

Producción de maíz (*Zea mays* L.) mediante riego por goteo e inoculado con microorganismos benéficos

Production of maize (*Zea mays* L.) by drip irrigation and inoculated with beneficial microorganisms

VARGAS-ESPINOZA, Everardo*†, GAYTÁN-RUELAS, Marina, RIVERA-ARREDONDO, Marisa, CALDERÓN-RUIZ, Alberto, MORALES-FÉLIX, Verónica De Jesús

Universidad Tecnológica del Suroeste de Guanajuato, Carretera Valle-Huanímaro km 1.2. Valle de Santiago, Guanajuato. CP. 38400

ID 1^{er} Autor: Everardo, Vargas-Espinoza

ID 1^{er} Coautor: Marina, Gaytán-Ruelas

ID 2^{do} Coautor: Marisa, Rivera-Arredondo

ID 3^{er} Coautor: Alberto, Calderón-Ruiz

ID 4^{to} Coautor: Verónica De Jesús, Morales-Félix

Recibido Junio 20, 2018, Aceptado Septiembre 30, 2018

Resumen

El experimento se estableció de junio a diciembre del 2017 en un diseño completamente al azar con cuatro repeticiones en la parcela experimental 2 de la Carrera de Agricultura Sustentable y Protegida de la Universidad Tecnológica del Suroeste de Guanajuato (UTSOE), ubicada en el municipio de Valle de Santiago. El objetivo fue evaluar el efecto en la altura de planta, diámetro de tallo, raíces zancos, peso seco y el rendimiento en dos variedades criollas y un híbrido de maíz establecidas a una densidad de 80 000 semillas por hectárea, al ser inoculadas con un producto comercial a base de hongos benéficos (*Trichoderma harzianum*, *T. viride*, *T. reesei* y *Gliocladium virens*), bacterias benéficas (*Bacillus subtilis*, *B. megaterium*, *B. polymyxa* y *Pseudomonas fluorescens*), además de bioestimulantes. Se encontraron diferencias significativas ($p \leq 0.01$) para las variables de diámetro de tallo con una media de 1.86 m; así también para el rendimiento, donde sobresalió para las variedades criollas, el maíz de color blanco con inoculación (6.25 t/ha) sobre el maíz colorado con inoculación (5.73 t/ha). En el caso del híbrido, sobresalió en esta misma variable el tratamiento con inoculación, al producir 2.3 toneladas por arriba del híbrido sin inocular.

Microorganismos benéficos, Inoculación, Variedades de maíz, Riego por goteo, Rendimiento

Abstract

The experiment was established from June to December of 2017 in a completely randomized design with four repetitions in the experimental plot 2 of the Sustainable and Protected Agriculture Career of the Technological University of the Southwest of Guanajuato (UTSOE), located in the municipality of Valle de Santiago. The objective was to evaluate the effect on plant height, stem diameter, adventitious roots, dry weight and yield in two native varieties and a corn hybrid established at a density of 80,000 seeds per hectare, inoculated with a product commercial based on fungi and beneficial bacteria, in addition to biostimulants. Significant differences were found ($p \leq 0.01$) for stem diameter variables with a mean of 1.86 m; so also for the yield, where it excelled for the native varieties, the white maize with inoculation (6.25 t/ha) above the red corn with inoculation (5.73 t/ha). In the case of the hybrid, treatment with inoculation produced 2.3 metric tons above the hybrid without inoculation.

Beneficial microorganisms, Inoculation, Maize varieties, Drip irrigation, Yield

Citación: VARGAS-ESPINOZA, Everardo, GAYTÁN-RUELAS, Marina, RIVERA-ARREDONDO, Marisa, CALDERÓN-RUIZ, Alberto, MORALES-FÉLIX, Verónica De Jesús. Producción de maíz (*Zea mays* L.) mediante riego por goteo e inoculado con microorganismos benéficos. Revista de Ciencias Ambientales y Recursos Naturales. 2018, 4-13: 1-6.

*Correspondencia al Autor (Correo electrónico: evargase@utsoe.edu.mx)

† Investigador contribuyendo como primer Autor.

Introducción

El maíz (*Zea mays* L.) es el cultivo más importante en México, en términos de superficie, producción y aporte a la dieta. Actualmente más de dos terceras partes de los productores del país siembran maíz y más de la mitad del consumo diario de calorías y proteína de la población, son aportadas por productos de maíz, principalmente por la tortilla. La producción está caracterizada por una amplia gama de variedades, por lo que es posible generar una gran cantidad de productos finales: tortillas, almidones, glucosa, fructosa, dextrosa, aceites, botanas, forraje para animales, etanol para bebidas o como insumo en la producción de biocombustible (AMSDA, 2008), entre otros. Sin embargo, las dos variedades más importantes son el maíz blanco y el amarillo o forrajero, aun cuando en el país se cultivan diversos materiales locales con una adaptación y uso específico por la población (Navarro *et al.*, 2012).

El maíz blanco se produce exclusivamente para el consumo humano, en virtud de su alto contenido nutricional; en tanto que el maíz amarillo se destina al procesamiento industrial y a la alimentación animal. El maíz blanco representa un volumen de producción promedio anual de 19.2 millones de toneladas (FAO, 2012). Sin embargo, de acuerdo a las condiciones ambientales, tales como suelo; así como al manejo agronómico que se realice en el cultivo de maíz, los rendimientos se ven disminuidos, alcanzando en algunas ocasiones pérdidas totales, sobre todo por daño por plagas y enfermedades del suelo, las cuales muchas veces al dañar el sistema radicular y tejidos de conducción evitan que la planta realice adecuadamente sus funciones fisiológicas y metabólicas, provocando detención del crecimiento, pérdida de vigor, muerte y por ende mermas en el rendimiento.

Dentro de las innovaciones tecnológicas se encuentra el empleo de biofertilizantes con hongos antagonistas, bacterias fijadoras y solubilizadoras de nutrientes y bioestimulantes; así como el uso de hongos entomopatógenos, los cuales realizan una función y efecto crucial en las etapas iniciales del ciclo del cultivo, además de ayudar en la conservación del suelo, ser amigables al ambiente, al aplicador y consumidor; y causar un impacto positivo en la economía del agricultor, al disminuir los costos de producción por la compra de insumos y en ocasiones en el pago de mano de obra para aplicación de riegos, plaguicidas, entre otros.

Revisión de literatura

La producción de maíz grano tanto amarillo como blanco en México y en el año agrícola 2015 creció a una tasa anual de 6.1 % para totalizar 24.69 millones de toneladas. De este total de producción, el 86 % correspondió a maíz blanco, 13.6 % a maíz amarillo y el resto a maíces de otras variedades. Para este periodo, diez estados concentraron el 80 % de la producción nacional, destacando Sinaloa como el principal productor con una participación de 21.8 %. Por ciclo agrícola, la producción de maíz en el país ocurre en su mayor parte durante el ciclo primavera-verano, siendo el 74.5 % de la producción proveniente de ésta temporada (SIAP-SAGARPA, 2016).

Según FIRA (2016), en cuanto a la modalidad de riego, la superficie sembrado se ha incrementado a una tasa media anual de 0.9 % entre 2005 y 2015, para concentrarse en 1.5 millones de hectáreas en 2015, lo que representa el 20.9 % del total de la superficie cosechada de maíz en el país. Durante el 2015, el rendimiento promedio por hectárea en modalidad de riego fue de 8 toneladas, encontrándose Guanajuato junto con Chihuahua y Sinaloa por arriba de este promedio; mientras que en temporal promedió apenas 2.3 toneladas.

En años recientes y para contribuir a mejorar la producción del cultivo de maíz sujeta a factores abióticos y bióticos adversos, se ha mostrado interés por parte de instituciones de investigación y de los productores en el uso e inoculación de microorganismos benéficos como hongos de tipo micorrizas, antagonistas; así como bacterias benéficas de tipo antagonistas, bioestimulantes, solubilizadoras y fijadores de nutrientes, entre otros; capaces de colonizar las raíces de las plantas y estimular el crecimiento y rendimiento de cultivos (Chanway, 1997).

Estos microorganismos se encuentran en asociación o en interacción con la rizósfera, donde el ambiente es distinto del resto del suelo, debido a que en la rizósfera existe una gran cantidad y diversidad de sustancias orgánicas, como carbohidratos, aminoácidos, ácidos orgánicos, derivados de ácidos nucleicos, factores de crecimiento y enzimas que, de manera directa o indirecta tienen influencia negativa o positiva sobre los diversos microorganismos que en ella habitan (Díaz *et al.*, 2001).

En el caso del género *Trichoderma* se ha descrito como un ascomiceto que se encuentra presente en la mayoría de los suelos, productor de antibióticos y de micotoxinas, cumpliendo su principal función de antagonista de microorganismos fitopatógenos por los procesos de amensalismo, depredación, parasitismo y competición; además de interactuar con la raíz para la asimilación de nutrientes y de humedad, así como mejorar los rendimientos en condiciones de estrés hídrico. Su crecimiento se ve favorecido por la presencia de raíces, a las cuales coloniza rápidamente.

Cuando se aplica *Trichoderma* en campo se deben considerar varios aspectos importantes que permitan su adecuada expresión, que se relacionan con la interacción planta hospedante – fitopatógeno susceptible – ambiente favorable (temperatura del suelo, humedad, presencia de oxígeno, pH), estructura, contenido de materia orgánica y nutrientes en el suelo y el tiempo (Romero *et al.*, 2009).

El género *Gliocladium* al igual que *Trichoderma* comparte los mismos requerimientos edáficos para su desarrollo, además de ser productor de enzimas quitinolíticas y antibióticos que inhiben el crecimiento o desarrollo del patógeno, entre otros.

También se caracterizan por competir por los nutrientes y evitar que su tejido huésped sea colonizado por patógenos al formar una relación cercana con raíces saludables de las plantas, otorgándoles protección; además de inducir resistencia en las plantas; lo cual le permite ser usado como un importante agente fúngico de biocontrol de patógenos fúngicos radiculares (Castillo *et al.*, 2015).

En el caso de las bacterias benéficas conocidas como rizobacterias promotoras de crecimiento vegetal como algunas especies de los géneros *Azospirillum*, *Bacillus* y *Pseudomonas*, actúan a través de aminoácidos y ácido indol acético haciendo que las raíces de los cultivos produzcan exudados, compuestos por auxinas, citocininas, y otras fitohormonas vegetales; las cuales trabajan provocando una mayor proliferación de pelos radiculares, permitiendo captar más agua y nutrientes, logrando de esta manera un mayor crecimiento y desarrollo del cultivo, situación que tiene efecto positivo en el rendimiento.

Además de la solubilización de minerales como el fósforo y la asimilación de nitrógeno y potasio para el caso específico de *Pseudomonas*, así como agente de biocontrol de fitopatógenos mediante antibiosis al igual que *Bacillus* (Díaz *et al.*, 2001).

El presente trabajo tuvo como objetivo evaluar el efecto de la inoculación a la semilla de hongos y bacterias benéficas, así como otros compuestos bioestimulantes, en la morfología y rendimiento en dos variedades de maíz criollo y un híbrido comercial, producidos en condiciones de riego por goteo.

Materiales y Métodos

Localización del proyecto

La investigación se realizó durante los meses de junio a diciembre del 2017 en una superficie de 4000 m² con sistema de riego por goteo, perteneciente a la carrera de Agricultura Sustentable y Protegida de la Universidad Tecnológica del Suroeste de Guanajuato, en Valle de Santiago, Gto.

Material vegetal y densidad de siembra

Se establecieron dos variedades de maíz criollo, uno colorado tipo pozolero y un segundo blanco de grano normal; así como la variedad Antílope, híbrido de amplio uso en la región del bajío guanajuatense. Las tres variedades se establecieron en surcos a 75 cm y a una densidad de siembra de 80 mil semillas por hectárea. La siembra se hizo de manera mecanizada. La emergencia ocurrió entre los 6-8 días después del primer riego de siembra.

Inoculación de semilla

La semilla para los tratamientos con inoculación, se inoculó un día antes de la siembra con BACTIVA® a una dosis de 5 g de producto comercial por kilogramo de semilla. El biofertilizante se diluyó en una aspersora de mochila manual con 5 L de agua para asperjar a la semilla de cada variedad establecida, tratando de mojar uniformemente la semilla y revolviéndola para lograr una mejor cobertura del biofertilizante. Una vez inoculada se dejó secar a la sombra quedando lista para su siembra al día siguiente.

Diseño experimental y análisis de datos

El experimento se estableció bajo un diseño completamente al azar con cuatro tratamientos y cuatro repeticiones. Los tres primeros tratamientos fueron identificados como las dos variedades criollas y la variedad híbrida inoculadas con microorganismos benéficos, y el cuarto tratamiento fue identificado como la variedad híbrida sin inocular. Las repeticiones estuvieron conformadas a su vez durante el momento de las evaluaciones por un grupo de cinco plantas en competencia completa para obtener los promedios por cada repetición de cada uno de los tratamientos. Los datos fueron analizados mediante el paquete estadístico SAS[®] versión 9.2 para llevar a cabo el análisis de varianza (ANOVA), una correlación entre las variables evaluadas y prueba de comparación de medias Tukey ($p \leq 0.05$).

VARIABLES EVALUADAS

- Se evaluaron cuatro variables morfológicas y el rendimiento.
- El diámetro de tallo (DT) se evaluó a la altura de la inserción de la primera mazorca con la ayuda de un vernier digital y se reportó en cm.
- La altura de planta (AP) se evaluó en metros, midiendo con ayuda de una cinta métrica desde la base del tallo hasta la inserción de la espiga.
- Para el desarrollo de raíces zancos (RZ), se contó el total de raíces de este tipo producidas en la base de las plantas.
- El peso seco (PS) se evaluó al introducir las muestras a una estufa de secado a 60 °C por un tiempo variable hasta la obtención de peso constante y se reportó en gramos.
- Para la evaluación del rendimiento en $t\ ha^{-1}$, se determinó cuando el grano presentó el 14 % de humedad tomando cinco sitios de muestreo o repeticiones de 7.5 m² por cada tratamiento; las mazorcas se desgranaron y se pesó el grano con ayuda de una báscula digital.

Manejo agronómico

La fertilización se realizó al 75 % con base en la fórmula 260-80-60 recomendada para esta zona agrícola y bajo condiciones de riego (INIFAP, 2017); por lo que se empleó la fórmula de fertilización (195-60-45) con fuentes químicas. En la siembra se fraccionó la fertilización en (97-60-35) aplicada de fondo. La segunda fertilización se realizó en etapa V6 con (49-00-10) y la tercera y última fertilización al suelo se realizó a inicios de floración con (49-00-00); ambas vía sistema de riego por goteo. Se complementó con fertilización foliar de micronutrientes, así como con aminoácidos. El control de plagas y enfermedades se llevó a cabo mediante aplicaciones con productos orgánicos y biológicos, con base en el monitoreo frecuente. Por otra parte, el control de malezas en un inicio se realizó de forma química y los posteriores deshierbes fueron manuales y con maquinaria.

Resultados

El análisis de varianza demostró diferencias altamente significativas solamente para las variables de diámetro de tallo y rendimiento, tanto para las variedades criollas evaluadas entre ellas y para el híbrido con y sin inoculación.

La prueba de comparación de medias Tukey ($p \leq 0.01$) en la Tabla 1, para la variable diámetro de tallo encontró que tanto las variedades criollas como el híbrido con inoculación tuvieron estadísticamente el mismo grosor de tallo, donde las dos variedades criollas presentaron un diámetro de tallo (2.2 cm y 1.9 cm) por arriba de la media, característica morfológica que es muy común en las variedades criollas al cultivarse la mayoría de las veces en condiciones de temporal con presencia de fuertes vientos, terrenos con poca capa arable y con pendientes, además de temperaturas contrastantes (Muñoz, 2003); permitiéndoles que ésta vigorosidad les otorgue resistencia al acame.

Para ésta misma variable, el análisis permitió encontrar diferencias estadísticas entre la variedad criollo colorado con inoculación y el híbrido sin inoculación, lo que refleja el efecto de los microorganismos como productores de fitohormonas y relacionados al proceso de solubilización y asimilación de nutrientes para mejorar el crecimiento de las plantas (Díaz *et al.*, 2001).

En cuanto al rendimiento, la prueba de comparación de medias (Tabla 1), demostró diferencias altamente significativas ($p \leq 0.01$), entre todos los tratamientos. De esta manera, para el caso de las dos variedades criollas inoculadas, fue la variedad de maíz blanco (6.25 t/ha) la que rindió 0.5 toneladas más que la variedad colorada. Estos rendimientos superan casi por tres veces más el rendimiento promedio de 2.5 t/ha (FIRA, 2016) en éstas variedades que comúnmente se establecen en condiciones de temporal.

Para el caso de la variedad híbrida, también hubo diferencias altamente significativas, en donde el tratamiento con inoculación (15.4 t/ha), superó por más de 2 toneladas a la misma variedad sin inoculación; demostrando un efecto positivo del uso de microorganismos benéficos inoculados a la semilla en los procesos de fijación, solubilización y asimilación de nutrientes (Chanway, 1997), así como de una mayor producción de fitohormonas, micotoxinas, entre otros compuestos, para el incremento de los rendimientos (Díaz *et al.*, 2001).

Tratamiento (maíz)	Diámetro de tallo (cm)	Altura de planta (m)	Raíces zanco	Peso seco (g)	Rendimiento (t/ha)
Criollo colorado inoculado	2.2 a	3.74 a	50.5 a	180.53 a	5.73 d
Criollo blanco inoculado	1.9 ab	3.21 a	24.5 a	228.03 a	6.25 c
Híbrido Antílope inoculado	1.8 ab	3.22 a	27 a	224.43 a	15.4 a
Híbrido Antílope sin inocular	1.57 b	3.29 a	24.5 a	224.53 a	13.12 b
Media	1.86	3.36	31.62	214.37	10.12
DSM	0.4317	0.6187	38.17	91.87	0.4877

DSM: Diferencia significativa mínima. z Medias con letras iguales dentro de la misma columna son estadísticamente iguales (Tukey $\alpha \leq 0.05$).

Tabla 1 Comparación de medias para variables morfológicas y rendimiento en la producción de maíz criollo e híbrido inoculado con microorganismos benéficos bajo condiciones de riego. Valle de Santiago, Gto., 2017

En la prueba de correlaciones (Tabla 2), el experimento mostró correlación altamente positiva ($p \leq 0.01$) entre la producción de raíces zanco con el diámetro del tallo y con la altura de planta, lo cual refleja que son características de vigorosidad en las plantas para expresar su máximo potencial de crecimiento.

Además, se encontró correlación positiva ($p \leq 0.05$) entre la altura de planta con el diámetro de tallo, lo que permite entender que es necesario que una planta alta presente un tallo vigoroso para resistir el efecto adverso de factores abióticos como lluvia y vientos fuertes, así como abióticos, que en determinado momento y condiciones puedan causar el acame de las plantas; además que a una mayor altura las plantas requieren órganos como tallos vigorosos perfectamente desarrollados en sus tejidos vasculares como xilema y floema para llevar a cabo el transporte y la translocación de agua y fotosintatos (Santamarina y Roseló, 2018).

Por otra parte, en cuanto a las correlaciones negativas ($p \leq 0.01$) entre el peso seco y la producción de raíces zanco, el análisis indica que una mayor producción de estas raíces de tipo adventicio no influye directamente en el peso seco de la planta, debido a que hay otros órganos en ellas, como los tallos, que son responsables directos de la acumulación de biomasa vegetal.

	DT	AP	RZ	PS
AP	0.61167*			
RZ	0.77112**	0.79916**		
PS	-0.57387*	-0.44183	-0.69424**	
REN	-0.59596*	-0.36145	-0.3139	0.24469

DT: diámetro de tallo; AP: altura de planta; RZ: raíces zanco; PS: peso seco; REN: rendimiento. *: Significativo con $\alpha \leq 0.05$; **: Significativo con $\alpha \leq 0.01$.

Tabla 2 Coeficientes de correlación entre las variables evaluadas en el experimento de producción de maíz en condiciones de riego e inoculado con microorganismos benéficos. Valle de Santiago, Gto. 2017

Conclusiones

La inoculación a la semilla en dos variedades criollas y un híbrido comercial de maíz con microorganismos benéficos de tipo hongos y bacterias, así como bioestimulantes produjo un efecto positivo en el diámetro de tallo y en el rendimiento. De las variedades criollas inoculadas, la variedad de maíz blanco superó por 0.5 toneladas a la variedad de maíz colorado; mientras que el híbrido con inoculación superó por más de 2 toneladas a esta misma variedad sin inoculación.

Es pertinente realizar una futura investigación para evaluar el efecto en el control de fitopatógenos de raíz en este cultivo, debido a la función como agente biocontrol que presentan éstos microorganismos contenidos en la formulación evaluada.

Referencias

AMSDA. 2008. Diagnóstico sistema - producto maíz estado de Tlaxcala. <http://www.amsda.com.mx/prestatales/Estatales/Tlaxcala/premaiz.pdf> (consultado septiembre de 2018).

Castillo H., Rojas R. y Villalta M. 2015. *Gliocladium* sp., agente biocontrolador con aplicaciones prometedoras. Tecnología en Marcha. Vol. Especial Biocontrol: 65-73.

Chanway C.P. 1997. Inoculation of tree roots with plant growthpromoting soil bacteria: An emerging technology for reforestation. For. Sci. 43: 99-112.

Díaz V. P., Ferrera C. R., Almaraz S. J. J. y Alcántar G. G. 2001. Inoculación de bacterias promotoras de crecimiento en lechuga. Terra 19:327-335.

FAO. 2012. FAOSTAT Statistical Databases <http://faostat.fao.org/site/351/default.aspx>. (Consultado junio de 2018).

FIRA. 2016. Panorama agroalimentario. Maíz 2016. FIRA. CDMX, México. 40 p.

INIFAP. 2017. Agenda técnica agrícola Guanajuato. INIFAP. CDMX, México. 270 p.

Madigan M., Martinko J. 2005. Brock Biology of Microorganisms, 11th ed., Prentice Hall. USA.

Muñoz O. A. 2003. Centli-Maíz. Colegio de Posgraduados. Montecillo, Edo. de México, México. 211 p.

Navarro G. H., Hernández F. M., Castillo G. F. y Pérez O. M. A. 2012. Diversidad y caracterización de maíces criollos. Estudio de caso en sistemas de cultivo en la Costa Chica de Guerrero, México. Agricultura, Sociedad y Desarrollo 9(2):149-164.

Romero A. O., Huerta L. M., Damián H. M. A., Domínguez H. F. y Arellano V. D. 2009. Características de *Trichoderma harzianum* como agente limitante en el cultivo de hongos comestibles. Benemérita Universidad Autónoma de Puebla. Puebla, Pue. 11 p.

Santamarina S. M. P. y Roseló C. J. 2018. Anatomía y morfología de las plantas superiores.

Universidad Politécnica de Valencia. Segunda edición. Valencia, España. 135 p.

SIAP-SAGARPA. 2016. Avance de siembras y cosechas. Resumen por cultivos. http://infosiap.siap.gob.mx:8080/agricola_siap_gobmx/ResumenDelegacion.do