



Tropical and Subtropical Agroecosystems
E-ISSN: 1870-0462
ccastro@uady.mx
Universidad Autónoma de Yucatán
México

Aguilar-Carpio, Cid; Escalante-Estrada, José Alberto Salvador; Aguilar-Mariscal, Immer;
Mejía-Contreras, José Apolinar; Conde-Martínez, Víctor Florentino; Trinidad-Santos,
Antonio

RENDIMIENTO Y RENTABILIDAD DE MAÍZ EN FUNCIÓN DEL GENOTIPO,
BIOFERTILIZANTE Y NITRÓGENO, EN CLIMA CÁLIDO

Tropical and Subtropical Agroecosystems, vol. 18, núm. 2, 2015, pp. 151-163

Universidad Autónoma de Yucatán
Mérida, Yucatán, México

Disponible en: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=93941388004>

- ▶ Cómo citar el artículo
- ▶ Número completo
- ▶ Más información del artículo
- ▶ Página de la revista en redalyc.org



RENDIMIENTO Y RENTABILIDAD DE MAÍZ EN FUNCIÓN DEL GENOTIPO, BIOFERTILIZANTE Y NITRÓGENO, EN CLIMA CÁLIDO

[GRAIN YIELD AND PROFITABILITY IN CORN AS A FUNCTION OF GENOTYPE, BIOFERTILIZER AND NITROGEN, UNDER WARM CLIMATE]

*¹Cid Aguilar-Carpio, ¹José Alberto Salvador Escalante-Estrada,

⁴Immer Aguilar-Mariscal, ²José Apolinario Mejía-Contreras,

¹Víctor Florentino Conde-Martínez, ³Antonio Trinidad-Santos

¹Programa de Botánica. Email: aguilar.cid@colpos.mx

²Programa de Genética.

³Programa de Edafología.

Colegio de Postgrados. Campus Montecillo., Km 36.5 Carretera México-Texcoco.
Montecillo, Edo. México. C.P. 56230. Tel. +52 (595) 952-0200.

⁴Facultad de Biología. Universidad Autónoma del Estado de Morelos. Cuernavaca,
Morelos, Mexico.

*Corresponding author

SUMMARY

Corn growth and production depend of the environmental conditions in which it grows and the nitrogen fertilizer that is crucial to increase grain yield. The use of bacteria for nitrogen fixation and mycorrhiza as a complement to the inorganic fertilizer, can be an option to increase yields, reduce production costs and conserve the environment. As an alternative to this problem, the objective of the present study was to determine the production of dry matter (DM), harvest index, grain yield (GY), and its components, and profitability in the genotypes of maize race "Vandeño", synthetic variety VS-535 and hybrids H-562 and H-7573, with and without biofertilizer and 0, 80 and 160 kg N ha⁻¹. The study was conducted in Iguala, Gro. in early sown under irrigation, phenological stages were recorded. Assessments were evaluated at harvest. For the region of study and time of sowing, only differences between cultivars were observed. The differences observed were genotypical, by effect of biofertilizer and nitrogen in the production of DM and GY. The higher DM and GY were achieved with the combination of H-562, biofertilizer and 160 kg N ha⁻¹ (3000 and 924 g m⁻², respectively) and the lower treatment correspond to H-562, without biofertilizer and nitrogen (1703 and 376 g m⁻², respectively). The higher net income was achieved with H-562 and 160 kg N ha⁻¹ regardless of the use of biofertilizer.

Key words: *Glomus; Azospirillum; grain; urea.*

RESUMEN

El crecimiento y producción del maíz (*Zea mays L.*) depende de las condiciones ambientales en las que crece el cultivo y de la fertilización nitrogenada que es determinante para aumentar el rendimiento de grano. El uso de bacterias fijadoras de nitrógeno y hongos micorrízicos como complemento a la fertilización química, puede ser una opción para aumentar el rendimiento, reducir costos de producción y conservar el ambiente. Como una alternativa a esta problemática, el objetivo del presente estudio fue determinar la producción de materia seca (MS), índice de cosecha, rendimiento de grano (RG), componentes y rentabilidad en los genotipos de maíz criollo raza "Vandeño", variedad sintética VS-535 y los híbridos H-562 y H-7573, con y sin biofertilizante y 0, 80 y 160 kg N ha⁻¹. El estudio se realizó en Iguala, Gro. en siembra temprana bajo riego, donde se registró el tiempo a ocurrencia de las fases fenológicas. Las evaluaciones se realizaron en la cosecha. Para la región de estudio y época de siembra, solamente se observaron diferencias entre cultivares en la ocurrencia de las fases fenológicas. Se observaron diferencias genotípicas, por efecto de biofertilizante y nitrógeno en la producción de MS y RG. La MS y RG más alto se logró con la combinación de H-562, biofertilizante y 160 kg N ha⁻¹ (3000 y 924 g m⁻², respectivamente) y el más bajo correspondió al tratamiento H-562, sin biofertilizante y sin nitrógeno (1703 y 376 g m⁻², respectivamente). El mayor ingreso neto se logró con H-562 y 160 kg N ha⁻¹ independientemente del uso de biofertilizante.

Palabras clave: *Glomus; Azospirillum; grano; urea.*

INTRODUCCIÓN

En México, el maíz es el cultivo más importante desde el punto de vista alimentario, industrial, político y social, el consumo *per capita* de maíz es de 330 g d⁻¹, con una aportación de 32 a 55% de carbohidratos (Hartcamp *et al.* 2000). Se desarrolla en diferentes zonas edafoclimáticas y que forma parte de los usos y costumbres de las regiones étnicas. Los principales estados productores de maíz en México son; Sinaloa, Jalisco, Edo. de México y Michoacán. Guerrero ocupa el quinto lugar, con producción de 1,309,068 t, donde el 92% (438,006 ha) de la producción es bajo condiciones de lluvia estacional (LLE), donde la precipitación media del estado es de 1200 mm con rendimiento promedio de 2.76 t ha⁻¹. El 8% (24,374 ha) de la superficie se siembra bajo condiciones de riego (ciclo agrícola otoño-invierno) con un rendimiento promedio de 3.5 t ha⁻¹ (SIAP, 2011). Los agricultores de riego prefieren el uso de semillas hibridas, por su potencial alto de producción y sus características agronómicas favorables, como: tolerancia a enfermedades, resistencia al acame y ciclo vegetativo corto (Espinosa *et al.*, 2003), y los de LLE prefieren los criollos que seleccionan ciclo tras ciclo. Por lo cual, se debe explorar el tipo de variedades que conviene sembrar en cada agrosistema y el manejo más apropiado para una mayor producción. Dentro del manejo, la fertilización nitrogenada (FN) es determinante para incrementar el rendimiento de maíz (Borrás, 2001). El nitrógeno es el nutriente 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 (Andrade *et al.*, 1996). Sin embargo, la FN representa una inversión de alto costo y riesgo ambiental. Para reducir el costo de producción en maíz y conservar el ambiente es necesario sustituir o complementar la fertilización química con formas biológicas conocidas como biofertilizantes (Alarcón y Ferrera, 2000; Martínez, 2004; Uribe y Dzib, 2006). La respuesta del cultivo al biofertilizante puede ser variable debido a la precipitación, temperatura y características físicas y químicas del suelo de cada región y el genotipo utilización (Irízar-Garza *et al.*, 2003; García-Olivares *et al.*, 2007).

Estudios en maíz, indican que con la inoculación de *Azospirillum brasiliense* se ha logrado incrementar la producción en 30% (O'hara *et al.*, 1981). García-Olivares *et al.* (2007) al evaluar en campo, la cepa de *A. brasiliense* (CBG-497) reportan un incremento de 0.3 t ha⁻¹ en el rendimiento 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. Por otra parte, algunos estudios no han encontrado respuesta al *Azospirillum* sp. y al

hongo micorrízico como reportan Irízar-Garza *et al.* (2003) en Guanajuato, Tlaxcala y Puebla. En contraste, en Puebla, la inoculación con *Azospirillum* sp. produjo mayor rendimiento para el maíz híbrido (6.4 t ha⁻¹) y criollo (4.0 t ha⁻¹). Roveda y Polo (2007) en maíz con *Glomus* sp. encuentran incrementos en la producción de MS. En general, los antecedentes indican que la inoculación basada en *Azospirillum brasiliense* y la asociación con *Glomus* incrementan el rendimiento tanto en maíz criollo como híbrido. No obstante, los reportes sobre el tema en clima cálido no son abundantes por lo que, el objetivo del presente estudio fue determinar la ocurrencia de las fases fenológicas, producción de materia seca, rendimiento, sus componentes y rentabilidad en maíz en siembra temprana bajo riego, en función del genotipo, nitrógeno y biofertilizante.

MATERIALES Y MÉTODOS

El estudio se estableció bajo condiciones de riego en Iguala, Guerrero, México, de clima cálido subhúmedo con lluvias en verano con precipitación anual es de 1100 mm y altitud de 635 m (Aw₀, García, 2005). Los tratamientos consistieron en la siembra del maíz criollo raza “Vandeño”, una variedad sintética VS-535 y dos híbridos H-562 y H-7573 con y sin biofertilizantes que contiene bacterias fijadoras de nitrógeno *Azospirillum* y hongos micorrízico (*Glomus* sp.) y 0, 80 y 160 kg N ha⁻¹ el 23 de enero de 2011. La densidad de población fue de 6.25 pl m⁻² y en distancia entre surcos de 80 cm. 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 arcillosa, densidad aparente de 1.07 g cm⁻³, pH 7.8, conductividad eléctrica 0.83 dS m⁻¹, materia orgánica de 1.57 % y nitrógeno inorgánico 5.54 ppm. Durante el estudio se registró la temperatura máxima (Tmáx) y mínima (Tmín) decenal y la suma de la evaporación (Ev, mm) y precipitación (PP, mm), datos proporcionados por el Servicio Meteorológico Nacional (CONAGUA). También se registró la ocurrencia de las fases fenológicas como: días a emergencia (E), floración (FL) y a madurez fisiológica (MF). El criterio utilizado para estas variables fue presentado en Ritchie y Hanway (1982). También, para cada fase fenológica se determinó la acumulación de unidades calor para el cultivo (UC, °C d), mediante el método residual, descrito por la siguiente ecuación como se indica en Snyder (1985):

$$UC = (Tmáx + Tmín / 2) - TB$$

Dónde: Tmáx y Tmín son diarias ($^{\circ}\text{C}$) y TB = Temperatura base, considerada como $10\ ^{\circ}\text{C}$ (Villalpando y Ruiz, 1993). La evapotranspiración del cultivo (ETc) 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:

$$\text{ETc} = \text{Ev} * 0.6 * \text{Kc}$$

A la MF se evaluó la materia seca (MS total, 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, m^{-2}), 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 (Statistical Analysis System, Versión 9.0), la prueba de comparación de medias Tukey ($\alpha=0.05$) y un análisis de regresión entre RG y sus componentes.

Adicionalmente, se realizó un análisis económico para RG, utilizando las siguientes ecuaciones: IN = YPy – ($\Sigma \text{XiPi} + \text{CF}$), donde IN = Ingreso neto, Y = Rendimiento (kg ha^{-1}), Py = precio por kg, ΣXiPi = suma de costos variables, CF = costos fijos (Volke, 1982). También se determinó la GPI con la relación: GPI = ($\Sigma \text{XiPi} + \text{CF}$) / YPy, donde: GPI = ganancia por peso invertido.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Fenología, condiciones climáticas, unidades calor y evapotranspiración

En la Figura 1, se observa la media decenal de la Tmáx y Tmín durante el desarrollo del cultivo que fluctuó entre 33°C y 38°C , y entre 20°C y 25°C , respectivamente. Durante la etapa de E a FL, la Tmáx y Tmín promedio fue de 35°C y 20°C y de FL a MF fue de 38°C y 23°C , respectivamente. La Tmáx fue casi similar a la óptima, 30°C y $34\ ^{\circ}\text{C}$ (Kiniry y Bonhomme, 1991), lo cual no indica limitaciones por temperatura para una mayor expresión del rendimiento en los genotipos estudiados, ya que la Tmáx en la cual se afecta el desarrollo del maíz se encuentra entre los 40°C y 44°C , para las condiciones de clima calido (Kiniry y Bonhomme, 1991).

La suma decenal de la PP fue de 60 mm ocurrida en MF. En el presente estudio, se aplicaron ocho riegos (lámina de 111 mm, por riego) durante el cultivo. El primero fue dos días antes de la siembra (21/01/2011), posteriormente a los 17, 34 y 51 días después de la siembra (dds), y a los 66, 76, 89 y 102 dds. En total se aplicó en riegos 888 mm. Respecto a

la ETc se observó que de E a FL fue de 51 mm y de FL a MF de 61 mm. Siendo en total 112 mm durante el ciclo del cultivo. Lo que indica que el cultivo no sufrió restricción hídrica para su crecimiento.

Los genotipos en estudio, presentaron diferencias en las fechas a ocurrencia de las etapas fenológicas, a excepción de la emergencia donde fue similar (5 dds). En contraste, en la floración en Vandeño ocurrió a los 74 dds en VS-535 a los 62 dds en H-562 a los 72 dds y en H-7573 a los 74 dds. La MF en VS-535 a los 100 dds en H-7573 a los 110 dds en "Vandeño" y H-562 fue a los 115 dds (Figura 1).

En la Figura 2 se observa la acumulación de UC durante el ciclo del cultivo, el cual fue diferente entre genotipos; de siembra a emergencia para Vandeño, VS-535, H-562 y H-7573 las UC fueron de $84\ ^{\circ}\text{C d}$; 947, 1047, 1153 y $1187\ ^{\circ}\text{C d}$ de E a FL para VS-535, H-7573, H-562 y Vandeño, respectivamente y de FL a MF de 777, 839, 873 y $887\ ^{\circ}\text{C d}$ para VS-535, Vandeño, H-562 y H-7573, respectivamente. El total de las UC fue de 1808, 2018, 2110 y $2110\ ^{\circ}\text{C d}$, para VS-535, H-7573, Vandeño y H-562, respectivamente, cabe señalar que la acumulación total de UC d se relaciona con la duración del ciclo del cultivo (Figura 2). En referencia Núñez-Hernández *et al.* (2005) en maíces híbridos, reporta en promedio de $1470\ ^{\circ}\text{C d}^{-1}$ a MF, para un clima semicálido árido, valores más bajos a los obtenidos en el presente estudio. Posiblemente esta diferencia se deba a los diferentes genotipos utilizados y condiciones ambientales (temperatura, evaporación).

Para la ETc (Figura 2), se observó que en el periodo de siembra a emergencia en cuatro genotipos fue de 10.5 mm. En E a FL fue de 190, 210, 257 y 259 mm para VS-535, H-7573, Vandeño y H-562, respectivamente. En FL a MF fue de, 203, 217, 224 y 243 mm para VS-535, Vandeño, H-562 y H-7573, respectivamente y la total fue de 404, 464, 485 y 485 mm para VS-535, H-7573, Vandeño y H-562, respectivamente. Esto indica que las necesidades de agua del cultivo difieren entre genotipo y son más altos para Vandeño y H-562, por su mayor ciclo de crecimiento.

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

Se encontró efectos debido a genotipos (G), biofertilizante (Bio), nitrógeno (N) y las interacciones, genotipo x biofertilizante (G x Bio), Genotipo x nitrógeno (G x N), biofertilizante x nitrógeno (Bio x N) y genotipo x biofertilizante x nitrógeno (G x Bio x N). Se observaron diferentes respuestas en la MS, IC, RG y sus componentes en las interacciones (Tabla 1).

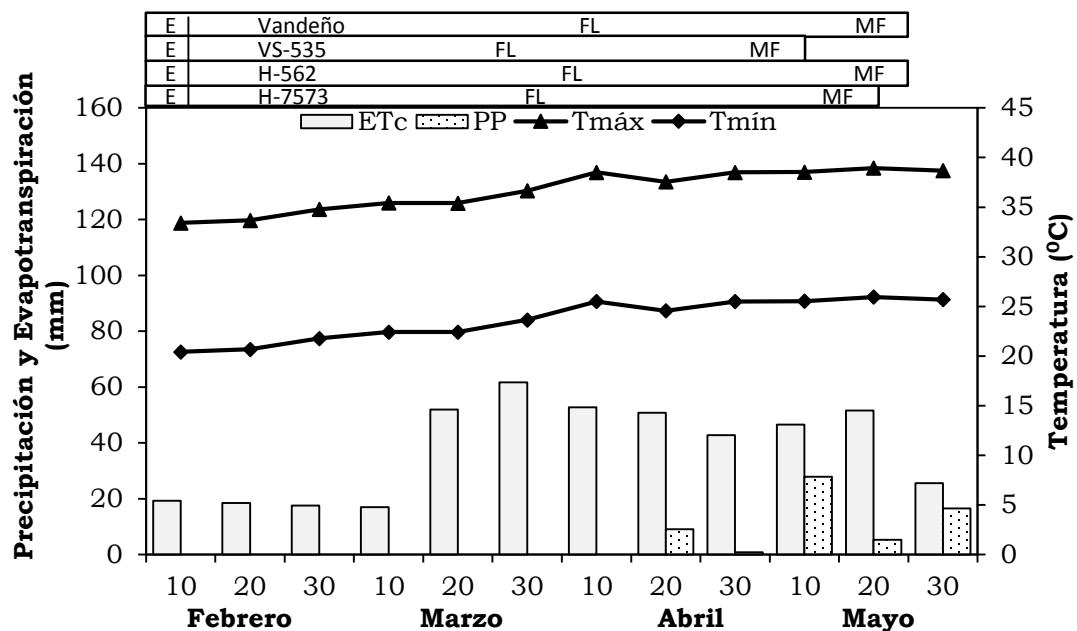


Figura 1. Medias decenales de la temperatura máxima (Tmáx, °C), mínima (Tmín, °C) y suma decenal de la precipitación (PP, mm) y evapotranspiración (ETc, mm) durante el ciclo del cultivo de los maíces Vandeño, VS-535, H-562 y H-7573. E = Emergencia, FL = Floración, MF = Madurez fisiológica. Iguala, Gro. 2011.

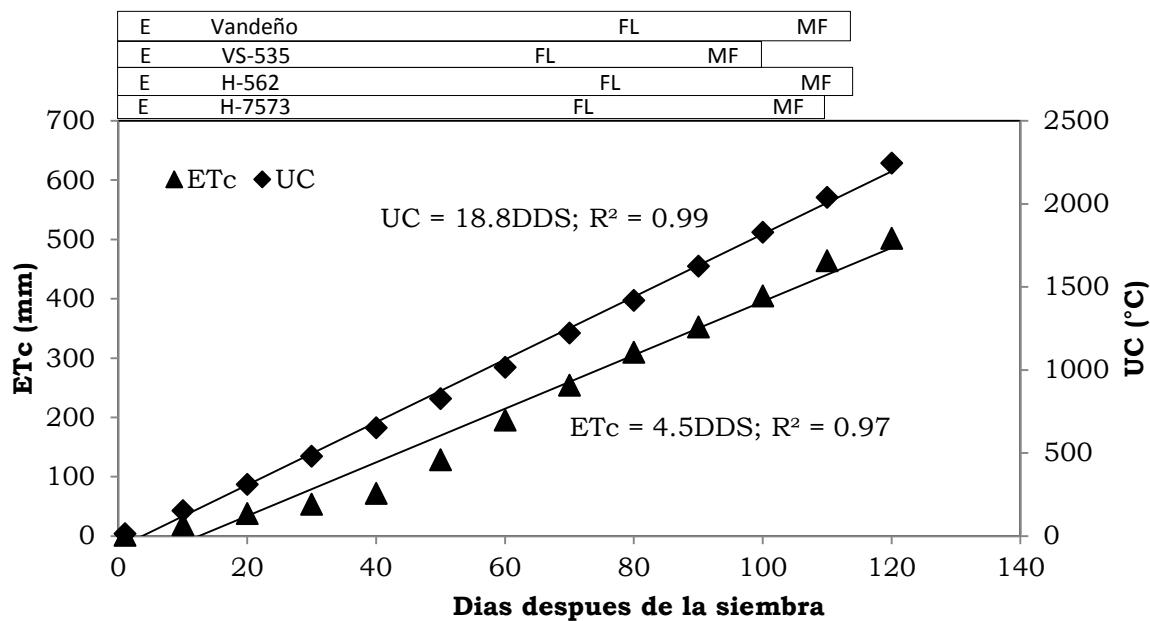


Figura 2. Unidades calor (UC), evapotranspiración (ETc) y fenología durante el ciclo del cultivo en los maíces Vandeño, VS-535, H-562 y H-7573. E = Emergencia, FL = Floración, MF = Madurez fisiológica. Iguala, Gro. 2011.

Tabla 1. Análisis de varianza para materia seca (MS), índice de cosecha (IC), rendimiento de grano (RG) y sus componentes. Iguala, Gro. 2011.

Factor	MS	IC	RG	P100G	NH	NGH	NG
	g m^{-2}	%	g m^{-2}	g			m^{-2}
G	**	NS	**	**	**	**	**
Bio	*	NS	*	**	**	*	**
G x Bio	*	**	*	*	NS	*	*
N	**	**	**	*	NS	NS	*
G x N	**	**	**	**	**	**	**
Bio x N	**	**	**	NS	NS	NS	NS
G x Bio x N	**	**	**	**	*	*	**

*, ** = $P \leq 0.05, 0.01$, respectivamente; NS = No significativo a $P \geq 0.05$; 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 el **Tabla 2**, se observa que los cultivares mejorados superaron en 16, 16 y 23% al criollo, en cuanto a MS. El genotipo H-7573 presentó la mayor producción de MS, ya que generó un incremento del 23% en MS con respecto a "Vandeño" (**Figura 1**). En relación al IC los genotipos presentaron similar distribución de MS hacia el grano. Esto indica que las diferencias no fueron significativas en MS y RG entre genotipos. En cuanto al RG, H-7573 presentó el más alto (768 g m^{-2}), debido al mayor P100G y NG, seguido de H-562 (704 g m^{-2}), VS-535 (665 g m^{-2}) y Vandeño (550 g m^{-2}). Aguiluz (1998) reporta para H-7573 cultivado en Poza Rica, Ver. (Clima Aw₁), un RG de 7 t ha^{-1} , menor al encontrado en el presente estudio. Turrent-Fernández *et al.* (2004) para el mismo híbrido sembrado en Iguala, Guerrero con riego reportan un RG de 11 t ha^{-1} , que superó a lo presentado. Dichas diferencias se relacionan con las condiciones ambientales (temperatura, precipitación, evaporación) de los estudios realizados.

Biofertilizante

En el maíz con Bio se observaron diferencias significativas en MS total y RG, de 5 y 4% superior al testigo, respectivamente (**Tabla 2**). Sin embargo el IC no fue afectado, lo que indica, que el Bio ocasionó incrementos similares en MS y RG; el RG más alto fue consecuencia de incrementos en el P100G, NH,

NGH y NG (**Tabla 2**). Dicho aumento en el RG y sus componentes puede deberse a una mayor área radical e incremento en actividad de la misma y en consecuencia una mayor tasa de absorción de agua y nutrientes (Dobbelaere *et al.*, 2002); González *et al.* (2011) y Dobbelaere *et al.* (2002) reportan incrementos del 5 y 12% en el RG de maíz con la aplicación del Bio. Esto indica que el Bio ocasionó incrementos en el RG.

Nitrógeno

En el **Tabla 2** se observa que a excepción del NH y NGH ocasionó cambios significativos para la BT, RG y sus componentes. La aplicación de 160 kg N ha^{-1} incrementó en 235 g m^{-2} la MS y en el IC en 4%, en tanto con 80 kg N ha^{-1} el incremento fue de 23 y 4%, con respecto a sin fertilización, lo que indica que con N se promovió una mayor acumulación de MS hacia el grano respecto al resto de las estructuras de la planta, generado esto por un mayor tamaño de la demanda. Con 160 kg N ha^{-1} el RG se aumentó en 290 g m^{-2} , el P100G en 1.3 g y el NG en 369 granos por m^2 . Otros estudios reportan incrementos en el RG del maíz con la aplicación de 90 y 60 kg N ha^{-1} para la zona norte del estado de Guerrero (González *et al.*, 2011) y con 140 kg N ha^{-1} para Balcarce Argentina (Echeverría y Sainz, 2001). Esto sugiere que con el suministro de N se logran incrementos en el RG.

Tabla 2. Materia seca (MS), índice de cosecha (IC), rendimiento (RG) y sus componentes de genotipos de maíz en función biofertilizante (Sin y Con Bio) y nitrógeno (N). Iguala, Gro. 2011.

Factor	MS	IC	RG	P100G	NH	NGH	NG
	g m ⁻²	%	g m ⁻²	g			m ²
Genotipo	Vandeño	2206 b	25 a	617 c	30 c	16 c	969 c
	VS-535	2581 a	24 a	665 bc	37 b	20 b	1,463 b
	H-562	2568 a	26 a	704 ab	31 c	16 c	1,019 c
	H-7573	2727 a	28 a	740 a	40 a	21 a	1,644 a
Bio	Tukey $\alpha = 0.05$	273	3	65	2.3	1.1	0.5
	Sin	2462 b	26 a	669 b	34 b	18 b	10.5 b
	Con	2579 a	26 a	694 a	35 a	19 a	10.7 a
	Tukey $\alpha = 0.05$	77	1	27	0.7	0.4	0.1
N (kg ha ⁻¹)	0	2176 b	23 b	520 c	34.4 b	19 a	900 b
	80	2683 a	27 a	714 b	34.8 ab	18 a	10 a
	160	2702 a	27 a	810 a	35.7 a	18 a	10 a
	Tukey $\alpha = 0.05$	134	1	32	1.2	0.6	0.4
Media general		2520	26	681	35	18	10
CV. (%)		7	8	6	5	5	9

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

Genotipo x Biofertilizante (G x Bio)

Existieron diferencias en MS y RG por efecto de la interacción G x Bio (**Figura 2**). Así, H-562 y Vandeño presentaron incremento del 7% (180 g m⁻²) y 13% (276 g m⁻²) en MS con la aplicación de Bio, respectivamente, en contraste a VS-535 Y h-7573 donde dicho comportamiento no se observa. No está bien definido el mecanismo de respuesta en cuanto a la afinidad de los genotipos estudiados. Schank *et al.* (1981) en pasto (*Digitaria* sp.) también encontraron mayor MS con la inoculación de Bio, en clima semiárido. Con respecto a Bio, el RG de VS-535, H-562 y H-7573 se incrementó en 4, 12 y 6%, respectivamente. Esto indica que el cultivo con Bio fue más eficiente en acumular mayor MS hacia el grano; debido posiblemente a un aumento en la superficie de absorción radical que pudo influir sobre la duración del área foliar y en consecuencia mayor oportunidad para el llenado de grano. Como también se deduce de los estudios realizados por García-Olivares *et al.* (2007) e Irizar-Garza *et al.* (2003).

Genotipo x Nitrógeno (G x N)

En la **Figura 4** se observa que los genotipos presentaron respuesta diferente al N. En general dicha respuesta se ajustó al modelo de un polinomio de segundo grado. El genotipo H-562 mostró respuesta más alta al N en una producción de MS de 14 g m⁻² por unidad de N aplicado, seguido de VS-535, Vandeño y H-7573 que produjo la respuesta más baja

(5.5 g m⁻² por unidad de N). A excepción de H-7573, la máxima producción de MS se logró con 160 kg N ha⁻¹. Esto puede deberse a la eficiencia en el uso del N, debido a que las variedades mejoradas fueron elaboradas para ese fin. En relación al RG, también se observó variabilidad entre genotipos en respuesta al N (**Figura 4B**). H-562 presentó mayor RG (5.9 g m⁻²) por unidad de N aplicado, seguido de H-7573, VS-535 y Vandeño que presentó la respuesta más baja (1.4 g m⁻² por kg N aplicado). El RG más alto se obtuvo con la combinación de VS-535 y 160 kg N ha⁻¹. En general se observa que los genotipos mejorados presentaron mayor respuesta al N. Tendencias similares han sido reportadas por (De la Cruz-Lázaro *et al.*, 2009; Mani-Pati *et al.*, 2010), en Villahermosa, Tabasco evaluaron nueve genotipos de maíz con fertilización de 120 kg N ha⁻¹ y encontraron variabilidad genética entre genotipos del CIMMYT y comerciales.

Biofertilizante x Nitrógeno (Bio x N)

Se observó cambios para la MS, IC y RG debido a la interacción Bio x N (**Tabla 1**). En la **Figura 5A**, se observa que el cultivo sin Bio presentó mayor respuesta en MS (12 g m⁻² por kg N⁻¹) con Bio (7 g m⁻² por kg N⁻¹), lo que indica, que en la respuesta al suministro de N la influencia del Bio es limitado. En contraste, el maíz con Bio presentó mayor para RG con N; particularmente con 80 kg N ha⁻¹ (**Figura 5B**) y con una tasa de incremento de 3.5 g m⁻² por kg de N. Resultados similares reportaron García-Olivares *et*

al. (2007), al utilizar *Azospirillum* y 140 kg N ha⁻¹, con los híbridos Asgrow-Tigre, Dekalb-2003 y Garst-8222, bajo condiciones de riego. Lo observado sugiere que la inoculación con Bio eleva la respuesta al N. En contraste, Uribe y Dzib (2006) en clima cálido subhúmedo, no encontraron incremento en el RG con el N al inocular con Bio. Probablemente, las diferencias en el contenido de N inicial y las características del suelo limitaron la respuesta al N.

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

Se observaron cambios en MS, IC, RG y sus componentes por efecto de la interacción G x Bio x N (**Tabla 1**). Con respecto a la interacción G x Bio x N

(**Figura 6A**), se observa que la mayor respuesta en MS se encontró con Bio y 160 kg N ha⁻¹ para H-562, seguido de VS-535, H-7573 y Vandeño. El RG más alto correspondió a con Bio y 160 kg N ha⁻¹ para H-562, seguido de H-7573, VS-535 y Vandeño. En términos generales, se observó una respuesta positiva al Bio pero fue menor en el RG. Los factores responsables de tales irregularidades son difíciles de identificar, pero se atribuye a la variabilidad del genotipo y niveles de N, así como la capacidad del biofertilizante para establecerse (Pecina-Quintero *et al.*, 2005) y estimular el crecimiento de la raíz (Romani *et al.*, 1983), lo que logró un efecto positivo sobre el rendimiento de maíz.

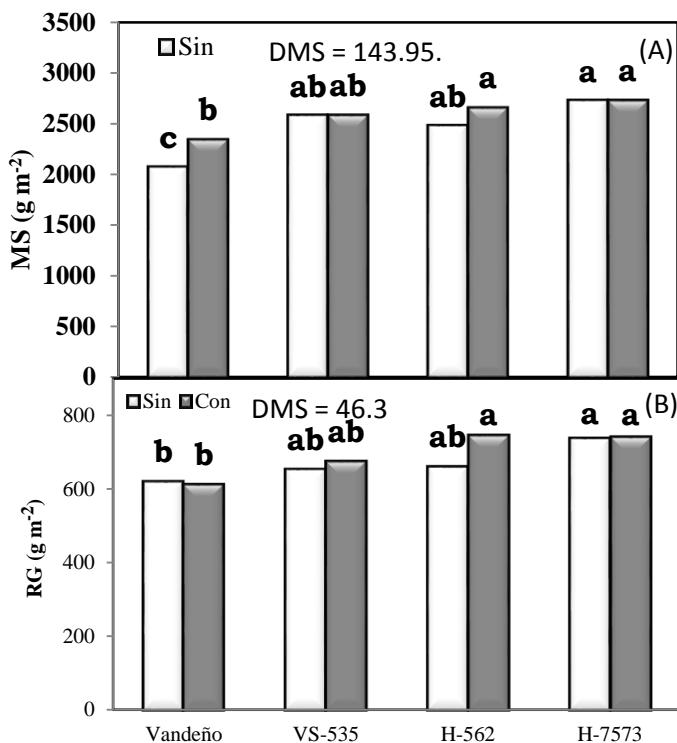


Figura 3. (A) Materia seca (MS) y (B) rendimiento (RG) en genotipos de maíz en función del biofertilizante. Iguala, Gro. 2011.

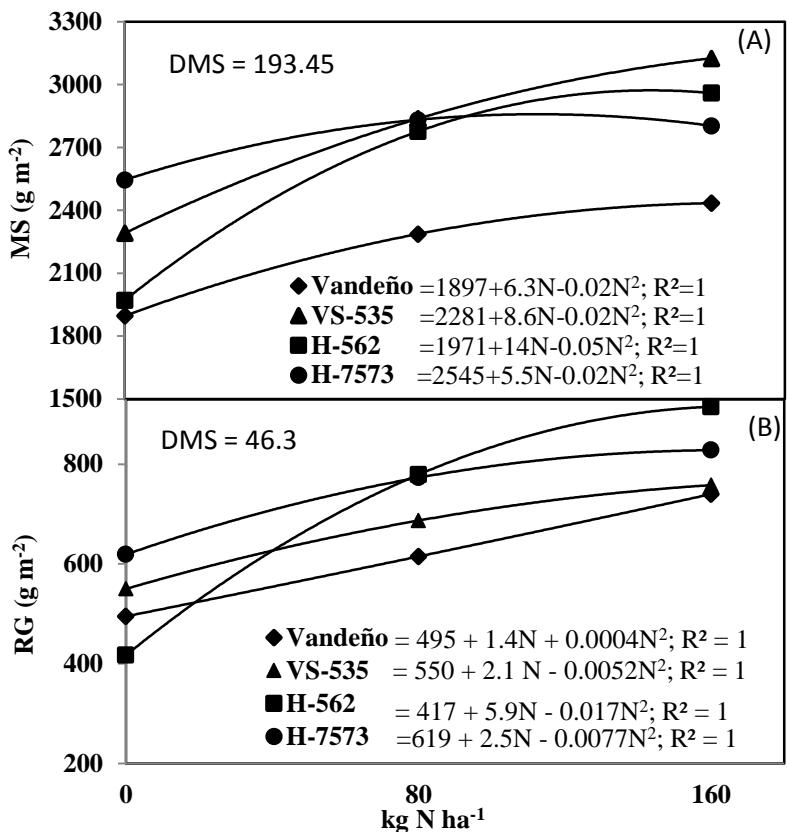


Figura 4. (A) Materia seca (MS) y (B) rendimiento (RG) en genotipos de maíz en función del nitrógeno (N). Iguala, Gro. 2011.

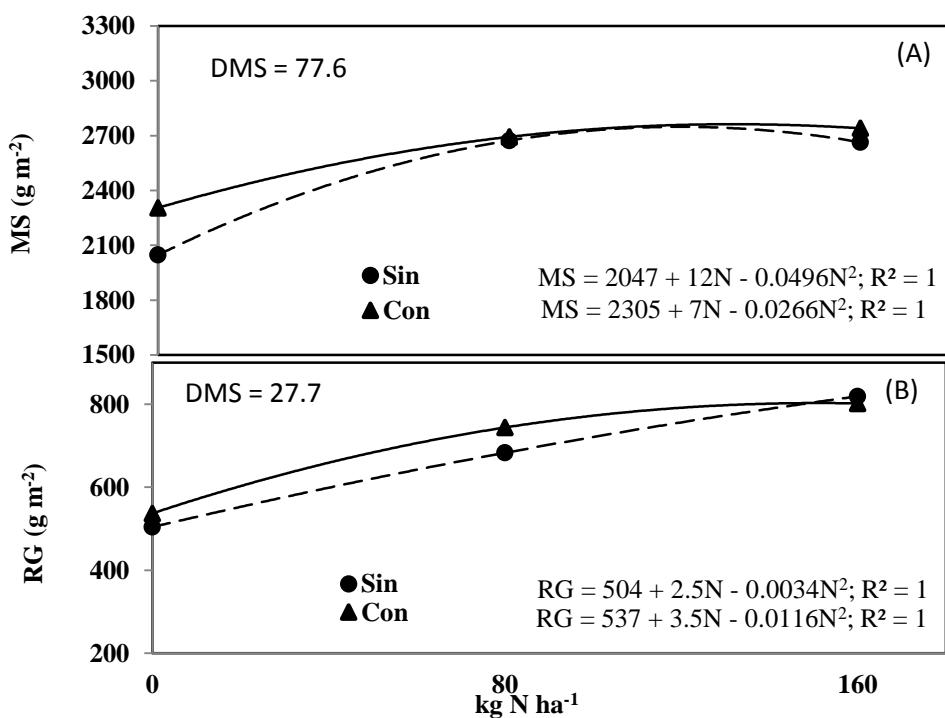


Figura 5. (A) Materia seca (MS) y (B) rendimiento (RG) en función del biofertilizante y nitrógeno (N). Iguala, Gro. 2011. Sin y con significa, no aplicación de biofertilizante y aplicación, respectivamente.

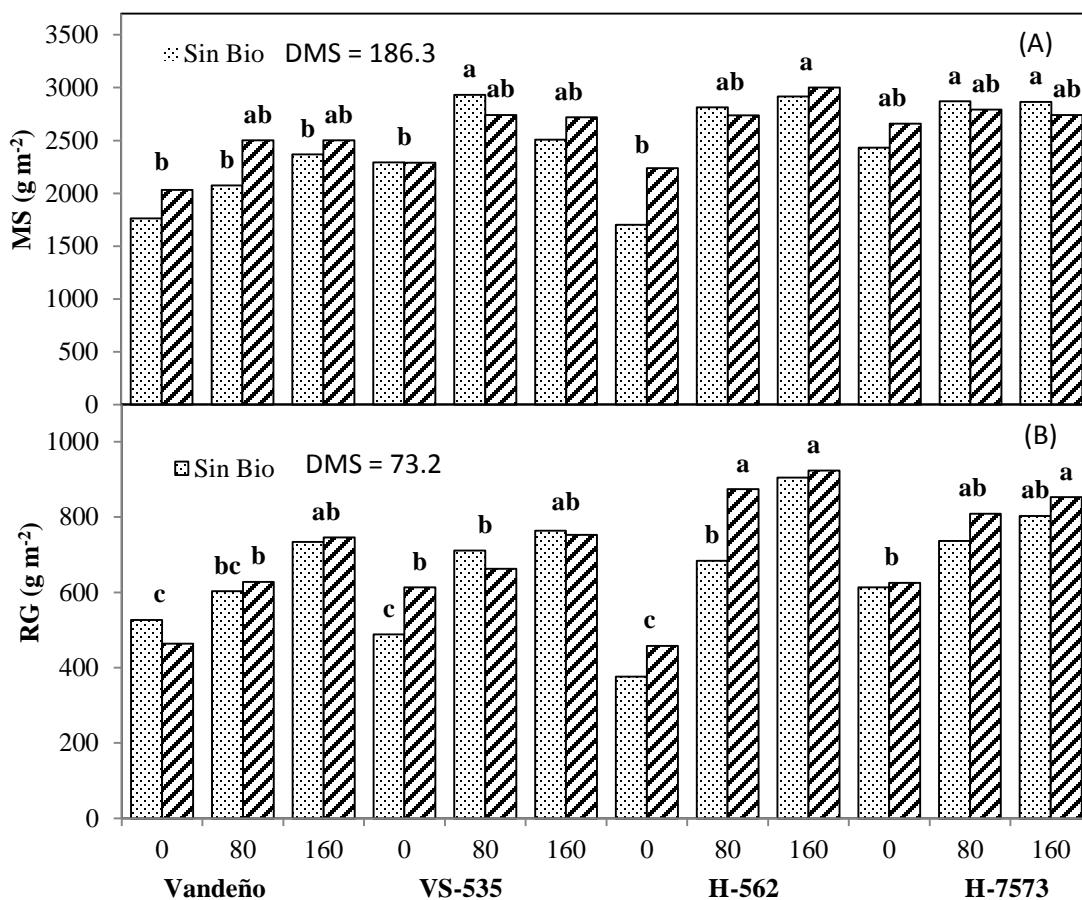


Figura 6. (A) Materia seca (MS) y (B) rendimiento (RG) en función del genotipo (G), biofertilizante (Con y Sin Biofertilizante), y nitrógeno (N). Iguala, Gro. 2011.

Correlación del rendimiento de maíz entre sus componentes

En la **Figura 6**, que muestra la relación entre el RG y sus componentes, se observa que el P100G y NG son los componentes que presentan la mejor relación con el RG ($R^2 = 0.85$ y 0.83 , respectivamente). Esto indica que a mayor peso de grano y número de granos, el RG será más alto. Esto sugiere que la mayor demanda de fotoasimilados es generada por el NG. Al respecto, Borrás y Otegui (2001) mencionan que la reducción en el peso de grano está relacionada con el incremento en el número de granos. El NGH y NH presentaron una relación más baja con el RG ($R^2 = 0.73$ y 0.72 , respectivamente).

Análisis económico

En cuanto al análisis económico, el mayor RG se presentó en el híbrido H-562 con Bio más la

aplicación de 160 kg N ha^{-1} , sin embargo en el **Tabla 5** se observa que la siembra del maíz H-562 sin Bio y la aplicación de 160 kg N ha^{-1} generó el mayor ingreso neto (IN), debido, al IT que fue el más alto, con un CT de $\$ 9859$. El uso de Bio más 80 kg N ha^{-1} logró la mejor GPI, debido a que por cada peso invertido, se recuperó $\$ 4.33$. Por lo que para agricultores de capital limitado se recomienda el uso de Vandeño, debido a que genera el mayor IN sin el uso de Bio y N. Al respecto Turrent-Fernández *et al.* (2004) en Iguala, Gro en siembra de riego y 190 kg N ha^{-1} observó el más alto IN con el híbrido H-7573 en comparación con H-551C, Hemoc, H-516, H-515 y H-513. Esto contrasta con los resultados de este estudio, ya que H-562 presentó el mayor IN en comparación con H-7573, VS-535 y Vandeño.

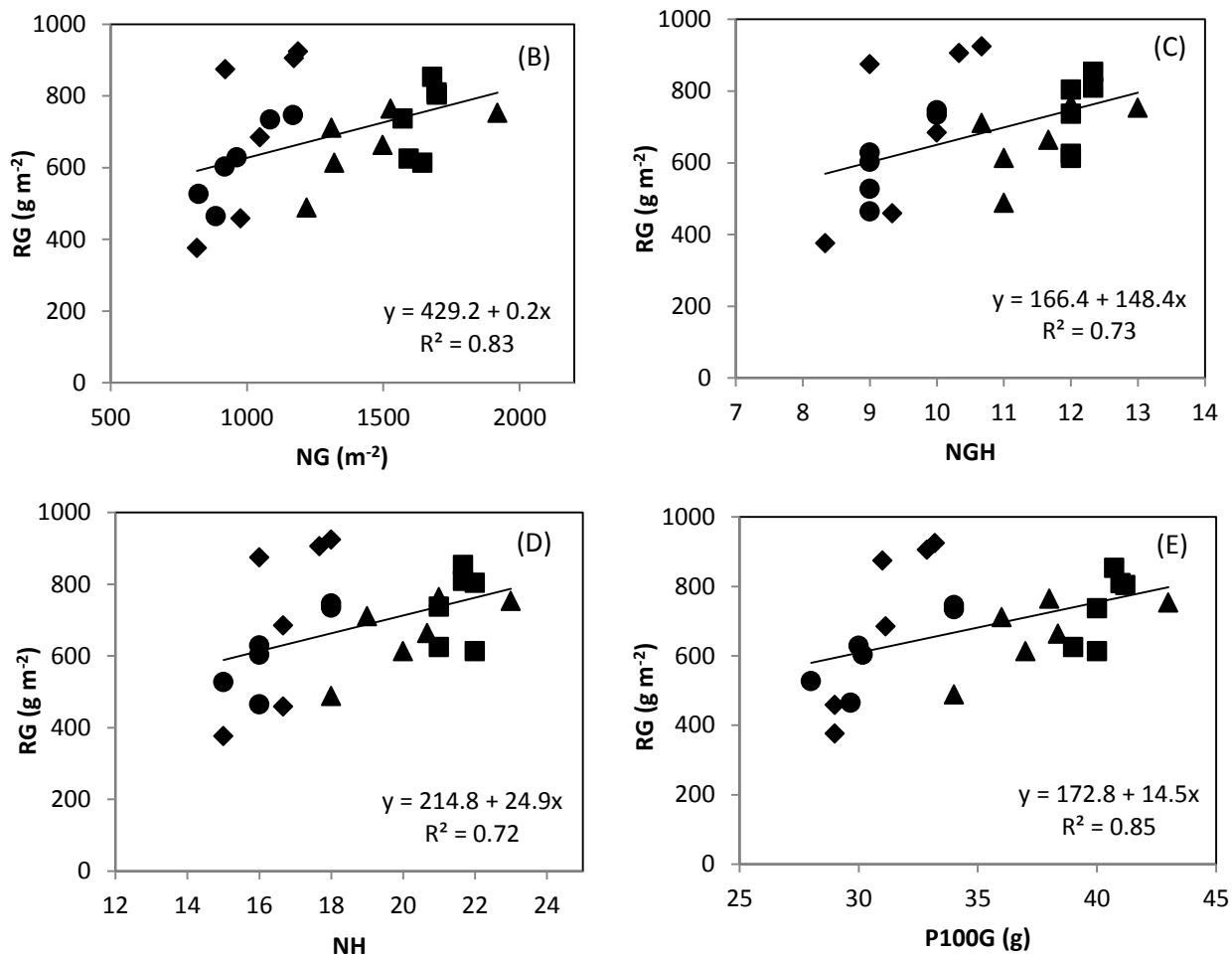


Figura 7. Relación del rendimiento (RG) entre el número de granos (NG) (A), número de granos por hilera (NGH) (B), número de hileras (NH) (C) y peso de 100 granos (P100G) (D). Iguala, Gro. 2011.

CONCLUSIÓN

La aplicación de biofertilizante y nitrógeno ocasionó incrementos significativos en la producción de materia seca y en el rendimiento. Dicho incremento fue en función del genotipo utilizado. El maíz criollo raza “Vandeño” y el mejorado H-562 presentan incrementos en materia seca y solamente el H-562 en el rendimiento con el biofertilizante. Los genotipos de maíz incrementan la producción de materia seca y rendimiento en grano con el nitrógeno. En general, el

mayor rendimiento se logra con 160 kg de N ha⁻¹. Con biofertilizante y 80 kg N ha⁻¹ se logra el rendimiento más alto de maíz. Para la región de estudio y época de siembra, la producción de materia seca y rendimiento más alto se logra con el H-562, biofertilizante y 160 kg N ha⁻¹. La producción de materia seca y rendimiento más bajo se logró con H-562, sin aplicación de nitrógeno y sin biofertilizante. El mayor ingreso neto se logra con H-562 y 160 kg N ha⁻¹ independientemente del uso del biofertilizante.

Tabla 3. Rendimiento (RG), ingresos totales (IT), costos fijos (CF), costos variables (CV) y costos totales (CT), ingresos netos (IN) y ganancia por peso invertido (GPI) en genotipos de maíz en función del biofertilizante (Sin y Con Bio) y nitrógeno (N). Iguala, Gro. 2011.

Genotipo	Bio	N	RG (kg ha ⁻¹)	IT (kg ha ⁻¹)	CF	CV	CT	IN	GPI
Vandeño	Sin	0	5270	28985.00	5933.60	560.00	6493.60	22491.40	3.46
		80	6030	33165.00	5933.60	2083.00	8016.60	25148.40	3.14
		160	7343	40388.33	5933.60	3506.00	9439.60	30948.73	3.28
	Con	0	4647	25556.67	5933.60	1152.00	7085.60	18471.07	2.61
		80	6287	34576.67	5933.60	2675.00	8608.60	25968.07	3.02
		160	7463	41048.33	5933.60	4098.00	10031.60	31016.73	3.09
VS-535	Sin	0	4883	26858.33	5933.60	1150.00	7083.60	19774.73	2.79
		80	7110	39105.00	5933.60	2673.00	8606.60	30498.40	3.54
		160	7640	42020.00	5933.60	4096.00	10029.60	31990.40	3.19
	Con	0	6133	33731.50	5933.60	1742.00	7675.60	26055.90	3.39
		80	6637	36501.67	5933.60	3265.00	9198.60	27303.07	2.97
		160	7530	41415.00	5933.60	4688.00	10621.60	30793.40	2.90
H-562	Sin	0	3760	20680.00	5933.60	980.00	6913.60	13766.40	1.99
		80	6847	37656.67	5933.60	2503.00	8436.60	29220.07	3.46
		160	9057	50838.33	5933.60	3926.00	9859.60	40978.73	4.16
	Con	0	4587	25226.67	5933.60	1572.00	7505.60	17721.07	2.36
		80	8747	48106.67	5933.60	3095.00	9028.60	39078.07	4.33
		160	9243	49811.67	5933.60	4518.00	10451.60	39360.07	3.77
H-7573	Sin	0	6250	34375.00	5933.60	1900.00	7833.60	26541.40	3.39
		80	7370	40535.00	5933.60	3423.00	9356.60	31178.40	3.33
		160	8533	46933.33	5933.60	4846.00	10779.60	36153.73	3.35
	Con	0	6133	33733.33	5933.60	2492.00	8425.60	25307.73	3.00
		80	8093	44511.50	5933.60	4015.00	9948.60	34562.90	3.47
		160	8037	44201.67	5933.60	5438.00	11371.60	32830.07	2.89

IT = RG * precio por kg de maíz (\$ 5.50). CF = incluye costo de preparación del terreno, siembra, riego, manejo de maleza y plagas. CV = incluye el costo del biofertilizante, fertilización y cosecha de maíz. CT = CF + CV. IN = IT – CT. GPI = IN / CT.

Agradecimientos

A CONACYT por el apoyo económico recibido para llevar a cabo esta trabajo de investigación.

REFERENCIAS

- Aguiluz, A. 1998. Evaluación de híbridos de maíz (*Zea mays L.*) de grano blanco y amarillo en ambientes de centroamérica, panamá y el caribe en 1996. Agronomía mesoamericana 9(1): 28-37.
- Alarcón, A., Ferrera-Cerrato, R.. 2000. Biofertilizante: Importancia y utilización en la agricultura. Agricultura Técnica Mexicana. 26:191-203.
- Andrade, F. H. 1998. Posibilidades de expansión de la producción agrícola. Interciencia. 23(4): 218-226.
- Andrade, F.H., Cirilo, A.G., Uhart, S.A., Otegui, M.E. 1996. Ecofisiología del cultivo de maíz. Dekalb Press. Buenos Aires, Argentina. 292 p.
- Borrás, L., Otegui, M.E. 2001. Maize kernel weight response to postflowering source-sink ratio. Crop Science. 49: 1816-1822.
- De la Cruz-Lazaro, E., Códova-Orellana, H., Estrada-Botello, M.A., Mendoza-Palacios, J.D., Gómez-Vázquez, A., Brito-Manzano, N.P. 2009. Rendimiento de grano de genotipos de maíz sembrados bajo tres densidades de población. Universidad y Ciencia. Trópico Húmedo. 25(1): 93-98.
- Dobbelaeere, S., Croonenborghs, A., Thys, A., Ptacek, D., Okon, Y., Vanderleyden, J. 2002. Effect of inoculation with wild type *Azospirillum brasiliense* and *A. irakense* strains on development and nitrogen uptake of spring wheat and grain maize. Biological Fertilizer Soils. 36:284–297.

- Doorenbos, J., Pruitt, W.O. 1986. Las necesidades de agua por los cultivos. Estudio FAO. Riego y Drenaje. Manual 24.
- Echeverría, H.E., Sainz-Rozas, H.R. 2001. Eficiencia de recuperación del nitrógeno aplicado al estadio de seis hojas del maíz bajo riego en siembra directa y labranza convencional. Ciencia del suelo. 19(1): 57-66.
- Espinosa, A., Sierra, M., Gómez, N. 2003. Producción y tecnología de semillas mejoradas de maíz por el INIFAP en el escenario sin la PRONASE. Agronomía Mesoamericana. 14(001):117-121.
- García E. 2005. Modificación al sistema de clasificación climática de Köppen. 4^a 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., Mayek-Pérez, N. 2007. Efecto de cepas de *Azospirillum brasilense* en el crecimiento y rendimiento de grano del maíz. Revista Fitotecnia Mexicana. 30(003):305-310.
- González, M.R., Noriega, C.D., Pereyda, H.J., Domínguez, M.V.M., López, E.M.E., Garrido, E.R. 2011. Fertilización química con y sin biofertilizante en maíz de temporal en Guerrero. XVI Foro de estudios sobre Guerrero. Acapulco, Gro. 69-73 pp.
- Hartcamp, A.D., White, J.W., Rodríguez, A., Bänzinger, M., Hernández, G., Bates, L.A. 2000. Modified method for rapid tryptophan analysis in maize. CIMMYT Research Bulletin 13: 3-6.
- Irízar-Garza, M. B., Vargas-Vargas, P., Garza-García, D., Tut-Couoh, C., Rojas-Martínez, I., Trujillo-Campos, A., García-Silva, R., Aguirre-Montoya, D., Martínez-González, J.C., Alvarado-Mendoza, S., Grageda-Cabrera, O., Valero-Garza, J., Aguirre-Medina, J.F. 2003. Respuesta de cultivos agrícolas a los biofertilizantes en la región central de México. Agricultura Técnica en México. 29(002): 213-225.
- Kiniry J.R., Bonhomme, R. 1991. Predicting maize phenology. P. 115 - 131. En T. Hodges (ed.), Physiological aspects of predicting crop phenology. CRC Press, Boca Raton, FL.
- Mani-Pati, F., Clay, D.E., Carlson, C.G., Clay, S.A., Reicks, G., 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, M. J. 2004. Respuesta de la biofertilización en el crecimiento y Rendimiento de sorgo de grano en Linares, Nuevo León. In: Memoria del Simposio de Biofertilización. A Díaz-Franco, N Mayek-Pérez, A Mendoza, N Maldonado-Moreno (eds). 25 de noviembre de 2004. Río Bravo, México. pp:42-52.
- Núñez-Hernández, G., Faz-Contreras, R., González-Castañeda, F., Peña-Ramos, A. 2005. Madurez de híbridos de maíz a la cosecha para mejorar la producción y calidad del forraje. Técnica Pecuaria en México. 43(1): 69-78.
- O’Hara, G. W., Davey, M.R., Lucas, J.A. 1981. Effect of inoculation of *Zea mays* with *Azospirillum brasilense* strains under temperate conditions. Canadian Journal of Microbiology. 27:871-877.
- Pecina-Quintero, V., Díaz-Franco, A., Williams-Alanís, H., Rosales-Robles, E., Garza-Cano, I. 2005. Influencia de fechas de siembra y biofertilizantes en sorgo. Revista Fitotecnia Mexicana. 28:389-392.
- Ritchie, S.W., 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.
- Romani, G., Marriè, M.T., Bonetti, A., Cerana, R., Lado, P., Marrè, E. 1983. Effects of a brassinosteroid on growth and electrogenic proton extrusion in maize root segments. Physiologia Plantarum. 59 (4): 528-532.
- Roveda, G., Polo, C. 2007. Mecanismos de adaptación de maíz asociado a *Glomus* spp. En suelos con bajo fósforo disponible. Agronomía colombiana. 25(2): 349-356.
- Schank, S.C., Weier, K.L., MacRae, I.C. 1981. Plant yield and nitrogen content of a Digitgrass in response to *Azospirillum* inoculation. Applied and Environmental Microbiology. 41(2): 342-345.
- Sistema de Información Agropecuaria (SIAP). 2011. Sistema de Información Agropecuaria de Consulta. SAGARPA. México. Disponible en: http://www.siap.sagarpa.gob.mx/ar_comuna_ar.html (Revisado: 12 de septiembre de 2012).
- Snyder, R.L. 1985. Hand calculating degree days. Agricultural and Forest Meteorology. 35: 353-358.
- Transient-Fernández, A., Camas-Gómez, R., López-Luna, A., Cantú-Almaguer, M., Ramírez-Silva, J., Medina-Méndez, J., Palafax-Caballero, A. 2004. Producción de maíz bajo riesgo en el Sur-Sureste de México: II. Desempeño financiero y primera aproximación tecnológica. Agricultura Técnica en México. 30 (2): 205-221.
- Uribe-Valle, G., Dzib-Echeverría, R. 2006. Micorriza arbuscular (*Glomus intraradices*), *Azospirillum brasilense* y Brassinoesteroide

- en la producción de maíz en suelo luvisol. Agricultura Técnica en México. 32: 68-72.
- Villalpando, I.J.F., Ruíz, C.J.A. 1993. Observaciones agrometeorológicas y su uso en la agricultura. Primera Ed. México; Editorial Limusa.
- Volke, H.V. 1982. Optimización de insumos de la producción en la agricultura. Colegio de Postgraduados, Chapingo. Méx. 61 p.

Submitted February 20, 2014 – Accepted April 24, 2015