

USO DE MEJORADORES BIOLÓGICOS EN CULTIVOS DE RAZAS NATIVAS DE MAÍZ EN LA MIXTECA OAXAQUEÑA

[USE OF BIOLOGICAL ENHANCERS IN NATIVE MAIZE BREEDS CROPS IN THE OAXACAN MIXTEC REGION]

José Antonio Hernández-Aguilar¹, Héctor Bautista-García¹, Viridiana Merecias-Aparicio¹, Filemón Vásquez-Ortiz^{1§}, Luis Fabián Gómez-Arango¹

¹Tecnológico Nacional de México. Instituto Tecnológico Superior de San Miguel el Grande. Km 1.2 carretera a Morelos, San Miguel El Grande, Tlaxiaco, Oaxaca. C.P. 71140.

[§]Autor para correspondencia: (filemon.vo@smiguelgde.tecnm.mx).

RESUMEN

El maíz es el grano más importante en México pues representa la base de la alimentación de su población. Dada esta condición, es fundamental desarrollar investigación relacionada con la producción sustentable del maíz en el país. El presente estudio tuvo como objetivo evaluar el efecto de tres microorganismos (*Azotobacter* sp., *Azospirillum brasiliense* y micorrizas) sobre el desarrollo vegetativo y productivo de tres razas de maíz nativo en el municipio de San Miguel El Grande, Oaxaca. El experimento se llevó a cabo bajo el diseño de bloques completos al azar con arreglo en parcelas divididas, la inoculación se realizó al grano antes de la siembra y con tres aplicaciones en la raíz posteriores a la emergencia de la planta. Se realizó un análisis de varianza, comparaciones múltiples de Tukey y una prueba de Friedman, conforme la distribución de las variables. La mayor germinación se obtuvo del maíz azul sin inocular (92.8%), en altura el maíz blanco tratado con *A. brasiliense* mostró el mayor promedio (354.0 cm) y para diámetro del tallo el maíz azul tratado con *A. brasiliense* presentó la media más alta (3.7 cm). El maíz azul inoculado con micorrizas fue el más precoz en la floración femenina, en diámetro de la mazorca el maíz blanco sin inocular fue estadísticamente superior (46.48 mm), y el mejor rendimiento del grano se obtuvo con la raza nativa de maíz blanco inoculado con micorrizas (6.3 t ha⁻¹). Este comportamiento de los microorganismos en cultivos podría representar una alternativa para la agricultura sustentable.

Palabras claves: Agricultura sustentable, maíz nativo, mejoradores biológicos, micorrizas, rendimiento.

ABSTRACT

Maize is the most important grain in Mexico because it represents the basis of the population's diet. In view of this fact, it is essential to develop research related to the sustainable production of maize in the country. The objective of this study was to evaluate the effect of three microorganisms (*Azotobacter* sp., *Azospirillum brasiliense* and mycorrhizae) on the vegetative and productive development of three native corn breeds in the municipality of San Miguel El Grande, Oaxaca. The experiment was carried out using a randomized complete block design with a split-plot arrangement. Inoculation was performed on the grain before planting and with three applications at the root after plant emergence. An analysis of variance, Tukey's multiple comparisons and Friedman's test were made according to the distribution of the variables. The highest germination was obtained from blue corn without inoculation (92.8%), in height the white corn treated with *A. brasiliense* showed the highest average with 354.0 cm and for stalk diameter the blue corn treated with *A. brasiliense* showed the highest average (3.7 cm). The blue corn inoculated with *A. brasiliense* showed the lowest average (3.7 cm), the white corn treated with *A. brasiliense* showed the highest average with 354.0 cm. 7 cm), the blue maize inoculated with mycorrhizae was the earliest in female flowering, in ear diameter the white maize without inoculation was statistically superior with 46.48 mm, and the best grain yield was

obtained with the native breed of white maize inoculated with mycorrhizae with 6.3 t ha⁻¹. The findings showed that microorganisms could be an alternative for sustainable agriculture.

Index words: Sustainable agriculture, native maize, biological enhancers, mycorrhizae, yield.

INTRODUCCIÓN

En México, el maíz es el cultivo de mayor importancia alimentaria por ser un elemento indispensable en la dieta y una fuente principal de energía en la población del país (Fernández-Suárez *et al.*, 2013). Por otra parte, a nivel socioeconómico, cada año se destinan para la siembra 8.5 millones de hectáreas que representa el 65% de la producción total de cereales (Montesillo-Cedillo, 2016). Dentro de las prácticas agronómicas para su cultivo, la fertilización química representa un manejo común en regiones de riego, cuya inversión representa alrededor del 30% de los costos de producción (Hernández-Hernández *et al.*, 2016). No obstante, la inversión que representa dicha fertilización, la mayoría de las veces no es aprovechada de manera eficiente.

En la actualidad, se utilizan diferentes microorganismos en la agricultura, los cuales benefician la productividad de las plantas y forman parte de una biotecnología que garantiza una productividad biológica, económica y ecológica sin contaminación e inocua para el hombre (Faith-Vargas y Rivas-Solano, 2012). Los microorganismos presentes en el suelo son factores clave en los ciclos de la mayoría de los nutrientes, especialmente en el ciclo del carbono, nitrógeno, azufre y carbono. Asimismo, son responsables de la descomposición de residuos orgánicos y de la degradación de compuestos orgánicos contaminantes presentes en el suelo, por lo tanto, es frecuente la utilización de mejoradores biológicos como enmienda orgánica para su activación o repoblación (Guzmán-Trampe, 2017).

La sustentabilidad de los sistemas agrícolas a largo plazo debe fomentar el uso y manejo efectivo de los recursos naturales de los agroecosistemas (González Flores *et al.*, 2020). Los organismos benéficos utilizados como mejoradores biológicos disponen de una relación mutualista conocida como simbiosis (Pedraza *et al.*, 2010). Esto es aplicado a los procesos biológicos de incorporación de nutrientes a los sistemas de suelo y planta, por lo que han sido examinados para evaluar el potencial de utilización de microorganismos en diferentes cultivos agrícolas (Tanya-Morocho y Leiva-Mora, 2019). En este sentido, la idea de minimizar o eficientizar el uso de fertilización sintética para que sea más beneficioso para los cultivos ha revitalizado la opción de utilizar mejoradores biológicos como bacterias rizosféricas fijadoras de nitrógeno y promotoras de crecimiento vegetal (Bécquer *et al.*, 2012) mediante la inoculación de semillas como una vía alterna de nutrición y crecimiento para las plantas (Moreno-Reséndez *et al.*, 2018).

Las bacterias del género *Azotobacter* son fijadoras de nitrógeno de vida libre, solubilizadoras de fósforo y productoras de sustancias promotoras de crecimiento, por lo que su aplicación favorece la interacción suelo-microorganismo-planta. Esto a que las bacterias son capaces de mantener e incrementar el suplemento de nitrógeno en el suelo (Reyes *et al.*, 2008). Varios estudios han confirmado el beneficio de estos mejoradores biológicos, como *Azotobacter* sp. y *Burkholderia* sp., inoculados en semillas de maíz y germinadas en suelos sódicos pobres en materia orgánica, los cuales alcanzaron porcentajes de germinación del 95% comparados con el 85% sin inocular (Sánchez *et al.*, 2014). Por otra parte, *Azospirillum brasiliense* presentó valores promedio más altos en altura de planta y peso seco de raíz (Villa-Castro *et al.*, 2014) y un mayor rendimiento en grano a diferencia del testigo sin inóculo y con fertilización nitrogenada (González *et al.*, 2011; García-Olivares *et al.*, 2012). Asimismo, se ha observado que la inoculación con este último microorganismo incrementa un 17% la longitud media de las espigas y productividad con respecto a los demás tratamientos evaluados, lo que garantiza una nueva perspectiva para mejorar la producción capaz de sustituir la fertilización nitrogenada (Pedraza *et al.*, 2010). Esto es posible a causa de la afinidad del inóculo con la planta (Rangel-Lucio *et al.*, 2011) que interactúa a nivel radicular de forma directa (aporte energético) e indirecta (modificación de ambiente físico-químico), favoreciendo así a la solubilidad eficiente de fertilizantes y absorción natural de nutrientes como el nitrógeno y fósforo por la planta (Frioni, 2005).

Los microorganismos de montaña ha sido últimamente uno de los procesos con mayor importancia en la agricultura orgánica, ya que su composición y las posibles relaciones que generan son múltiples, incluyen bacterias fotosintéticas, bacterias productoras de ácido láctico, hongos filamentosos y levaduras. En su fase de utilización son productos de fabricación artesanal y de bajo costo que no requiere de un tratamiento sofisticado, para luego incorporarlo al suelo agrícola (Camacho-Céspedes *et al.*, 2018). Los microorganismos de montaña son utilizados en actividades de biorremediación de suelo o de biofertilización, estimulando la germinación de semillas y crecimiento de la parte radicular de la planta, además aumenta el grado de protección de los cultivos hacia organismos causantes de enfermedades (Umaña *et al.*, 2017).

Dado el potencial de los mejoradores biológicos en cultivos de maíz y que no se ha realizado investigación basada en la interacción de mejoradores biológicos en semillas de maíces nativos, el presente estudio tuvo como objetivo evaluar el efecto de tres microorganismos (*Azotobacter* sp., *A. brasiliense* y micorrizas) sobre el desarrollo vegetativo y productivo de tres razas de maíz nativo en el municipio de San Miguel El Grande, Oaxaca.

MATERIALES Y MÉTODOS

El experimento se desarrolló en un predio de 500 m² en la comunidad de Benito Juárez, Municipio de San Miguel El Grande, ubicado en la región Mixteca Alta del estado de Oaxaca, durante el mes de marzo de 2021. El predio se sitúa a una altura de 2264 msnm y con un clima templado subhúmedo C(w2) (García, 1981).

Diseño experimental y tratamientos

El diseño experimental seleccionado para el experimento fue de bloques completos al azar con arreglo en parcelas divididas con cinco repeticiones. La parcela grande consistió en tres razas nativas de maíz (blanco, amarillo y azul), mientras que la parcela chica contempló tres mejoradores biológicos (Micorrizas, *A. brasiliense* y *Azotobacter* sp.). La combinación de ambos factores arrojó nueve tratamientos y tres testigos (maíces sin inocular). La siembra se realizó bajo el sistema por cajetes (Rivas *et al.*, 2006), con cuatro plantas por mata, con una densidad de 35,200 plantas ha⁻¹. El manejo del cultivo estuvo apegado al realizado por productores locales: 1. Riego de auxilio con frecuencia de cada 15 días de manera manual por cajete hasta el inicio de la temporada de lluvia. 2. Fertilización química por mata a los 45 días después de la siembra con la dosis 45-42-42, y 3) aporque con pala.

Métodos de inoculación

Como inoculo micorrízico se utilizó el producto comercial MC MICORRIZAS® a base de siete especies: *A. Brasiliense*, *Glomus intraradices*, *G. fasciculatum*, *Thrichoderma harzianum*, *Bacillus subtilis*, *Pseudomonas fluorescens* y *B. mucilaginosus*. También se utilizó el producto Azospirillum® que contiene *A. brasiliense* a una concentración porcentual de 5 x 10⁸ g/dosis y Azotobacter® que contiene extracto bacteriano a una concentración de 2.3 x 10⁶ UFC/ml de *Azotobacter* sp. La inoculación de estos mejoradores biológicos se aplicó primero en la siembra mediante el recubrimiento de las semillas a una dosis de 6.6 kg ha⁻¹. Las semillas se mojaron en melaza y posteriormente se les aplicó cada uno de los mejoradores biológicos, y se dejaron secar a la sombra por tres horas y posteriormente se sembraron. También se aplicó 250 ml de una solución de 2.1 gl⁻¹ de cada uno de los mejoradores biológicos directamente en la base de la planta a los 30, 60 y 90 días después de la emergencia.

Variables evaluadas y análisis estadístico

Las variables de crecimiento fueron tomadas a siete matas elegidas al azar en el centro de cada parcela útil. Se determinó el porcentaje de germinación después de once días de la siembra (Araya *et al.*, 2000), el diámetro de la base del tallo fue medido con un vernier digital a los 90 días después de la siembra, la altura total de la planta al término de la floración con empleo de un flexómetro, los días a la floración masculina se registraron en el momento de observarse la espiga y los días a la floración femenina se cuantificó en el momento de observar el jilote. La cosecha se realizó después de siete meses de la siembra, y se determinó el peso, diámetro y longitud de la mazorca, así como el número de filas de maíz por mazorca y rendimiento en grano con 15% de humedad.

El análisis estadístico se llevó a cabo con el paquete estadístico InfoStat (2014), donde inicialmente se probaron los supuestos de normalidad y homogeneidad de varianza de los errores para cada una de las variables estudiadas. Para aquellas variables que cumplieron con distribución normal, se realizó un análisis de varianza y las comparaciones múltiples de medias con la prueba de Tukey ($\alpha=0.05$), y para aquellas que no cumplieron sin distribución normal fueron analizadas con la prueba de Friedman ($\alpha=0.05$).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La Prueba de Friedman, aplicada para determinar el porcentaje de germinación, mostró una diferencia significativa ($p<0.05$), las semillas de maíz azul sin inocular tuvieron la germinación más alta con 92.8%, mientras la germinación más baja se dio en el maíz blanco sin inocular (78.5%) (Cuadro 1).

Cuadro 1. Rango promedio de caracteres agromorfológicas de tres razas nativas de maíz inoculado con tres mejoradores biológicos.

Tratamientos	% de germinación	Altura total	Días a la floración femenina
Maíz amarillo + <i>Azotobacter</i> sp.	5.82 abc	7.0 cde	4.21 ab
Maíz amarillo + <i>A. brasiliense</i>	7.47 cd	6.79 cde	7.07 bcdegh
Maíz amarillo + micorrizas	7.53 cd	1.57 a	6.21 bcd
Maíz amarillo	6.71 cd	8.71 e	4.93 abcd
Maíz blanco + <i>A. brasiliense</i>	6.18 abcd	9.57 e	9.14 gh
Maíz blanco + <i>Azotobacter</i> sp.	6.37 abcd	9.14 e	9.0 fgh
Maíz blanco + micorrizas	6.24 abcd	5.36 bcd	9.29 gh
Maíz blanco	4.61 a	6.57 bcde	9.93 h
Maíz azul + micorrizas	7.29 cd	7.14 cde	2.86 a
Maíz azul + <i>A. brasiliense</i>	4.76 ab	5.57 cde	5.07 abcde
Maíz azul + <i>Azotobacter</i> sp.	7.24 cd	5.0 bc	5.93 abcdef
Maíz azul	7.79 d	3.57 ab	4.36 abc

Medias con una letra común no son significativamente diferentes (Friedman, $p<0.05$).

El análisis por factor indicó que tanto los microorganismos como las razas de maíz no tuvieron efecto significativo en la germinación. Los resultados anteriores difieren a los datos reportados por Sánchez-Yáñez *et al.* (2014) donde obtuvieron un porcentaje similar en germinación con *Azotobacter* sp. y *Burkholderia* sp., pero superiores a su contraparte sin inoculo puesto que estos microorganismos terminan la latencia del embrión mediante la transformación de los exudados de la espermofita de la semilla en sustancias promotoras de crecimiento vegetal, acelerando la velocidad de germinación (Martínez *et al.*, 2011). Asimismo, Rojas-Badia *et al.* (2020) reportan el 100% en la germinación de semillas de maíz utilizando cepas de *Bacillus* superando a su contra parte testigo sin un inoculo específico con promedio del 50%, esto porque ciertos microorganismos propios de la rizosfera favorecen a la fijación de N atmosférico, a la producción de metabolitos secundarios y ácidos orgánicos que actúan análogamente a las fitohormonas lo cual influye directamente en la estimulación del crecimiento vegetal (Leal-Almanza *et al.*, 2017).

En la altura de planta a nivel de tratamientos hubo diferencia significativa ($p<0.05$) debido a que las plantas de maíz amarillo sin inoculo, maíz blanco inoculado con *A. brasiliense* y con *Azotobacter* sp., alcanzaron la mayor altura promedio con 338.8 cm, 354.1 cm y 349.9 cm, respectivamente; siendo las plantas de maíz amarillo con micorrizas las que tuvieron una altura más baja (262.6 cm) (Cuadro 1). En el análisis por factor, las razas nativas no tuvieron efecto significativo en la altura, en cambio *Azotobacter* sp y *A. brasiliense* tuvieron un efecto significativo en la altura de las plantas. Lo anterior es similar a los datos obtenidos por Alverto-Xiu (2014) que reportó un promedio de 169 cm para el tratamiento sin inoculo aplicando solo fertilización química y 160 cm utilizando la combinación con micorrizas, debido a que existe una interacción directa a nivel radicular del inoculo con la planta favoreciendo a la solubilidad del fertilizante (Rangel-Lucio *et al.*, 2011).

En la variable días a la floración femenina a nivel de tratamientos se observó diferencia significativa ($p<0.05$) (Cuadro 1). Las plantas del maíz azul inoculado con micorrizas fueron más precoces (81.45 días), siendo el maíz blanco sin inocular el maíz tardío (96.61 días). Córdova-Rojas (2015) reporta un patrón similar pues reportó una precocidad de 70-74 días en semillas de maíz amarillo inoculadas con *A. sp.*, a diferencia de su testigo absoluto sin inoculo con un promedio de 75 días. En cuando al análisis por factor hubo efecto significativo de los maíces nativos, siendo el maíz amarillo y azul los más precoces en la floración femenina.

El análisis de varianza del diámetro del tallo y días a la floración masculina a nivel de tratamientos indicó diferencias significativas ($p<0.05$) en la prueba de Tukey ($p<0.05$) (Cuadro 2).

Cuadro 2. Valores promedios de caracteres agromorfológicos de tres razas nativas de maíz inoculado con tres mejoradores biológicos.

Tratamientos	Diámetro del tallo (mm)	Días a la floración masculina
Maíz amarillo + <i>Azotobacter</i> sp.	3.5 ab	77.6 a
Maíz amarillo + <i>A. brasiliense</i>	3.3 ab	78.4 a
Maíz amarillo + micorrizas	3.0 a	77.9 a
Maíz amarillo	3.1 ab	78.2 a
Maíz blanco + <i>A. brasiliense</i>	3.2 ab	81.0 ab
Maíz blanco + <i>Azotobacter</i> sp.	3.1 ab	81.5 ab
Maíz blanco + micorrizas	3.0 a	82.3 ab
Maíz blanco	3.4 ab	87.0 b
Maíz azul + micorrizas	3.2 ab	74.4 a
Maíz azul + <i>A. brasiliense</i>	3.7 b	76.0 a
Maíz azul + <i>Azotobacter</i> sp.	3.5 ab	76.9 a
Maíz azul	3.4 ab	77.0 a

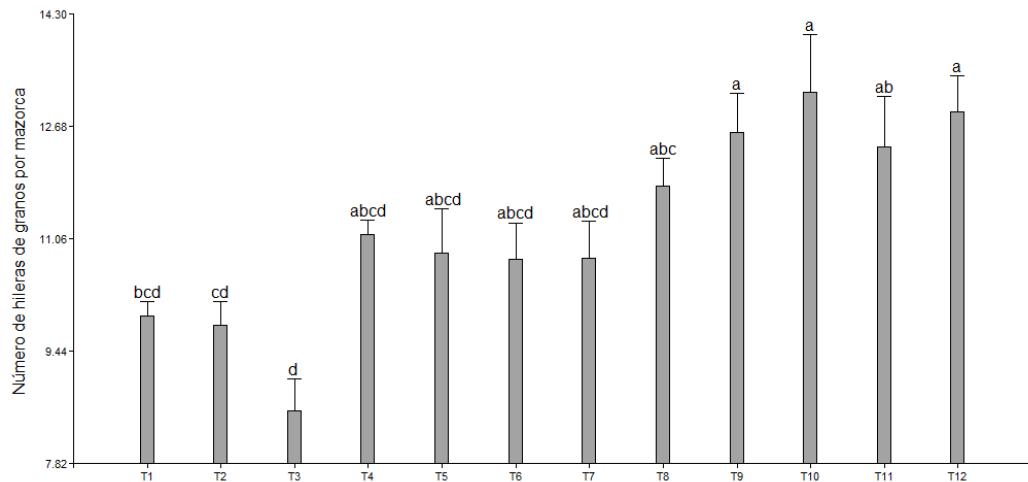
Medias con la misma letra no son significativamente diferentes (Tukey, $p<0.05$).

Se encontró que las plantas de maíz azul inoculado con *A. brasiliense* fue estadísticamente superior en el diámetro del tallo (3.7 mm), aunque estadísticamente igual a la mayoría de los tratamientos. Esto es similar a lo reportado por Zulueta-Rodriguez *et al.* (2019) donde se presentó una diferencia significativa en el tratamiento de maíz con inoculo de *A. brasiliense* al 50% de fertilización química con promedio de 7.66 mm, siendo superior a los demás tratamientos. En el mismo sentido, Juárez-Cortez (2016) encontró diferencias significativas entre tratamientos inoculados con *A. brasiliense* y *G. intraradice* y su contraparte testigo sin inoculo y fertilización química obteniendo un promedio de 24.87 mm en todos los tratamientos, a excepción de las plantas de maíz amarillo y blanco inoculado con micorrizas que alcanzaron un promedio del diámetro del tallo de 3.0 mm. Sin embargo, existen otros estudios con datos opuestos como el publicado por Ramirez-Reyes (2016) donde se presentó una disminución en el diámetro de tallo en maíz azul, amarillo

y blanco tratados con una combinación de micorrizas y *A. brasiliense* con promedio de 2.72 mm con respecto a los demás tratamientos (fertilización química y orgánica) se obtuvieron rangos de entre 2.85 mm y 3.12 mm, siendo estadísticamente diferente y solo igualando al testigo quien obtuvo 2.77 mm promedio.

Para días a floración masculina las razas de maíz amarillo y azul no hubo diferencia significativa entre tratamientos y el testigo sin inoculo, mientras que para la raza de maíz blanco los tratamientos inoculados con mejoradores biológicos fueron estadísticamente iguales y superiores al testigo sin inoculo (Cuadro 2). Estos resultados concuerdan con los obtenidos por González-Huerta *et al.* (2011) donde se obtuvieron valores significativos en días a floración masculina en interacciones de genotipos de maíz en relación con la inoculación con *A. brasiliense* y sin inoculo, con valores de 82.3 días promedio.

El análisis estadístico para las variables productivas mostró significancia estadística (Tukey, $p<0.05$) entre los tratamientos evaluados (Figura 1).

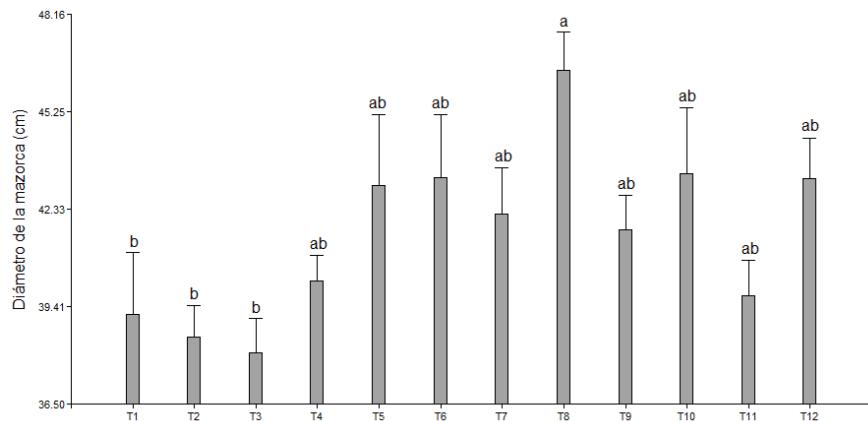


T1= Maíz amarillo + *Azotobacter* sp., T2= Maíz amarillo + *A. brasiliense*, T3= Maíz amarillo + micorrizas, T4= Maíz amarillo, T5=Maíz blanco + *A. brasiliense*, T6=Maíz blanco + *Azotobacter* sp., T7=Maíz blanco + micorrizas, T8=Maíz blanco, T9=Maíz azul + micorrizas, T10=Maíz azul + *A. brasiliense*, T11=Maíz azul + *Azotobacter* sp., T12=Maíz azul.

Figura 1. Efecto de mejoradores biológicos en el número de hileras de grano por mazorca de tres razas nativas de maíz. Letras distintas indican diferencias estadísticas significativas (Tukey, $p<0.05$).

En el efecto de los mejoradores biológicos en el número de hileras de grano por mazorca, se observó que el maíz azul sin inocular (12.9 hileras), inoculado con micorrizas 12.9 hileras) y con *A. brasiliense* (13.1 hileras) fueron estadísticamente superiores, y el maíz amarillo inoculado con micorrizas con menor número de hileras de grano (Figura 1). El análisis por factor indica que el número de hileras de grano fue estadísticamente diferente para cada raza de maíz, y esta variable no presentó cambios significativos cuando no se aplicó inoculante. Estos resultados contrastan con los reportados por Martínez-Reyes *et al.* (2018), quienes reportaron un incremento numérico de hileras por mazorca en tratamientos donde se utilizó *A. brasiliense* y *Chromobacterium violaceum* en comparación al tratamiento donde solo se suministró fertilización química, aunque estadísticamente no hubo una diferencia significativa entre los tratamientos puesto que la numeración de hileras en mazorcas es un carácter genético, pero existe una influencia de los microorganismos en sinergismo con la fertilización.

Para el diámetro de la mazorca a nivel tratamientos, el maíz blanco sin inocular fue estadísticamente superior con 46.48 mm (Figura 2).

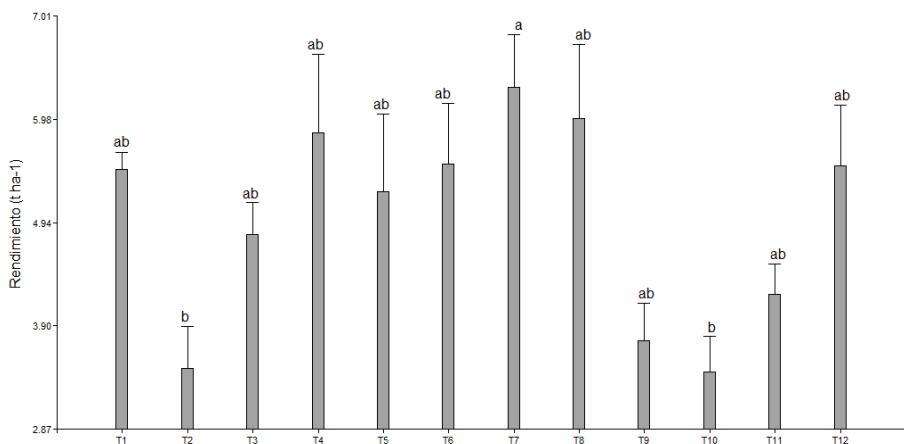


T1= Maíz amarillo + *Azotobacter* sp., T2= Maíz amarillo + *A. brasiliense*, T3= Maíz amarillo + micorrizas, T4= Maíz amarillo, T5=Maíz blanco + *A. brasiliense*, T6=Maíz blanco + *Azotobacter* sp., T7=Maíz blanco + micorrizas, T8=Maíz blanco, T9=Maíz azul + micorrizas, T10=Maíz azul + *A. brasiliense*, T11=Maíz azul + *Azotobacter* sp., T12=Maíz azul.

Figura 2. Efecto de mejoradores biológicos en el diámetro de la mazorca (cm) de tres razas nativas de maíz. Letras distintas indican diferencias estadísticas significativas (Tukey, $p<0.05$)

El análisis por factor muestra que las plantas de los maíces nativos de color blanco y azul produjeron mazorcas con diámetros promedios más elevados comparados con las plantas de maíz amarillo, y en el caso de los inoculantes empleados tuvieron el mismo efecto sobre esta variable, incluso igual que el testigo. Estos resultados difieren con Martínez-Reyes *et al.* (2018) que reportó diámetros superiores en tratamientos con *A. brasiliense* y *C. violaceum* cuantificando las mejores medidas en comparación con su testigo absoluto gracias al proceso fotosintético del nitrógeno atribuido a *A. brasiliense*. Sin embargo, los resultados de la variable diámetro de mazorca del presente estudio siguen el mismo comportamiento que aquellos obtenidos por Valenzuela-Ortega (2020), donde no se presentó diferencia significativa en tratamientos inoculados con micorrizas (4.2 y 5 cm) y su testigo sin inoculo (4.4 cm), pero a nivel individual el inoculo superó al testigo al obtener los promedios más altos.

El mejor rendimiento del grano se obtuvo con la raza nativa de maíz blanco inoculado con micorrizas con 6.3 t ha^{-1} (Figura 3). Se identificó para las razas de maíz amarillo y azul, con inoculo de *A. brasiliense* que fue estadísticamente inferior con respecto al resto de tratamientos con 3.48 y 3.44 t ha^{-1} . Lo anterior difiere con Martínez-Reyes *et al.* (2018) pues se reportó promedios en rendimiento de 5.97 t ha^{-1} utilizando *A. brasiliense* + fertilización química mientras que su contra parte testigo absoluto reportó 4.3 t ha^{-1} siendo la menor producción unitaria. Asimismo, Zulueta-Rodríguez *et al.* (2019) reportan incrementos superiores en peso del grano en kg por planta en tratamientos inoculados con *A. brasiliense* y hongos micorrílicos arbusculares. El análisis por factor permitió identificar que la raza nativa color blanco y amarillo fueron estadísticamente superiores (5.76 t ha^{-1} y 4.9 t ha^{-1}), mientras que para los mejoradores biológicos *Azotobacter* sp. y micorrizas tuvieron mejor efecto para el rendimiento, aunque fueron estadísticamente igual que el testigo.



T1= Maíz amarillo + *Azotobacter* sp., T2= Maíz amarillo + *A. brasiliense*, T3= Maíz amarillo + micorrizas, T4= Maíz amarillo, T5=Maíz blanco + *A. brasiliense*, T6=Maíz blanco + *Azotobacter* sp., T7=Maíz blanco + micorrizas, T8=Maíz blanco, T9=Maíz azul + micorrizas, T10=Maíz azul + *A. brasiliense*, T11=Maíz azul + *Azotobacter* sp., T12=Maíz azul.

Figura 3. Efecto de mejoradores biológicos en el rendimiento del grano ($t\ ha^{-1}$) de tres razas nativas de maíz. Letras distintas indican diferencias estadísticas significativas (Tukey, $p<0.05$).

CONCLUSIONES

El uso de mejoradores biológicos es una alternativa viable para la agricultura sustentable, el efecto que tienen es distinto en cada raza de maíz. En algunos casos fue significativo y superior a los testigos, pero en algunas variables no mostró cambios relevantes. En las variables productivas de manera general se tuvo mejor efecto en la raza de maíz color blanco, seguido por el maíz azul y amarillo, especialmente en rendimiento el maíz blanco inoculado con micorrizas fue el más sobresaliente. Estos resultados pueden ser útiles para mejorar la productividad y el rendimiento del maíz criollo cultivado por agricultores locales.

LITERATURA CITADA

- Alberto-Xiu, K. 2014. Evaluación del crecimiento del maíz VS-536 inoculado con microorganismos (Micorrizas y *Azospirillum*), y con la adición de fertilizantes químicos en un suelo Luvisol. Informe Técnico de Residencia Profesional. Instituto Tecnológico de la Zona Maya. 43. http://www.itzonamaya.edu.mx/web_biblio/archivos/res_prof/agro/agro-2014-5. Fecha de consulta 10 de diciembre de 2021.
- Araya, E., L. Gómez, N. Hidalgo y R. Valverde. 2000. Efecto de la luz y del ácido giberélico sobre la germinación *in vitro* de (*Alunus Acuminata*). Agronomía Costarricense, 24(1):75-80.
- Bécquer, C.J., J.A. Nápoles, N.F. Fajardo, L.A. Palmero, U. Ávila, O. Álvarez, Y. Ramos, M. Quintana, Y. Galdo y S. Vega. 2012. Efecto de la inoculación con *Bradyrhizobium* sp. y de la fertilización nitrogenada en dos variedades de sorgo grano (*Sorghum bicolor* L. Moench). Pastos y Forrajes, 35(1), 67-78.
- Camacho-Céspedes, F., L. Uribe-Lorío, Q. Newcome, K. Masters y M. Kinyua. 2018. Bio-optimización del compost con cultivos de microorganismos de montaña (MM) y lodos digeridos de biodigestor (LDBIO). UNED Research Journal, 10(2), 330–341. <http://dx.doi.org/10.22458/urj.v10i2.2163>.
- Córdova-Rojas, L.M. 2015. Efecto de *Azospirillum* spp. nativas en el desarrollo vegetativo de *Zea mays* L. “maíz”, en invernadero. Tesis de Maestría en Ciencias, Mención en Biotecnología Agroindustrial y Ambiental. Universidad Nacional de Trujillo, Perú.
- Faith-Vargas, M. y O. Rivas-Solano. 2012. Obtención de un mejorador de suelos como subproducto de la digestión anaerobia de desechos orgánicos en el TEC. Revista Tecnología en Marcha, 25 (3), 19–27.

- Fernández-Suárez, R., L.A. Morales-Chávez y A. Gálvez-Mariscal. 2013. Importancia de los maíces nativos de México en la dieta nacional. Una revisión indispensable. *Revista Fitotecnia Mexicana*, 36(3-S3-A), 275. DOI:10.35196/rfm.2013.3-S3-A.275.
- Frioni, L. 2005. Microbiología básica, ambiental y agrícola. Facultad de Agronomía Universidad de la República, Uruguay. 1^a Ed. 464 p.
- García, E. 1981. Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen para adaptarlo a las condiciones de la República Mexicana. Offset Larios. México. 246 p.
- García-Olivares, J.G., A. Mendoza-Herrera y N. Mayek-Pérez. 2012. Efecto de *Azospirillum brasiliense* en el rendimiento del maíz en el norte de Tamaulipas, México. Centro de Biotecnología Genómica-Instituto Politécnico Nacional, 28(1), 79-84.
- González-Flores, S., L.G. Guajardo-Hernández, S.X. Almeraya-Quintero, L.M. Pérez-Hernández y D.M. Sangerman-Jarquín. 2020. Evaluación de la sustentabilidad del cultivo de maíz en Villaflor y La Trinitaria, Chiapas. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 11(7), 1565–1578. <https://doi.org/10.29312/remexca.v11i7.2673>.
- González-Huerta, A., D.J. Pérez-López, O. Franco-Mora, A. Balbuena Melgarejo, F. Gutiérrez-Rodríguez y H. Romero-Salas. 2011. Respuesta de tres cultivares de maíz a la inoculación con *Azospirillum brasiliense* bajo cuatro diferentes dosis de nitrógeno. *Ciencia Ergo Sun*, 18(1), 51-58.
- Guzmán-Trampe, S. 2017. Los microbios y la ecología. *Revista Ciencia*, 68(2), 50–59.
- Hernández-Hernández, B., R. Rendón-Medel, J.U. Toledo y V.H. Santoyo-Cortés. 2016. Potencial económico y agronómico de la adopción de semillas de maíz genéticamente modificado en México. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 7(15), 3051–3061. <https://doi.org/10.29312/remexca.v0i15.425>.
- Juárez-Cortez, J.A. 2016. Inoculación maíz con *Glomus intraradice* y *Azospirillum brasiliense* en San Pablo Tepetzingo, Tehuacán, Puebla. Benemérita Universidad Autónoma de Puebla.
- Leal-Almanza, J., M.A. Gutiérrez-Coronado, L. Castro-Espinoza, F. Lares-Villa, J.M. Cortes-Jiménez y S. de los Santos-Villalobos. 2017. Microorganismos promotores de crecimiento vegetal con yeso agrícola en papa (*Solanum tuberosum* L.) bajo casa sombra. *Revista Agrociencia*, 52(1), 1149-1159.
- Martínez-Reyes, L., C.E. Aguilar-Jiménez, M.G. Carcaño-Montiel, J. Galdámez-Galdámez, A. Gutiérrez-Martínez, J.A. Morales-Cabrera, F.B. Martínez-Aguilar, J. Llaven-Martínez, y E. Gómez-Padilla. 2018. Biofertilización y fertilización química en maíz (*Zea mays* L.) en Villa Flores, Chiapas, México. Centro de Investigaciones en Ciencias Microbiológicas. 5(1), 26-37. <https://doi.org/10.29166/siembra.v5i1.1425>.
- Montesillo-Cedillo, J.L. 2016. Rendimiento por hectárea del maíz grano en México: distritos de riego vs temporal. *Economía Informa*, 398, 60–74.
- Moreno-Reséndez, A., V. García-Mendoza, J.L. Reyes-Carrillo, J. Vásquez-Arroyo y P. Cano-Ríos. 2018. Rizobacterias promotoras del crecimiento vegetal: una alternativa de biofertilización para la agricultura sustentable. *Revista Colombiana de Biotecnología*, 20(1), 68–83. DOI: 10.15446/rev.colomb.biote.v20n1.73707.
- Pedraza, R.O., K.R.S. Teixeira, A.F. Scavino, I.G. De Salamone, B.E. Baca, R. Azcón, V.L.D. Baldani y R. Bonilla. 2010. Microorganismos que mejoran el crecimiento de las plantas y la calidad de los suelos. *Corpoica Ciencia y Tecnología Agropecuaria*, 11(2), 155-164.
- Rangel-Lucio, J.A., M. Rodríguez-Mendoza, R. Ferrera-Cerrato, J.Z. Castellanos-Ramos, A.M. Ramírez-Gama y E. Alvarado-Bárcenas. 2011. Afinidad y efecto de *Azospirillum* sp. en maíz. *Agronomía Mesoamericana*, 22(2), 269-279.
- Ramírez-Reyes, M.V. 2016. La fertilización del suelo en el rendimiento de maíz bolita y el desarrollo de *Spodoptera frugiperda* (Smith). Centro Interdisciplinario de Investigación para el Desarrollo Integral Regional Unidad Oaxaca. Instituto Politécnico Nacional.
- Reyes, I., L. Álvarez, H. El-Ayoubi y A. Valery. 2008. Selección y evaluación de rizobacterias promotoras del crecimiento en pimentón y maíz. *Revista Bioagro*, 20(1), 37–48.
- Rivas-Guevara, M., J. Palerm-Viqueira, A. Muñoz-Orozco, J. Cuevas-Sánchez y T. Martínez-Saldaña. 2006. Las Jollas en La Mixteca Oaxaqueña: Una técnica tradicional de captación de agua de lluvia para riego. El acceso al agua en la historia de América.

- Rojas-Badía, M.M., M.A. Bello-González, Y. Ríos-Rocafull, D. Lugo-Moya y J. Rodríguez-Sánchez. 2020. Utilización de cepas de *Bacillus* como promotores de crecimiento en hortalizas comerciales. *Acta Agronómica*. 69(1), 54-60. <https://doi.org/10.15446/acag.v69n1.79606>.
- Sánchez, J., I. López, J. Villegas y N. Montaño. 2014. Respuesta del maíz (*Zea mays* L) a la inoculación con *Azotobacter* sp. y *Burkholderia* sp. a dosis reducida de fertilizante nitrogenado. *Scientia Agropecuaria*, 17–23. <http://dx.doi.org/10.17268/sci.agropecu.2014.01.02>.
- Tanya-Morocho, M. y M. Leiva-Mora. 2019. Microorganismos eficientes, propiedades funcionales y aplicaciones agrícolas. *Revista Centro Agrícola*. 46(2), 93–103.
- Umaña, S., K. Rodríguez y C. Rojas. 2017. ¿Funcionan realmente los microorganismos de montaña (MM) como estrategia de biofertilización? Un enfoque de ingeniería de biosistemas. *Revista de Ciencias Ambientales*, 51(2), 133. DOI: <https://doi.org/10.15359/rca.51-2.7>.
- Valenzuela-Ortega, V.A. 2020. Efecto de micorrizas sobre las características agronómicas y sanitarias en el cultivo de maíz (*Zea mays* L.). Facultad de Ciencias Agrarias. Universidad de Guayaquil.
- Villa-Castro, L., N. Mayek-Pérez, J.G. García-Olivares y J.L. Hernández-Mendoza. 2014. Efecto de la inoculación en maíz con cepas nativas de *Azospirillum* sp. *Avances en Investigación Agropecuaria*, 18(1), 33-38.
- Zulueta-Rodríguez, R., F.C. Gómez-Merino, I. Alemán-Chávez, M.C. Núñez-Camargo y L. Lara-Capistrán. 2019. Respuesta del cultivo de maíz a la bio-inoculación y fertilización química reducida en campo. *Terra Latinoamericana*, 38(3), 597-612. <https://doi.org/10.28940/terra.v38i3.656>.