

Evaluación de inoculantes microbianos en el intercambio de gases, biomasa y componentes del rendimiento de maíz criollo en suelo Leptosol de Yucatán

Evaluation of microbial inoculants on gas exchange, biomass and yield components in creole maize established in Leptosol soil of Yucatan

Alfredo Guevara-López¹ , Carlos Juan Alvarado-López^{2*} , Joaquín Sergio López-Vázquez¹ , Jairo Cristóbal-Alejo¹ , José María Tun-Suárez¹ , René Garruña Hernández² , Arnoldo Enrique Alfaro-Corres¹ , Esaú Ruiz-Sánchez¹ 

¹ Tecnológico Nacional de México, Instituto Tecnológico de Conkal, Avenida Tecnológico S/N, Municipio de Conkal, C.P. 97345. Conkal, Yucatán, México.

² SECIHTI-Tecnológico Nacional de México, IxM/Instituto Tecnológico de Conkal, Avenida Tecnológico S/N, Municipio de Conkal, C.P. 97345. Conkal, Yucatán, México.

ABSTRACT

In Mexico, around 75 % of corn plants are native varieties, particularly in Yucatan; corn is grown in Leptosol soil, which has a low water storage capacity and nutritional problems. Microbial inoculants present an alternative to these conditions by improving plant rooting and nutrient availability in the soil. The objective of this work was to evaluate the effect of microbial inoculants based on *Rhizophagus irregularis*, *Pseudomonas fluorescents* and *Bacillus subtilis*, on the growth and yield parameters of the native corn Nal-tel. Microbial inoculants were applied to the native corn Nal tel, and the parameters of gas exchange in corn at the flowering stage and the yield parameters at the physiological maturity stage were determined. The microbial inoculants showed a significant increase in the parameters of gas exchange and dry biomass (27 - 110 and 10 - 63 %, respectively). Inoculated plants did not show a significant effect on yield parameters (1637.50 - 1987.50 kg/ha).

Keywords: Bioinoculantes, plant growth promotion, mycorrhizal fungus, gas exchange

RESUMEN

En México alrededor del 75 % de las plantas de maíz son variedades criollas, de manera particular, en Yucatán el maíz es cultivado en suelo Leptosol el cual presentan baja capacidad de almacenamiento de agua y problemas en la nutrición. Los inoculantes microbianos presentan una alternativa a estas condiciones al mejorar el enraizamiento de las plantas y la disponibilidad de nutrientes en el suelo. El objetivo del trabajo fue evaluar el efecto de inoculantes microbianos a base de *Rhizophagus irregularis*, *Pseudomonas fluorescents* y *Bacillus subtilis* sobre los parámetros de crecimiento y rendimiento del maíz criollo Nal tel. Los inoculantes microbianos se aplicaron en maíz criollo Nal tel y se determinó los parámetros de intercambio de gases en maíz en etapa de floración y los parámetros de rendimiento en la etapa de madurez fisiológica. Los inoculantes microbianos causaron aumento significativo en los parámetros de intercambio de gases y biomasa seca

(27 - 110 and 10 - 63 %, respectivamente). Las plantas inoculadas no presentaron efecto significativo en los parámetros de rendimiento (1637.50 - 1987.50 kg/ha).

Palabras clave: Bioinoculantes, promoción del crecimiento, hongo micorrizico, intercambio de gases.

INTRODUCCIÓN

El maíz (*Zea mays* ssp. *mays*) es uno de los principales cereales que constituye la base de la dieta humana en los países de América Latina (Santillán-Fernández *et al.*, 2021). En México alrededor del 75 % de las plantas de maíz surgen de semilla guardada por los agricultores, las cuales provienen mayoritariamente de variedades criollas (Mercer y Perales, 2019). De manera particular, en el estado de Yucatán más del 80 % se cultiva en siembras menores a 1 ha, siendo la raza *Nal t'el* una de las más importantes (Fenzi *et al.*, 2017; Burgos-Díaz *et al.*, 2020). En el estado de Yucatán más de 80 % de los suelos corresponden al grupo Leptosol, este se caracteriza por tener una capa delgada de suelos sobre un material rocoso (Bautista-Zúñiga *et al.*, 2003; Fragosó-Servón *et al.*, 2020). Este tipo de suelo presenta una serie de restricciones como la baja capacidad de almacenamiento de agua para las plantas, dificultad de enraizamiento y problemas en la nutrición vegetal por el exceso de calcio asimilable y la escasa retención de humedad por la baja cantidad de tierra firme (Bautista, 2021). En áreas de suelo Leptosol, el manejo del cultivo de maíz por parte de los pequeños productores se basa en prácticas manuales para la siembra, deshierbe y cosecha, además se tiene uso limitado de agroinsumos (Martínez-Aguilar *et al.*, 2020). En este contexto, una de las alternativas para mejorar el vigor y rendimiento de grano de las plantas es el uso de inoculantes microbianos (Gao *et al.*, 2020).

Los inoculantes microbianos son formulaciones compuestas por microorganismos tales como rizobacterias, hongos filamentosos de suelo, hongos endófitos, hongos micorrizogenos y algas (Ansari *et al.*, 2023). Tres de los géneros más comunes son las bacterias *Pseudomonas* y *Bacillus*, y el hongo *Rhizophagus* (Bizos *et al.*, 2020; Kumar *et al.*, 2021). Los

*Autor para correspondencia: Carlos Juan Alvarado-López
Correo-e: carlos.alvarado@itconkal.edu.mx

Recibido: 18 de enero de 2025

Aceptado: 14 de marzo de 2025

Publicado: 6 de mayo de 2025

hongos micorrízicos del género *Rhizophagus* colonización de las raíces de las plantas, y con el crecimiento de las hifas benefician al huésped al aumentar la absorción de nutrientes, principalmente N y P (Gebreslassie *et al.*, 2024). En el caso de la rizobacteria *Pseudomonas*, éstas modulan la producción de metabolitos secundarios, mejoran la disponibilidad de nutrientes en el suelo y la resistencia de las plantas a infecciones (Zboralski y Filion, 2023). Por su parte la rizobacteria *Bacillus* ayuda a la solubilización de fosfato/potasio y la producción de enzimas y fitohormonas (Liu *et al.*, 2023).

Los efectos de inoculantes microbianos en maíz mejorado incluyen aumento en crecimiento, rendimiento de grano e intercambio de gases. Por ejemplo, inoculantes microbianos como *Enterobacter* spp., *Klebsiella planticola*, *Rhizoglossum irregulare*, *Pseudomonas putida*, *Herbaspirillum seropedicae*, *Azospirillum brasilense* y *Bacillus subtilis* de manera individual o en consorcios aumentan la biomasa total (23-65 %), biomasa de brotes (3-12 %), biomasa radicular (8-31 %), eficiencia del uso del agua (18-38 %), tasa fotosintética neta (27-33 %), transpiración foliar (10-23 %) y conductancia estomática (0.4 a 2.4 veces) (Latkovic *et al.*, 2020; Pacheco *et al.*, 2021; Galindo *et al.*, 2024; Guidinelle *et al.*, 2024). En particular, sobre el uso de *Rhizophagus* y *Bacillus* sp., se ha encontrado que la inoculación causa aumento significativo en los parámetros de crecimiento, rendimiento, contenido de pigmentos fotosintéticos y contenido de micronutrientes en grano (Azeem *et al.*, 2021; Sun *et al.*, 2022; Buzo *et al.*, 2022).

Pocos estudios se han centrado en el uso de inoculantes microbianos en variedades criollas de maíz, los pocos estudios existentes han utilizado algunas especies de hongos (*Solicoccozyma* sp., *Clavispora lusitanae*, *Rhodotorula glutinis* y *Naganishia* sp.) y bacterias endófitas (*Burkholderia* sp., *Pseudomonas protegens*, *Herbaspirillum seropedicae*, *Klebsiella variicola* y *Pantoea* sp.), encontrando un aumento significativo en la altura de la planta (26-84 %), peso fresco de biomasa (44 - 62 %), peso seco de biomasa (0.8 - 3.5 veces) y longitud de raíces (0.3 - 2 veces) en poblaciones de maíz criollo del Centro y Norte del país (Rios-Galicia *et al.*, 2021; Ramos-Garza *et al.*, 2023). Se desconoce el papel de los inoculantes microbianos en maíces criollos, por lo tanto, el objetivo de la investigación fue evaluar el efecto de inoculantes microbianos a base de *Rhizophagus irregularis*, *Pseudomonas fluorescens* y *Bacillus subtilis* sobre los parámetros de intercambio de gases, producción de biomasa y componentes del rendimiento en maíz criollo.

MATERIALES Y MÉTODOS

Establecimiento del cultivo

El cultivo se estableció en el municipio de Conkal, Yucatán, en las coordenadas 21°04'25.1"N y 89°31'11.8"W, durante diciembre 2023 a abril de 2024, con temperatura promedio máxima de 32.7 y mínima de 20.8 y promedio de 26.0 °C. El cultivo de maíz criollo Nal tel se sembró a una distancia de 20 cm entre plantas y 1 metro de distancia entre filas, para lograr una población de 50,000 plantas por ha. Se instaló riego por goteo para mantener el suelo a capacidad de campo. El

cultivo se fertilizó con Urea y Fosfato diamónico, con la dosis 120-80-00 (N:P:K), distribuidos en dos aplicaciones en partes proporcionales, en etapa V4 y etapa V8.

Diseño experimental y aplicación de tratamientos

Los tratamientos se dispusieron en un diseño de bloques completos al azar, con tres repeticiones. Cada parcela experimental estuvo compuesta cinco filas de 10 m de longitud y 6 m de ancho. Para la aplicación de los inoculantes, se realizó en dos fechas, la primera aplicación a los 25 y 45 días después de emergencia. La aplicación se hizo con una aspersora manual de mochila de 16 litros, aplicando al cuello de cada punto de dos plantas la cantidad de 30 mL por planta. Los tratamientos inoculantes y dosis se describen en el Tabla 1.

Parámetros fisiológicos

Se seleccionaron cinco plantas por parcela. La medición de hizo en etapa de floración en horario de 9:00 a 10:00 am. Para las mediciones se eligieron las hojas mas jóvenes completamente extendidas. Se midió la fotosíntesis ($\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$), conductancia ($\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$), carbon intercelular (ppm), tasa de transpiración ($\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) y uso eficiente del agua ($\mu\text{mol CO}_2 \mu\text{mol H}_2\text{O}^{-1}$). Para las mediciones se utilizó un analizador de gases infrarrojo (IRGA; LICOR, LI-6400, Lincoln, NE, EE.UU.), calibrado con 400 $\mu\text{mol mol}^{-1}$ de CO_2 y una fuente de luz 2000 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$.

Componentes del rendimiento

Para determinar la producción de grano de maíz, a los 45 días después de la madurez fisiológica, se cosecharon las mazorcas de 10 m² del centro de cada parcela. Para los componentes del rendimiento (número de hileras, número de grano por hilera, número total de grano por mazorca) se tomaron al azar cinco mazorcas de cada parcela. Para obtener el rendimiento, se desgranaron las mazorcas obtenidas de los 10 m² centrales de cada parcela, se pesó la muestra de grano y se extrapoló el valor a kg de grano por ha. Además, del grano cosechado se tomó una muestra de 100 granos de maíz y se pesó para obtener el peso de 100 granos.

Análisis de datos

Se realizó un análisis de varianza y prueba de comparación de medias Tukey. Previo al análisis, se comprobó que los datos de la variable cumplieran los supuestos de normalidad

Tabla 1. Descripción de los tratamientos (inoculantes microbianos) aplicados al cultivo de maíz criollo Nal tel.

Table 1. Description of treatments (microbial inoculants) applied to the creole maize Nal tel.

Tratamiento inoculante	Nombre del producto (concentración)	Dosis/ha	Empresa
<i>Rhizophagus irregularis</i>	M-300 (300 propágulos por g)	0.75 kg/L	Myco-evolution
<i>Bacillus subtilis</i>	Backtilis (1x10 ¹² UFC por mL)	1.5 L	Biokrone
<i>Pseudomonas fluorescens</i>	PseudoFos (1 x 10 ⁹ UFC por mL)	1.5 L	Indebio
Testigo	Sin aplicación		



e homocedasticidad. Las medias se consideraron significativamente diferentes si el valor de $p < 0.05$. Todos los análisis se realizaron con el software estadístico Infostat Versión 2020.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Efecto de los inoculantes en el intercambio de gases en maíz

Los inoculantes tuvieron efectos significativos en las variables de intercambio de gases (Tabla 2). La fotosíntesis fue significativamente mayor ($F=13.80$, $gl=3$, $p<0.0001$) en las plantas inoculadas ($42.77 - 43.40 \mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$), que en las del testigo ($33.44 \mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$). La conductancia estomática también fue significativamente mayor ($F=18.82$, $gl=3$, $p<0.0001$) en las plantas inoculadas ($0.30 - 0.36 \text{ mmol}/\text{m}^2/\text{s}$). Para el caso del carbono intercelular, los valores fueron significativamente más altos ($F=69.80$, $gl=3$, $p<0.0001$) en las plantas inoculadas. En particular resalta el valor promedio de carbono intercelular en las plantas inoculadas con *Rhizophagus irregularis* (123.34 ppm), cuyo valor fue significativamente mayor que el de los otros tratamientos.

Los inoculantes causaron aumento significativo en la tasa de transpiración ($F=21.33$, $gl=3$, $p<0.0001$). En las plantas inoculadas la tasa de transpiración fue de $6.31 - 6.58 \text{ mmol}/\text{m}^2/\text{s}$, mientras que las plantas del testigo el valor fue de $4.6 \text{ mmol}/\text{m}^2/\text{s}$. El uso eficiente del agua de las plantas inoculadas ($6.6 - 6.8$) presentó una disminución significativa ($F=34.50$, $gl=3$, $p<0.0001$) comparada con el testigo (7.3) (Tabla 2).

El uso de inoculantes microbianos provocó un aumento en la conductancia estomática, la cual esta correlacionada directamente con el consumo de carbono intercelular, lo que explicaría una mayor fotosíntesis en las hojas provocando mayor concentración de fotoasimilados en consecuencia una mayor producción de biomasa en el cultivo (Guidinelle *et al.*, 2024). Este efecto se ha descrito en varios estudios en maíces mejorados inoculados con bacterias y hongos, como *Azospirillum brasilense*, *Bacillus* sp., *Enterobacter* sp., *Trichoderma harzianum*, *Pseudomonas fluorescens* y *Klebsiella oxytoca*, donde se observó incremento en la fotosíntesis ($4 - 44 \%$), conductancia estomática (20%) y carbono intracelular ($5 - 14$

$\%$) (Imran *et al.*, 2020; Saleem *et al.*, 2021; Haider *et al.*, 2022; Galindo *et al.*, 2024). Por otra parte, se ha documentado que los inoculantes son capaces aumentar la eficiencia del uso del agua, lo que significa que las plantas pueden producir más consumiendo menos agua, sin embargo, en esta investigación las plantas inoculadas presentaron una disminución significativa en este parametro. Resultados similares se presentaron en en maíz mejorado inoculado con *A. brasilense*, donde se documentó que la disminución del uso eficiente de agua no afectó al crecimiento del maíz, ya que plantas con buen estado hídrico son capaces de mantener la fotosíntesis proporcionando un mejor enfriamiento de las hojas mediante la transpiración (Marques *et al.*, 2021) lo que explicaría el aumento significativo en la transpiración en este trabajo.

Efecto de los inoculantes en la biomasa seca de maíz

Los inoculantes presentaron efectos significativos en las variables de biomasa en maíz, en particular se notó el efecto sobresaliente de *Rhizophagus irregularis* (Tabla 3). El peso seco de la raíz fue significativamente mayor ($F = 29.07$, $gl = 3$, $p < 0.0001$) en las plantas inoculadas ($16.2 - 21.6 \text{ g}$) comparadas con las plantas del testigo (14.2 g). El peso seco del tallo, de igual manera, fue significativamente mayor ($F= 21.26$, $gl = 3$, $p < 0.0001$) en las plantas inoculadas ($45.9 - 68.1 \text{ g}$) que en las del testigo (41.6 g). Finalmente, el peso seco de hojas tuvo diferencias significativas ($F = 24.32$, $gl = 3.60$, $p < 0.0001$), donde las plantas inoculadas ($46.6 - 62.4 \text{ g}$) tuvieron mayores valores que las del testigo (39.9 g) (tabla 3).

Tabla 3. Peso seco de raíz, tallo y hojas al inicio de la floración del maíz criollo Nal tel tratado con inoculantes microbianos a las semillas.

Table 3. Biomass dry weight for root, stem and leaves at the beginning of flowering in creole maize Nal tel treated with microbial inoculants.

Tratamientos	Raíz (g)	Tallo (g)	Hojas (g)
Rhizophagus irregularis	21.6±0.68 a	68.1±4.07 a	62.4±3.01 a
Bacillus subtilis	16.2±0.29 bc	45.9±1.98 bc	46.6±1.29 bc
Pseudomonas sp.	18.1±0.86 b	55.3±1.34 b	52.6±1.40 b
Testigo	14.2±0.22 c	41.6±1.90 c	39.9±1.49 c

Medias ± error estándar dentro de la misma columna que no comparten letras son significativamente diferentes ($p < 0.05$)

Tabla 2. Valores promedio de variables de intercambio de gases en maíz criollo Nal tel tratado con inoculantes microbianos a la semilla.

Table 2. Mean values of the variables related to gas exchange of creole maize Nal tel treated with microbial inoculants.

Tratamientos	Fotosíntesis ($\mu\text{mol m}^2 \text{ s}^{-1}$)	Conductancia estomática ($\mu\text{mol m}^2 \text{ s}^{-1}$)	Carbono intercelular ($\mu\text{mol m}^{-1}$)	Tasa de transpiración ($\mu\text{mol m}^2 \text{ s}^{-1}$)	Uso eficiente del agua
Rhizophagus irregularis	42.8 ± 1.18 a	0.36 ± 0.02 a	123.3 ± 4.8 a	6.3 ± 0.19 a	6.8 ± 0.10 b
Bacillus subtilis	43.4 ± 1.71 a	0.30 ± 0.02 a	79.9 ± 4.0 c	6.4 ± 0.27 a	6.8 ± 0.04 b
Pseudomonas fluorescens	43.2 ± 1.26 a	0.33 ± 0.02 a	104.9 ± 1.9 b	6.6 ± 0.19 a	6.6 ± 0.02 c
Testigo	33.4 ± 0.95 b	0.20 ± 0.01 b	58.6 ± 1.8 d	4.6 ± 0.13 b	7.3 ± 0.03 a

Medias ± error estándar dentro de la misma columna que no comparten letras son significativamente diferentes ($p < 0.05$)

En varios estudios sobre el uso de inoculantes microbianos en maíz, los resultados han encontrado que las plantas inoculadas con *Bacillus* sp., *Achromobacter* sp., *Burkholderia* sp., *Pseudomonas* sp., *Rhizobium* sp., *Aspergillus* sp., *Metarhizium* sp., *Penicillium* sp., y *Trichoderma* sp., de manera individual y en consorcios, aumentaron de manera significativa el peso seco de raíces, peso seco de tallo y peso seco de la planta entera (Chávez-Díaz *et al.*, 2021; Ríos-Galicia *et al.*, 2021; De la Vega-Camarillo *et al.*, 2023).

Los efectos sobre la promoción del crecimiento en las plantas por parte de los inoculantes, como el caso de las bacterias *Pseudomonas* y *Bacillus* involucra la formación fitohormonas como auxinas y ácido indol-3-acético (AIA), estos compuestos promueven la formación de raíces laterales disminuyendo la longitud de la raíz primaria, lo que permite mayor absorción de nutrientes y en consecuencia una mayor producción de biomasa (Guidinelle *et al.*, 2024). Para el caso de *R. irregularis* en maíz, se ha encontrado un aumento significativo en el número de hojas, diámetro del tallo, área de la hoja, altura de la planta, peso seco de la raíz y peso seco del brote, además se ha visto que la tasa de colonización de *R. irregularis* es relativamente alta (87 %) en el cultivo del maíz, lo que puede ayudar a una mejor absorción de nutrientes y en consecuencia un mejor crecimiento (Ramírez-Flores *et al.*, 2019; Fasusi *et al.*, 2021; Chen *et al.*, 2022).

Efecto de los inoculantes en los componentes del rendimiento de maíz

Los inoculantes no tuvieron efectos significativos en los componentes del rendimiento y el rendimiento de grano (Tabla 4). El número de hileras por mazorca no presentó diferencia significativa ($F = 0.12$, $gl = 3$, $p = 0.95$) entre las plantas inoculadas (13.1 - 13.2) y las del testigo (12.5 - 13.2). El número de granos por hilera no presentó diferencia significativa ($F = 1.67$, $gl = 3$, $p = 0.18$) entre plantas inoculadas (24.8 - 26.6) y las del testigo (23.7). El número de granos totales no mostró diferencia significativa ($F = 2.05$, $gl = 3$, $p = 0.11$) entre las plantas inoculadas (328.7 - 342.2) y las plantas del testigo (290.1). El peso de 100 granos no mostró diferencia significativa ($F = 2.17$, $gl = 3$, $p = 0.11$) entre las plantas inoculadas (22.1 - 22.9) y las plantas del testigo (21.2) (Tabla 4). Para el caso del rendimiento del cultivo de maíz, no mostró diferencias significativas ($F = 4.66$, $gl = 3$, $p < 0.03$) entre las plantas inoculadas (1637.5 - 1987.5 kg/ha) y las plantas del testigo (1655.2 kg/ha).

En varios estudios los inoculantes han mostrado efectos benéficos en el rendimiento y características de la mazorca. Por ejemplo, se han obtenido aumentos en el peso de la mazorca, longitud de la mazorca, número de filas, peso de 100 granos y rendimiento de grano, mediante el uso de *Azotobacter chroococcum*, *Bacillus circulans*, *Bacillus pumilus*, *Pseudomonas putida* (Gao *et al.*, 2020; Kálmán *et al.*, 2023). En el presente estudio no se tuvo aumento en los componentes del rendimiento, más bien el aumento en biomasa se acumuló en raíz, tallo y hojas. Una posible explicación podría ser que, en suelos pobres y someros, como es el caso del suelo Leptosol de Yucatán, las plantas tengan como estrategia garantizar una transferencia de nutrientes hacia el crecimiento de la planta y por ende se desarrolle el sistema radicular, tallo y hojas, antes que acumular los fotoasimilados en la producción de grano (Pereira *et al.*, 2020; Galindo *et al.*, 2024).

CONCLUSIONES

Las plantas inoculadas con *Rhizophagus irregularis*, *Bacillus subtilis* y *Pseudomonas* sp., presentaron aumento significativo de las variables de intercambio de gases (Fotosíntesis, Tasa de transpiración y Conductancia estomática), así como acumulación de biomasa seca de raíz, tallo y hojas en maíz criollo Nal tel. Los inoculantes microbianos no tuvieron efectos en los parámetros de rendimiento. Se sugiere evaluar otras concentraciones o un mayor número de inoculaciones durante la etapa de crecimiento del cultivo de maíz.

AGRADECIMIENTOS

Este Proyecto fue financiado por el Tecnológico Nacional de México, proyecto 20815.24-P Efecto de inoculantes microbianos en el comportamiento fitoagronómico y contenido mineral del maíz criollo.

CONFLICTOS DE INTERES

Los autores declaran no tener conflictos de interés.

REFERENCIAS

- Ansari, M., Devi, B.M., Sarkar, A., Chattopadhyay, A., Satnami, L., Balu, P., Choudhary, M., Shahid, M. A. and Jailani, A.A.K. 2023. Microbial exudates as biostimulants: role in plant growth promotion and stress mitigation. *Journal of Xenobiotics*. 13(4): 572-603.
- Azeem, M., Haider, M.Z., Javed, S., Saleem, M.H. and Alatawi, A. 2022. Drought stress amelioration in maize (*Zea mays*

Tabla 4. Componentes del rendimiento y rendimiento de grano de maíz criollo Nal tel tratado con inoculantes microbianos.

Table 4. Yield growth components and grain yield of creole maize Nal tel treated with microbial inoculants.

Tratamientos	Número de hileras	Grano por hilera	Granos totales	Peso de 100 granos	Rendimiento (kg/ha)
<i>Rhizophagus irregularis</i>	13.2±0.43 a	24.8 ± 1.07 a	329.13±19.02 a	22.18±0.77 a	1637.50±62.53 b
<i>Bacillus subtilis</i>	13.1±0.38 a	26.6 ± 1.47 a	342.20±15.91 a	22.90±0.09 a	1767.70±97.24 ab
<i>Pseudomonas</i> sp.	13.2±0.33 a	24.9 ± 0.80 a	328.73±12.23 a	22.09±0.31 a	1987.50±64.81 a
Testigo	12.5±0.46 a	23.3 ± 0.71 a	290.07±14.97 a	21.23±0.41 a	1655.20±68.39 ab

Medias ± error estándar dentro de la misma columna que no comparten letras son significativamente diferentes ($p < 0.05$)

- L.) by inoculation of *Bacillus* spp. strains under sterile soil conditions. *Agriculture*, 12(1):50.
- Bautista, F. 2021. Clasificación de suelos de la península de Yucatán. En *Los territorios kársticos de la península de Yucatán: caracterización, manejo y riesgos*. Asociación Mexicana de estudios sobre el Karst A. C., pp 25-38. Acts With Science, Ciudad de México.
- Bautista-Zúñiga, F., Jiménez-Osornio, J., Navarro-Alberto, J., Manu, A. and Lozano, R. 2003. Microrelieve y color del suelo como propiedades de diagnóstico en Leptosoles cársticos. *Terra Latinoamericana*, 21(1): 1-11.
- Bizos, G., Papatheodorou, E.M., Chatzistathis, T., Ntalli, N., Aschonitis, V.G. and Monokrousos, N. 2020. The role of microbial inoculants on plant protection, growth stimulation, and crop productivity of the olive tree (*Olea europaea* L.). *Plants* (Basel, Switzerland), 9(6): 743.
- Burgos-Díaz, J.A., Rangel-Fajardo, M.A., Tucuch-Haas, J.I., Benítez-Riquelme, I. and García-Zavala, J.J. 2020. Susceptibility of native maize populations and preference of the weevil in Yucatán, México. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*. 11:7.
- Buzo, F.d.S., Garcia, N.F.S., Garé, L.M., Gato, I.M.B., Martins, J.T., Martins, J.O.M., Morita, P.R.d.S., Silva, M.S.R.d.A., Sales, L.Z.d.S., Nogales, A., *et al*. 2022. Phosphate fertilization and mycorrhizal inoculation increase corn leaf and grain nutrient contents. *Agronomy*. 12(7):1597.
- Chávez-Díaz, I.F., Rios-Galicia, B., Blanco-Camarillo, M., Cruz-Cárdenas, C.I., Sandoval-Cancino, G., Rojas-Anaya, E., Gómez-Godínez, L.J., Arteaga-Garibay, R.I. and Zelaya-Molina, L.X. 2021. Maize landrace rhizospheric fungi with biocontrol potential against four different *Fusarium* species complexes, *Biocontrol Science and Technology*. 31(7):754-772.
- Chen, Q., Deng, X., Elzenga, J.T.M. and van Elsas, J.D. 2022. Effect of soil bacteriomes on mycorrhizal colonization by *Rhizophagus irregularis*—interactive effects on maize (*Zea mays* L.) growth under salt stress. *Biol Fertil Soils*, 58: 515-525.
- De la Vega-Camarillo, E., Sotelo-Aguilar, J., Rios-Galicia, B., Mercado-Flores, Y., Arteaga-Garibay, R., Villa-Tanaca, L. and Hernández-Rodríguez, C. 2023. Promotion of the growth and yield of *Zea mays* by synthetic microbial communities from Jala maize. *Frontiers in microbiology*, 14, 1167839.
- Fasusi, O, A., Amoo, A. E. and Babalola, O.O. 2021. Propagation and characterization of viable arbuscular mycorrhizal fungal spores within maize plant (*Zea mays* L.). *Journal of the Science of Food and Agriculture*. 101(14):5834-5841.
- Fenzi, M., Jarvis, D.I., Arias-Reyes, L.M., Latournerie-Moreno, L. and Tuxill, J. 2017. Longitudinal analysis of maize diversity in Yucatan, Mexico: influence of agro-ecological factors on landraces conservation and modern variety introduction. *Plant Genetic Resources*. 15(1):51-63.
- Fragoso-Servón, P., Pereira Corona, A., Bautista Zúñiga, F., Prezas Hernández, B. and Reyes, N.A. 2020 Soils in extreme conditions: the case of the catenas karst-marsh-coastline in the Mexican Caribbean. *Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana*. 72(2): A040619.
- Galindo, F.S., Pagliari, P.H., da Silva, E.C., de Lima, B.H., Fernandes, G.C., Thiengo, C.C., Bernardes, J.V.S., *et al*. 2024. Impact of nitrogen fertilizer sustainability on corn crop yield: the role of beneficial microbial inoculation interactions. *BMC Plant Biol*. 24(268).
- Gao, C., El-Sawah, A.M., Ali, D.F.I., Alhaj Hamoud, Y., Shaghaleh, H. and Sheteiwy, M.S. 2020. The integration of bio and organic fertilizers improve plant growth, grain yield, quality and metabolism of hybrid maize (*Zea mays* L.). *Agronomy*. 2020: 10(3):319.
- Gebreslassie, S., Jida, M., Puente, M.L., Covacevich, F. and Belay, Z. 2024. Inoculation of native arbuscular mycorrhizae and *Bacillus subtilis* can improve growth in vegetable crops. *International Journal of Microbiology*. 2024: 9226715.
- Guidinelle, R.B., Burak, D.L., Rangel, O.J.P., Peçanha, A.L., Passos, R.R., Rocha, L.O.D., Olivares, F.L. and Mendonça, E.S. 2024. Impact of historical soil management on the interaction of plant-growth-promoting bacteria with maize (*Zea mays* L.). *Heliyon*. 10(7): e28754.
- Haider, F.U., Farooq, M., Naveed, M., Cheema, S.A., Ain, Nu., Salim, M.A., Liqun, C. and Mustafa, A. 2022. Influence of biochar and microorganism co-application on stabilization of cadmium (Cd) and improved maize growth in Cd-contaminated soil. *Frontiers in Plant Science*. 13:983830.
- Imran, M., Shahzad, S.M., Arif, M.S., Yasmeen, T., Ali, B. and Tanveer, A. 2020. Inoculation of potassium solubilizing bacteria with different potasssium fertilization sources mediates maize growth and productivity. *Pakistan Journal of Agricultural Sciences*. 57(4): 1045-1055.
- Kálmán, C.D., Kálmán, L., Szél, S., Salamon, K.M., Nagy, Z., Kiss, E. and Posta, K. 2023. Assessment of the influence of soil inoculation on changes in the adaptability of maize hybrids. *Cereal Research Communications*. 51: 1055-1071.
- Kumar, S., Diksha, Sindhu, S. S. and Kumar, R. 2021. Biofertilizers: An ecofriendly technology for nutrient recycling and environmental sustainability. *Current Research in Microbial Sciences*. 3:100094.
- Latkovic, D., Maksimovic, J., Dinic, Z., Pivic, R., Stanojkovic, A. and Stanojkovic-Sebic, A. 2020. Case study upon foliar application of biofertilizers affecting microbial biomass and enzyme activity in soil and yield related properties of maize and wheat grains. *Biology*. 9(12): 452.
- Liu, Y., Yue, Z., Sun, Z. and Li, C. 2023. Harnessing native *Bacillus* spp. for sustainable wheat production. *Applied and Environmental Microbiology*. 89(2): e0124722.
- Martínez-Aguilar, F.B., Guevara-Hernández, F., La-O-Arias, M.A., Rodríguez-Larramendi, L.A., Pinto-Ruiz, R. and Aguilar-Jiménez, C.E. 2020. Characterization of corn producers and sustainability indicators in Chiapas. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*. 11(5).
- Marques, D.M., Magalhães, P.C., Marriel, I.E., Júnior, C.C.G., da Silva, A.B. and de Souza, T.C. 2021. Gas exchange, root morphology and nutrients in maize plants inoculated with *Azospirillum brasilense* cultivated under two water conditions. *Brazilian Archives of Biology and Technology*. 64:e21190580.
- Mercer, K.L. and Perales, H. 2019. Structure of local adaptation across the landscape: flowering time and fitness in Mexican maize (*Zea mays* L. subsp. *mays*) landraces. *Genetic Resources and Crop Evolution*. 66: 27-45.
- Pacheco, I., Ferreira, R., Correia, P., Carvalho, L., Dias, T. and Cruz, C. 2021. Microbial consortium increases maize productivity and reduces grain phosphorus concentration under field conditions. *Saudi Journal of Biological Sciences*. 28(1): 232-237.

- Pereira, S.I.A., Abreu, D., Moreira, H., Vega, A. and Castro, P.M.L. 2020. Plant growth-promoting rhizobacteria (PGPR) improve the growth and nutrient use efficiency in maize (*Zea mays* L.) under water deficit conditions. *Heliyon*. 6(10):e05106.
- Ramírez-Flores, M.R., Bello-Bello, E., Rellán-Álvarez, R., Sowers, R.J.H. and Olalde-Portugal, V. 2019. Inoculation with the mycorrhizal fungus *Rhizophagus irregularis* modulates the relationship between root growth and nutrient content in maize (*Zea mays* ssp. *mays* L.). *Plant direct*. 3(12): e00192.
- Ramos-Garza, J., Aguirre-Noyola, J.L., Bustamante-Brito, R., Zelaya-Molina, L.X., Maldonado-Hernández, J., Morales-Estrada, A.I., *et al.* 2023. Mycobiota of mexican maize landraces with auxin-producing yeasts that improve plant growth and root development. *Plants* (Basel, Switzerland). 12(6): 1328.
- Rios-Galicia, B., Villagómez-Garfias, C., De la Vega-Camarillo, E., Guerra-Camacho, J.E., Medina-Jaritz, N., Arteaga-Garibay, R.I., *et al.* 2021. The Mexican giant maize of Jala landrace harbour plant-growth-promoting rhizospheric and endophytic bacteria. *3 Biotech*. 11(10): 447.
- Saleem, M., Nawaz, F., Hussain, M.B. and Ikram, R.M. 2021. Comparative effects of individual and consortia plant growth promoting bacteria on physiological and enzymatic mechanisms to confer drought tolerance in maize (*Zea mays* L.). *Journal of Soil Science and Plant Nutritio*. 21: 3461-76.
- Santillán-Fernández, A., Salinas-Moreno, Y., Valdez-Lazalde, J.R. and Pereira-Lorenzo, S. 2021. Spatial-temporal evolution of scientific production about genetically modified maize. *Agriculture*. 11(3):246.
- Sun, J., Jia, Q., Li, Y., Zhang, T., Chen, J., Ren, Y., Dong, K., Xu, S., Shi, N.N. and Fu, S. 2022. Effects of arbuscular mycorrhizal fungi and biochar on growth, nutrient absorption, and physiological properties of maize (*Zea mays* L.). *Journal of fungi* (Basel, Switzerland). 8(12): 1275.
- Zboralski, A. and Filion, M. 2023. *Pseudomonas* spp. can help plants face climate change. *Frontiers in microbiology*. 14: 1198131.