

Los biofertilizantes promueven la calidad fisiológica de la semilla y el desarrollo inicial en plántulas de arroz en condiciones controladas

Biofertilizers promote seed physiological quality and early development in rice seedling under controlled conditions

Roberto de la Cruz Díaz-Juárez¹✉, Marianguadalupe Hernández-Arenas¹✉, Edwin Javier Barrios-Gómez¹✉ and Viridiana Trejo-Pastor^{2*}✉

¹ Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP), Campo Experimental Zacatepec. Carretera Zacatepec-Galeana km 0.5, colonia Centro, C.P. 62780, Zacatepec de Hidalgo, Morelos, México.

² Departamento de Ciencias Agrícolas, Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán Campo Cuatro, Universidad Nacional Autónoma de México. Carretera Cuautitlán-Teoloyucan km 2.5, San Sebastián Xhala, C.P. 54714, Cuautitlán Izcalli, Estado de México, México.

RESUMEN

Los biofertilizantes contienen microorganismos que promueven el crecimiento y desarrollo de las plantas. En el cultivo de arroz (*Oryza sativa* L.) se desconoce la acción benéfica en etapas tempranas en condiciones controladas. El objetivo del trabajo fue evaluar el efecto de los biofertilizantes en la germinación de la semilla, desarrollo inicial y producción de biomasa en arroz en laboratorio y macetas. En un diseño factorial se evaluó variedades y biofertilizantes. Las variables evaluadas fueron: germinación de semilla, longitud de raíz y parte aérea y la materia seca de cada componente. Para la prueba en macetas el análisis de varianza detectó diferencias en el factor *variedades*; mientras que en la prueba de laboratorio hubo diferencias entre *variedades* y *biofertilizantes* en las variables evaluadas. Hubo efecto de interacción solo en la germinación. En cuanto a los *biofertilizantes*, *Rhizophagus irregularis* aumentó 10 % la germinación, 39 % el crecimiento de raíz y 58 % de la parte aérea, respecto al testigo. El efecto de interacción indica que los *biofertilizantes* interactúan de manera diferente en la germinación con las *variedades* evaluadas. El uso de biofertilizantes en condiciones controladas mejora la germinación de semilla, promueve el desarrollo inicial y acumulación de biomasa en arroz.

Palabras clave: *Oryza sativa* L., biofertilizantes, biomasa, crecimiento, germinación, variedades.

ABSTRACT

Biofertilizers contain microorganisms that promote plant growth and development. In rice (*Oryza sativa* L.) the beneficial action in early stages under controlled conditions is unknown. The objective of this study was to evaluate the effect of biofertilizers on seed germination, initial development, and biomass production in rice evaluated in laboratory and pots. Varieties and biofertilizers were evaluated in a factorial design. The variables evaluated were: seed germination, root and shoot length, and dry matter of each component. For the pot test, analysis of variance detected differences in the varieties factor, while in the laboratory test there were differences between varieties and biofertilizers in the variables evaluated. There was an interaction effect only in germination. Regarding biofertilizers, *Rhizophagus irregularis* increased germination by 10 %, root growth by 39 % and shoot growth by 58 % compared to the control. The interaction effect indicates that biofertilizers interact differently in germination with the varieties evaluated. The use of biofertilizers under controlled conditions improves seed germination, promotes initial development, and biomass accumulation in rice.

lated. There was an interaction effect only in germination. Regarding biofertilizers, *Rhizophagus irregularis* increased germination by 10 %, root growth by 39 % and shoot growth by 58 % compared to the control. The interaction effect indicates that biofertilizers interact differently in germination with the varieties evaluated. The use of biofertilizers under controlled conditions improves seed germination, promotes initial development, and biomass accumulation in rice.

Keywords: *Oryza sativa* L., biofertilizers, biomass, growth, germination, varieties.

INTRODUCCIÓN

En México, el arroz se produce bajo diferentes sistemas de producción, uno de éstos es el sistema tradicional de aborde y trasplante con riego. Morelos es el único estado que produce bajo este sistema, que consiste en establecer el almácigo y posteriormente trasplantar en el terreno definitivo (Barrios, 2016). Además, es el estado con mayor rendimiento por hectárea con un promedio de 10 toneladas y en el año 2024 se sembraron 666 ha (SIAP, 2025). Toda la producción tiene denominación de origen "Arroz del Estado de Morelos" (DOF, 2016), por sus características de grano y culinarias.

La agricultura convencional utiliza diversos agroquímicos, entre ellos los fertilizantes. El uso excesivo de los fertilizantes químicos causa contaminación del agua, del aire y suelo. Los efectos directos son cambios en las propiedades físicas y químicas del suelo, eutrofización de los cuerpos de agua y emisión de gases de efecto invernadero al ambiente (Meena y Busi, 2019). Desde el punto de vista de la agricultura, su uso excesivo provoca disminución de la productividad y mala calidad de los productos, así como problemas a la salud humana. Una forma de mitigar dichos efectos en la agricultura es disminuir su uso mediante el empleo de biofertilizantes (Chávez-Díaz *et al.*, 2020, Tufail *et al.*, 2024).

Los biofertilizantes son sustancias que contienen microorganismos benéficos del suelo, que pueden promover el crecimiento de las plantas (Vessey, 2003; Bhattacharyya y Jha, 2012). El uso de los biofertilizantes en la agricultura no es nuevo; sin embargo, debido a diversos factores, no se ha

*Autor para correspondencia: Viridiana Trejo Pastor
Correo-e: trejopastor@cuautitlan.unam.mx

Recibido: 4 de junio de 2025

Aceptado: 13 de enero de 2026

Publicado: 25 de febrero de 2026

adoptado como una práctica común. Puede aplicarse a las semillas, al suelo o a la parte aérea de las plantas (Ahmad *et al.*, 2008). En diversas investigaciones se ha demostrado que el uso de microorganismos benéficos estimula el crecimiento y desarrollo de las plantas, mejorando su capacidad para absorber agua y nutrientes del suelo (Vessey, 2003), un mayor contenido fitoquímico (Rizvi *et al.*, 2022), así como la prevención de enfermedades (Zaidi y Khan, 2018). Actualmente, se han logrado avances significativos en la comprensión, investigación y formulación de diversas rizobacterias promotoras del crecimiento vegetal, como métodos alternativos de fertilización de cultivos (Bangash *et al.*, 2021) y bacterias fijadoras de nitrógeno (Hara *et al.*, 2019). Además, disminuyen los costos de producción, no contaminan el ambiente, conservan la fertilidad y aumentan la diversidad biológica del suelo (Alfonso *et al.*, 2005). Existen diferentes tipos de microorganismos benéficos: rizobacterias promotoras del crecimiento de las plantas, cianobacterias fijadoras de nitrógeno, bacterias y hongos supresores de enfermedades de las plantas, microbios que degradan tóxicos del suelo, actinomicetos y otros microbios útiles (Singh *et al.*, 2011).

Los microorganismos, ya sean bacterias y hongos, que proveen algún beneficio a las plantas se le conoce como microorganismos promotores del crecimiento vegetal (Lapsansky *et al.*, 2016), en este grupo se incluyen las micorrizas (Caballero-Mellado, 2006). Las micorrizas interactúan con las raíces de las plantas en la rizosfera y se establece una relación simbiótica planta-microorganismo (Kloepper *et al.*, 1989). Es decir, ambos se benefician, crecen y se desarrollan de manera óptima. Las bacterias promotoras del crecimiento vegetal crecen en asociación con las plantas y promueven el crecimiento, ya sea mediante fijación de nitrógeno, producción de reguladores de crecimiento, disponibilidad de nutrientes en la rizosfera e incremento del área de la raíz (Lugtenberg y Kamilova, 2009; Hara *et al.*, 2019).

Grageda-Cabrera *et al.* (2012) mencionan la realización de estudios en diferentes cultivos en donde el uso de los biofertilizantes es un éxito. Sin embargo, en el cultivo de arroz el efecto de los biofertilizantes es poco conocido, ya que los escasos estudios realizados se enfocaron en su uso como complemento de la fertilización química (Barrios-Gómez *et al.*, 2022; Díaz-Juárez *et al.*, 2022); por lo que es necesario generar conocimiento que determine el impacto de los biofertilizantes en etapas tempranas de desarrollo del cultivo de arroz, debido al sistema de producción que es por trasplante, en el que resulta importante obtener plántulas de alta calidad y vigorosas, para evitar la competencia con malezas, ya que pueden llegar a causar pérdidas de hasta el 90 % (Esqueda *et al.*, 2010) y minimizar el estrés postrasplante. Además, existen pocos estudios sobre el efecto de los biofertilizantes en condiciones controladas que permita comprender la respuesta de estos en las etapas tempranas del cultivo de arroz (Ruiz-Sánchez *et al.*, 2016; Ruiz *et al.*, 2015; Tufail *et al.*, 2024). Por tal motivo el objetivo del presente estudio fue evaluar el efecto de los biofertilizantes en la germinación de la semilla, el desarrollo inicial de plántula y la producción de biomasa en variedades de arroz en condiciones de laboratorio y macetas.

MATERIALES Y MÉTODOS

Sitio experimental

La investigación se realizó en el Laboratorio de Semillas y en una malla sombra del Campo Experimental Zacatepec del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias, ubicado en el municipio de Zacatepec de Hidalgo, Morelos. El clima es cálido subhúmedo con lluvias en verano con temperatura media anual de 24.8 °C, precipitación media de 839 mm y altitud de 910 m (García, 2004). El experimento se realizó en el año 2023 y se dividió en dos etapas: en laboratorio para evaluar la germinación de la semilla y la acumulación de biomasa en plántulas, y en macetas bajo una malla sombra para evaluar el crecimiento, desarrollo inicial y acumulación de biomasa en plantas, simulando las condiciones de establecimiento de almácigos o "pachol" para la producción de plántulas de arroz para trasplante.

Material vegetal y biofertilizantes

Las variedades de arroz utilizadas fueron: Morelos A-2016, Nayarita 22 e INIFLAR RT. Los biofertilizantes comerciales usados y la concentración de los microorganismos que contienen cada uno fueron: RhizoFer® que contiene *Rhizobium etli* (Segovia *et al.*, 1993) a una concentración de 500 millones de bacterias por gramo, MicorrizaFer® Plus que contiene *Rhizophagus irregularis* (Stockinger *et al.*, 2009) en concentración mínima de 100 propágulos micorrícicos arbusculares por gramo, de los cuales alrededor del 30 % son esporas, y MaxiFer® que contiene *Azospirillum brasilense* (Tarrand *et al.*, 1978) en concentración de 500 millones de bacterias por mililitro.

Diseño experimental

Experimento en laboratorio

El diseño experimental utilizado fue completamente al azar, con cuatro repeticiones, en arreglo factorial 3 x 4, donde el factor uno fueron las variedades de arroz con tres niveles. El factor dos fueron tres biofertilizantes y agua como testigo, dando un total de 12 tratamientos. La unidad experimental fue de cuatro tacos de germinación que contenían 25 semillas cada uno, dando un total de 100 semillas.

Experimento en macetas

Los 12 tratamientos generados en el estudio de laboratorio se replicaron para el estudio en macetas bajo malla de sombra. En este caso, el diseño experimental utilizado fue bloques completos al azar, con cuatro repeticiones, en arreglo factorial 3 x 4, se consideraron los mismos factores y niveles que en el experimento en laboratorio. La unidad experimental fue una maceta por tratamiento, que contenía cinco plantas de arroz.

Manejo del experimento

Experimento en laboratorio

Inoculación de la semilla. Para la inoculación de la semilla con los biofertilizantes se preparó una suspensión con cada biofertilizante más el testigo (agua). Previo a la preparación

de soluciones, se esterilizó agua en autoclave a 120 °C y 5 libras por pulgada cuadrada (Pounds per Square Inch o PSI). Una vez obtenida el agua estéril, en recipientes diferentes se agregó 5.0 g L⁻¹ de RhizoFer®, 5.0 g L⁻¹ de MicorrizaFer® Plus y 5.0 mL L⁻¹ de MaxiFer® más 1.0 mL de adherente microencapsulador Maia Ph® en cada suspensión y se procedió a agitar para mezclar adecuadamente los productos con el agua. Por último, la semilla se remojó en cada suspensión durante 24 h para favorecer la adhesión de los microorganismos de los biofertilizantes a la semilla.

Instalación del experimento. Para la prueba de germinación, se elaboraron tacos de germinación utilizando toallas de papel Sanitas® previamente etiquetadas con cada tratamiento. Sobre una toalla extendida húmeda con agua estéril se colocaron 25 semillas de arroz distribuidas uniformemente en filas e hileras de 5 x 5, se tapó con otra toalla húmeda y se procedió a doblar en forma de taco (ISTA, 2004). Posteriormente, los tacos se colocaron dentro de una bolsa de plástico con cierre hermético (Ziploc®), las bolsas con los tacos de germinación se introdujeron en una incubadora (Sanyo modelo MIR-253 Moriguchi, Osaka, Japón), durante 21 días a temperatura promedio de 25 ± 1 °C y humedad relativa arriba del 90 %, aplicando riegos ligeros cada tercer día. La manipulación de las semillas una vez inoculadas, se hizo con guantes de látex desechables, haciendo cambios en la manipulación de cada tratamiento y las pinzas desinfectadas.

Experimento en macetas en malla sombra

Inoculación de la semilla. La preparación de la suspensión para la inoculación de la semilla fue igual al experimento en laboratorio.

Instalación del experimento. Las macetas que se utilizaron fueron de 3.5 L de capacidad, se lavaron y desinfectaron utilizando una solución de hipoclorito de sodio a una concentración de 1.0 mL L⁻¹ y se dejó reposar durante 48 h para asegurar el proceso. La siembra se realizó en suelo de textura arcillosa del campo experimental (López-Hernández *et al.*, 2018), del tipo Vertisol gleyco (FAO, 1989) depositando ocho semillas por maceta a un centímetro de profundidad, al final se dejó cinco plántulas por maceta. Las macetas se regaron diariamente durante un mes con 250.0 mL de agua. La manipulación de las semillas inoculadas al momento de la siembra se hizo de la misma forma que en el experimento en laboratorio, utilizando guantes de látex desechables y pinzas desinfectadas en cada tratamiento.

Variables evaluadas

Experimento en laboratorio

Para observar el efecto de los biofertilizantes en la germinación de la semilla y acumulación de biomasa en arroz se evaluó lo siguiente:

Germinación (GER) en porcentaje (%). Se contó el número de semillas germinadas a los 14 días después de la siembra (dds). Las plántulas se mantuvieron durante 21 dds para evaluaciones posteriores.

Longitud de la radícula (LRa) y **longitud de la parte aérea (LA)** en centímetros (cm). Pasados los 21 dds, con la ayuda de

una regla se midió la longitud de la raíz y de la parte aérea de las cinco plántulas ubicadas en la fila central del taco de germinación y se obtuvo el promedio por variable.

Materia seca de la radícula (MSRa) y **materia seca de la parte aérea (MSA)** en gramos (g). Después de 21 dds se procedió a separar la radícula y la parte aérea de las plántulas; posteriormente, se depositaron en sobres de papel previamente etiquetados y se introdujeron en un horno de secado por convección (Sanyo modelo MOV-112F Moriguchi, Osaka, Japón), a una temperatura de 70 °C durante 72 horas para eliminar el agua de la radícula y de la parte aérea. Al final, cada componente se pesó en una balanza electrónica (Shimadzu Corporation Modelo AY120 Kioto, Japón) y se obtuvo el promedio por variable.

Experimento en macetas en malla sombra

Para evaluar el efecto de los biofertilizantes en el crecimiento, desarrollo inicial y acumulación de biomasa, en las cinco plantas de cada maceta se evaluó el número de macollos (NM), longitud de raíz (LRz en cm), LA (cm), materia seca de la raíz (MSRz en g) y MSA (g).

Análisis estadístico

En ambos experimentos se realizó un análisis de varianza de acuerdo con el diseño experimental utilizado y una comparación de medias de Tukey ($P \leq 0.05$) entre los factores con el paquete estadístico SAS versión 9.4 (SAS Institute Inc., 2016).

En el caso del experimento en laboratorio, los datos de la variable germinación, dado que estaba expresada en porcentaje, se transformaron con la función arcoseno. Del experimento en malla sombra, como complemento al análisis de la información, se realizó un análisis de varianza y una comparación de medias de Tukey ($P \leq 0.05$) para los tratamientos (combinaciones de ambos factores variedades + biofertilizantes).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Experimento en laboratorio

En la Tabla 1 se muestran los cuadrados medios del análisis de varianza y la significancia de cinco caracteres evaluados en plántulas de arroz en condiciones de laboratorio. Hubo diferencias significativas ($P \leq 0.05$ y $P \leq 0.01$) en los factores principales, no así para la interacción de ambos factores. En el factor *biofertilizantes* hubo diferencias ($P \leq 0.01$) para todas las variables, lo que indica que el uso de biofertilizantes tuvo un aumento significativo en la emergencia y desarrollo inicial de las plántulas. En el factor *variedades* se observaron diferencias ($P \leq 0.05$ y $P \leq 0.01$) en la mayoría de las variables evaluadas, excepto en LA, lo que indica que el genotipo influyó en la expresión de los caracteres. En la interacción de ambos factores, únicamente GER fue significativa ($P \leq 0.01$). Estas diferencias indican que hay un efecto diferencial en la expresión fenotípica de los caracteres atribuido a las variedades y a los biofertilizantes.

En la Tabla 2 se muestra el efecto de las *variedades* y de los *biofertilizantes* en la expresión de cinco caracteres evaluados

Tabla 1. Cuadros medios del análisis de varianza de cinco caracteres evaluados en arroz en condiciones de laboratorio.**Table 1.** Mean squares of the five-character variance analysis evaluated in rice under laboratory conditions.

FV	GL	GER		LRa		LA		MSA		MSRa	
Variedades (v)	2	225.2	**	10.75	**	1.86	NS	0.003	*	0.00020	*
Biofertilizantes (b)	3	223.5	**	11.56	**	13.21	**	0.019	**	0.00193	**
v × b	6	96.2	**	1.71	NS	1.56	NS	0.001	NS	0.00008	NS
Error	36	15.1		1.97		1.61		0.001		0.00185	
CV (%)		5.7		19.1		22.77		57.35		36.24	
R ²		0.75		0.48		0.47		0.65		0.78	

FV: fuente de variación, GL: grados de libertad, GER: porcentaje de germinación, LRa: longitud de radícula, LA: longitud de la parte aérea, MSA: materia seca de la parte aérea, MSRa: materia seca de la radícula, v × b: interacción variedades × biofertilizantes, CV: coeficiente de variación, R²: coeficiente de determinación, **P ≤ 0.01, * P ≤ 0.05, NS: no significativo.

Tabla 2. Comparación de medias de cinco caracteres en las variedades y los biofertilizantes evaluados en arroz en condiciones de laboratorio.**Table 2.** Five-character mean comparison in the varieties and biofertilizers evaluated in rice under laboratory conditions.

Factor	GER (%)		LRa (cm)		LA (cm)		MSA (g)		MSRa (g)	
Variedades										
Morelos A-2016	80.9	b*	7.8	a	5.1	a	0.07	a	0.022	a
Nayarita 22	89.8	a	7.7	a	5.7	a	0.05	ab	0.021	ab
INIFLAR RT	82.8	b	6.4	b	5.8	a	0.04	b	0.015	b
Biofertilizantes										
Rhizophagus irregularis	91.0	a	8.2	a	6.8	a	0.10	a	0.036	a
Rhizobium etli	78.3	c	7.6	a	5.3	bc	0.07	ab	0.022	b
Azospirillum brasilense	85.9	b	7.5	a	5.7	ab	0.03	bc	0.013	c
Testigo (agua)	82.4	bc	5.9	b	4.3	c	0.01	c	0.006	c

*Medias con la misma letra en la misma columna y factor son estadísticamente iguales (Tukey P ≤ 0.05). GER: porcentaje de germinación, LRa: longitud de radícula, LA: longitud de la parte aérea, MSA: materia seca de la parte aérea, MSRa: materia seca de la radícula.

en plántulas de arroz en condiciones de laboratorio. El mayor porcentaje de GER se registró en la *variedad* Nayarita 22, LRa se registró en Morelos A-2016 y Nayarita 22, y MSA y MSRa fue en Morelos A-2016. En cuanto al efecto de los *biofertilizantes*, *Rhizophagus irregularis* presentó mejores resultados en todas las variables evaluadas, mostrando un aumento del 10 % en GER, 39 % en LRa y 58 % en LA en comparación con el testigo. Esto muestra que existe un efecto significativo en la expresión fenotípica de los caracteres, al inocular con biofertilizantes la semilla de arroz de las variedades Nayarita 22, INIFLAR RT y Morelos A-2016.

La diferencia entre las *variedades* en la expresión de estos caracteres, posiblemente se deba al tamaño de la semilla, a la duración del ciclo vegetativo y a las características intrínsecas de cada variedad. De acuerdo con Barrios *et al.* (2018) la variedad Morelos A-2016 es de grano grande grueso con un ciclo de floración de 123 días después del trasplante más 38 días en almácigo, INIFLAR RT es de grano largo mediano con madurez temprana (Barrios *et al.*, 2016) y Nayarita 22 es de grano de tamaño mediano y 95 días a floración después del trasplante más 38 días en almácigo (Barrios-Gómez *et al.*, 2023). El *biofertilizante* que contiene el hongo *Rhizophagus irregularis* mostró los mejores resultados, debido a que establece con el sistema radicular de las plantas una de las

relaciones mutualistas más abundantes de la biósfera, incrementando la capacidad de absorción de agua y nutrientes (Izco *et al.*, 1997). Los resultados obtenidos en esta investigación son similares a los reportados por Tufail *et al.* (2024) quienes encontraron, al utilizar biofertilizantes o mezclas de éstos, mayor crecimiento de las plántulas de arroz *in vitro* e *in vivo* en condiciones de estrés salino, de igual manera Riddech *et al.* (2025) al mezclar fertilizantes orgánicos de residuos con rizobacterias promotoras del crecimiento vegetal y microorganismos halotolerantes (Shan *et al.*, 2023) encontraron mayor crecimiento y reducción del estrés por salinidad; Ruiz-Sánchez *et al.* (2016) y Ruiz *et al.* (2015) encontraron mayor altura de planta y mejor desarrollo del arroz al usar micorrizas (*Glomus cubense*, *Rhizoglossum intraradices*), mayor contenido fitoquímico (Rizvi *et al.*, 2022), así como la prevención de enfermedades (Zaidi y Khan, 2018). Los biofertilizantes también incrementan en un 42 % el contenido de clorofila (unidades SPAD) y mejoran la eficiencia fosfotintética en un 74 %, debido a la sobreexpresión de genes clave relacionados con la fotosíntesis (Mthiyane *et al.*, 2024), lo que resalta el potencial de uso de los biofertilizantes para promover el crecimiento, desarrollo y productividad del arroz. Se ha demostrado que cuando los biofertilizantes se usan como complemento a la fertilización química, aumenta el rendimiento agrícola, según

lo reportado por Banayo *et al.* (2012), pero en otros casos, el rendimiento agrícola es ligeramente inferior comparado con la fertilización química completa (Hindarwati *et al.*, 2023; Díaz-Juárez *et al.*, 2022; Barrios-Gómez *et al.*, 2022; Khan, 2018). Por otro lado, el manejo integrado de nutrientes (fertilización inorgánica, fertilización orgánica y biofertilizantes) resulta prometedor ya que aumenta el rendimiento hasta en un 15-20 %; así como también, el efecto sinérgico de esta práctica mejora la estructura del suelo, haciendo sostenible el sistema de producción de arroz y reduce la contaminación ambiental (Salimani *et al.*, 2025); mejora la disposición de nutrientes, hay mayor actividad microbiana en el suelo (Banerjee *et al.*, 2025). Se puede reducir hasta un 52 % el fertilizante nitrogenado inorgánico sin perder rendimiento, dependiendo de la cantidad, el tipo de fertilizante a aplicar con el biofertilizante y el momento de la aplicación, pero no se puede sustituir el fertilizante fosforado (Rose *et al.*, 2014).

En la Figura 1 se muestra el efecto de la interacción *variedades* $\times$ *biofertilizantes* ($v \times b$) en la expresión de GER. Se observa que GER es diferente en las *variedades* de arroz al interactuar con los *biofertilizantes*. La interacción de *Rhizobium etli* con las variedades causa mayor variación en GER. El menor porcentaje de GER se obtuvo con la variedad INIFLAR RT, alcanzando 67.5 % al interactuar con el biofertilizante que contiene *Rhizobium etli*. Lo que indica que la interacción de ambos factores ($v \times b$) ocasiona expresión diferencial en GER de las semillas de las variedades de arroz. Las variedades Morelos A-2016 al interactuar con *Rhizophagus irregularis* y Nayarita 22 con *Azospirillum brasilense* tuvieron mayor GER; de igual manera, mantuvieron un porcentaje de GER estable con los biofertilizantes utilizados.

Experimento en macetas bajo malla sombra

En la Tabla 3 se muestran los cuadrados medios del análisis de varianza y la significancia de cinco características evaluadas

en plantas de arroz en condiciones de malla de sombra. Hubo diferencias estadísticas en el factor *variedades* ($P \leq 0.05$ y $P \leq 0.01$) en la mayoría de las variables evaluadas, excepto en NM, lo que indica que hay efecto diferencial en la expresión fenotípica por efecto del genotipo. En el factor *biofertilizantes* y en la interacción *variedades* $\times$ *biofertilizantes* ($v \times b$), no hubo diferencias estadísticas ($P \leq 0.05$) en ninguna variable, lo que indica que la expresión de los caracteres evaluados es independiente al uso de los biofertilizantes utilizados y solo es debido al efecto del genotipo.

En cuanto al comportamiento de las variedades, Morelos A-2016 fue estadísticamente superior a Nayarita 22 e INIFLAR RT en LA, MSRz y MSA (Tabla 4), la tendencia fue similar a los resultados obtenidos en laboratorio (Tabla 2). El efecto diferencial en la expresión de los caracteres en la variedad Morelos A-2016 se debe a que presenta granos de tamaño grande (Barrios-Gómez *et al.*, 2018), comparado con las variedades INIFLAR RT (Barrios *et al.*, 2016) y Nayarita 22 (Barrios-Gómez *et al.*, 2023) que tienen granos de tamaño mediano. Por lo tanto, la variedad Morelos A-2016 tuvo mayor cantidad de reserva energética en la etapa inicial y, por lo tanto, mostró mayor crecimiento y desarrollo de las plántulas. El tamaño de semillas tiene un impacto significativo en la emergencia, sobrevivencia, crecimiento, vigor y desarrollo de plántulas (Molatudi y Mariga, 2009).

El análisis de varianza mostró diferencias significativas ($P \leq 0.05$ y $P \leq 0.01$) en los tratamientos (combinaciones de las *variedades* + *biofertilizantes*) en la mayoría de las variables evaluadas, excepto en NM (Tabla 5). En la Tabla 6 se muestran el efecto de los tratamientos (combinaciones *variedades* + *biofertilizantes*) en el comportamiento de cuatro caracteres evaluados en plantas de arroz. Se observó un efecto diferente en los tratamientos utilizados. En cuanto a LA, T1 (Morelos A-2016 + *Rhizophagus irregularis*), T2 (Morelos A-2016 + *Rhizobium etli*), T3 (Morelos A-2016 + *Azospirillum brasilense*)

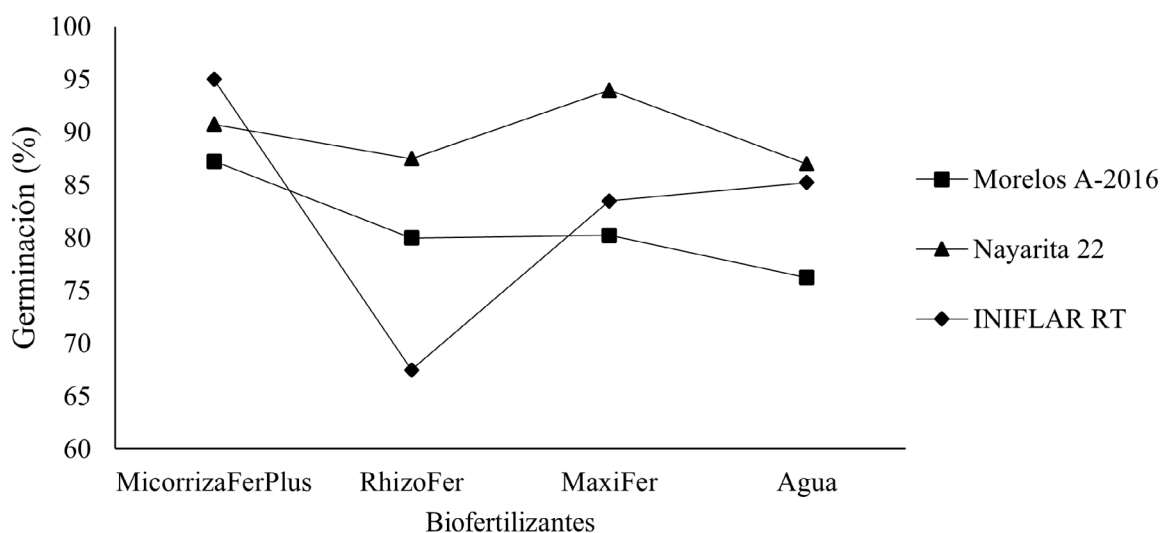


Figura 1. Interacción de las variedades de arroz con los biofertilizantes con base en el porcentaje de germinación de la semilla.
Figure 1. Interactions of rice varieties with biofertilizers based on seed germination percentage.

Tabla 3. Cuadrados medios del análisis de varianza de cinco variables de plántulas de variedades de arroz evaluadas en macetas y en condiciones de malla sombra.**Table 3.** Mean squares from the analysis of variance of five variables of seedlings of rice varieties evaluated in pots and under shade mesh conditions.

FV	GL	NM	LA		LRz		MSA		MSRz		
Bloque (b)	3	0.32	NS	0.63	NS	25.68	**	0.03	NS	0.012	**
Variedades (v)	2	0.47	NS	430.08	**	65.09	*	0.54	**	0.043	**
Biofertilizantes (b)	3	0.33	NS	5.82	NS	9.98	NS	0.05	NS	0.002	NS
v × b	6	0.51	NS	2.53	NS	5.95	NS	0.03	NS	0.002	NS
Error	33	0.23		5.83		4.84		0.02		0.001	
CV (%)		40.00		7.49		12.53		27.02		28.85	
R²		0.44		0.82		0.63		0.66		0.72	

FV: fuente de variación, GL: grados de libertad, NM: número de macollos, LRz: longitud de raíz, LA: longitud de la parte aérea, MSA: materia seca de la parte aérea, MSRz: materia seca de la raíz, v × b: interacción variedades × biofertilizantes, CV: coeficiente de variación, R²: coeficiente de determinación, **P ≤ 0.01, * P ≤ 0.05, NS: no significativo.

Tabla 4. Comparación de medias de cinco caracteres en las variedades de arroz en condiciones de macetas.**Table 4.** Five-character means comparison in rice under pot conditions.

Factor	NM		LRz (cm)		LA (cm)		MSA (g)		MSRz (g)	
Morelos A-2016	1.1	a*	19.4	a	38.2	a	0.78	a	0.20	a
Nayarita 22	1.4	a	17.7	a	29.7	b	0.51	b	0.11	b
INIFLAR RT	1.1	a	15.4	b	28.7	b	0.43	b	0.11	b

*Medias con la misma letra en la misma columna son estadísticamente iguales (Tukey P ≤ 0.05). NM: número de macollos, LRz: longitud de raíz, LA: longitud de la parte aérea, MSA: materia seca de la parte aérea, MSRz: materia seca de la raíz.

Tabla 5. Medios del análisis de varianza de cinco variables en variedades de arroz evaluadas en macetas.**Table 5.** Squares from the analysis of variance of five variables in rice varieties evaluated in pots.

FV	GL	NM	LA		LRz		MSA		MSRz		
Tratamiento (t)	11	0.45	NS	81.1	**	17.8	*	0.13	**	0.009	**
Error	36	0.24		5.3		6.5		0.02		0.002	
CV (%)		40.69		7.2		14.6		27.52		35.487	
R²		0.36		0.8		0.45		0.61		0.539	

FV: fuente de variación, GL: grados de libertad, NM: número de macollos, LRz: longitud de raíz, LA: longitud de la parte aérea, MSA: materia seca de la parte aérea, MSRz: materia seca de la raíz, CV: coeficiente de variación, R²: coeficiente de determinación, **P ≤ 0.01, * P ≤ 0.05, NS: no significativo.

Tabla 6. Medias de los tratamientos de las variedades más los biofertilizantes en la expresión de cuatro caracteres en el cultivo de arroz.**Table 6.** Means of treatments of the varieties plus biofertilizers in the expression of four characters in the rice crop.

Tratamientos	LA (cm)		LRz (cm)		MSRz (g)		MSA (g)	
T1: Morelos A-2016 + <i>Rhizophagus irregularis</i>	38.6	a*	19.1	ab	0.21	ab	0.88	ab
T2: Morelos A-2016 + <i>Rhizobium etli</i>	39.8	a	19.2	ab	0.23	a	0.93	a
T3: Morelos A-2016 + <i>Azospirillum brasilense</i>	37.1	a	21.3	a	0.20	abc	0.69	abc
T4: Morelos A-2016 + Testigo	37.1	a	18.1	ab	0.16	abc	0.63	abc
T5: Nayarita 22 + <i>Rhizophagus irregularis</i>	28.7	b	15.4	ab	0.11	abc	0.51	bc
T6: Nayarita 22 + <i>Rhizobium etli</i>	30.8	b	18.4	ab	0.11	abc	0.48	c
T7: Nayarita 22 + <i>Azospirillum brasilense</i>	30.1	b	18.4	ab	0.12	abc	0.55	abc
T8: Nayarita 22 + Testigo	29.0	b	18.6	ab	0.10	bc	0.49	bc
T9: INIFLAR RT + <i>Rhizophagus irregularis</i>	29.2	b	15.9	ab	0.14	abc	0.57	abc
T10: INIFLAR RT + <i>Rhizobium etli</i>	28.8	b	14.8	b	0.07	c	0.34	c
T11: INIFLAR RT + <i>Azospirillum brasilense</i>	28.9	b	16.7	ab	0.12	abc	0.48	c
T12: INIFLAR RT + Testigo	28.1	b	14.2	b	0.09	bc	0.35	c

*Letras iguales en la misma columna son estadísticamente iguales (Tukey P ≤ 0.05). T: tratamiento, LA: longitud de la parte aérea, LRz: longitud de raíz, MSRz: materia seca de la raíz, MSA: materia seca de la parte aérea.

y T4 (Morelos A-2016 + Testigo) fueron estadísticamente superiores al resto de los tratamientos. Para LRz, T3 (Morelos A-2016 + *Azospirillum brasilense*) fue superior con un valor de 21.35 cm a T10 (INIFLAR RT + *Rhizobium etli*) y T12 (INIFLAR RT + Testigo) que tuvieron valores de 14.89 y 14.25 cm, respectivamente. Tanto para MSRz como para MSA, el mejor tratamiento fue T2 (Morelos A-2016 + *Rhizobium etli*) con 0.23 g y 0.93 g, respectivamente; mientras que T10 (INIFLAR RT + *Rhizobium etli*) tuvo el menor contenido de MSRz y T6 (Nayarita 22 + *Rhizobium etli*), T10 (INIFLAR RT + *Rhizobium etli*), T11 (INIFLAR RT + *Azospirillum brasilense*) y T12 (INIFLAR RT + Testigo) tuvieron los menores pesos de MSA. En todas las variables evaluadas, los tratamientos que contenían la variedad Morelos A-2016 con alguno de los biofertilizantes utilizados tuvieron mejor crecimiento y desarrollo inicial de las plántulas y, por lo tanto, mayor acumulación de biomasa, que puede expresarse en un mayor vigor. Los resultados indican que las variedades de arroz evaluadas responden de manera diferente a los biofertilizantes utilizados. Por lo que podría inferirse que ciertos microorganismos tienen una tendencia a formar relaciones simbióticas con las raíces de las plantas, dependiendo de factores bióticos y abióticos del ambiente en donde se desarrollen. Entonces, la eficiencia de los biofertilizantes varía dependiendo del tipo de microorganismos, tipo de suelo, especie de plantas y condiciones ambientales. Los microorganismos aplicados compiten con microflora nativa mejor adaptada y condiciones ambientales adversas, lo que puede disminuir rápidamente la población aplicada (Armenta-Bojórquez *et al.*, 2010). El uso de biofertilizantes en la variedad Morelos A-2016 tuvo un efecto positivo en la expresión de los caracteres evaluados, lo cual podría verse reflejado en un mayor crecimiento, desarrollo de la planta y rendimiento de grano, lo cual hace falta corroborarlo con futuras investigaciones en donde se evalúe desde la etapa de almácigo hasta la cosecha. En ese sentido, Amrutha *et al.* (2022) mencionan que la aplicación de biofertilizantes aumenta la altura de planta, el número de macollos por planta, la longitud de raíz, el número de granos por planta, el peso de 1000 semillas y el rendimiento de grano, debido al aumento en la actividad fotosintética y expresión de genes relacionados con la clorofila (Mthiyane *et al.*, 2024).

CONCLUSIONES

Los biofertilizantes promueven la germinación en un 10 %, el crecimiento de las raíces en un 39 % y de la parte aérea en un 58 %; por lo tanto, favorecen la calidad fisiológica de la semilla, promueven el crecimiento inicial y la producción de biomasa en etapas tempranas en las variedades de arroz evaluadas. La inoculación de la semilla con biofertilizantes es una alternativa viable para aumentar la germinación, el vigor y promover el desarrollo inicial, favoreciendo el crecimiento y desarrollo de las plantas de arroz.

CONFLICTOS DE INTERES

Los autores declaran no tener ningún tipo de conflicto de interés.

REFERENCIAS

- Ahmad, F., Ahmad, I. y Khan, M. 2008. Screening of free-living rhizospheric bacteria for their multiple plant growth promoting activities. *Microbiological Research*. 163: 173–181.
- Alfonso, E.T., Leyva, A. y Hernández, A. 2005. Microorganismos benéficos como biofertilizantes eficientes para el cultivo del tomate (*Lycopersicon esculentum*, Mill.). *Revista Colombiana de Biotecnología*. 7: 47–54.
- Amrutha, E.A., Manju, R.V., Viji, M.M., Stephen, R., John, J., Alex, S. y Meera, A.V. 2022. The influence of biofertilizers on growth and yield of rice (*Oryza sativa* L.). *Biological Forum-An International Journal*. 14: 23–28.
- Armenta-Bojórquez, A.D., García-Gutiérrez, C., Camacho-Báez, J.R., Apodaca-Sánchez, M.A., Gerardo-Montoya, L. y Nava-Pérez, E. 2010. Biofertilizantes en el desarrollo agrícola de México. *Ra Ximhai*. 6: 51–56.
- Banayo, N.P.M., Cruz, P.C.S., Aguilar, E.A., Badayos, R.B. y Haefele, S.M. 2012. Evaluation of biofertilizers in irrigated rice: effects on grain yield at different fertilizer rates. *Agriculture*. 2: 73–86.
- Banerjee, N., Dambale, A.S., Das, S., Kaif, S., y Eshore, J. 2025. Synergistic effects of chemical, organic, and biofertilizers in rice (*Oryza sativa* L.): a meta-analysis of growth, yield, economics, and soil resilience. *International Journal of Research in Agronomy*. 8: 608–612.
- Bangash, N., Mahmood, S., Akhtar, S., Hayat, M.T., Gulzar, S. y Khalid, A. 2021. Formulation of biofertilizer for improving growth and yield of wheat in rain dependent farming system. *Environmental Technology & Innovation*. 24: 101806.
- Barrios, G.E.J. 2016. II. Pacífico Sur: Morelos. En: *El Arroz en México. VIII Tecnologías y Sistemas de Producción. Tecnologías y sistemas de producción en las regiones y entidades arroceras*. L. Hernández A. y L. Tavitas F. (eds.), pp. 214–221. Libro técnico No. 14, Zacatepec, Morelos, México.
- Barrios-Gómez, E.J., Canul-Ku, J., Hernández-Arenas, M., Canales-Islas, E.I. y Patishtan-Pérez, J. 2023. Nayarita 22, variedad de arroz tipo Milagro Filipino para México. *Revista Fitotecnica Mexicana*. 46: 211–213.
- Barrios-Gómez, E.J., Hernández-Arenas, M. y Canul-Ku, J. 2022. Evaluación de dosis de fertilización en arroz en Zacatepec, Morelos. *Memoria de la Reunión Nacional de Investigación Agrícola*. 2: 334–337.
- Barrios, G.E.J., Hernández, A.L., Tavitas, F.L., Hernández, A.M. y Canul, K.J. 2018. Morelos A-2016: variedad de arroz de grano grueso. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*. 9: 1547–1552.
- Barrios, G.E.J., Hernández, A.L., Tavitas, F.L., Ortega, A.R., Jiménez, C.J.A., Mario, T.L., Hugo, M.V., Hernández, P.A., Esqueda, E.A.V. y Uresti, D.D. 2016. INIFLAR RT, variedad de arroz de grano delgado para México. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*. 7: 969–976.
- Bhattacharyya, P.N. y Jha, D.K. 2012. Plant growth-promoting rhizobacteria (PGPR): emergence in agriculture. *World Journal of Microbiology and Biotechnology*. 28: 1327–1350.
- Caballero-Mellado, J. 2006. Microbiología agrícola e interacciones microbianas con plantas. *Revista Latinoamericana de Microbiología*. 48: 154–161.
- Chávez-Díaz, I.F., Zelaya, M.L.X., Cruz, C.C.I., Rojas, A.E., Ruíz, R.S. y de los Santos, V.S. 2020. Consideraciones sobre el uso de biofertilizantes como alternativa agro-biotecnológica

- sostenible para la seguridad alimentaria en México. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*. 11: 1423–1436.
- DOF, Diario Oficial de la Federación. 2016. Norma Oficial Mexicana NOM-080-SCFI-2016 "Arroz del Estado de Morelos". Disponible en línea: https://www.dof.gob.mx/nota_detalle_popup.php?codigo=5469806
- Díaz-Juárez, R.C., Barrios-Gómez, E.J., Hernández-Arenas, M. y Canul-Ku, J. 2022. Evaluación de dosis de fertilización en variedades de arroz (*Oryza sativa* L.) calidad Morelos en Huamuxtlán, Guerrero. *Revista Tecnológica CEA*. 18: 475–484.
- Esqueda, E.V.A., Tosquy, V.O.H. y Flores, M.D.S. 2010. Control de malezas en el cultivo de arroz de temporal en Veracruz. Folleto Técnico No. 53. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. Centro de Investigación Regional Golfo Centro. Campo Experimental Cotaxtla. Veracruz, México. 41 p.
- FAO, Food and Agricultural Organization. 1989. Carte mondiale des sols. Légende Révisée. Rapport sur les ressources en sols du monde. FAO-UNESCO. Rome, Italie. 230 p.
- García, E. 2004. Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köpen. Quinta edición. Instituto de Geografía, Universidad Nacional Autónoma de México. Ciudad de México, México. 97 p.
- Grageda-Cabrera, O.A., Díaz-Franco, A., Peña-Cabriaes, J.J. y Vera-Núñez, J.A. 2012. Impacto de los biofertilizantes en la agricultura. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*. 3: 1261–1274.
- Hara, S., Morikawa, T., Wasai, S., Kasahara, Y., Koshiba, T., Yamazaki, K., Fujiwara, T., Tokunaga, T. y Minamisawa, K. 2019. Identification of Nitrogen-fixing *Bradyrhizobium* associated with roots of field-grown Sorghum by metagenome and proteome analyses. *Frontiers in Microbiology*. 12: 407.
- ISTA, International Seed Testing Association. 2004. International rules for seed testing. Zurich, Switzerland. 243 p.
- Izco, S.J., Barreno, R.E., Brugués, D.M., Costa, T.M., Devesa, A.J.A., Fernández, G.F., Gallardo, G.T., Limona, P.X., Salvo, T.A.E., Talavera, L.S. y Valdés, C.B. 1997. *Botánica*. McGraw-Hill Interamericana de España. Madrid, España. 906 p.
- Khan, H.I. 2018. Appraisal of biofertilizers in rice: to supplement inorganic chemical fertilizer. *Rice Science*. 25: 357–362.
- Kloepper, J.W., Lifshitz, R. y Zablutowicz, R.M. 1989. Free-living bacterial inocula for enhancing crop productivity. *Trends in Biotechnology*. 7: 39–44.
- Lapsansky, E.R., Milroy, A.M., Andales, M.J. y Vivanco, J.M. 2016. Soil memory as a potential mechanism for encouraging sustainable plant health and productivity. *Current Opinion in Biotechnology*. 38: 137–142.
- López-Hernández, M.B., López-Castañeda, C., Kohashi-Shibata, J., Miranda-Colín, S., Barrios-Gómez, E.J. y Martínez-Rueda, C.G. 2018. Rendimiento de grano y sus componentes, y densidad de raíces en arroz bajo riego y secano. *Agrociencia*. 52: 563–580.
- Lugtenberg, B. y Kamilova, F. 2009. Plant-growth-promoting rhizobacteria. *Annual Review of Microbiology*. 63: 541–556.
- Meena, H. y Busi, S. 2019. Use of microbial biofertilizers technology in agroenvironmental sustainability. En: *New and Future Developments in Microbial Biotechnology and Bioengineering: Microbes in Soil, Crop and Environmental Sustainability*. Singh, J. S. (ed.). Elsevier. pp: 199–211.
- Mthiyane, P., Aycan, M. y Mitsui, T. 2024. Integrating biofertilizers with organic fertilizers enhances photosynthetic efficiency and upregulates chlorophyll-related gene expression in rice. *Sustainability*. 16: 9297.
- Molatudi, R.L. y Mariga, I.K. 2009. The effect of maize seed size and depth of planting on seedling emergence and seedling vigour. *Journal of Applied Sciences Research*. 5: 2234–2237.
- Riddech, N., Theerakulpisut, P., Ma, Y.N. y Sarin, P. 2025. Bioorganic fertilizers from agricultural waste enhance rice growth under saline soil conditions. *Scientific Reports*. 15: 9879.
- Rizvi, A., Ahmed, B., Khan, M.S., El-Beltagi, H.S., Umar, S. y Lee, J. 2022. Bioprospecting plant growth promoting Rhizobacteria for enhancing the biological properties and phytochemical composition of medicinally important crops. *Molecules*. 27: 1407.
- Rizvi, A., Zaidi, A., Khan, M.S., Saif, S., Ahmed, B. y Shahid, M. 2017. Growth improvement and management of vegetable diseases by plant growth-promoting Rhizobacteria. En: *Microbial Strategies for Vegetable Production* Zaidi, A. y Khan, M. S. (eds.), pp 99–123. Springer, Cham.
- Rose, M.T., Phuong, T.L., Nhan, D.K., Cong, P.T., Hien, N.T. y Kennedy, I.R. 2014. Up to 52 % N fertilizer replaced by biofertilizer in lowland rice via farmer participatory research. *Agronomy for Sustainable Development*. 34: 857–868.
- Ruiz, S.M., Santana, B.Y., Muñoz, H.Y., Martínez, R.A.Y., Benítez, M., Bharat, B.V. y Pe, C.Y. 2015. Simbiosis de micorrizas arbusculares en plantas de arroz (*Oryza sativa* L.) en condiciones de inundación y secano. *Acta Agronómica*. 64: 227–233.
- Ruiz-Sánchez, M., Muñoz-Hernández, Y., Dell'Amico-Rodríguez, J.M., Simó-González, J. y Cabrera-Rodríguez, J.A. 2016. Evaluación de diferentes cepas de micorrizas arbusculares en el desarrollo de plantas de arroz (*Oryza sativa* L.) en condiciones inundadas del suelo. *Cultivos Tropicales*. 37: 67–75.
- Salimani, S., Verma, R., Kumar, K.B. y Metha S. 2025. Impact of biofertilizers and integrated nutrient management on transplanted rice for improving the growth, yield and soil quality: a review. *International Journal of Plant and Soil Science*. 37: 271–281.
- Sas Institute Inc. 2016. Base SAS® 9.4 procedures guide: high-performance procedures. Sixth edition. SAS Institute Inc. Statistical Analysis System. Cary, NC, USA. 170 p.
- Segovia, L., Young, P.W. y Martínez-Romero, E. 1993. Reclassification of american *Rhizobium leguminosarum* biovar Phaseoli type I Strains as *Rhizobium etli* sp. nov. *International Journal of Systematic Bacteriology*. 43: 374–377.
- Shan, S., Wei, Z., Cheng, W., Du, D., Zheng, D. y Ma, G. 2023. Biofertilizers based on halotolerant microorganisms promotes the growth of rice plants and alleviates the effects of saline stress. *Frontiers in Microbiology*. 14: 1165631.
- SIAP, Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera. 2025. Anuario estadístico de la producción agrícola. Consultado el 09 de octubre de 2025. Disponible en: https://nube.agricultura.gob.mx/cierre_agricola/
- Singh, J.S., Pandey, V.C. y Singh, D.P. 2011. Efficient soil microorganisms: a new dimension for sustainable agriculture and environmental development. *Agriculture, Ecosystems and Environment*. 140: 339–353.

- Stockinger, H., Walker, C. y Schüßler. 2009. '*Glomus intraradices* DAOM197198', a model fungus in arbuscular mycorrhiza research, is not *Glomus intraradices*. New Phytologist. 183: 1176–1187.
- Tarrand, J.J., Krieg, N.R. y Döbereiner J. 1978. A taxonomic study of the *Spirillum lipoferum* group, with description of a new genus, *Azospirillum* gen. nov. and two species, *Azospirillum lipoferum* (Beijerinck) comb. nov. and *Azospirillum brasilense* sp. nov. Canadian Journal of Microbiology. 24: 967–980.
- Tufail, M.W., Ali, S.A., Ansari, M.D., Sajjad, S., Ali, P.K., Anwar, S., Zahoor, M. y Mansha, H. 2024. Effects of bio-fertilizers on the seedling of rice (*Oryza sativa* L.) in in-vitro and in-vivo conditions under salt stress. International Journal of Recycling of Organic Waste in Agriculture. 13: 1–10.
- Vessey, J.K. 2003. Plant growth promoting rhizobacteria as biofertilizers. Plant and Soil. 255: 571–586.