

Rentabilidad y rendimiento de tres genotipos de maíz en respuesta al biofertilizante y nitrógeno, en clima templado

Profitability and yield of three corn genotypes in response to biofertilizer and nitrogen, in mild weather

Aguilar-Carpio C¹, Escalante-Estrada JAS^{1*}, Aguilar-Mariscal I², Rojas-Victoria NJ¹

¹ Posgrado de Botánica. Colegio de Postgraduados, Campus Montecillo, Carretera México-Texcoco Km 36.5, CP 56230. Montecillo, Estado de México.

² Universidad Autónoma del Estado de Morelos, Facultad de biología. Av. Universidad 1001, CP 62210. Cuernavaca, Morelos.

RESUMEN

El objetivo del estudio fue determinar la producción de materia seca total, rendimiento de grano, sus componentes y rentabilidad en tres genotipos de maíz en respuesta al nitrógeno y biofertilizante, en clima templado. El estudio se estableció en Montecillo, Estado de México. Los tratamientos consistieron en la siembra del maíz criollo Michoacán 21, una variedad sintética HS-2 y el híbrido Promesa, los cuales fueron inoculados con biofertilizantes, en diferentes niveles de nitrógeno 0, 80 y 160 kg ha⁻¹. A madurez fisiológica se evaluó la materia seca total (MS), rendimiento de grano (RG) y sus componentes. Adicionalmente, se realizó un análisis económico. La aplicación de biofertilizante y nitrógeno ocasionó incrementos en la producción de MS, RG y sus componentes en función del genotipo utilizado. Michoacán-21 presentó un efecto positivo con el uso de biofertilizante en la MS y RG. En general, la mayor MS se logró con la aplicación de 160 kg ha⁻¹ de nitrógeno en el genotipo HS-2 y en el caso del RG el más alto fue con Promesa y nitrógeno a 160 kg ha⁻¹, el cual presentó el mayor ingreso neto y total.

Palabras claves: producción; fertilización; grano.

ABSTRACT

The objective of the study was to determine dry matter production, grain yield, its components and profitability in three corn genotypes, in response to nitrogen and biofertilizer, in a mild climate. The study was established in Montecillo, State of Mexico. The treatments consisted of the Michoacán-21 native corn, synthetic variety HS-2 and Promesa hybrid planting, inoculated with biofertilizers, at different nitrogen levels (0, 80 and 160 kg ha⁻¹). At physiological maturity, the total dry matter (DM), grain yield (GY) and its components were evaluated. Additionally, an economic analysis was carried out. The application of biofertilizer and nitrogen caused increases in the production of DM and GY and their components, depending on the genotype used. Michoacán-21 presented a positive DM and GY effect with the use of biofertilizer. In general, the highest DM was achieved with the application of 160 kg ha⁻¹ of nitrogen in the HS-2 genotype and in the case of GY the highest was with Promesa and 160 kg ha⁻¹ of nitrogen, which presented the highest net and total income.

Key words: Production; fertilization; grain.

INTRODUCCIÓN

El maíz (*Zea mays* L.), es de los primordiales alimentos para los mexicanos, a nivel nacional se siembran 5,908,496.60 ha, bajo condiciones de lluvia estacional y se producen 13,858,420.47 t. Dentro de los principales productores se encuentra el Estado de México, el cual siembra alrededor de 415,580 ha, en donde se producen 1,398,333.46 t con un rendimiento promedio de 3.49 t ha⁻¹ (SIAP, 2020). Los agricultores de lluvia estacional optan por cultivar variedades criollas; sin embargo, estas razas presentan características agronómicas que afectan significativamente el rendimiento del grano, como son: acame, un alto porcentaje de plantas improductivas y la pudrición de grano (Gómez et al., 2014). El uso de variedades mejoradas es una alternativa, que puede ayudar a incrementar la producción de maíz (Aguilar-Carpio et al., 2017). Por lo que, es importante evaluar diferentes variedades y así poder obtener información sobre el manejo agronómico, áreas de adaptación óptimas, fertilización convencional, respuesta a biofertilizantes, además de otra información que permita elevar el rendimiento. Dentro del manejo, la fertilización nitrogenada es determinante para incrementar el rendimiento de maíz (Aguilar et al., 2016). El nitrógeno es el nutrimento más importante para la producción, tanto el agua como el nitrógeno deben estar bien provistos en cantidad y oportunidad para asegurar un estado fisiológico óptimo al momento de la floración, que es cuando se determina el rendimiento (Khaliq et al., 2009). Sin embargo, la fertilización nitrogenada representa una inversión de alto costo y muchas veces utilizado ineficientemente, que causa riesgo ambiental. Una alternativa a este problema es el uso del biofertilizante. Su importancia en la agricultura es debido a la asociación de los microorganismos con las raíces de las plantas (Díaz et al., 2013). Sin embargo, la respuesta del cultivo al biofertilizante puede ser variable debido a la precipitación pluvial, temperatura, características físicas y químicas del suelo de cada región y el genotipo utilizado (Armenta et al., 2010). Estudios en maíz, indican que con la inoculación de *Azospirillum brasilense* o *Glomus intraradice* en la semilla, incrementa significativamente la producción del grano, e inclusive igualaron o superaron al testigo con fertilización química (Díaz-Franco et al., 2008). García-Olivares et al. (2007) al evaluar en campo, la cepa de *A. brasilense* (CBG-497) reportan un incremento de 0.3 t ha⁻¹ en el rendimiento

*Autor para correspondencia: José Alberto Salvador Escalante Estrada
 Correo electrónico: jasee@colpos.mx

Recibido: 21 de octubre 2021

Aceptado: 28 de febrero de 2022

del maíz 'Asgrow-Tigre', mientras que en 'Dekalb-2003' y 'Garst-8222' el rendimiento se incrementó en 1.3 y 0.3 t ha⁻¹ (8%), respectivamente. En general, los antecedentes indican que la inoculación basada en *Azospirillum brasilense* y la asociación con *Glomus* incrementan el rendimiento tanto en maíz criollo como híbrido. Con base a lo antes, es importante generar información sobre el tema en clima templado, ya que es indispensable seguir incrementando el rendimiento de forma más rentable, por lo que, el objetivo del presente estudio fue determinar la producción de materia seca, rendimiento, sus componentes y rentabilidad en tres genotipos de maíz en siembra de temporal, en respuesta al biofertilizante y nitrógeno.

MATERIALES Y MÉTODOS

El estudio se estableció bajo condiciones de temporal en Montecillo, Estado de México, de clima templado con régimen de lluvias en verano con precipitación anual de 558 mm y altitud de 2240 m (BS, García, 2005). El 04 de mayo de 2012 se sembraron los genotipos Michoacán 21, HS-2 y Promesa, los tratamientos consistieron en la inoculación a la semilla del biofertilizante que contiene bacterias fijadoras de nitrógeno *Azospirillum brasilense* y hongos micorrízico (*Rhizophagus intraradices*), en diferentes niveles de nitrógeno 0, 80 y 160 kg ha⁻¹, el cual se aplicó de forma fraccionada, la mitad de nitrógeno a los 10 días después de la siembra (dds) y el resto a los 40 dds. La densidad de población fue de 6.25 plantas m⁻². El diseño experimental fue bloques completamente al azar con arreglo de parcelas subdivididas y cuatro repeticiones. La unidad experimental fue de cuatro surcos de 0.8 m de ancho x 4 m de longitud. Para conocer las características iniciales del suelo en los primeros 30 cm de profundidad, se realizó un análisis físico y químico en el Laboratorio de Nutrición Vegetal S. C., Fertilab. Los resultados indican que es un suelo de textura franco arcillo arenoso, densidad aparente de 1.22 g cm⁻³, pH 8.2, conductividad eléctrica 0.41 dS m⁻¹, materia orgánica de 1.70 % y nitrógeno inorgánico 3.46 ppm. Durante el desarrollo del estudio se registró la temperatura máxima (T_{máx}) y mínima (T_{mín}) decenal y la suma de la evaporación (Ev, mm) y precipitación (PP, mm), datos proporcionados por la estación Agrometeorológica del Colegio de postgraduados. También se registró la ocurrencia de las fases fenológicas como: días a emergencia (E), floración (FL) y madurez fisiológica (MF). El criterio utilizado para estas variables fue presentado por Ritchie y Hanway (1982). También, para cada fase fenológica se determinó la acumulación de unidades calor para el cultivo (UC, °C días), mediante el método residual, el cual es descrito por la siguiente ecuación como se indica por Snyder (1985):

$$UC = (T_{máx} + T_{mín} / 2) - TB$$

Donde: T_{máx} y T_{mín} son diarias (°C) y TB = Temperatura base, considerada como 7 °C (Villalpando y Ruíz, 1993). La evapotranspiración del cultivo (ET_c) se calculó a partir de los datos de la evaporación (Ev) del tanque tipo "A", utilizando 0.6

como coeficiente para el evaporímetro, kc inicial = 0.35, kc a mediados del periodo = 1.14 y kc final = 0.6 (Doorenbos y Pruitt, 1986), a partir de la siguiente ecuación:

$$ET_c = E_v \times 0.6 \times K_c$$

A MF se evaluó la materia seca total (MS, g m⁻²), índice de cosecha (IC, %), rendimiento de grano (RG, 10% de humedad, g m⁻²), peso de 100 granos (P100G, g), número de granos (NG, m²), número de hileras (NH) y número de granos por hilera (NGH). A las variables en estudio, se les aplicó un análisis de varianza (ANDEVA), con el programa estadístico de SAS, Versión 9.0 (SAS, 2003), la prueba de comparación de medias de Tukey ($\alpha = 0.05$).

Adicionalmente, se realizó un análisis económico para determinar la rentabilidad de cada tratamiento, tomando en cuenta el costo total (CT) y el ingreso total (IT), que sirvieron de base para determinar el ingreso neto (IN) y la ganancia por peso invertido (GPI); se utilizaron las siguientes ecuaciones (Aguilar *et al.*, 2016):

Costo Total (CT). Es la suma de los costos fijos (CF) y variables (CV).

$$CT = (CF + CV)$$

Ingresos totales (IT) se deriva de la venta total del producto y se calcula mediante la siguiente ecuación:

$$IT = P_y Y$$

Dónde: P_y = Precio del producto, Y = Producción ha⁻¹.

Ingreso neto (IN) es el monto en efectivo (ganancias) obtenido; se determina de la diferencia entre el Costo total (CT) y el ingreso total (IT).

$$IN = (IT - CT)$$

Ganancia por peso invertido (GPI) permite determinar la rentabilidad de los tratamientos evaluados. Se obtuvo dividiendo el Ingreso neto (IN) entre el Costo total (CT).

$$GPI = (IN / CT)$$

RESULTADOS Y DISCUSION

Fenología, condiciones climáticas, unidades calor y evapotranspiración

En la Figura 1, se observa la media decenal de la T_{máx} y T_{mín} durante el desarrollo de los genotipos de maíz. Durante la etapa de S a FL, la T_{máx} y T_{mín} promedio fluctuó desde los 3 °C hasta los 34 °C, en la etapa de FL a MF fue de 5 a 28 °C, respectivamente. Es importante indicar, que estos umbrales térmicos varían en función del genotipo. Pecina-Martínez *et al.* (2009) mencionan que los genotipos de maíz adaptados a los valles altos de México se desarrollan en umbrales térmicos en promedio de 18 a 22 °C. Aguilar *et al.* (2016) reportaron temperaturas de 8 a 31 °C, para Montecillo, Estado de México, tendencias similares al presente estudio.

La suma decenal de la PP fue de 344 mm durante el ciclo de cultivo. En el estudio, se aplicó un riego después de la

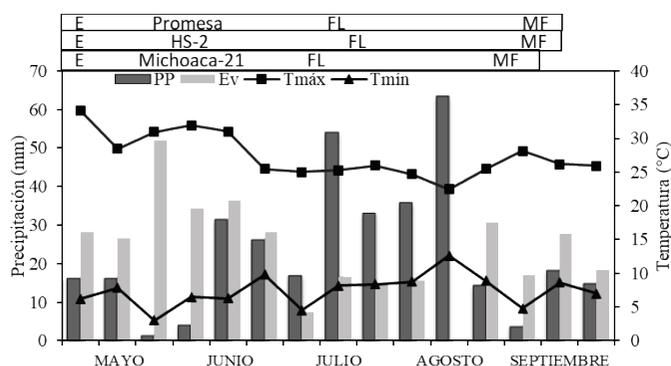


Figura 1. Medias decenales de la temperatura máxima (T_{máx}, °C) y mínima (T_{mín}, °C), suma decenal de la precipitación (PP, mm) y evaporación (Ev) durante el ciclo del cultivo de los maíces Michoacan-21, HS-2 y Promesa. E=Emergencia, FL=Floración, MF=Madurez fisiológica.

Figure 1. Decennial averages of the maximum (T_{máx}, °C) and minimum (T_{mín}, °C) temperature, decennial sum of precipitation (PP, mm) and evaporation (Ev) during the Michoacan-21, HS-2 and Promesa maize crop cycle. E=Emergence, FL=Flowering, MF=Physiological maturity.

siembre para lograr una emergencia homogénea del cultivo. La mayor PP (273 mm) se presentó en los meses de julio y agosto, en la etapa de FL a MF, sin embargo, de S a FL la PP fue de 71 mm, esto indica que el cultivo pudo afectarse y no completar sus necesidades hídricas. Esto señala, que la baja disponibilidad de agua puede repercutir en el rendimiento. Al respecto, Aguilar *et al.* (2016) registraron una precipitación de 504 mm durante el desarrollo del cultivo de maíz, en Montecillo, Estado de Mexico.

La ocurrencia de las etapas fenológicas fue diferente para los genotipos en estudio, no así para la emergencia que sucedió a los 8 dds. La floración de Michoacan-21 ocurrió a los 80 dds, en HS-2 a los 90 dds y en Promesa a los 87 dds. La MF en Michoacan-21 a los 130 dds, en HS-2 y Promesa a los 140 dds (Figura 1).

En la Figura 2 se observa la acumulación de UC durante el ciclo de cultivo, el cual fue diferente entre genotipos; para Michoacan-21, HS-2 y Promesa de siembra a emergencia las UC fueron de 120 °C días; de S a FL fue de 785, 899 y 830 °C días y de FL a MF de 595, 532 y 601 °C días, respectivamente. El total de las UC fue de 1450 °C días para Michoacan-21 y 1551 °C días, para HS-2 y Promesa, esto debido a las diferencias en la duración del ciclo de cada genotipo utilizado (Figura 2). Para la ETc, se observó que en el periodo de siembra a emergencia en los tres genotipos fue de 12 mm, de E a FL fue de 165, 190 y 177 mm, de FL a MF fue de 184, 178 y 191 mm para Michoacan-21, HS-2 y Promesa, respectivamente. La ETc total fue de 361 mm para Michoacan-21, en HS-2 y Promesa, fue de 380 mm (Figura 2). Lo anterior señala, que las necesidades hídricas fueron mayores en los genotipos HS-2 y Promesa, debido a su ciclo de crecimiento.

Materia seca total (MS), índice de cosecha (IC), rendimiento (RG) y sus componentes

El ANDEVA para MS, IC y RG mostró cambios significativos debido a genotipos (G), nitrógeno (N) y las interacciones, genotipo x biofertilizante (G x Bio), genotipo x nitrógeno

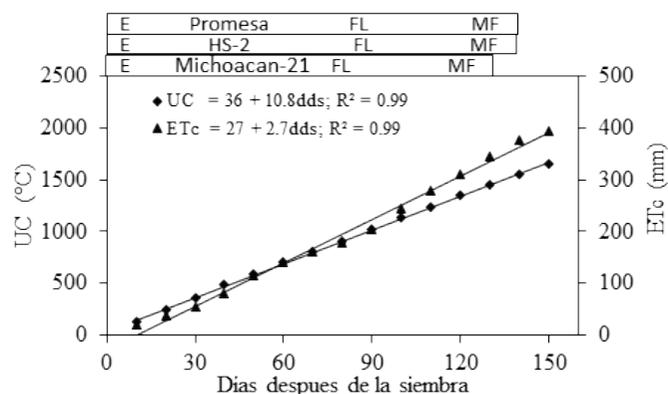


Figura 2. Unidades calor (UC), evapotranspiración del cultivo (ETc) y fenología durante el ciclo del cultivo en los maíces Michoacan-21, HS-2 y Promesa. E = Emergencia, FL = Floración, MF = Madurez fisiológica.

Figure 2. Heat units (HU), crop evapotranspiration (ETc) and phenology during Michoacan-21, HS-2 and Promesa corn crop cycle. E = Emergence, FL = Flowering, MF = Physiological maturity.

(G x N) y genotipo x biofertilizante x Nitrógeno (G x Bio x N). Se observaron diferentes respuestas en los componentes del RG en las interacciones, así como en factores principales. Cabe señalar, que la presentación de los resultados en las interacciones se hizo con base a MS y RG (Tabla 1).

Tabla 1. Análisis de varianza para materia seca total (MS), índice de cosecha (IC), rendimiento de grano (RG) y sus componentes.

Table 1. Analysis of variance for total dry matter (DM), harvest index (HI), grain yield (GY) and its components.

Factor	MS	IC	RG	P100G	NH	NGH	NG
	g m ⁻²	%	g m ⁻²	g			m ²
G	**	**	**	**	NS	*	*
Bio	**	**	NS	NS	NS	NS	NS
G x Bio	**	*	*	NS	NS	*	NS
N	**	**	**	**	*	NS	*
G x N	*	*	*	*	*	NS	NS
Bio x N	NS	*	**	*	*	NS	NS
G x Bio x N	*	*	*	**	*	*	**

*, ** = P ≤ 0.05, 0.01, respectivamente; NS = No significativo a P ≥ 0.05; P100G = Peso de 100 granos, NH = Número de hileras, NGH = Número de granos por hilera. NG = Número de granos. G = Genotipo, Bio = Biofertilizante, N = Nitrógeno.

Genotipo

En la Tabla 2, se observa que en la producción de MS y RG en los cultivares mejorados fue superior al maíz criollo. El genotipo HS-2 presentó un incremento del 55% en MS con respecto a Michoacan-21, debido al ciclo del cultivo el genotipo HS-2 tuvo mayor oportunidad de interceptar luz y agua. El RG mas alto se registró también en el genotipo HS-2, lo cual se relacione con un mayor NG en comparación a Promesa y Michoacan-21 (Cuadro 2). Esto corrobora, que las características agronómicas de los genotipos mejorados poseen un alto potencial productivo. Contrario a lo reportado por Aguilar *et al.* (2016) quien observaron una mejor respuesta en el RG y MS con el genotipo Promesa, posiblemente las

condiciones en las que se desarrollo el cultivo influyeron en la respuesta de los genotipos. En cuanto al IC, se observaron diferencias entre genotipos, siendo el más alto en Promesa, debido a que presentó la mayor distribución de MS hacia el grano. Esto indica, una mayor eficiente en la translocación de fotoasimilados hacia el grano.

Biofertilizante

El biofertilizante en los genotipos de maíz fovearecio la producción de MS, respecto a la nula aplicación, no así en el IC, lo que indica, un incremento en la producción de MS hacia el grano sin el biofertilizante. Con respecto al RG el más alto fue con biofertilizante, debido a que logró incrementar el NG, sin embargo, estadísticamente no se observaron diferencias significativas (Tabla 2). La incorporación de microorganismo al suelo, no favoreció la producción en el rendimiento de grano. Las condiciones hídricas en las que creció el cultivo pudieron afectar la respuesta del biofertilizante. Como lo señala, Grageda-Cabrera *et al.* (2012) que dentro de los factores ambientales que afectan la efectividad del biofertilizante son la temperatura y humedad. González-Mateos *et al.* (2018) reportaron incrementos del 5 y 12% en el RG de maíz con biofertilizante, respuestas mayores a los observados en el presente estudio.

Nitrógeno

En la Tabla 2 se observa que el nitrógeno ocasionó cambios significativos en la MS, IC, RG y sus componentes, a excepción del NGH. La aplicación de 160 kg ha⁻¹ de nitrógeno incrementó en 9% la MS y en 51% el RG, en tanto con 80 kg ha⁻¹ de nitrógeno el aumento fue de 1.6% y en el RG fue del 33%, con respecto al testigo sin fertilizar, lo que indica que con 160 kg ha⁻¹ de nitrógeno se promovió la mayor distribución de materia seca hacia el grano respecto al resto

de las estructuras de la planta. Cabe señalar, que el mayor IC también se observó con 160 kg ha⁻¹ de nitrógeno, lo que corroborara el hecho de que existe una mayor translocación de fotoasimilados hacia el grano. Respuestas similares obtuvieron, Díaz *et al.* (2014) donde el máximo rendimiento de grano se obsevo a medida que fue incrementando el nitrógeno. Los componentes del rendimiento generaron una mejor respuesta cuando se aplico 160 kg ha⁻¹ de nitrógeno, siendo el P100G y NG los de mayor relación con el RG. Esto indica que el suministro de nitrógeno es importante en la producción de grano, por ser el elemento de mayor demanda por la planta (Azcón-Bieto y Talón, 2008).

Genotipo x Biofertilizante (G x Bio)

El ANDEVA para la MS y RG, mostró diferencias significativas por efecto de la interacción G x Bio (Figura 3A y B); lo que demuestra que los genotipos presentaron respuestas diferentes a la aplicación del biofertilizante. Así, Michoacan-21 presentó un incremento del 40% en MS con la aplicación del biofertilizante y en Promesa el aumento fue del 14%, en contraste a HS-2 donde dicho comportamiento no se observa. Lo anterior indica que el mecanismo de respuesta en cuanto a la afinidad de los genotipos estudiados no está bien definido (Aguilar-Carpio *et al.*, 2015). En cuanto al RG (Figura 3B), en Michoacan-21 se observó un incremento del 24% con el uso de biofertilizante. Esto indica que el cultivo es más eficiente en la producción de MS hacia el grano por efecto del biofertilizante; lo anterior posiblemente generó un estímulo en el desarrollo de la raíz y del dosel vegetal, que es un factor importante en el llenado de grano. Como también se deduce de los estudios realizados por Díaz *et al.* (2008). Es importante señalar, que en el genotipo HS-2 no se registró una respuesta positiva con el uso del biofertilizante. Lo que indica, que los microorganismos utilizados presentaron respuestas dife-

Tabla 2. Materia seca total (MS), índice de cosecha (IC), rendimiento de grano (RG) y sus componentes en genotipos de maíz en función del biofertilizante (Sin y Con) y nitrógeno.

Table 2. Total dry matter (DM), harvest index (HI), grain yield (GY) and its components in corn genotypes as a function of biofertilizer (with and without) and nitrogen.

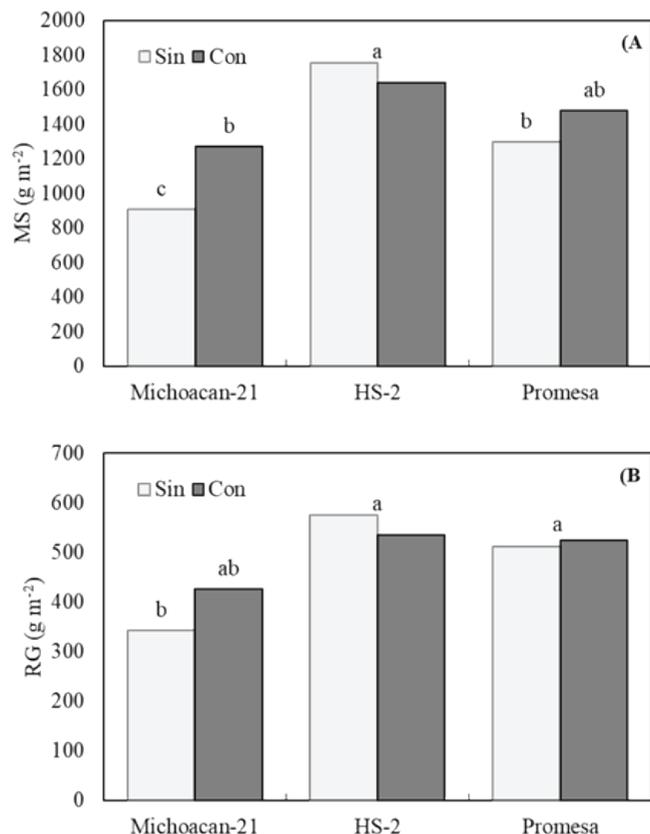
Factor		MS	IC	RG	P100G	NH	NGH	NG
		g m ⁻²	%	g m ⁻²	g			m ²
Genotipo	Michoacán-21	1,090 c	35 a	385 b	41 b	15 a	27 b	2,598 b
	HS-2	1,698 a	32 b	556 a	43 a	15 a	29 a	2,964 a
	Promesa	1,387 a	37 a	518 a	43 a	15 a	29 a	2,818 a
	Tukey (DMS)	85	5	38	1.0	0.9	1.3	203
Bio	Sin	1,320 b	43 a	577 a	42 a	14 a	29 a	2,694 a
	Con	1,463 a	40 b	595 a	42 a	15 a	29 a	2,893 a
	Tukey (DMS)	93	2.9	48	1.8	0.9	1.3	273
Nitrogeno (kg ha ⁻¹)	0	1,343 b	28 b	379 c	41 b	14 b	28 a	2,593 b
	80	1,365 ab	37 b	507 b	43 a	16 ab	29 a	2,861 a
	160	1,466 a	39 a	573 a	43 a	16 a	30 a	2,926 a
	Tukey (DMS)	114	3.7	55	1.8	1.0	1.4	225
CV. (%)		11	15	11	6	9	7	11

En columnas para cada factor principal letras similares indican que los valores son estadísticamente iguales (Tukey, $\alpha=0.05$). Bio = Biofertilizante.

rentes entre genotipos, esto posiblemente se relaciona con las condiciones ambientales en que se desarrollo el cultivo, como lo señalan Martínez *et al.* (2018) quienes no observaron respuesta significativa con el uso de biofertilizante, en el rendimiento de grano.

Figura 3. (A) Materia seca total (MS) y (B) rendimiento de grano (RG) en genotipos de maíz en función del biofertilizante (Sin y Con).

Figure 3. (A) Total dry matter (DM) and (B) grain yield (GY) in corn genotypes as a function of biofertilizer (with and without).



Genotipo x Nitrógeno (G x N)

En la Figura 4 se observa que los genotipos presentaron respuesta diferente al nitrógeno en la MS y RG. En general dicha respuesta se ajustó al modelo de un polinomio de segundo grado. El genotipo Michoacan-21 y Promesa mostraron la respuesta más alta al N con una producción de MS de 2.7 y 2.6 g m⁻² por unidad de N aplicado, respectivamente, seguido de HS-2 que produjo la respuesta más baja (1.7 g m⁻²) al nitrógeno. Esto señala, la eficiencia de los genotipos para producir MS y su relación con la asimilación de nitrógeno. En los tres genotipos evaluados se observó que la máxima producción de MS se logró con 160 kg ha⁻¹ de nitrógeno, siendo, el genotipo HS-2 donde se registraron los mayores valores de MS. Lo anterior, indica que la generación de materia seca está directamente relacionada con la disponibilidad y aprovechamiento del nitrógeno en el suelo (Azcón-Bieto y Talón, 2008). En lo referente al RG, también se observó diferencia entre genotipos, así como la respuesta al N (Figura 4B). Michoacan-21 y HS-2 presentaron el mayor RG por unidad de N aplicado

(2.3 y 2.2 g m⁻², respectivamente) seguido de Promesa (1.4 g m⁻² por kg N aplicado). Esto indica que Michoacan-21 y HS-2 son más eficiente en el uso de nitrógeno, para la producción de MS en el grano. Cabe señalar, que el RG más alto se obtuvo con la combinación de HS-2 y 160 kg ha⁻¹ de nitrógeno. En general el N incrementó el rendimiento en los genotipos, por ser el elemento más relevante en el crecimiento, floración y llenado de grano (Sosa-Rodriguez *et al.*, 2018). Tendencias similares han sido reportadas por De la Cruz-Lázaro *et al.* (2009) y Mani-Pati *et al.* (2010).

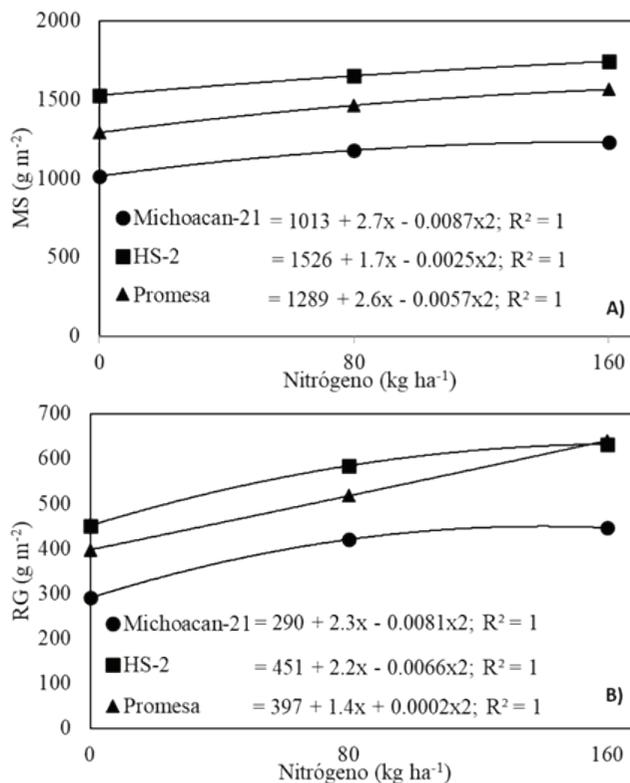


Figura 4. (A) Materia seca total (MS) y (B) rendimiento de grano (RG) en genotipos de maíz en función del nitrógeno (N).

Figure 4. (A) Total dry matter (DM) and (B) grain yield (GY) in corn genotypes based on nitrogen (N).

Biofertilizante x Nitrógeno (Bio x N)

En la Figura 5A y B, se observa que la aplicación del biofertilizante promovió una mejor respuesta en la MS, contrario al RG donde no observó diferencias en el suministro del biofertilizante. La materia seca total presentó un crecimiento progresivo en función del incremento del nitrógeno. Las tendencias de la materia seca en los tres niveles de nitrógeno se ajustaron a un modelo cuadrático. Así, la producción de MS por unidad de nitrógeno aplicado fue de 2.1 g m⁻² cuando se utilizó el biofertilizante, el cual superó a la nula inoculación (1.2 g m⁻²). Lo anterior, indica que la generación de materia seca está directamente relacionada con la disponibilidad y aprovechamiento de los nutrientes y microorganismos en el suelo, con lo cual, resulta una mejor actividad fotosintética que causa un mayor crecimiento de la planta (Azcón-Bieto y Talón, 2008). Las plantas con la mayor producción de grano se observaron al aplicar 160 kg ha⁻¹ de nitrógeno, independien-

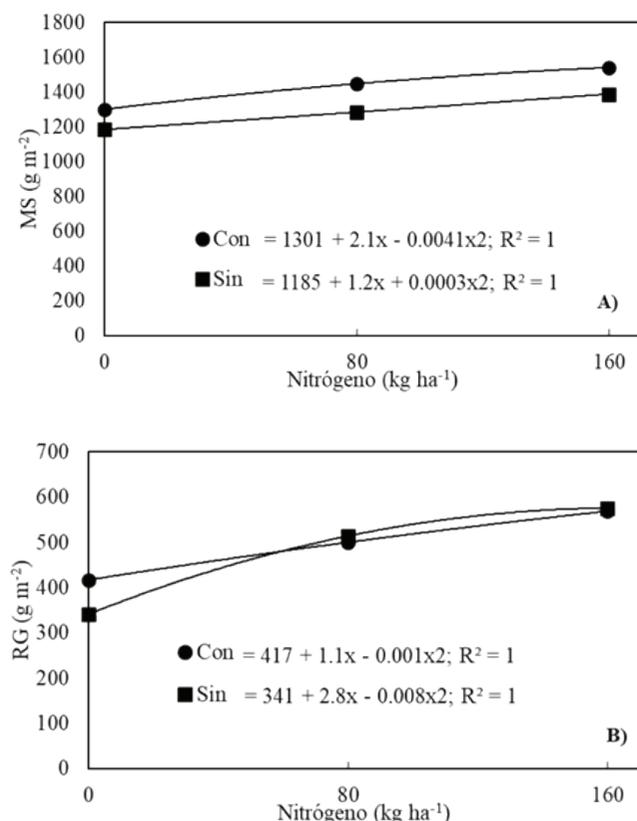


Figura 5. (A) Materia seca total (MS) y (B) rendimiento de grano (RG) en función del biofertilizante (Con y Sin) y nitrógeno.
Figure 5. (A) Total dry matter (DM) and (B) grain yield (GY) as a function of biofertilizer (with and without) and nitrogen.

temente de la aplicación del biofertilizante. y con una tasa de incremento de 2.8 g m⁻² por kg de N aplicado, lo anterior sin el biofertilizante (Figura 5B). Cabe señalar, que a medida que se iba incrementando el nitrógeno, también el rendimiento de grano aumentaba. Este comportamiento, puede atribuirse a una mayor disponibilidad y aprovechamiento nutricional, lo cual influye directamente sobre la producción del grano. Por su parte, Díaz *et al.* (2008) registraron un incremento en el rendimiento de maíz con la combinación de nitrógeno y biofertilizante.

Genotipo x Biofertilizante x Nitrógeno (G x Bio x N)

En la Figura 6A, se observa que la mayor respuesta en MS se encontró sin Bio para HS-2, seguido de Promesa y Michoacan-21, lo cuales, presentaron un incremento de MS con la aplicación del biofertilizante. Esto indica, una respuesta diversa en el uso del biofertilizante, al no influyó de forma concluyente en el crecimiento y producción de materia seca en la planta de los diferentes genotipos evaluados. Es importante mencionar, que el genotipo HS-2 y la aplicación de nitrógeno (160 kg ha⁻¹) generó la mayor MS respecto a los demás genotipos y niveles de nitrógeno utilizados. Tendencias similares fueron observadas por Ayvar *et al.* (2020) quienes no registraron diferencias en la aplicación de la fertilización química en asociación con biológicos sobre la materia seca de diferentes genotipos de maíz. Con respecto al RG el más

alto correspondió a la aplicación de 160 kg ha⁻¹ de nitrógeno sin el uso del biofertilizante en Promesa y HS-2, seguido de Michoacan-21, en donde si se observó un efecto benéfico del biofertilizante. Los factores responsables de dicha respuesta son difíciles de identificar, pero se atribuye a la afinidad del genotipo, condiciones ambientales en las que se desarrolló el cultivo, propiedades fisicoquímicas del suelo y manejo agronómico (Armenta *et al.*, 2010). Al respecto, Gonzalez-Mateos *et al.* (2018) no observaron una respuesta contundente en el rendimiento de grano con el uso del biofertilizante en diferentes regiones y genotipos para Guerrero, México.

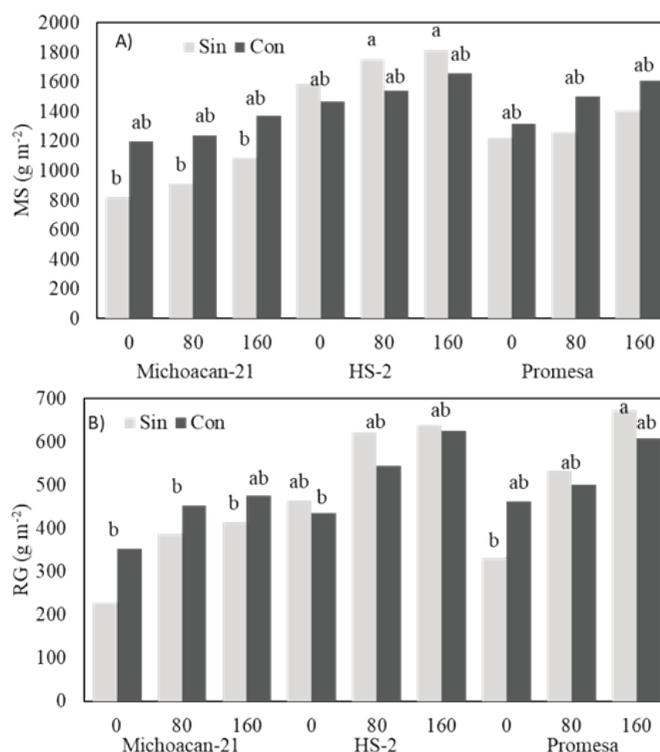


Figura 6. (A) Materia seca total (MS) y (B) rendimiento de grano (RG) en función del genotipo, biofertilizante (Con y Sin), y nitrógeno.
Figure 6. (A) Total dry matter (DM) and (B) grain yield (GY) as a function of the genotype, biofertilizer (with and without) and nitrogen.

Análisis económico

En cuanto al análisis económico (Tabla 3), el mayor RG se observó en Promesa sin biofertilizante con la aplicación de 160 kg ha⁻¹ de nitrógeno, lo cual generó el más alto IN, sin embargo, la mayor GPI se presentó en HS-2, sin Bio y 80 kg ha⁻¹ de nitrógeno, ya que, por cada peso invertido, se recuperó \$ 2.56. El costo total más alto en la producción de maíz fue con Promesa y HS-2 en asociación con el biofertilizante y 160 kg ha⁻¹ de nitrógeno. Cabe recalcar, que los elevados costos de los insumos para la producción en el cultivo de maíz hacen que sea cada vez menos rentable para los productores. Por lo que, para agricultores de capital limitado se recomienda el uso de Promesa, debido a que genera el mayor IN sin el uso de biofertilizante. Al respecto, Ayvar *et al.* (2020) realizaron un análisis económico entre genotipos de maíz y asociación con la fertilización química y biológica, en donde observaron un

incremento en el IT, IN y GPI. En base a lo anterior se puede inferir que el IN está en función de los genotipos e insumos utilizados.

CONCLUSIONES

La aplicación de biofertilizante y nitrógeno ocasionó incrementos en la producción de materia seca total, rendimiento de grano y sus componentes en función del genotipo utilizado. Michoacan-21 presentó un efecto positivo con el uso de biofertilizante en la materia seca total y en el rendimiento de grano. En general, la mayor materia seca total se logró con la aplicación de 160 kg ha⁻¹ de nitrógeno en el genotipo HS-2 y en el caso del rendimiento de grano el más alto fue con Promesa y nitrógeno a 160 kg ha⁻¹, el cual presentó el mayor ingreso neto y total.

AGRADECIMIENTOS

A CONACYT por el apoyo económico brindado para la realización del presente estudio de investigación.

REFERENCIAS

- Aguilar-Carpio, C., Escalante-Estrada, J. A. S., Aguilar-Mariscal, I., Mejía-Contreras, J. A., Conde-Martínez, V. F. y Trinidad-Santos, A. 2015. Rendimiento y rentabilidad de maíz en función del genotipo, biofertilizante y nitrógeno, en clima cálido. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*. 18: 151-163.
- Aguilar, C. C., Escalante, E. J. A. S., Aguilar, M. I., Mejía, C. J. A., Conde, M. V. F. y Trinidad, S. A. 2016. Eficiencia agronómica, rendimiento y rentabilidad de genotipos de maíz en función del nitrógeno. *Terra Latinoamericana*. 34: 1-11.
- Aguilar-Carpio, C., Escalante-Estrada, J. A. S., Aguilar-Mariscal, I. y Pérez-Ramírez, A. 2017. Crecimiento, rendimiento y rentabilidad del maíz VS-535 en función del biofertilizante y nitrógeno. *Ecosistemas y Recursos Agropecuarios*. 4: 475-483.
- Armenta, B. A. D., García, C. G., Camacho, J. R. B., Apodaca, M. A. S., Montoya, L. G. y Nava, E. P. 2010. Biofertilizante en el desarrollo agrícola de México. *Ra Ximhai*. 6: 51-56.
- Ayvar-Serna, S., Díaz-Nájera, J. F., Vargas-Hernández, M., Mena-Bahena, A., Tejeda-Reyes, M. A. y Cuevas-Apresa, Z. 2020. Rentabilidad de sistemas de producción de grano y forraje de híbridos de maíz, con fertilización biológica y química en trópico seco. *Terra Latinoamericana*. 38: 9-16.
- Azcón-Bieto, J. y Talón, M. 2008. *Fundamentos de Fisiología Vegetal* (2a ed.). McGRAW-HILL – INTERAMERICANA DE ESPAÑA, S. A. U. 651 p.
- De la Cruz-Lazaro, E., Códova-Orellana, H., Estrada-Botello, M. A., Mendoza-Palacios, J. D., Gómez-Vázquez, A. y Brito-Manzano, N. P. 2009. Rendimiento de grano de genotipos de maíz sembrados bajo tres densidades de población. *Universidad y Ciencia. Trópico Húmedo*. 25: 93-98.
- Díaz, F. A., Salinas, J. R. G., Garza, I. C. y Mayek, N. P. 2008. Impacto de labranza e inoculación micorrízica arbuscular sobre la pudrición carbonosa y rendimiento de maíz en condiciones semiáridas. *Revista Fitotecnia Mexicana*. 31: 257-263.
- Díaz, F. A., Ortiz, C. F. E., Lozano, C. M., Aguado, S. A. y Grageda, C. O. 2013. Growth, mineral absorption and yield of maize inoculated with microbe strains. *African Journal of Agricultural Research*. 8: 3764-3769.
- Díaz, V. T., Partidas, R. L., Suárez, F. Y. E., Lizárraga, J. R. y López, L. A. 2014. Uso eficiente del agua y producción óptima en maíz, con el uso de cuatro dosis de nitrógeno. *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*. 23: 32-36
- Doorenbos, J. y W. O. Pruitt. 1986. Las necesidades de agua por los cultivos. Estudio FAO. Riego y Drenaje. Manual 24.
- García E. 2005. Modificación al sistema de clasificación climática de Köppen. 4ª Edición. Instituto de Geografía. Universidad Autónoma de México. 217 p.
- García-Olivares, J. G., Moreno-Medina, V. R., Rodríguez-Luna, I. C., Mendoza-Herrera, A. y Mayek-Pérez, N. 2007. Efecto de cepas de *Azospirillum brasilense* en el crecimiento y rendimiento de grano del maíz. *Revista Fitotecnia Mexicana*. 30: 305-310.
- Gómez, M. N. O., Cantú, A. M. A., Hernández, G. C. A., Vázquez, C. M. G., Aragón, C. F., Espinosa, C. A. y Palemón, A. F. 2014. V-237 AN, cultivar mejorado de maíz "Ancho Pozolero" para la región semicálida de Guerrero. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*. 7: 1315-1319.
- González-Mateos, R., Noriega-Cantú, D. H., Volke-Haller, V. H., Pereyda-Hernández, J., Domínguez-Márquez, V. M. y Garrido-Ramírez, E. R. 2018. Rendimiento de maíz (*Zea mays* L.) y respuesta a fuentes y dosis de fertilizantes, y biofertilizantes, en Guerrero, México. *Agroproductividad*. 11: 22-31.
- Grageda-Cabrera, O. A., Díaz-Franco, A., Peña-Cabriales, J. J. y Vera-Núñez, J. 2012. Impacto de los biofertilizantes en la agricultura. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*. 3: 1261-1274.
- Khaliq, T., Ahmad, A., Hussain, A. y Ali, M. A. 2009. Maize hybrids response to nitrogen rates at multiple locations in semiarid environment. *Pakistan Journal of Biological*. 41: 207-224.
- Mani-Pati, F., Clay, D. E., Carlson, C. G., Clay, S. A., Reicks, G. y Kim, K. 2010. Nitrogen rate, landscape position and harvesting of corn stover impacts on energy gains and sustainability of corn production systems in South Dakota. *Agronomy Journal*. 102: 1535-1541.
- Martínez, R. L., Aguilar, J. C. E., Carcaño, M. M. G., Galdámez, G. J., Gutiérrez, M. A., Morales, C. J. A., Martínez, A. F. B., Llaven, M. J. y Gómez, P. E. 2018. Biofertilización y fertilización química en maíz (*Zea mays* L) en Villaflores, Chiapas, México. *Siembra*. 5: 26-37.
- Pecina-Martínez, J. A., Mendoza-Castillo, M. C., Lopez-Santillán, J. A., Castillo-Gonzalez, F. y Mendoza-Rodriguez, M. 2009. Respuesta morfológica y fenológica de maíces nativos de Tamaulipas a ambientes contrastantes de México. *Agrociencia*. 43: 681-694.
- Ritchie, S. W. y Hanway, J. J. 1982. How a corn plant develops. Iowa State University of Science and Technology. Cooperative Extension Service. Special report No. 48. Ames Iowa, EEUU. 21 p.
- SAS Institute. 2003. SAS/STAT user's guide Release 9.1. SAS Institute. Cary, NC, USA.
- Sistema de Información Agropecuaria (SIAP). 2020. Sistema de Información Agropecuaria de Consulta. SAGARPA. México. Disponible en: http://www.siap.sagarpa.gob.mx/ar_comanuar.html (Revisado: 12 septiembre de 2021).
- Sosa-Rodrigues, B. A y Garcia-Vivas, Y. S. 2018. Eficiencia de uso del nitrógeno en maíz, fertilizado de forma orgánica y mineral. *Agronomía Mesoamericana*. 29: 2216-3608.
- Snyder, R. L. 1985. Hand calculating degree-days. *Agricultural and Forest Meteorological*. 35: 353-358.
- Villalpando, I. J. F. y Ruíz, C. J. A. 1993. Observaciones agrometeorológicas y su uso en la agricultura. Primera Ed. México; Editorial Limusa.