Rodríguez, H., Benavides Mendoza, A., Cadena Zapata, M., Campos Magaña, S. (2015). Fertilización biológica del cultivo de maíz. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, 6(spe12), 2399-2408. Recuperado en 03 de diciembre de 2021, http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-9342015001002399&lng=es&tlng=es.



Componente de siembra con sistema electrónico para dosificación precisa de semillas de tamaño medio

Sowing component with electronic system for dosing
medium size seeds

Raúl Vidal García Hernández

Universidad Autónoma Chapingo

0000-0003-3859-584X | vidal.raulgh@gmail.com

Noé Velázquez López

Universidad Autónoma Chapingo

[0000-0001-5128-4929 | nvelazquezl@chapingo.mx](mailto:nvelazquezl@chapingo.mx)

Pedro Cruz Meza

Universidad Autónoma Chapingo

[0000-0001-8375-9642 | pcruzmeza@yahoo.com.mx](mailto:pcruzmeza@yahoo.com.mx)

Gilberto de Jesús López Canteñs

Universidad Autónoma Chapingo

[0000-0002-7789-5880 | glopezc@chapingo.mx](mailto:glopezc@chapingo.mx)

Guillermo García Sánchez

Universidad Autónoma Chapingo

[0000-0001-6041-5046 | san_gatica@hotmail.com](mailto:san_gatica@hotmail.com)

Alan Hernández Mercado

Universidad Autónoma Chapingo

[0009-0003-0391-7201 | alanhzmo@gmail.com](mailto:alanhzmo@gmail.com)

Componente de siembra con sistema electrónico para dosificación precisa de semillas de tamaño medio

Resumen

El objetivo de este trabajo fue desarrollar un cuerpo de siembra con control electrónico en la dosificación de semilla de tamaño medio. Se diseñó con cincel recto para abrir el suelo, se programó código abierto Arduino para dosificación variable y calibración de profundidad. Se adaptó un enganche de tercer punto y un dosificador de plato vertical. Se usó un motor eléctrico a pasos nema 34 y un actuador lineal para el enganche con 10 cm de recorrido. Se acopló una rueda con perímetro conocido y se instrumentó con encoder incremental para medir la distancia recorrida. Se programó una tarjeta Arduino ATmega 2560. Para la evaluación se usó un suelo con labranza convencional con 5 surcos de 25 m y tres repeticiones. Finalmente se obtuvo un cuerpo de siembra con enganche al tercer punto. La velocidad máxima medida del robot agrícola fue de 4.6 km h⁻¹ en campo con una capacidad de arrastre superior a la requerida por el cuerpo de siembra. El peso total fue de 10 kg, con 60 cm de longitud y 25 cm de ancho. Se logró tener siembra variable monograno de 10 a 30 cm de separación entre semillas y hasta 10 cm de profundidad.

Palabras clave: Control, Arduino, encoder, motor eléctrico, robot agrícola

Abstract

The objective of this work was to develop a seed drill with electronic control for medium-sized seed metering. It was designed with a straight chisel to open the soil, open source Arduino was programmed for variable metering and depth calibration. A third-point hitch and a vertical disc metering device were adapted. A NEMA 34 stepper motor and a linear actuator with a 10 cm stroke were used for the hitch. A wheel with a known perimeter was attached and instrumented with an incremental encoder to measure the distance traveled. An Arduino ATmega 2560 card was programmed. For the evaluation, conventionally tilled soil was used with five 25 m furrows and three repetitions. Finally, a seeding body with a third-point hitch was obtained. The maximum measured speed of the agricultural robot was 4.6 km h⁻¹ in the field with a towing capacity greater than that required by the seeding body. The total weight was 10 kg, with a length of 60 cm and a width of 25 cm. Variable single-seed planting was achieved with 10 to 30 cm spacing between seeds and up to 10 cm depth.

Keywords: Control, Arduino, encoder, electric motor, agricultural robot

Introducción

En México, la agricultura es un pilar fundamental en la vida de los productores, por lo cual, coadyuva en un papel tradicional que va más allá de la producción de alimentos. De acuerdo con Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI) (2022), el 72.8% de los productores tenía más de 45 años y el 29.3% tenía más de 65 años. Además, la expectativa de vida promedio en el país es de 75.5 años, asimismo con un período productivo de 10 años. Sin embargo, se ha notado un incremento en el parque vehicular de tractores, con un total de 4.3% durante los años 2007-2022. Actualmente, la agricultura de precisión aumenta el beneficio para mejores rendimientos, con la variabilidad espacial y temporal a nivel inter parcelario para optimización de los gastos y con menores efectos ambientales (Fountas et al., 2005; Torres et al., 2018).

En el caso de la calidad de la siembra, Piveta et al. (2016) mencionan que el desempeño del equipo está directamente vinculado con la geometría de los tubos de descarga y la distancia de caída, y que ambos afectan en la distribución de las semillas depositadas en el suelo. Por otro lado, Parizotto et al. (2022), menciona que el daño mecánico en los dosificadores puede llegar hasta un 4%, en conjunto con el porcentaje de germinación de las semillas. Por lo tanto, los dosificadores mecánicos horizontales se evitan en equipos de precisión y se utilizan dosificadores neumáticos para mayor eficiencia (Bottega et al., 2018). De tal manera que, la calidad de la siembra representará el inicio del éxito en la agricultura, sin embargo, es esencial considerar que, en una cama de siembra homogénea y en condiciones de humedad óptima en el suelo, donde importante será una emergencia vigorosa y la ubicación de las semillas para labores posteriores. De acuerdo con Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA) (2014), las sembradoras eléctricas son tecnologías emergentes entre las empresas líderes del mundo. En consecuencia, la precisión en la dosificación de semillas constituye una de las tareas más importantes al momento de establecer un cultivo.

Actualmente, el monitoreo inteligente del proceso de siembra comprende de manera oportuna la calidad de la siembra, y podría predecir en caso de que falten semillas o el tubo de descarga de semillas esté obstruido (Xie., 2021). Por lo tanto, la robótica se emplea en labores agrícolas, en la siembra de semillas y en otras tareas, lo que reduce la necesidad de mano de obra (Jayakrishna et al., 2018). De manera similar, el control automático de la profundidad de siembra es una tecnología que modifica este parámetro en tiempo real en función de las condiciones del suelo. Este sistema utiliza sensores y actuadores para mantener una profundidad constante, sin importar las variaciones del terreno. Se estima que las sembradoras autómatas pueden incrementar hasta tres veces la eficacia de siembra en comparación con las sembradoras manuales (Azmi et al., 2023).

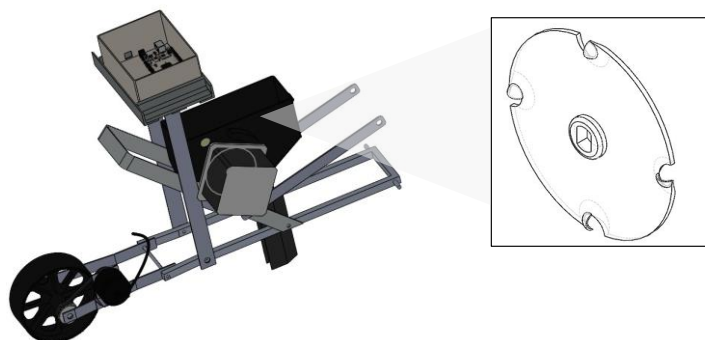
De acuerdo con lo anterior, el propósito fue diseñar e instrumentar un sistema de dosificación de semillas en un cuerpo de siembra, utilizando componentes electrónicos, para ofrecer versatilidad operativa para diferentes cultivos de grano medio.

Componente de siembra con sistema electrónico para dosificación precisa de semillas de tamaño medio

Materiales y métodos

Se llevo a cabo una revisión del estado actual del arte y se analizaron las tecnologías propuestas en artículos científicos, desarrolladas por empresas y documentadas por productores de la región. Posteriormente, se realizó el diseño del dosificador utilizando el software SolidWorks 2024®, en conformidad con los principios de la metodología del diseño mecánico. Se consideró la morfología de la semilla como parámetro principal y se diseñó un disco con cuatro cangilones para su transporte, a través de un sistema monograno (Ortíz, 2003). Con respecto con lo anterior se muestra la Figura 1.

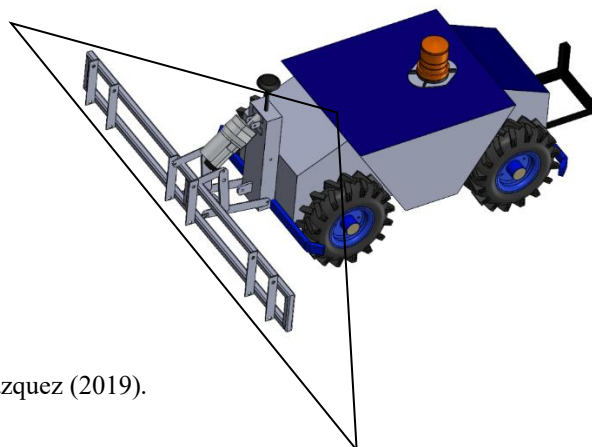
Figura 1. *Sembradora eléctrica multifuncional acondicionada y plato dosificador.*



Fuente: Patente MX/u/2019/000091(Velázquez-López y García-Hernández, 2021; García-Hernández, Cruz-Meza y Chávez-Aguilera, 2020)

El cuerpo de siembra se acopló al vehículo agrícola autónomo desarrollado en la Universidad Autónoma Chapingo por Reyes-Amador y Velázquez-López (2019) y en dónde Sánchez-Chávez et al. 2024 mencionan que la unidad robótica agrícola tiene menor consumo de energía con respecto en versiones anteriores. Para este propósito, se diseñó un sistema de enganche similar al de un tercer punto de un tractor agrícola. Este sistema permite un comportamiento libre, lo que facilita su adaptación al relieve del suelo por donde se desplaza el vehículo robótico, así como se muestra en la Figura 2.

Figura 2. *Enganche tercer punto porta cuerpo de siembra.*



Fuente: Reyes y Velázquez (2019).

El vehículo agrícola autónomo fue fundamental, ya que los parámetros de fuerza horizontal (arrastre) y altura, se utilizaron para parametrizar el levante del cuerpo de siembra. Además, se tomó en cuenta la máxima velocidad de operación, la cual residió en 4.6 km h⁻¹, con base en ello se programó el encoder y motor a pasos como lo mencionó García-Hernández et al. (2020) y Sánchez-Chávez et al. (2020) en el apartado de la programación del sistema de dosificación. Se utilizó el método de odometría para calcular la distancia recorrida y activar el motor a pasos cuando se alcanzara la distancia programada y hacer girar el plato dosificador para descargar la semilla de manera precisa.

Resultados

Se obtuvo un enganche de cuatro barras para el cuerpo de siembra acoplado en la parte trasera del robot como se muestra en la Figura 3. Este sistema realizó movimientos descendiente y ascendente según el relieve del terreno agrícola, lo cual ayudó al viraje en las cabeceras. También, cumplió con las especificaciones técnicas para trabajar en conjunto robot-sembradora para dosificación variable y profundidades de 5 a 10 cm, el portaherramientas presentó la versatilidad para acoplar varios implementos o que se integren dos cuerpos de siembra y se logró el aprovechamiento de la fuerza de arrastre del robot agrícola, evitando el patinaje en terrenos agrícolas.

Figura 3. *Cuerpo de siembra con enganche de tercer punto al robot agricultor.*



El cuerpo de siembra funcionó con una batería de 12 Volts como fuente de energía, suficiente el accionamiento del motor a pasos y el actuador lineal (pistón) del tercer punto. Para el circuito de Arduino se energizó con un banco de baterías con 5 Volts (2.1 A) de salida, lo que permitió que el sistema trabajara de manera automática. En el siguiente Cuadro 1 se mencionan las caracterización física y técnica del cuerpo de siembra evaluada en campo.

Componente de siembra con sistema electrónico para dosificación precisa de semillas de tamaño medio

Tabla 1. *Caracterización física y técnica del cuerpo de siembra.*

Características	Valor
Masa	10 kg
Enganche	Tercer punto
Longitud	60 cm
Ancho	25 cm
Altura	50 cm
Distancia entre semilla	Variable
Profundidad de siembra	5 a 10 cm
Duración de batería	51 minutos
Velocidad máxima de operación	4.6 km h ⁻¹

Discusión

Soza et al. (2011) fundamentan que, la dosificación de una semilla por golpe en coincidencia con una conducción recta y de poca altura de caída presenta un mejor comportamiento. Por tal motivo, Trupt-A. y Jayashree-S. (2017) mencionan un dispositivo con una rueda giratoria que deja caer semillas desde un tambor en contacto con el suelo y al igual que el vehículo autónomo sembrador no presentó pérdidas significativas de semillas. Sin embargo, el tambor sembrador mencionó los problemas en la dosificación, debido a que al tener diferencia en el patinaje no logra la precisión o la distancia predispuesta entre semillas. Por otro lado, López-Gómez et al. (2024) evaluaron dos cuerpos de siembra electrónico con enganche fijo al robot y mencionan que obtuvieron densidades menores debido a que no liberó semilla donde se patinaba la rueda de medición.

Tal es el caso de Ayane et al. (2018) que describen un vehículo autónomo que deposita semillas cada 10 cm por una compuerta, mencionan la dificultad en la operación y problemas al detenerse debido a que no tiene control para detener el funcionamiento. Además, la profundidad de los abre surcos influye significativamente en la resistencia del suelo y en la fuerza de tracción durante la siembra. Por lo que, entre más profundos, ocasionan alteración del suelo y una mayor demanda de potencia, especialmente en suelos compactados (López-Gómez et al., 2024; Trentin et al., 2018; Berthona et al., 2015).

Actualmente, se está dando la pauta de la agricultura 4.0 con el fin de optimizar recursos para producir y dentro de este ámbito se encuentran las sembradoras robóticas autónomas, equipadas con escáneres láser 2D y mecanismos de siembra de semillas, minimizan la participación humana y los errores, utilizando accionamiento diferencial y control PID para navegación y colocación precisa de semillas (Amir et al., 2019).

Conclusiones

Se concluyó que el componente de siembra con dosificación variable automática presentó fácil acople al vehículo agrícola autónomo y logrando una velocidad máxima de operación de 4.6 km h⁻¹, sin presentar problemas mecánicos debido a su manufactura con materiales de aluminio y acero. Además, se puede calibrar en un rango de 10 a 30 cm con utilidad para diferentes especies de grano medio que requieran una distribución de semilla por golpe. Con el sistema de control de profundidad se obtuvo un rango máximo de 10 cm, y con dispositivos para colocar la sembradora en forma horizontal al suelo.

A nivel mundial las sembradoras eléctricas muestran un creciente interés y enfoque de tecnologías emergentes que se derivan para desarrollo e implementación de la robótica agrícola. Tal es el caso del beneficio en la agricultura inteligente para mejorar la productividad y la sostenibilidad.

Referencias

- Amir, A., Muhammad, Z., & Syed-Atif, M. (2019). An autonomous seeder for maize crop. <https://doi.org/10.1145/3373724.3373737>
- Ayane, S., Bhor-Rajashri, A., & Madane-Kajal, A. (2018). Agricultural robot for automatic seeding. *International Journal of Innovative Research in Science, Engineering and Technology*, *7*(3), 2531–2535. <https://doi.org/10.15680/IJIRSET.2018.0703096>
- Azmi, M. A., Mohammad, R., & El Pebrian, D. (2022). A computer-based mapping approach for evaluating straight-line accuracy of autopilot tractor traversing the oil palm field terrain. *Smart Agricultural Technology*, *2*, 2772–3755. <https://doi.org/10.1016/j.atech.2021.100033>
- Bottega, E. L., Rosolem, D. H., Oliveira Neto, A. M., von Linsingen Piazzetta, H., & Guerra, N. (2014). Qualidade da semeadura do milho em função do sistema dosador de sementes e velocidades de operação. *Global Science and Technology*, *7*(1), 114. <https://doi.org/10.14688/1984-3801/gst.v7n1p107-114>
- Fountas, S., Søren, M. P., & Simon, B. (2005). ICT in precision agriculture: Diffusion of technology. The Royal Veterinary and Agricultural University. <http://departments.agri.huji.ac.il/economics/gelb-main.html>
- García-Hernández, R. V., Velázquez-López, N., Cruz-Meza, P., & Chávez-Aguilera, N. (2020). *Desarrollo de un sistema de siembra para un vehículo autónomo* [Tesis de maestría, Universidad Autónoma Chapingo]. Repositorio Institucional Chapingo. <https://repositorio.chapingo.edu.mx>
- INEGI. (2022). *Estadísticas de población*. <https://www.inegi.org.mx/>

Componente de siembra con sistema electrónico para dosificación precisa de semillas de tamaño medio

- INTA. (2014). *Dosificadores eléctricos, el nuevo paradigma de la siembra directa* [Ficha técnica]. Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria. <https://inta.gob.ar/documentos/dosificadores-electricos-el-nuevo-paradigma-de-la-siembra-directa>
- Jayakrishna, P. V. S., Reddy, M. S., Sai, N. J., Susheel, N., & Peeyush, K. P. (2018). Autonomous seed sowing agricultural robot. *International Conference on Advances in Computing, Communications and Informatics (ICACCI)*, India. <https://doi.org/10.1109/ICACCI.2018.8554622>
- López-Gómez, J. A., Patiño-Espejel, J. E., Velázquez-López, N., Sánchez-Chávez, D. I., & Van Loon, J. (2024). Design and comparison of two maize seeders coupled with an agricultural robot. *Machines*, *12*(12), 935. <https://doi.org/10.3390/machines12120935>
- Ortiz, C. J. (2003). *Las máquinas agrícolas y su aplicación* (6ª ed.). Editorial Mundi Prens. <https://scholar.google.com/>
- Parizotto, N. F., Marques, F. A. C., Oliveira, M. V., Souza, F. L. P., & Silva, P. R. A. (2022). Can dosing mechanisms affect the physical quality of corn seeds at different seeding speeds? *Revista de Agricultura Neotropical*, *9*(3), 7–11. <https://doi.org/10.32404/rean.v9i3.6823>
- Piveta, C. D., dos Santos, A. A., Rodrigo, F. T., Josue, F. C., Potrich, B. M., & Dias-da Costa, M. O. (2016). Effect of different conductor tubes on the longitudinal distribution of soybean seeds. *Australian Journal of Crop Science*, *10*(8), 1144–1150. <https://doi.org/10.21475/ajcs.2016.10.08>
- Reyes-Amador, A., & Velázquez-López, N. (2020). Sistema de suspensión para vehículos terrestres autónomos o no autónomos (Patente No. MX 4369 B). <https://siga.impi.gob.mx/>
- Sánchez-Chávez, D. I., Velázquez-López, N., García-Sánchez, G., Hernández-Mercado, A., Avendaño-López, O. A., & Berrocal-Aguilar, E. (2024). Robot for navigation in maize crops for the Field Robot Event 2023. *Agricultural Sciences*, *21*, 35–45. <https://doi.org/10.18690/agricsci.21.1.4>
- Soza, E. L., Quiros, P., Agnes, J. D., & Montenegro, N. V. (2011). Variabilidad de una sembradora experimental alistada con dos sistemas de dosificación en la implantación de soja. *Revista de la Facultad de Agronomía, Universidad de Buenos Aires*, *31*(3), 193–201. <https://scholar.google.com/>
- Torres, S. J., Romantchik, K. E., López, C. I. I., & López, C. G. de J. (2018). Sistema mecatrónico para el control de los dosificadores de fertilizante y pesticida granulados de una sembradora-fertilizadora. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, *9*(21), 4355–4369. <https://doi.org/10.29312/remexca.v0i21.1536>

- Trupt-A., S., & Jayashree-S, A. (2017). Design and development of automatic seed monitoring system. *International Journal of Electronics and Communication Engineering*, *India*, 2348–8549. <https://scholar.google.com/>
- Xie, C. J., Zhang, D. X., Yang, L., Cui, T., He, X., & Du, Z. (2021). Precision seeding parameter monitoring system based on laser sensor and wireless serial port communication. *Computers and Electronics in Agriculture*, *190*, 106429. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2021.106429>
- Velázquez-López, N., & García-Hernández, R. V. (2021). Sembradora eléctrica multifuncional (Patente No. MX/u/2019/000091). <https://siga.impi.gob.mx/>



Efecto de un biopreparado con microorganismos eficientes en el cultivo de *Vigna unguiculata* L.

Effect of a biopreparation with efficient microorganisms on the cultivation of *Vigna unguiculata* L.

Alejandro Raúl González Cruz

Universidad de Cienfuegos "Carlos Rafael Rodríguez"

0009-0006-9128-5284 | alejandrorgc95@gmail.com

Cynthia Cardoso Águila

Universidad de Cienfuegos "Carlos Rafael Rodríguez"

0009-0003-0448-3628 | cynthiacardosoaguila@gmail.com

Enrique Casanovas Cosío

Centro de Estudios para la transformación Agraria Sostenible

Universidad de Cienfuegos "Carlos Rafael Rodríguez"

0000-0001-5884-3922 | ecasanovas@ucf.edu.cu

Efecto de un biopreparado con microorganismos eficientes en el cultivo de *Vigna unguiculata* L.

Resumen

La investigación evaluó el efecto de un biopreparado con microorganismos eficientes en el cultivo de *Vigna unguiculata* L. en Cruces, Cuba, donde la degradación del suelo afecta la productividad. El estudio se realizó en la finca "La Caoba" empleando un diseño de bloques al azar con tres tratamientos (control, 7 L ha⁻¹ y 10 L ha⁻¹ de ME) y cuatro réplicas. Se analizaron variables morfológicas (altura, número de flores y vainas) y de rendimiento mediante técnicas agronómicas estandarizadas y análisis estadístico (ANOVA y Tukey). La dosis de 10 L ha⁻¹ mostró incrementos significativos frente al control: 23 % en altura, 90 % en flores, 73 % en vainas y 79 % en rendimiento. Estos resultados confirman que el biopreparado mejora el desarrollo del cultivo y la fertilidad del suelo, al ser una alternativa sostenible para suelos degradados. El estudio demuestra la viabilidad técnica de los ME en condiciones locales, aunque se recomienda evaluar su impacto a largo plazo y en otros cultivos. Esta investigación aporta soluciones prácticas para zonas con limitaciones edáficas, promoviendo prácticas agrícolas sostenibles.

Palabras clave: fertilidad; productividad; rendimiento; suelo

Abstract

This research evaluated the effect of a biopreparation with efficient microorganisms on the cultivation of *Vigna unguiculata* L. in Cruces, Cuba, where soil degradation affects productivity. The study was conducted at the "La Caoba" farm using a randomized block design with three treatments (control, 7 L ha⁻¹, and 10 L ha⁻¹ of EM) and four replicates. Morphological variables (height, number of flowers and pods) and yield were analyzed using standardized agronomic techniques and statistical analysis (ANOVA and Tukey). The 10 L ha⁻¹ dose showed significant increases compared to the control: 23 % in height, 90 % in flowers, 73 % in pods, and 79 % in yield. These results confirm that biopreparation improves crop development and soil fertility, being a sustainable alternative for degraded soils. The study demonstrates the technical feasibility of MEs under local conditions, although its long-term impact and evaluation of other crops is recommended. This research provides practical solutions for areas with soil constraints, promoting sustainable agricultural practices.

Key Words: fertility; productivity; yield; soil

Introducción

El suelo, que es el medio natural soporte de las plantas, también es un recurso esencial para la agricultura y la producción de alimentos. Según la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO, 2024), el suelo es un cuerpo natural que se compone de capas (horizontes) que resultan del tiempo, el clima, la topografía, los organismos vivos y el material parental, generando unas propiedades físicas, químicas y biológicas que son distintas del material parental. Sin embargo, la acción humana ha generado un descenso importante y generalizado de la calidad del suelo; afectando al 40 % de la superficie de los suelos y con impactos económicos de aproximadamente 44 billones de dólares. Este deterioro se debe principalmente a prácticas agrícolas intensivas, deforestación, urbanización y contaminación, que han causado erosión, pérdida de nutrientes esenciales y disminución de la biodiversidad del suelo.

En Cuba, la problemática del suelo presenta cuantiosos problemas, como la erosión, la salinidad, la compactación y el drenaje, que afectan a más de 4 millones de hectáreas. Las prácticas agrarias son muy poco sostenibles, por lo que la erosión del suelo afecta el 71,23 % de la superficie agrícola debido a la compactibilidad, bajo contenido de materia orgánica, salinidad, baja retención de humedad, baja fertilidad, pedregosidad y drenaje deficiente. La degradación es uno de los principales problemas ambientales (Martínez et al., 2017).

No es extraño que la provincia de Cienfuegos se pueda ver en esta problemática. Los estudios llevados a cabo en el municipio de Cruces, Cuba, sobre un suelo pardo sin carbonato, muestran un elevado grado de deterioro del suelo, todo ello con baja porosidad, elevada compactación y muy escasa materia orgánica (Valdivies et al. 2023). Para abordar los problemas asociados al suelo, se han implementado estrategias de manejo sostenible que incluyen el uso de abonos orgánicos, biofertilizantes, siembra en seco, no labranza y rotación de cultivos; sin embargo, aún persisten desafíos que requieren el desarrollo de alternativas innovadoras (Ramos & Terry, 2014).

A partir de este planteamiento, los Microorganismos Eficientes (ME) emergen como una alternativa razonable, se trata de microorganismos que incluyen, entre otros, a las bacterias fotosintéticas, a los ácidos lácticos, a las levaduras, a los actinobacterias, y a los síndromes fitopatogénicos como los hongos filamentosos. Su acción sinérgica va a producir la mejora de la salud del suelo y de las plantas (Gómez et al. 2017). Su capacidad para degradar la materia orgánica, suprimir patógenos y mejorar el hábitat del suelo los convierte en elementos clave para la agricultura sostenible. Esta tecnología se ha implementado en más de 80 países, incluyendo Cuba, donde se han investigado las potencialidades y los mecanismos de recuperación del suelo a partir de microorganismos benéficos adaptados a las condiciones locales (Mesa, 2020).

A pesar de los avances en el uso de ME, su aplicación en cultivos específicos en el municipio Cruces aún requiere evaluación sistemática. Este estudio tiene como objetivo

evaluar el efecto de un biopreparado a base de ME sobre el cultivo de la habichuela (*Phaseolus vulgaris* L.), al considera variables como el crecimiento vegetal, rendimiento y mejoramiento de suelo. La aplicación de microorganismos eficientes (ME) en el municipio de Cruces, se justifica por su capacidad para mejorar la fertilidad, estructura y salud del suelo, especialmente en contextos agrícolas con limitaciones de recursos, para mitigar la degradación del suelo y aumentar la productividad agrícola en contextos locales.

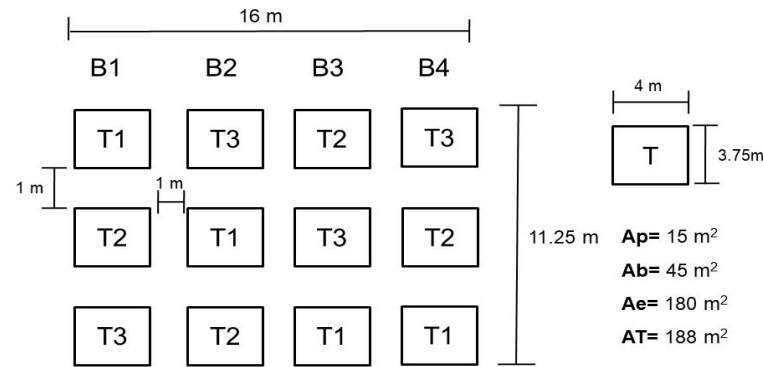
Materiales y métodos

El presente estudio se desarrolló en la finca “La Caoba”, socia de la Cooperativa de Créditos y Servicios (CCS) Ramón Balboa Monzón, ubicada en el municipio de Cruces, provincia de Cienfuegos, Cuba. El período de ejecución abarcó desde septiembre de 2024 hasta julio de 2025. El suelo del área experimental fue clasificado como un suelo pardo sin carbonato poco productivo, según sus características físicas, químicas y biológicas, el análisis de suelo y la clasificación realizada por Hernández et al. (2015).

Diseño Experimental

El experimento se llevó a cabo bajo un diseño de bloques al azar con tres tratamientos y cuatro réplicas. El marco de plantación empleado siguió las recomendaciones propuestas por Matos (2023), con una distancia de 0,25 m entre plantas y 0,80 m entre surcos. Cada tratamiento ocupó un área de 15 m², resultando en un área total experimental de 188 m² (figura 1). Se muestrearon un total de 10 plantas por parcela experimental para las evaluaciones.

Figura 1. *Diseño Experimental Habichuela*



Fuente: Elaboración propia

Para los tratamientos evaluados se tuvieron en cuenta las dosis propuestas por Carrillo et al. (2022):

- **T1:** Control sin aplicación de biopreparado.
- **T2:** Biopreparado a base de Microorganismos Eficientes aplicado a una dosis de 7 L ha^{-1} .
- **T3:** Biopreparado a base de Microorganismos Eficientes aplicado a una dosis de 10 L ha^{-1} .

El biopreparado utilizado fue producido con cepas autóctonas, a partir de bosques no antropizados, con buen contenido de microorganismos nativos, en la propia finca, se aplicaron tres aspersiones consecutivas con un intervalo de 7 días, comenzando a los 7 días después de la siembra. La aplicación se realizó tanto en el área foliar como en el suelo en la periferia de las plantas, utilizando un pulverizador manual de 16 litros de capacidad equipado con una boquilla de cono hueco a presión constante. Las aplicaciones se llevaron a cabo en el horario comprendido entre las 6:00 y 7:00 pm, empleando una solución final de 320 L ha^{-1} .

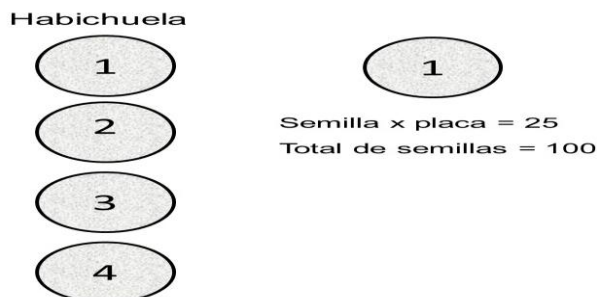
Material Biológico

Como material biológico se utilizó semilla certificada de habichuela arbustiva (*Vigna unguiculata* L.), variedad Cuba 98, obtenida en la Tienda Consultorio Agricultor (CTA) perteneciente a la Granja Urbana Cruces. Durante el desarrollo del cultivo se realizaron las actividades agrotécnicas previstas en el Manual Técnico para Organopónicos, Huertos Intensivos y Organoponía Semiprotegida (Gutiérrez, 2020).

Prueba de Germinación

Se utilizó una dilución del filtrado, con la dosis propuesta por el Instituto Cubano de Investigaciones de los Derivados de la Caña de Azúcar (ICIDCA, 2019) de 5 mL de extracto acuoso, en placas Petri, se aplicaron dos tratamientos el T1 con agua destilada y en el T2 cuatro réplicas cada una con 25 semillas para un total de 100 semillas humedecidas, evaluadas a los 7 días. Terminado el período de exposición, se procedió a registrar el número de semillas que germinen normalmente, considerando como criterio de germinación, la aparición visible de la radícula.

Figura 2. *Diseño de prueba de germinación en placa Petri*



Fuente: Elaboración propia

Evaluaciones Realizadas

Se evaluaron variables morfológicas y componentes de rendimiento del cultivo. A continuación, se describen los procedimientos empleados:

Altura de la Planta

Se realizó un muestreo inicial a los 7 días después de la germinación y posteriormente se continuó con evaluaciones semanales hasta los 28 días. La altura de la planta se midió con una cinta métrica desde la superficie del suelo hasta el extremo de la yema apical, tomando como muestra 10 plantas por réplica. Los resultados se expresaron en metro.

Número de Flores por Planta

Se realizó al concluir la floración a los 45 días de sembrado, se contabilizó el número de flores por planta y se promediaron los valores obtenidos.

Número de Vainas por Planta

Al momento de la cosecha, se contó el número de vainas por planta y se promediaron los valores.

Longitud de las Vainas

Se midió con una cinta métrica la longitud de 20 vainas tomadas al azar de las parcelas en estudio durante cada cosecha. Los valores se promediaron y compararon con los parámetros de calidad del cultivo.

Peso de las Vainas

Se determinó pesando en una balanza analítica 20 vainas tomadas al azar de las parcelas en estudio durante cada cosecha. Los valores obtenidos se expresaron en gramos y se promediaron.

Rendimiento

El rendimiento se calculó contabilizando la producción obtenida en las parcelas en estudio en kg y dividiendo este valor por el área de la parcela (expresado en kg m⁻²) (Reyes, 2020).

Procesamiento Estadístico

Para evaluar la homogeneidad entre réplicas, se aplicó una prueba de chi-cuadrado (χ^2) de bondad de ajuste, considerando como hipótesis nula (H_0) que no existen diferencias significativas en la proporción de germinación entre replicas. Los datos obtenidos fueron sometidos a análisis estadísticos de varianza (ANOVA) utilizando el paquete estadístico SPSS para Windows versión 25. Las medias fueron comparadas mediante el test de HSD de Tukey con un nivel de significancia del 5% ($P \leq 0.05$).

Resultados

Efecto del biopreparado en la prueba de germinación

La prueba de germinación desarrollada en placas Petri, con cuatro réplicas de 25 semillas cada una (100 semillas por tratamiento) (Tabla 1), evidenció que el potencial germinativo de las condiciones ensayadas es muy elevado, teniendo en cuenta que las cuatro réplicas superaron el 95 % de germinación, con una emergencia unánime y vigorosa de la radícula en la mayoría de las semillas, lo que indica que el método utilizado (placas Petri con humedecimiento controlado) y las condiciones experimentales son idóneas para la germinación sin que se evidenciaron efectos inhibitorios por parte del biopreparado a las dosis empleadas.

La concordancia de datos (baja variabilidad de los valores entre réplicas) avala la fiabilidad del ensayo, confirmando la alta viabilidad de las semillas y que el diseño experimental habilitó una adecuada evaluación.

Tabla 1. Prueba de germinación de la Semilla

Réplica	Semillas germinadas/25	% Germinación
1	24	96
2	25	100
3	23	92
4	24	96
Es $\pm$		0.994

Fuente: Elaboración propia con datos procesados por el programa SPSS v.25

Nota: Total germinado 96/100 semillas (96 % global).

No se obtiene suficiente evidencia para rechazar H_0 ($p > 0.05$). Las diferencias entre réplicas son no significativas estadísticamente, ratificando la homogeneidad que se tiene en el proceso de germinación. La alta calidad de las semillas empleadas junto con los valores obtenidos forja el 96 % global de germinación y un CV < 5 %, confirmando la fiabilidad del método para estudiar el efecto de biopreparados en el proceso de germinación.

Efecto de la aplicación del biopreparado sobre los indicadores morfológicos y del rendimiento del cultivo

Efecto de la aplicación del biopreparado sobre el indicador altura de las plantas

Los resultados (Tabla 2) muestran que el biopreparado de ME incrementó significativamente la altura de las plantas en comparación con el control, especialmente en etapas avanzadas (14–28 DDS). A los 28 DDS, la dosis de 10 L ha⁻¹ (T3) produjo un aumento del 23 % en la altura (0.246 m con respecto al control con 0.200 m); $P < 0.05$), mientras que 7 L ha⁻¹ (T2) tuvo un efecto intermedio (0.218 m). Esto sugiere una relación dosis-respuesta, donde mayores volúmenes de ME favorecen el crecimiento vegetativo, probablemente por una mayor actividad microbiana en la rizósfera. En etapas iniciales (7 DDS), la ausencia de diferencias indica que el efecto de los ME requiere tiempo para manifestarse.

Tabla 2. Efecto del biopreparado sobre el indicador la altura de las plantas

Tratamientos	Periodo			
	7 DDS	14 DDS	21 DDS	28 DDS
T1. Control	0,075 a	0,134 b	0,163 b	0,200 c
T2. Biopreparado de ME 7 L ha ⁻¹	0,077 a	0,154 a	0,185 a	0,218 b
T3. Biopreparado de ME 10 L ha ⁻¹	0,077 a	0,159 a	0,195 a	0,246 a
Es ±	0,0008	0,0029*	0,0029*	0,0042 *

Fuente: Elaboración propia con datos procesados por el programa SPSS v.25

Nota. Letras desiguales presentan diferencias significativas *($P < 0,05$) según Tukey, Días Después de la Siembra (DDS).

Efecto de la aplicación del biopreparado sobre el indicador número de flores por planta

Al realizar la evaluación de los resultados obtenidos en el comportamiento del indicador flores por planta de los diferentes muestreos que se realizaron (Tabla 3), la aplicación del biopreparado de ME influyó de manera sustancial en el comportamiento de este indicador. El tratamiento de 10 L ha⁻¹ (T3) presentó un promedio de 14,80 flores por planta, considerablemente mayor que el promedio obtenido en el control (T1) con 9,20 flores por planta; las diferencias encontradas son estadísticamente significativas ($P < 0,05$). Este incremento en la producción de flores nos indica que el biopreparado de ME, en dosis de 10 L ha⁻¹, podría contribuir a mejorar la capacidad reproductiva de las plantas.

Tabla 3. Efecto del biopreparado sobre el indicador número de flores por planta

Tratamientos	45 Días Después de la Siembra
T1. Control	9,20 c
T2. Biopreparado de ME 7 L ha ⁻¹	12,40 b
T3. Biopreparado de ME 10 L ha ⁻¹	14,80 a
Es ±	0,459 *

Fuente: Elaboración propia con datos procesados por el programa SPSS v.25

Nota. Letras desiguales presentan diferencias significativas *(P<0,05) según Tukey

Efecto de la aplicación del biopreparado sobre el indicador vainas por plantas

Al analizar los datos recogidos del indicador "vainas por planta", el cual se presenta en la Tabla 4, se concluye que la aplicación del biopreparado de (ME) influye notablemente en este indicador. Para el primer muestreo, el tratamiento con 10 L ha⁻¹ (T3) registró un promedio de 14,20 vainas por planta, mientras que el promedio para el control (T1) fue de 8,20 vainas. Además, la diferencia entre estos tratamientos fue estadísticamente significativa (P < 0,05). En el resto de los muestreos el comportamiento del T3 fue similar con respecto a los demás tratamientos. Esto se atribuye a la acción sinérgica de los ME en la disponibilidad de nutrientes, síntesis de hormonas y supresión de patógenos. La ligera reducción de frutos hacia 21 DDF refleja un ajuste fisiológico natural.

Tabla 4. Efecto del biopreparado sobre el indicador vaina por planta

Tratamientos	7 DDF	14 DDF	21 DDF
T1. Control	8,20 c	7,90 c	7,30 c
T2. Biopreparado de ME 7 L ha ⁻¹	11,80 b	11,30 b	10,90 b
T3. Biopreparado de ME 10 L ha ⁻¹	14,20 a	13,50 a	12,70 a
Es ±	0,490 *	0,458 *	0,448 *

Nota. Letras desiguales presentan diferencias significativas *(P<0,05) según Tukey, Días Después de la Fructificación (DDF)

Fuente: Elaboración propia con datos procesados por el programa SPSS v.25

Efecto de la aplicación del biopreparado sobre el indicador longitud de las vainas

El análisis de los datos obtenidos (Tabla 5) reveló que el biopreparado de (ME) tuvo finalmente un efecto significativo en la longitud de las vainas. En el tercer muestreo, el tratamiento que recibió la mayor dosis de biopreparado (10 L ha⁻¹, T3) alcanzó una longitud media de la vaina de 0,384 m, lo que fue significativamente superior al grupo control (T1), cuyo valor medio fue de 0,266 m para (P<0,05): esto último implica, por tanto, un incremento del 44 % en comparación con el control lo que indica que el

biopreparado, especialmente a la mayor dosis, puede mejorar el desarrollo morfológico de las estructuras vegetativas.

El T3 (10 L ha⁻¹ de ME) produjo vainas hasta un 44.4% más largas que el control, con un efecto acumulativo en el tiempo. Esto se explica por la acción integrada de los ME en la solubilización de nutrientes (P, K), síntesis de fitohormonas (auxinas) y protección contra estrés. La dosis de 10 L ha⁻¹ se establece como recomendable para este cultivo.

Tabla 5. Efecto del biopreparado sobre el indicador longitud de las vainas

Tratamientos	7 DDF	14 DDF	21 DDF
T1. Control	0,283 b	0,286 c	0,266 c
T2. Biopreparado de ME 7 L ha ⁻¹	0,298 b	0,323 b	0,312 b
T3. Biopreparado de ME 10 L ha ⁻¹	0,338 a	0,371 a	0,384 a
Es ±	0,0042*	0,0065 *	0,0069 *

Nota. Letras desiguales presentan diferencias significativas *(P<0,05) según Tukey, Días Después de la Fructificación (DDF)

Fuente: Elaboración propia con datos procesados por el programa SPSS v.25

Efecto de la aplicación del biopreparado sobre el indicador rendimiento

Del análisis de datos (Tabla 6), se observa que la aplicación de la dosis más alta de biopreparado (ME) incrementó el rendimiento del cultivo, siendo para la dosis más alta (10 L ha⁻¹, T3) el rendimiento promedio de 0.196 kg, que supera al grupo control (T1), tiene un rendimiento promedio de 0.109 kg m⁻², lo que representa un aumento del 79 % respecto al control. La desviación de la media ha sido moderada y estable, y varias indicaciones precisas a la hora de realizar las mediciones y confianza en los resultados. Asimismo, la dosis intermedia (7 L ha⁻¹, T2) produce un mayor rendimiento (0.139 kg m⁻²) al grupo control. Según la prueba de Tukey (P<0,05), los tratamientos presentan diferencias significativas, lo cual resalta el efecto dosis-respuesta positivo del biopreparado.

Aunque T2 (7 L ha⁻¹) mejoró variables como longitud de vainas y floración, su rendimiento (kg m⁻²) no difirió significativamente del control (T1). Esto se atribuye a que las vainas adicionales pudieron ser menos densas o a que la dosis fue insuficiente para impactar el peso final. Solo T3 (10 L ha⁻¹) superó este umbral, evidenciando una relación dosis-respuesta.

Tabla 6. Efecto del biopreparado sobre el indicador rendimiento

Tratamientos	Cosecha Kg m ⁻²
T1. Control	0.109 b
T2. Biopreparado de ME 7 L ha ⁻¹	0.139 b
T3. Biopreparado de ME 10 L ha ⁻¹	0.196 a
Es ±	0,49392

Nota. Letras desiguales presentan diferencias significativas *(P<0,05) según Tukey

Fuente: Elaboración propia con datos procesados por el programa SPSS v.25

Discusión

Los resultados observados en este estudio son congruentes con la literatura revisada sobre pruebas de germinación estandarizadas descritas por García, et al. (2021), donde observaron hasta un 94 % de índices de germinación para semillas tratadas con bioestimulantes microbianos, con un coeficiente de variación (CV) del 3.1 % y un error estándar $\pm$ de 0.98, lo cual corrobora la homogeneidad del procedimiento que realizan, con réplicas de 20-25 semillas en placas Petri. La homogeneidad de los resultados (ausencia de diferencias significativas entre réplicas) sugiere que, en este trabajo, así como en los reportes de literatura, las condiciones controladas de humedad y temperatura permitieran una germinación homogénea y reproducible.

La ausencia de efectos inhibitorios de biopreparado de Microorganismos eficientes concuerda con las descripciones del ICIDCA (2019), obtenidas con protocolos experimentales y con derivados de caña de azúcar, donde dosis cercanas a las indicadas anteriormente, promovieron la germinación sin interferir con la viabilidad de las semillas.

Los resultados de este estudio concuerdan con los reportes de Martínez et al. (2021), quienes especificaron que los biopreparados con compuestos hormonales, como las auxinas y citoquininas, pueden promover los procesos clave del desarrollo vegetal, entre los que destaca la elongación y división celular. Estos autores citan que una concentración superior de metabolitos que se encuentran presentes en el biopreparado podría regular de forma más efectiva dichos procesos fisiológicos.

Los datos aportados por Gómez y Ramírez (2020), en su estudio sobre los sistemas de producción intensiva y organopónicos en cultivos de hortalizas, evidencian la relación entre la bioestimulación y la eficiencia reproductiva. La dosis utilizada (10 %) estimuló la colonización micorrízica, lo que favorece la absorción de los nutrientes fundamentales para la floración, debido a que se requieren elementos como: fósforo y nitrógeno.

Por otro lado, el consorcio microbiano ME-50 implementado por Hernández, et al. (2021), (donde se incluye a *Bacillus subtilis* y a *Lactobacillus bulgaricus*), empleado a una concentración de 100 mL L⁻¹, cuando se mezcla con *Trichoderma harzianum*, se aprecia el incremento destacado en el cultivo de habichuela var. Lina, los cuales están asociados a la existencia de una mayor capacidad fotosintética y síntesis de fitohormonas, factores que indirectamente favorecen la floración.

Los resultados de las investigaciones de Ramírez (2018), han comprobado que los biopreparados a partir de microorganismos eficientes (ME) influyen de manera significativa en el indicador vaina por planta en el cultivo, cuyas respuestas van a depender de la dosis de aplicación y de la composición del inoculante. El biofertilizante EcoMic aplicado al 10 % en masa de semilla aumentó en un 23 % el número de vainas por planta en la variedad Cantón.

Un estudio evaluó el consorcio microbiano ME-50 aplicado a una dosis de 100 mL L⁻¹ junto con *Trichoderma harzianum* y logró aumentar las vainas por planta en un

27 % con respecto al testigo. La sinergia de estos microorganismos logró incrementar la disponibilidad de nutrientes y la síntesis de fitohormonas como las auxinas, que están relacionadas con el desarrollo de las vainas. Entre los microorganismos involucrados destacan *Rhizobium* spp., hongos micorrízicos arbusculares (HMA) como *Rhizophagus irregularis* y *Trichoderma harzianum*, un hongo promotor del crecimiento vegetal. Además, los consorcios microbianos como Microorganismos Eficientes (ME-50®), que incluyen bacterias ácido lácticas, levaduras y actinomicetos, contribuyen a mejorar la disponibilidad de nutrientes y estimular la producción de fitohormonas. La coinoculación de estos microorganismos se mostró como una alternativa más efectiva que la inoculación individual, al favorecer el desarrollo reproductivo del cultivo (Calero et al., 2023).

Asimismo, López et al. (2021), señalan que los oligogalacturónidos (OGAs), aplicados vía foliar a una dosis de 10 mg L⁻¹, fueron positivos a la longitud de las vainas con (32.33 cm vs. 21.13 cm para el control), así como a la masa fresca. Generan procesos fisiológicos que incrementan la retención de flores y vainas aún bajo estrés abiótico.

La investigación de Wang et al. (2022) demuestra el efecto de los bioestimulantes a base de aminoácidos en cultivos de frijol, mostrando que estos productos incrementaron significativamente la longitud de las vainas; los autores sugirieron que esto se debe a un aumento en la síntesis de proteínas y una mejor expansión celular. Lo que sugiere que el biopreparado investigado puede estar modulando procesos fisiológicos quizás análogos que favorezcan el desarrollo morfológico de las vainas.

Por otra parte, Liu et al. (2023), también mencionan que pueden aumentar la longitud de las vainas a través de una mejor disponibilidad de los micronutrientes esenciales como lo son: el boro y el zinc, lo que refuerza también los resultados de la investigación además de otorgar relevancia a los biopreparados multidisciplinarios, no solo para el incremento del crecimiento vegetativo, sino también optimizando la calidad y el tamaño de las estructuras reproductivas.

El uso de ME a 100 mL L⁻¹ incrementó la masa de los frutos en un 63 %, en relación al control, dentro de condiciones de estrés, asociándose a mejoras en la eficiencia de la polinización y el desarrollo de órganos reproductivos; de paso, se relaciona la observación inicial con un aumento en el desarrollo reproductivo, a pesar que no se midieron flores; igual se puede concluir una relación positiva entre la polinización microbiana y la productividad floral (Torres et al., 2022).

En torno al ME-50 y su consorcio de microorganismos, aplicado a 100 mL L⁻¹ y junto a *T. harzianum*, se aprecia incrementos de tan solo un 27 % en el rendimiento frente al testigo (Pérez et al., 2023); en este caso el efecto positivo de los microorganismos aplicados hace hincapié en mayores disponibilidades de nutrientes, así como en la producción de fitohormonas, por ejemplo, las auxinas, las cuales a su vez están asociadas a la floración y al desarrollo de las vainas, por lo que se sugiere aplicarlas juntas en el cultivo, para así maximizar sus efectos.

Conclusiones

Los biopreparados a base de Microorganismos Eficientes (ME) incrementan significativamente el desarrollo y productividad de la habichuela en el municipio Cruces. La producción de vainas, número de flores, altura de las plantas y rendimiento final se incrementó notablemente cuando se aplicó la dosis de 10 L ha⁻¹. Estos resultados validan el potencial de los ME como una alternativa para mejorar la productividad agrícola junto a la salud del suelo. La tasa de germinación demostrada a través de los resultados finales indica que hay suficiente respaldo de su aplicabilidad en condiciones similares.

Referencias

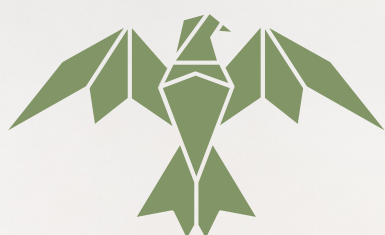
- Calero, A., Pérez, Y., Peña, K., Olivera, D., Jiménez, J., & Carabeo, A. (2023). Coinoculación de biofertilizantes microbianos en pepino y habichuela y su efecto en el crecimiento y rendimiento. Dialnet. <https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/9422265.pdf>
- Carrillo, Y., Terry, E., Ruiz, J., & Delgado, G. (2022). Efecto de la coinoculación de microorganismos eficientes-HMA en el rendimiento del cultivo del tomate (*Solanum lycopersicum* L.). Cultivos Tropicales, 43(2). <http://ediciones.inca.edu.cu/index.php/ediciones/article/view/1654>
- Estados Unidos. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO). (2024). Definiciones. Portal de Suelos de la FAO. <https://www.fao.org/soils-portal/about/definiciones/es/>
- García, R., Martínez, L., & Sánchez, I. (2021). Microbial biostimulants enhance seed germination uniformity. Journal of Plant Growth Regulation, 40(3), 245–256. <https://doi.org/10.1007/s00344-021-10334-1>
- Gómez, A., & Ramírez, J. (2020). Sinergia entre biopreparados a base de microorganismos eficientes y fertilización orgánica en el cultivo de habichuelas. Revista Internacional de Agricultura Sostenible, 15(2), 45-58. <https://www.redalyc.org/journal/1932/193279250003/193279250003.pdf>
- Gómez, L., García, C., Martínez, F., & Aguilar, Y. (2017). Manejo Sostenible de suelos en la Agricultura. Revista Agroecología. 12(1), 25-38. <http://revistas.um.es/agroecologia/article/download/330321/229281/1125381>
- Hernández, A., Pérez, M., Bosch, D., & Speck, C. (2015). La clasificación de suelos de Cuba: Énfasis en la versión de 2015. Scielo 40(1), 1-93. <http://scielo.sld.cu/pdf/ctr/v40n1/1819-4087-ctr-40-01-e15.pdf>
- Hernández, M., López, P., & Martínez, R. (2021). Impacto de biopreparados microbianos en la inducción floral de *Phaseolus vulgaris* L. Journal of Sustainable Agriculture

- and Biotechnology, 8(3), 112-125.
<https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/9422265.pdf>
- Instituto Cubano de Investigaciones de los Derivados de la Caña & de Azúcar (ICIDCA). (2019). Microorganismos eficientes: Producción y aplicación en la agricultura, postcosecha y cría de animales. <https://www.g77.org/pgtf/finalrpt/INT-17-K13-FinalReport.pdf>
- Instituto Cubano de Investigaciones de los Derivados de la Caña de Azúcar [ICIDCA]. (2019). Protocolos para bioensayos con derivados de caña de azúcar. La Habana, Cuba. <https://www.revista.icidca.azcuba.cu/wp-content/uploads/2020/11/Vol.-53-No.-3-2019.pdf>
- Liu, Y., Chen, H., & Wang, Z. (2023). Micronutrient-enhanced biostimulants improve pod length and quality in legumes. Crop Science, 63(2), 890-901. <https://doi.org/10.1002/csc2.20876>
- López, J., Baldaquín, A., & Labrada, M. (2021). Predicción del rendimiento agrícola en el cultivo de la habichuela. AmeliCA. <https://portal.amelica.org/ameli/journal/576/5764724011/html/>
- Martínez, F., García, C., Gómez, L., & Aguilar, Y. (2017). Manejo Sostenible de suelos en la Agricultura. Revista Agroecología. 12(1), 25-38. <https://revistas.um.es/agroecologia/article/download/330321/229281/1125381>
- Martínez, R., López, P., & Hernández, M. (2021). Impacto de biopreparados microbianos en la inducción floral de Phaseolus vulgaris L. Journal of Sustainable Agriculture and Biotechnology, 8(3), 112-125. <https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/9422265.pdf>
- Matos, K. (2023). Guía del cultivo Habichuela. (DIGUERA) Dirección General de Riesgos Agropecuarios. <https://digera.gob.do/wp-content/uploads/2023/12/Guia-de-Cultivo-Habichuela.pdf>
- Pérez, Y., Calero, A., Peña, K., Olivera, D., Jiménez, J., & Carabeo, A. (2023). Coinoculación de biofertilizantes microbianos en pepino y habichuela y su efecto en el crecimiento y rendimiento. Dialnet. <https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/9422265.pdf>
- Ramírez, J. (2018). Efecto del bioestimulante orgánico biol en el rendimiento del frijol variedad canario 2000. Revista Científica Agroecosistemas, 8(2), 110-115. <https://aes.ucf.edu.cu/index.php/aes/issue/view/13>
- Ramos, M., & Terry, M. (2014). Manejo sostenible de suelos agrícolas: uso de abonos orgánicos y biofertilizantes. Editorial Científica Cubana. http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0258-59362014000400007

- Reyes, F. (2020). Modelo para la predicción del rendimiento de grano en maíz (Trabajo de tesis, Colegio de Postgraduados). http://colposdigital.colpos.mx:8080/jspui/bitstream/10521/4309/1/Reyes_Gonzalez_F_MC_Edafologia_2020.pdf
- Torres, F., Pérez, C., & Sánchez, L. (2022). Optimización de dosis de microorganismos eficientes para mitigar estrés hídrico en habichuelas. *Agroecology Research Journal*, 12(4), 78-92. <https://ediciones.inca.edu.cu/index.php/ediciones/article/view/1737>
- Valdivies, Y., Quintana, L., Martínez, A., & Carrazana, Y. (2023). Propiedades físicas y componentes de la fertilidad del suelo en la Finca Maripa, Cumanayagua, Cienfuegos. *Revista Científica Agroecosistemas*, 11(2), 2. <https://aes.ucf.edu.cu/index.php/aes/article/view/634/602>
- Wang, L., Zhang, X., & Li, J. (2022). Effects of amino acid-based biostimulants on bean pod length and yield. *Agronomy Journal*, 114(3), 1234-1245. <https://doi.org/10.1002/agj2.20456>



Revista Latinoamericana de Ciencias Agrarias



PERUVIAN SCIENCE
CENTRO EDITORIAL