

Crecimiento, rendimiento y rentabilidad del maíz VS-535 en función del biofertilizante y nitrógeno

Growth, performance and profitability of VS-535 corn based on biofertilizer and nitrogen

Cid Aguilar-Carpio^{1*}, José Alberto Salvador Escalante-Estrada¹, Immer Aguilar-Mariscal², Adriana Perez-Ramirez³

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

²Facultad de Biología. Universidad Autónoma del Estado de Morelos. Cuernavaca, Morelos, México.

³IDAGRO S. de R. L. de C. V. Carretera Yautepec-Tlayacapan S/N. Col. Puente Pantitlan. CP. 62545. Tlayacapan, Morelos, México.

*Autor de correspondencia: aguilar.cid@colpos.mx

Artículo científico recibido: 21 de enero de 2016 aceptado: 14 de marzo de 2017

RESUMEN. El objetivo del estudio fue determinar el efecto del biofertilizante y del nitrógeno en la variedad sintética de maíz VS-535 sobre la ocurrencia de las fases fenológicas, análisis de crecimiento, rendimiento, componentes, eficiencia en el uso del agua, contenido de nitrógeno y la rentabilidad. La siembra se realizó el 10 de julio de 2012, los tratamientos fueron la inoculación de biofertilizante y la aplicación de 0, 80 y 160 kg ha⁻¹ de nitrógeno. Se contabilizó el número de hojas y el área foliar, con lo que se calculó el índice (IAF) y la duración de área foliar (DAFT). También se determinó el contenido de materia seca (MS), las tasa de crecimiento del cultivo (\overline{TCC}), y la tasa de asimilación neta (\overline{TAN}). En madurez fisiológica se evaluó el contenido de materia seca (MS) y el rendimiento de grano (RG), se calculó la eficiencia en el uso del agua y del nitrógeno, y se realizó un análisis económico. Con 160 kg ha⁻¹ de nitrógeno se tuvo el mayor IAF y DAFT. Para MS, EUA, EAN, \overline{TCC} , mientras que las mayores \overline{TAN} se tuvieron con biofertilizante y nitrógeno a 80 y 160 kg ha⁻¹. Para RG la mayor respuesta se encontró con biofertilizante y nitrógeno a 160 kg ha⁻¹, lo que generó la mayor rentabilidad del cultivo.

Palabras clave: Área foliar, fenología, grano, nutrición, variedad sintética

ABSTRACT. The objective of the study was to determine the effect of biofertilizer and nitrogen on the synthetic variety of VS-535 corn, on the occurrence of phenological phases, growth analysis, performance, components, water use efficiency, nitrogen content and profitability. The sowing was performed on July 10, 2012, the treatments were the inoculation of biofertilizer and the application of 0, 80, and 160 kg ha⁻¹ of nitrogen. The number of leaves and leaf area were counted, calculating the index (LAI) and leaf area duration (TLAD). The dry matter (DM) content was also determined, as well as the crop growth rate (\overline{CGR}) and the net assimilation rate (\overline{NAR}) was also evaluated. On physiological maturity, the dry matter (DM) content (DM) and grain performance (GP) were evaluated; the efficiency in the use of water and nitrogen was calculated, and an economic analysis was performed. It had the highest LAI and TLAD with 160 kg ha⁻¹ of nitrogen. For DM, EUA, EAN, \overline{CGR} , while the older \overline{NAR} were with biofertilizer and nitrogen at 80 and 160 kg ha⁻¹. For GP, the highest response was found with biofertilizer and nitrogen at 160 kg ha⁻¹, which generated the highest profitability of the crop.

Key words: Leaf area, phenology, grain, nutrition, synthetic variety

INTRODUCCIÓN

El maíz es uno de los cultivos más importantes a nivel mundial, para los mexicanos constituye la base de la alimentación, aportando energía y proteínas (Domínguez *et al.* 2014). Los principales estados productores de maíz en México son Sinaloa, Jalisco, Estado de México, Michoacán, Guanajuato y Chihuahua; mientras que el estado de Guerrero, ocupa el séptimo lugar en producción, con rendimiento promedio de 2.79 t ha⁻¹ (SIAP 2016). A pesar de ser uno de los principales estados productores, sus rendimientos promedios son bajos, debido al uso de genotipos criollos, aunado a sus tierras con bajo potencial productivo. Por lo que, el uso de semilla mejorada, como las variedades sintéticas es necesario para lograr su máximo potencial productivo (Espinosa *et al.* 2003).

En la agricultura se requiere hacer uso eficiente del agua (EUA) y nitrógeno (N), debido a que son dos de los insumos más importantes para la producción, los cuales deben estar bien provistos en cantidad y oportunidad para asegurar un estado fisiológico óptimo en la floración, momento en que se determina el rendimiento (Andrade *et al.* 2002). Por otro lado, la disponibilidad de nitrógeno en el suelo influye en las tasas de crecimiento del maíz, herramienta que permite analizar el comportamiento de distintos cultivares, niveles de fertilización y condiciones ambientales (D'Andrea *et al.* 2008). La incorporación de N en el suelo es importante, debido al bajo contenido de los suelos agrícolas; por lo que su aplicación en forma fraccionada, estimula el incremento del rendimiento (Villafaña *et al.* 2014). Investigaciones realizadas en el maíz con la aplicación de nitrógeno, han incrementado el crecimiento, rendimiento de grano y la eficiencia agronómica del nitrógeno y agua (Yu-Kui *et al.* 2009, Mamani-Pati *et al.* 2010).

Por otra parte, la inoculación de hongos y bacterias representan una alternativa que promueve el crecimiento, nutrición y sanidad de la planta (Smith y Read 2008). Múltiples trabajos han mostrado que los biofertilizantes influyen en el desarrollo y crecimiento de los cultivos, y

el rendimiento de grano en maíz (Uribe y Dzib 2006, Díaz *et al.* 2008). Al respecto Díaz *et al.* (2008), reportaron que al inocular la semilla de maíz con *Glomus intraradices* (biofertilizante), se tienen rendimientos similares al testigo con fertilización inorgánica; esta misma cepa ha promovido de forma significativa la producción de forraje fresco y de grano (Pecina *et al.* 2005, Uribe y Dzib 2006). La respuesta en el crecimiento y rendimiento del grano de maíz a la fertilización nitrogenada puede variar en función del nivel inicial de nitrógeno en el suelo, el biofertilizante y el ambiente de desarrollo (López *et al.* 2007). Por lo que, el objetivo del estudio fue determinar el efecto del biofertilizante y nitrógeno en el maíz VS-535 sobre la ocurrencia de las fases fenológicas, análisis de crecimiento, rendimiento y sus componentes, eficiencia en el uso del agua, contenido de nitrógeno y la rentabilidad en maíz, en siembra de temporal.

MATERIALES Y MÉTODOS

El estudio se estableció el 10 de julio de 2012 bajo condiciones de temporal en Iguala, Guerrero, que tiene clima cálido subhúmedo con lluvias en verano, precipitación anual de 1 100 mm y altitud de 635 m (García 2005).

Se utilizó la variedad sintética de maíz VS-535, los tratamientos consistieron en la inoculación a la semilla con biofertilizante formado con 1 kg de *Glomus intraradices* y 0.4 kg de *Azospirillum brasilense*, que se mezcló con agua y adherente en 20 kg de semilla de maíz. Se aplicaron tres niveles de fertilización 0, 80 y 160 kg ha⁻¹ de nitrógeno (N), el cual se aplicó de forma fraccionada, la mitad al momento de la siembra y el resto a los 30 d después de la siembra (dds). La densidad de población fue de 6.25 pl m⁻², con distancia entre surcos de 80 cm. Se utilizó un diseño experimental de bloques completos al azar con cuatro repeticiones. La unidad experimental estuvo formada por cuatro surcos de 0.8 m de ancho por 4 m de largo. La temperatura máxima (Tmax) y mínima (Tmin) decenal, y la precipitación (PP, mm) durante el desarrollo del estudio, se obtuvo del Servicio Meteorológico Nacional

(CONAGUA). También se registró la ocurrencia de las fases fenológicas como: días a emergencia (E), días a floración (FL) y días a madurez fisiológica (MF) de acuerdo al criterio de Ritchie y Hanway (1982). Para cada fase fenológica se determinó la acumulación de unidades calor (UC, °C d) para el cultivo, mediante el método residual (Snyder 1985), con la siguiente ecuación:

$$UC = \frac{T_{max} + T_{min}}{2} - TB$$

Dónde: UC = unidades Calor (°C d), Tmax = temperatura máxima diaria (°C), Tmin = temperatura mínima diaria (°C) y TB = la temperatura base, considerada como 10 °C (Iñiguez-Covarrubias et al. 2014).

La evapotranspiración del cultivo (ETc) se calculó con 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), con la siguiente ecuación:

$$ETc = Ev \times 0.6 \times Kc$$

Para evaluar el crecimiento del cultivo, se hicieron muestreos destructivos de dos plantas en la parcela útil de cada unidad experimental a los 31, 65 y 105 dds, en cada uno de los muestreos se contabilizó el número de hojas por m² (NH) y el área foliar se midió con un integrador electrónico (LI-COR 3100). Se calculó el índice de área foliar (IAF) y duración del área foliar total (DAFT), con las siguientes ecuaciones:

$$IAF = \frac{(\frac{AF}{NP}) * DP}{100 dm^2}$$

Dónde: AF = área foliar (dm²), NP = número de plantas muestreadas y DP = número de plantas m⁻².

$$DAF = \sum \frac{(IAF_1 + IAF_2) * (T_2 - T_1)}{2}$$

Dónde: Σ = sumatoria de la duración del área foliar para cada periodo estudiado, IAF₁ = índice de área foliar en un tiempo inicial (T₁, días), IAF₂ = índice

de área foliar en un tiempo final (T₂, días) (Aguilar et al. 2015a). También se evaluó la materia seca (MS, g m⁻²); para lo cual las muestras se secaron a 80 °C en una estufa de circulación de aire forzado hasta peso constante. Con estos datos se calcularon las tasas medias de: crecimiento del cultivo (\overline{TCC}) y asimilación neta (\overline{TAN}), mediante las ecuaciones:

$$\overline{TCC} = \frac{(PS_2 - PS_1)}{A(T_2 - T_1)}$$

Dónde: PS₂ y PS₁ indican el peso de la materia seca de la planta en los tiempos T₂ y T₁, respectivamente y A representa el área ocupada por la planta.

$$\overline{TAN} = \frac{(PS_2 - PS_1)}{(IAF_2 - IAF_1)} / \frac{(\ln IAF_2 - \ln IAF_1)}{(T_2 - T_1)}$$

Dónde: PS₂ y PS₁ expresan el peso de MS de la planta, Ln IAF₂ y Ln IAF₁, logaritmo natural del índice de área foliar en el tiempo T₂ y T₁, respectivamente (Aguilar et al. 2015a). A madurez fisiológica (MF) se determinó la producción de biomasa total en base a 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, m²), número de hileras (NH) y número de granos por hilera (NGH). Se calculó la eficiencia en el uso del agua del RG (EUARG, g m⁻² mm⁻¹) y MS (EUAMS, g m⁻² mm⁻¹) con la ecuación:

$$EUA = RG \text{ o } MS / ETc$$

Dónde: EUA = Eficiencia en el uso del agua, RG = Rendimiento de grano (g m⁻²), MS = Materia seca (g m⁻²), ETc = Evapotranspiración del cultivo (mm) ocurrida durante el ciclo del cultivo (Escalante 1995) y la eficiencia agronómica del N (EAN, g g⁻¹ de N aplicado), considerado como el incremento en el rendimiento por unidad de fertilizante aplicado, se calculó a través de la siguiente ecuación:

$$EAN = \frac{(RGN - RGSN)}{NA}$$

Dónde: RGN = rendimiento de grano con nitrógeno

(g m⁻²), RGSN = rendimiento de grano sin nitrógeno (g m⁻²) y NA = cantidad de nitrógeno aplicado (g m⁻²) (Fageria y Baligar 2005).

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) y la prueba de comparación de medias de Tukey ($\alpha=0.05$). Adicionalmente, se realizó un análisis económico para rendimiento, utilizando las siguientes ecuaciones:

$$IN = YPy - \sum(XiPi + CP)$$

Donde IN = Ingreso neto, Y = Rendimiento (kg ha⁻¹), Py = precio por kg, $\sum XiPi$ = suma de costos variables, CF = costos fijos (Volke 1982). También se determinó la GPI con la ecuación:

$$GPI = \frac{(\sum XiPi + CF)}{YPy}$$

Dónde: GPI = ganancia por peso invertido, Y = Rendimiento (kg ha⁻¹), Py = precio por kg, $\sum XiPi$ = suma de costos variables, CF = costos fijos (Volke 1982)

RESULTADOS

Fenología, condiciones climáticas, unidades calor y evapotranspiración

En la Tabla 1, se observa la media decenal de la Tmin y Tmax durante el desarrollo del cultivo que fluctuó entre 24 y 34 °C, respectivamente. De la siembra (S) a la FL, la Tmin y Tmax promedio fue de 24 y 33 °C, mientras que de la FL a la MF fue de 24 a 34 °C, respectivamente. La suma de la PP durante el ciclo del cultivo fue de 558 mm. La mayor PP (417 mm) ocurrió en la etapa de S a FL, en los meses de julio, agosto y septiembre. Sin embargo, de FL a MF la PP fue de 157 mm. La emergencia ocurrió a los 5 dds con un requerimiento de calor de 60°C d, la floración ocurrió a los 65 dds con 1952 °C d y la MF a los 105 dds (3096°C d) (Tabla 1). Para la ETc, de la S a la E fue de 18 mm, de la E a la FL de 231 y de FL a la MF de 178 mm, con ETc total de 409 mm.

Número de hojas, índice de área foliar y duración del área foliar

El ANDEVA mostró diferencias significativas para el IAF y la DAFT, debido a la interacción Biofertilizante x N (Tabla 2). En general, se observó que el cultivo sin biofertilizante y 160 kg ha⁻¹ de nitrógeno presentó la más alta respuesta en el IAF y DAFT a los 75 dds. En contraste, el maíz con Biofertilizante presentó mayor IAF y DAFT, con 160 kg ha⁻¹ de nitrógeno.

Tasa de crecimiento del cultivo (\overline{TCC}), asimilación neta (\overline{TAN}) y materia seca total (MS)

En el análisis de la \overline{TCC} , \overline{TAN} y MS para la interacción Biofertilizante x N, se observaron diferencias significativas (Tabla 3). La \overline{TCC} más alta se presentó con la aplicación de Biofertilizante y nitrógeno a 80 y 160 kg ha⁻¹ desde los 20 hasta los 105 dds. La mayor \overline{TAN} ocurrió a los 20 dds y decreció durante el ciclo de cultivo hasta los 105 dds. La aplicación de Biofertilizante con 80 y 160 kg ha⁻¹ de nitrógeno, tuvieron las mayores \overline{TAN} durante el ciclo de cultivo. Con respecto a la mayor producción de MS, esta se presentó con Biofertilizante y nitrógeno a 80 y 160 kg ha⁻¹.

Índice de cosecha (IC), rendimiento (RG) y sus componentes

En cuanto al RG se observó que la respuesta al nitrógeno fue en función del biofertilizante. El mayor RG se observó con la aplicación de 160 kg ha⁻¹ de nitrógeno más el biofertilizante, lo cual se relaciona con el mayor número de granos (Tabla 4).

Eficiencia en el uso del agua (EUA)

La EUAMS y EUARG mostró diferencias significativas debido a la interacción Biofertilizante x N. La EUAMS más alta se encontró en Biofertilizante con 80 y 160 kg ha⁻¹ de nitrógeno (Tabla 5). La mayor EUARG, se observó con Biofertilizante y con 160 kg ha⁻¹ de N.

Eficiencia agronómica del nitrógeno (EAN)

En la Tabla 5 se observa que la EAN más alta correspondió a la aplicación de biofertilizante

Tabla 1. Medias decenales de la temperatura máxima (Tmax), mínima (Tmin), suma decenal de la precipitación (PP), evapotranspiración (ETc) y unidades calor (UC), durante el ciclo del cultivo del maíz VS-535.

Meses	10 d	Tmax (°C)	Tmin(°C)	PP (mm)	UC (°C)	ETc (mm)	Fenología
Julio	1	34	26	29	262	19	
Julio	2	33	25	60	512	37	S-E
Julio	3	33	25	84	794	55	
Agosto	4	33	25	46	1 050	72	
Agosto	5	32	24	43	1 298	121	
Agosto	6	32	24	168	1 570	177	
Septiembre	7	33	25	16	1 827	224	
Septiembre	8	33	25	37	2 078	268	FL
Septiembre	9	33	25	24	2 332	305	
Octubre	10	32	24	55	2 575	345	
Octubre	11	34	26	1	2 836	388	
Octubre	12	34	26	24	3 096	409	MF

S = Siembra, E = Emergencia, FL = Floración, MF = Madurez fisiológica.

Tabla 2. Número de hojas (NH), índice de área foliar (IAF) y duración del área foliar total (DAFT) del maíz en función del biofertilizante y nitrógeno (N).

Biofertilizante	N (kg ha ⁻¹)	NH (m ²)			IAF			DAFT
		31	75	105	31	75	105	
Días después de la siembra								
Sin	0	53 ^a	87 ^a	81 ^a	1.4 ^d	4.2 ^b	2.4 ^{bc}	253 ^b
	80	56 ^a	94 ^a	90 ^a	1.6 ^c	4.4 ^a	2.8 ^b	258 ^b
	160	59 ^a	95 ^a	91 ^a	1.8 ^b	4.8 ^a	3.7 ^a	299 ^a
Con	0	54 ^a	91 ^a	78 ^a	1.4 ^d	3.3 ^c	1.9 ^c	203 ^c
	80	67 ^a	93 ^a	87 ^a	1.8 ^b	4.0 ^b	2.8 ^b	255 ^b
	160	67 ^a	97 ^a	87 ^a	2.1 ^a	4.4 ^a	3.1 ^b	286 ^{ab}
Tukey $\alpha = 0.05$ (DMS)		15	10	10	0.2	0.4	0.9	33
Media general		72	72	43	1.7	4.2	2.8	259
CV. (%)		3	3	6	3	7	9	6

En columnas letras similares indican valores son estadísticamente iguales (Tukey, $\alpha = 0.05$). *, ** = $p \leq 0.05, 0.01$, respectivamente; NS = No significativo a $P \geq 0.05$.

Tabla 3. Tasa de crecimiento del cultivo (\overline{TCC}), asimilación neta (\overline{TAN}) y materia seca total (MS) en el maíz VS-535 en función del biofertilizante y nitrógeno (N).

Biofertilizante	N (kg ha ⁻¹)	\overline{TCC} (g m ⁻² d ⁻¹)			\overline{TAN} (g m ⁻² d ⁻¹)			MS (g m ⁻²)		
		31	75	105	31	75	105	31	75	105
Días después de la siembra										
Sin	0	6 ^c	9 ^{ab}	8 ^c	25 ^c	4.0 ^a	2.5 ^c	181 ^c	618 ^c	885 ^c
	80	7 ^c	9 ^{ab}	7 ^c	26 ^c	3.5 ^a	2.2 ^c	206 ^c	613 ^c	840 ^c
	160	10 ^b	10 ^{ab}	8 ^c	33 ^b	3.2 ^a	2.0 ^c	278 ^b	729 ^b	985 ^b
Con	0	10 ^b	8 ^b	11 ^b	35 ^b	3.7 ^a	4.5 ^b	270 ^b	643 ^c	983 ^b
	80	12 ^a	9 ^{ab}	22 ^a	38 ^{ab}	3.5 ^a	6.5 ^a	317 ^a	740 ^b	1 412 ^a
	160	12 ^a	10 ^a	20 ^a	39 ^a	3.7 ^a	5.2 ^b	339 ^a	819 ^a	1 440 ^a
Tukey $\alpha = 0.05$ (DMS)		1.4	1.3	2.3	3	0.9	1.1	51	69	445
Media general		10	9	13	33	3.6	3.8	265	693	1 091
CV. (%)		6	8	7	7	14	10	6	4	3

En columnas letras similares indican que los valores son estadísticamente iguales (Tukey, $\alpha = 0.05$). *, ** = $p \leq 0.05, 0.01$, respectivamente; NS = No significativo a $p \geq 0.05$.

y a la aplicación de 80 y 160 kg ha⁻¹ N. Mientras que la EAN más baja la tuvo la aplicación de cero unidades de nitrógeno, no importante si se aplicó o no aplicó biofertilizante.

Análisis económico

El análisis económico para el RG (Tabla 6), determinó que con la aplicación de Biofertilizante y 160 kg ha⁻¹ de nitrógeno, se tuvo el mayor ingreso neto (IN), al igual que el costo total (CT) y la

Tabla 4. Índice de cosecha (IC), rendimiento de grano (RG) y sus componentes del maíz VS-535 en función del biofertilizante y nitrógeno (N).

Biofertilizante	N (kg ha ⁻¹)	IC (%)	RG (g m ⁻²)	P100G (g)	NH	NGH	NG (m ²)
Sin	0	43 ^b	386 ^c	33 ^a	18 ^b	10 ^a	1 182 ^b
	80	53 ^a	443 ^c	35 ^a	20 ^{ab}	10 ^a	1 342 ^b
	160	54 ^a	533 ^b	35 ^a	20 ^{ab}	11 ^a	1 397 ^b
Con	0	42 ^b	417 ^c	35 ^a	19 ^b	11 ^a	1 425 ^b
	80	40 ^b	567 ^b	38 ^a	20 ^{ab}	11 ^a	1 498 ^{ab}
	160	46 ^b	657 ^a	37 ^a	22 ^a	12 ^a	1 820 ^a
Tukey $\alpha = 0.05$		7	80	6	2	2	385
Media general		46	500	35	20	11	1 444
CV. (%)		4	4	4	5	6	10

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

Tabla 5. Eficiencia en el uso del agua de la materia seca (EUAMS), rendimiento (EUARG) y eficiencia agronómica de nitrógeno (EAN) en el maíz VS-535 en función del biofertilizante y nitrógeno.

Biofertilizante	Nitrógeno kg N ha ⁻¹	EUAMS g m ⁻² mm ⁻¹	EUARG g m ⁻² mm ⁻¹	EAN g g ⁻¹
Sin	0	2.1 ^c	0.9 ^c	0 ^c
	80	2.1 ^c	1.0 ^c	7 ^b
	160	2.4 ^b	1.3 ^b	9 ^b
Con	0	2.4 ^b	1.0 ^c	0 ^c
	80	3.4 ^a	1.3 ^b	18 ^a
	160	3.5 ^a	1.6 ^a	15 ^a
Tukey $\alpha = 0.05$		0.1	0.07	2.7
Media general		2.6	1.2	8.3
CV. (%)		3.1	3.9	23

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

Tabla 6. Rendimiento de grano (RG), ingresos totales (IT), costos fijos (CF), costos variables (CV) y costos totales (CT), ingresos netos (IN) y ganancia por peso invertido (GPI) en la variedad VS-535 en función del biofertilizante y nitrógeno (N).

Biofertilizante	N (kg ha ⁻¹)	RG (kg ha ⁻¹)	IT(\$)	CF(\$)	CV(\$)	CT(\$)	IN(\$)	GPI(\$)
Sin	0	3 860 ^c	15 440.00	5 033.60	1 150.00	6 183.60	9 256.40	1.50
	80	4 430 ^c	17 720.00	5 033.60	2 673.00	7 706.60	10 013.40	1.30
	160	5 330 ^b	21 320.00	5 033.60	4 096.00	9 129.60	12 190.40	1.34
Con	0	4 170 ^c	16 680.00	5 033.60	1 742.00	6 775.60	9 904.40	1.46
	80	5 670 ^b	22 680.00	5 033.60	3 265.00	8 298.60	14 381.40	1.70
	160	6 570 ^a	26 280.00	5 033.60	4 688.00	9 721.60	16 558.40	1.73

IT = RG * precio por kg de maíz (\$ 4.00). CF = incluye costo de preparación del terreno, siembra, riego, manejo de maleza y plagas. CV = incluye el costo de la fertilización y cosecha de maíz. CT = CF + CV. IN = IT - CT. GPI = IN / CT.

ganancia por peso invertido (GPI). Para cada peso invertido, se recuperaron \$ 1.73.

DISCUSIÓN

Las condiciones climáticas en las que se desarrolló el cultivo fue el adecuado, debido a que la temperatura fluctuó entre 34 y 24 °C. Dichos va-

lores se encuentran dentro del umbral térmico promedio de 30 a 34°C apropiado para el cultivo de maíz en el área de estudio (Aguilar et al. 2015b). La precipitación fue de 558 mm, valor similar al señalado por Rivetti (2006) quien indica que la necesidad de agua por ciclo de cultivo del maíz es de 575 mm. La variedad estudiada tuvo un requerimiento de calor de 3 096 UC desde la

emergencia hasta la madurez fisiológica. Lo que difiere con Díaz *et al.* (2013) quienes reportan un requerimiento térmico de 1158 UC para el cultivo de maíz en clima templado, valor inferior al encontrado en el presente estudio, debido a que en climas tropicales las temperaturas son superiores.

A los 30 d de haber iniciado el estudio se observó que la aplicación del biofertilizante promovió la aparición de las hojas, lo que generó un mayor IAF, MS, TCC, TAN, lo que repercutió en los componentes del rendimiento (P100G, NH, NGH y NG), lo que sugiere que el suministro de biofertilizante indujo un estímulo en el crecimiento y rendimiento del maíz (Roveda y Polo 2007). Por otro lado, el biofertilizante fue favorecido con la incorporación de nitrógeno, desde los 30 dds la fertilización con 160 kg ha⁻¹ N tuvo un incremento en la aparición de hoja e IAF, lo que generó los mayores índices de crecimiento (TAN, TCC), así como el mayor peso de planta, como lo han reportado en maíz Naresh y Singh (2001), Loredó *et al.* (2004) y García *et al.* (2007). Cabe señalar, que con la dosis más alta de nitrógeno y biofertilizante, se logró incrementar la eficiencia en el uso del agua para la materia seca y rendimiento, lo que sugiera que la planta optimiza el agua uso del agua (Caviglia y Sadras 2001). La variedad en estudio presentó la mejor eficiencia agronómica del nitrógeno con la aplicación de biofertilizante, sin embargo, al reducir la fertilización nitrogenada (80 kg ha⁻¹ N), la EAN fue más alto. Lo que, indica el potencial del genotipo en la asimilación del nitrógeno (Aguilar *et al.* 2015b), debido al biofertilizante (Díaz *et al.* 2008).

El análisis económico para el rendimiento presentado se observa que con la fertilización nitro-

genada en asociación con el biofertilizante se generó el mayor ingreso neto, costo total y la ganancia por peso invertido. Por cada peso invertido, se recuperaron \$ 1.73. Para los agricultores de capital limitado, que siembren la variedad VS-535, se recomienda el uso de biofertilizante, debido a que genera el mayor ingreso neto sin aplicación de nitrógeno (\$9,904.40). Lo que concuerda con lo reportado por Armenta *et al.* (2010), quienes reportan que el uso del biofertilizante asociados con nitrógeno, incrementa la rentabilidad del maíz.

CONCLUSIONES

En las condiciones ambientales en que se desarrolló el cultivo, con 160 kg ha⁻¹ de nitrógeno se tuvo la mayor respuesta en el IAF y DAFT a los 75 dds. Para la MS, \overline{TCC} y \overline{TAN} , los valores más altos se tuvieron con la aplicación de biofertilizante, y la aplicación de 80 y 160 kg ha⁻¹ de nitrógeno, durante el ciclo del cultivo. Para RG la mayor respuesta al N se encontró con la aplicación de 160 kg ha⁻¹, más el biofertilizante. La aplicación de biofertilizante con 80 y 160 kg ha⁻¹ de nitrógeno, incrementó la eficiencia en el uso del agua, eficiencia agronómica de nitrógeno, producción de materia seca y rendimiento de grano. La mejor rentabilidad se logra con biofertilizante y 160 kg ha⁻¹ de nitrógeno.

AGRADECIMIENTOS

Al pueblo de México que mediante CONACYT otorgó el apoyo económico para llevar a cabo este trabajo de investigación.

LITERATURA CITADA

- Aguilar CC, Escalante EJAS, Aguilar MI (2015a) Análisis de crecimiento y rendimiento de maíz en clima cálido en función del genotipo, biofertilizante y nitrógeno. *Terra Latinoamericana* 33: 51-62.
- Aguilar CC, Escalante EJAS, Aguilar MI, Mejía CJA, Conde MVF, Trinidad SA (2015b) Rendimiento y rentabilidad de maíz en función del genotipo, biofertilizante y nitrógeno, en clima cálido. *Tropical and Subtropical Agroecosystems* 18: 151-163.
- Andrade F, Echarte L, Rizzalli R, Della Maggiora A, Casanovas M (2002) Kernel number prediction in maize

- under nitrogen or water stress. *Crop Science* 42: 1173-1179.
- Armenta BAD, García CG, Camacho JRB, Apodaca MAS, Montoya LG, Nava EP (2010) Biofertilizante en el desarrollo agrícola de México. *Ra Ximhai* 6: 51-56.
- Caviglia OP, Sadras VO (2001) Effect of nitrogen supply on crop conductance, water- and radiation-use efficiency of wheat. *Field Crops Research* 69: 259-266.
- D'Andrea KE, Otegui ME, Cirilo AG (2008) Kernel number determination differs among maize hybrids in response to nitrogen. *Field Crops Research* 105: 228-239.
- Díaz FA, Salinas JRG, Garza IC, Mayek NP (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 LE, Loeza-Corte JM, Campos-Pastelín JM, Morales-Rosales EJ, Domínguez-López A, Franco-Mora O (2013) Eficiencia en el uso de la radiación, tasa de asimilación neta e integral térmica en función del fósforo en maíz (*Zea mays* L.). *Agrociencia* 47:135-146.
- Domínguez MCA, Brambila PJJ, Carballo CA, Quero CAR (2014) Red de valor para maíz con alta calidad de proteína. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas* 5: 391-403.
- Doorenbos J, Pruitt WO (1986) Las necesidades de agua por los cultivos. Estudio FAO. Riego y Drenaje. Manual 24. FAO. Roma. 144p.
- Escalante EJAS (1995) Aprovechamiento del recurso agua en cultivos de secano. *Agroproductividad* 12: 28-32.
- 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* 14:117-121.
- Fageria NK, Baligar VC (2005) Enhancing nitrogen use efficiency in crop plants. *Advances in Agronomy* 88: 97-185.
- García E (2005) Modificación al sistema de clasificación climática de Köppen. 4ª Edición. Instituto de Geografía. Universidad Autónoma de México. 217p.
- García OJG, Moreno VRM, Rodríguez ICL, Mendoza AH, Mayer NP (2007) Efecto de cepas de *Azospirillum brasilense* en el crecimiento y rendimiento de grano del maíz. *Revista Fitotecnia Mexicana* 30: 305-310.
- Íñiguez-Covarrubias M, Ojeda-Bustamante W, Díaz-Delgado C, Sifuentes-Ibarra E (2014) Análisis de cuatro variables del período de lluvias asociadas al cultivo maíz de temporal. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas* 5: 101-114.
- López PP, Prieto PFG, Gaytán MM, Román ADG (2007) Caracterización fisicoquímica de diferentes variedades de cebada cultivadas en la Región Centro de México. *Revista Chilena Nutrición* 34: 1-12.
- Loredo OC, López RL, Espinosa VD (2004) Bacterias promotoras del crecimiento vegetal asociadas con gramíneas: una revisión. *Terra Latinoamericana* 22: 225-239.
- Mamani-Pati F, Clay DE, Carlson CG, Clay AS, 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.
- Naresh KS, Singh CP (2001) Growth analysis of maize during long and short duration crop seasons: influence of nitrogen source and dose. *Indian Journal of Agricultural Research* 35: 13-18.

- Pecina QV, Díaz FA, Williams AH, Rosales RE, Garza CI (2005) Influencia de fechas de siembra y biofertilizantes en sorgo. *Revista Fitotecnia Mexicana* 28: 389-392.
- Ritchie SW, Hanway JJ (1982) How a corn plant develops. Iowa State University of Science and Technology. Cooperative Extension Service. No. 48. Ames Iowa, USA. 21p.
- Rivetti A (2006) Producción de maíz bajo diferentes regímenes de riego complementario en Rio Cuarto, Córdoba, Argentina. I. Rendimiento en grano de maíz y sus componentes. *Revista de la Facultad de Ciencias Agrarias* 38: 25-36.
- Roveda G, Polo C (2007) Mecanismos de adaptación de maíz asociado a *Glomus* spp. En suelos con bajo fósforo disponible. *Agronomía colombiana* 25: 349-356.
- Sistema de Información Agropecuaria SIAP (2016) Sistema de Información Agropecuaria de Consulta. SAGARPA. México. Disponible en: http://www.siap.sagarpa.gob.mx/ar_comanuar.html. Fecha de consulta 29 de mayo de 2017.
- Smith SE, Read DJ (2008) Mycorrhizal Symbiosis. 3th Ed. Academic Press. NY, USA. 605p.
- Snyder RL (1985) Hand calculating degree-days. *Agricultural and Forest Meteorology* 35: 353-358.
- Uribe VG, Dzib ER (2006) Micorriza arbuscular (*Glomus intraradices*), *Azospirillum brasilense* y Brassinoesteroide, en la producción de maíz en suelo luvisol. *Agricultura Técnica en México* 32: 68-72.
- Villafaña ATL, Morales RJE, Estrada CG, Martínez RGC (2014) Determinantes ecofisiológicos del rendimiento en tres cultivares de trigo en función y fraccionamiento del nitrógeno. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas* 5: 405-419.
- Volke HV (1982) Optimización de insumos de la producción en la agricultura. Colegio de Postgraduados. Chapingo. México. 61p.
- Yu-kui R, Shi-ling J, Fu-Sou Z, Jian-Bo S (2009) Efectos de la aplicación de fertilizantes nitrogenado en la composición de los elementos en los granos de maíz. *Agrociencia* 43: 21-27.