

# Rentabilidad de sistemas de producción de grano y forraje de híbridos de maíz, con fertilización biológica y química en trópico seco

## Profitability of grain and fodder production systems of corn hybrids, with biological and chemical fertilization in dry tropic

Sergio Ayvar-Serna<sup>1</sup>, José Francisco Díaz-Nájera<sup>1</sup> , Mateo Vargas-Hernández<sup>2‡</sup> , Antonio Mena-Bahena<sup>1</sup>, Manuel Alejandro Tejeda-Reyes<sup>2</sup> y Zacarías Cuevas-Apresa<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Departamento de Fitotecnia, <sup>3</sup> Tesista del Depto. de Fitotecnia, Centro de Estudios Profesionales del Colegio Superior Agropecuario del estado de Guerrero. Avenida Vicente Guerrero no. 81. 40000 Iguala, Guerrero, México.

<sup>2</sup> Departamento de Parasitología Agrícola, Universidad Autónoma Chapingo. Carretera México-Texcoco km 38.5, Chapingo. 56230 Texcoco, Estado de México, México.

<sup>‡</sup> Autor para correspondencia (vargas\_mateo@hotmail.com)

### RESUMEN

En el ciclo agrícola primavera-verano de 2016 se evaluaron los híbridos P4082W, H565 y DK357 con fertilización química y química + biológica mediante un experimento factorial en arreglo de parcelas divididas. En los tratamientos con biofertilizante se inoculó la semilla con *Glomus intraradices* + *Azospirillum brasilense*; en la fertilización química se aplicó 120N-80P-80K. Se midieron las variables: altura, diámetro del cuello y número de hojas de la planta, número y peso de mazorcas con y sin brácteas, peso de brácteas, longitud y diámetro de la mazorca, número de hileras mazorca<sup>-1</sup>, peso de grano de 5 mazorcas, longitud, diámetro y peso del olote, rendimientos de grano, de forraje zacateado y de molido seco; para determinar la rentabilidad de los sistemas se calcularon el costo total (CT), ingreso total (IT), ingreso neto (IN) y la ganancia por peso invertido (GPI). El análisis estadístico incluyó análisis de varianza y prueba de comparaciones de medias con el método de Tukey. Se encontró que el híbrido DK357 registró la mayor altura, número de hojas, peso de grano, longitud de mazorca y del olote, rendimiento de grano y forraje tanto zacateado como molido seco. El genotipo P4082W obtuvo el mayor peso de mazorca con y sin brácteas. La fertilización química favoreció el rendimiento de forraje zacateado, y en combinación con la biológica,

incrementó el rendimiento de grano. Los híbridos DK357 y P4082W cultivados con fertilización química y biológica resultaron rentables en los sistemas para producción de grano solo, forraje zacateado y grano y forraje seco molido.

**Palabras clave:** biomasa, rendimiento, *Zea mays*.

### SUMMARY

In the spring-summer agricultural cycle of 2016, the hybrids P4082W, H565, and DK357 were evaluated with chemical and chemical + biological fertilization by means of a factorial experiment arranged in a split-plot design. In the treatments with biofertilizer the seed was inoculated with *Glomus intraradices* + *Azospirillum brasilense*; in chemical fertilization 120N-80P-80K was applied. The response variables measured were: height, diameter of the neck and number of leaves of the plant, number and weight of ears with and without bracts, weight of bracts, length and diameter of the ear, number of rows ear<sup>-1</sup>, grain weight of 5 ears of cobs, length, diameter and weight of the cobs, grain yield, fodder and dried grinding. To determine the profitability of the systems, the total cost (TC), total income (IT), and net income (IN) were calculated, and finally the gain by invested MXN peso (GIP). The statistical analysis included analysis of variance and test of comparisons

#### Cita recomendada:

Ayvar-Serna, S., J. F. Díaz-Nájera, M. Vargas-Hernández, A. Mena-Bahena, M. A. Tejeda-Reyes y Z. Cuevas-Apresa. 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.

DOI: <https://doi.org/10.28940/terra.v38i1.507>

Recibido: marzo 03 de 2019.

Aceptado: noviembre 15 de 2019.

Publicado en *Terra Latinoamericana* 38: 9-16.

of means by the Tukey method. It was found that the hybrid DK357 recorded the highest height, number of leaves, grain weight, length of ear and cob, yield of grain and forage, both “zacateado” and dried milled. The P4082W genotype obtained the highest weight of ear with and without bracts. The chemical fertilization favored the yield of forage zacateado, and in combination with the biological treatment, increased the yield of grain. The DK357 and P4082W hybrids grown with chemical and biological fertilization turned out to be profitable in the systems for the production of grain alone, forage grass and grain, and ground dried fodder.

**Index words:** *biomass, yield, Zea mays*.

## INTRODUCCIÓN

El grano de maíz es alimento ideal para el consumo directo o indirecto de la población, y el forraje se utiliza para alimentar al ganado, tiene el más alto valor comparado con otros cereales, por lo que se denomina el rey de los granos (Zaremanesh *et al.*, 2017). Es el cereal de mayor consumo de los mexicanos (297 kg per cápita). El país enfrenta un déficit aproximado de 8.3 millones de Mg año<sup>-1</sup>, que se satisface con la importación, la cual está aumentando de manera significativa (FIRA, 2015). En Sinaloa, Jalisco y Edo. de México, se utiliza mejor tecnología para obtener máximos rendimientos; sin embargo, en estados más pobres como Guerrero, la mayoría de los productores siembran en temporal y destinan más de 60% de la producción para autoconsumo (SAGARPA, 2011), con rendimiento cercano a 2.8 Mg ha<sup>-1</sup> (SIAP, 2016), el cual es afectado por factores bióticos, abióticos y de manejo agronómico. Por lo anterior, es importante aprovechar más eficientemente todos los recursos disponibles que influyen en el alto rendimiento, incluyendo la selección del material genético (híbrido) y la fertilización (Maciel *et al.*, 2018).

El éxito del cultivo depende de la calidad y cantidad de la semilla sembrada, así como del tipo de suelo, clima y manejo del cultivo desde la siembra hasta la cosecha. Los genotipos mejorados presentan características sobresalientes en cantidad y calidad de grano, vigor de la planta, tolerancia a estrés abiótico, a plagas, enfermedades y alto rendimiento. No obstante, es necesario investigar en condiciones edafoclimáticas de trópico seco, el manejo agronómico

más apropiado, fertilización química sola o combinada con la biológica, porque es factor determinante para incrementar el rendimiento de grano y forraje de maíz, cuando se suministra en forma suficiente, equilibrada y oportuna para que esté disponible especialmente en la fase fisiológica de floración, que es cuando se define la productividad del cultivo (Borrás y Otegui, 2001).

Al respecto, Peng *et al.* (2013) señalaron que el nitrógeno, fósforo, potasio, calcio, magnesio y azufre se requieren en grandes cantidades, porque constituyen del 0.2 al 0.4% del peso de la biomasa seca de la planta, y no siempre se encuentran en cantidades suficientes en el suelo para el desarrollo óptimo y producción del cultivo, por lo que se deben compensar estas deficiencias a través de la fertilización orgánica o química.

Se ha demostrado, en muchas regiones del mundo, que el nitrógeno es el nutriente esencial para aumentar el rendimiento de cereales básicos como el maíz, trigo y arroz (INTAGRI, 2017); porque cuando se encuentra disponible en el suelo, las plantas crecen rápido y acumulan más proteína en el grano (El-Zemrany *et al.* 2006); además, se incrementa el rendimiento y calidad del forraje (Sharma, 2002). Sin embargo, el uso intensivo e irracional de agroquímicos puede provocar daños colaterales de contaminación ambiental, riesgo para la salud, degradación del suelo e incremento de los costos de producción (Aazadi *et al.*, 2014), por lo que hoy en día se impulsa con vigor el uso de biofertilizantes para conservar el equilibrio ecológico en los suelos, mejorar el desarrollo de los cultivos (Tognetti *et al.*, 2005) y fortalecer la producción agrícola sostenible (Alimadadi *et al.*, 2010).

Los biofertilizantes contienen microorganismos fijadores de nitrógeno, fitopromotores, bacterias solubilizadoras de fosfato, promotores del crecimiento vegetal, rizobacterias, etc., incluyendo el hongo micorrízico *Glomus intraradices* Schenck y Smith, y la bacteria fijadora de nitrógeno *Azospirillum brasilense* Tarrand, que destacan entre los más estudiados y utilizados comercialmente en el mundo. Las especies del género *Azospirillum* favorecen el desarrollo de la raíz, el peso de brotes y el rendimiento de grano de maíz.

El presente trabajo se realizó con el objetivo de evaluar el efecto de la fertilización química con NPK sola y en combinación con biofertilizantes (*Glomus intraradices* + *Azospirillum brasilense*), sobre el crecimiento, desarrollo, rendimiento de grano y

forraje, así como la rentabilidad de tres híbridos mejorados de maíz, recomendados técnicamente para sembrarse comercialmente en la época de temporal y en condiciones edafoclimáticas del trópico seco (clima cálido subhúmedo).

## MATERIALES Y MÉTODOS

El experimento se estableció en el campo experimental del Colegio Superior Agropecuario del Estado de Guerrero (CSAEGro), ubicado en Cocula, Guerrero, México, a 18° 15' 52" N y 99° 38' 52" O, con clima AW (W)(i')g, o sea cálido y seco, con temperatura promedio anual de 28 a 32 C, precipitación de 767 mm y altitud de 640 m (García, 2005; Díaz *et al.*, 2018). En suelo plano, tipo vertisol, de textura arcillosa, con pH de 7.5 a 7.8, pobre en materia orgánica y nitrógeno total, alto en fósforo y medio en potasio.

Se evaluaron seis tratamientos consistentes en tres híbridos y dos niveles de fertilización: T1 = P4082W + fertilización química (FQ), T2 = H565 + FQ, T3 = DK357 + FQ, T4 = P4082W + FQ + Fertilización biológica (FB), T5 = H565 + FQ + FB y T6 = DK357 + FQ + FB, mediante un experimento factorial en arreglo de parcelas divididas; con tres repeticiones. La unidad experimental fue de 11 surcos con separación de 0.80 m y longitud de 10 m (88 m<sup>2</sup>). La parcela útil fue el surco central (8 m<sup>2</sup>). Se preparó el terreno mediante barbecho, rastreo y surcado. En los tratamientos T4, T5 y T6, se inoculó el biofertilizante Fito-Fértil (*Glomus intraradices* + *Azospirillum brasilense*), en dosis de 1 kg 20 kg<sup>-1</sup> de semilla y 100 mL kg<sup>-1</sup>, de adherente. Se sembró manual a chorrillo sobre el talud del surco, a 3 cm de profundidad. Se hizo el aclareo a los 25 días después de la siembra (dds) dejando 7 plantas m<sup>-1</sup> lineal (80 000 pl ha<sup>-1</sup>). Se utilizó la dosis de fertilización 120N-80P-80K (Gómez, 2016), aplicado en banda de manera fraccionada; la mitad de N y todo el P y K se incorporaron a 26 dds; la otra mitad de nitrógeno, a 48 dds. Se aplicaron los insecticidas terbufos, clorpirifos (15 dds), spinetoram (30 dds) en las dosis recomendadas comercialmente, y los herbicida atrazina (en preemergencia) y paraquat (postemergencia) a dosis de 2 L ha<sup>-1</sup>.

Se cortó el forraje zacateado en uno de los surcos centrales de la unidad experimental, a 130 dds, antes de la cosecha de grano; se secó al sol por 3 semanas y se pesó. Asimismo, en un segundo surco, a 20 días después de la cosecha de grano, se cortaron todas

las plantas en el cuello, se secaron al sol por 15 días, se molieron en molino de martillo (50-60 HP) y se pesó el material obtenido. En el tercer surco se cosechó la mazorca, a 140 dds. Se midieron altura de la planta (m), número de hojas planta<sup>-1</sup> y de mazorcas surco<sup>-1</sup>, peso de mazorcas con y sin brácteas (kg), longitud y diámetro de la mazorca (cm), rendimientos de forraje zacateado, forraje molido (kg) y grano (13% de humedad, en Mg ha<sup>-1</sup>).

Se analizaron los datos mediante un análisis de varianza y una comparación múltiple de medias (Tukey,  $\alpha = 0.05$ ) con el programa Statistical Analysis System (SAS Institute, 2018). Para determinar la rentabilidad se utilizaron las expresiones algebraicas siguientes, basados en la teoría económica (Krugman y Wells, 2006; Samuelson y Nordhaus, 2009): Costo total (CT). Se obtuvo de sumar los costos fijos (CF) más costos variables (CV) ( $CT = CF + CV$ ). Ingreso total (IT). Se calculó el ingreso obtenido por la venta de la producción de fruto fresco, empleando la fórmula:  $IT = Py Y$ , donde: Py = Precio del producto, Y = Producción por hectárea. Ingreso neto (IN). Resultó de restarle el ingreso total al costo total ( $IN = IT - CT$ ). Ganancia por peso invertido (GPI). Se obtuvo dividiendo el ingreso neto entre el costo total ( $GPI = IN / CT - 1$ ).

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Se encontraron más variables con diferencias estadísticas significativas por efecto del genotipo (híbrido) que por el tipo de fertilización y estos factores no presentaron efecto de interacción en ninguna de ellas ( $P = 0.6249$ ,  $P = 0.2697$ ,  $P = 0.9702$ ,  $P = 0.9289$ ,  $P = 0.2037$ ,  $P = 0.9527$ ,  $P = 0.1820$  y  $P = 0.9514$ , respectivamente).

**Altura de la planta.** Se encontró que el híbrido DK357 obtuvo la mayor altura (3.35 m), superando en 16.42% a H565 que obtuvo 2.8 m (Cuadro 1). Por otra parte, la fertilización química + biofertilizantes promovió la mayor altura de las plantas (3.2 m); mientras que, en las plantas tratadas solo con fertilizantes químicos, se obtuvieron 2.88 m de altura (Cuadro 1). Estos resultados indican que, en las condiciones edafoclimáticas de la zona de estudio, el híbrido DK357 posee el mayor potencial de crecimiento en comparación con P4082W y H565; por otra parte, también se determinó que, la fertilización química + biológica, favoreció la mayor altura en comparación con la fertilización inorgánica sola. Se explica este efecto favorable porque

**Cuadro 1. Comparación de los valores promedios de las variables que presentaron diferencias significativas por efecto de los factores de estudio.****Table 1. Average values comparison of the variables that presented significant differences due to the effect of the study factors.**

Genotipo	AP	NHP	PMCB	PMSB	LM	PGCM	RFMS
	m		- - - - kg - - - -		cm	g	Mg ha <sup>-1</sup>
DK357	3.35 a <sup>†</sup>	14.3 a	10.4 ab	9.5 ab	16.8 a	925 a	20.7 a
P4082W	2.97 b	13.0 ab	10.8 a	9.9 a	15.3 ab	8644.2 ab	19.9 ab
H565	2.80 b	12.7 b	9.0 b	8.2 b	15.7 a	794.2 b	15.1 b
DSH	0.3	1.53	1.53	1.4	1.18	135	5.14
Fertilización							
Química	3.20 a	12.8 a	9.8 a	8.9 a	15.5 a	813.3 a	18.9 a
Química + Biológica	2.88 b	13.9 a	10.4 a	9.5 a	16.4 a	906.9 a	18.2 a
DSH	0.25	1.12	0.62	0.75	1.03	100.64	2.99

<sup>†</sup> Valores de medias con letras iguales en la misma columna y sección no son estadísticamente diferentes (Tukey,  $\alpha = 0.05$ ). AP = altura de la planta; NHP = número de hojas planta<sup>-1</sup>; PMCB = peso de mazorcas con brácteas; PMSB = peso de mazorcas sin brácteas; LM = longitud de la mazorca; PGCM = peso de grano de cinco mazorcas; RFMS = rendimiento de forraje molido seco; DSH = diferencia significativa honesta de Tukey.

<sup>†</sup> Mean values with equal letters in the same column and section are not statistically different (Tukey,  $\alpha = 0.05$ ). AP = plant height; NHP = number of leaves plant<sup>-1</sup>; PMCB = weight of ears with bracts; PMSB = weight of ears without bracts; LM = length of the cob; PGCM = grain weight of five ears; RFMS = dry ground forage yield; DSH = Tukey's honest significant difference.

las micorrizas promueven el desarrollo del sistema radical, así como la absorción de agua y nutrientes (Basaglia *et al.*, 2003), mejorando el crecimiento y desarrollo de la planta; *Azospirillum brasilense* mejora la capacidad de la planta para utilizar los fertilizantes nitrogenados; además, Xiu (2014<sup>1</sup>) mencionó que la micorriza es capaz de producir sustancias que estimulan el crecimiento de las plantas; también Biari *et al.* (2008) encontraron que la altura de la planta de maíz se incrementó a partir de 45 días después de la inoculación (ddi) de *Azospirillum* sp. y *Azotobacter* sp.; mientras que Xiu (2014<sup>1</sup>) reportó que el maíz VS-536 inoculado con micorrizas y fertilizado con 50 o 100% del tratamiento químico, no presentó diferencias estadísticas en la altura.

**Número de hojas planta<sup>-1</sup>.** Destacó el híbrido DK357 con la mayor producción de hojas (14.33), y superó en 13% al promedio de 12.67 registrado en H565 (Cuadro 1). Aunque en el factor fertilización no se obtuvieron diferencias significativas ( $P = 0.0520$ ) (Cuadro 1), se observó que las plantas tratadas con fertilización química + biológica, obtuvieron el mayor valor promedio (Cuadro 1). Al respecto, Gholami *et al.* (2009) mencionaron que la inoculación de *Azospirillum* en plantas de maíz, incrementó el índice de área foliar; por otra parte, Xiu (2014<sup>1</sup>) descubrió

que plantas de maíz VS-536 tratadas con fertilizantes químicos, produjeron más hojas en comparación con las que recibieron sólo 50% fertilizantes químicos + micorrizas.

**Peso de mazorcas con brácteas.** Varió significativamente según el genotipo ( $P = 0.0266$ ), porque las mazorcas de P4082W pesaron 16.54% más que las producidas por H565 (Cuadro 1). Aunque la fertilización no influyó en esta variable, se obtuvo un promedio ligeramente mayor con la fertilización química + biológica (Cuadro 1); esta tendencia positiva, probablemente se explica porque las micorrizas promueven el desarrollo del sistema radical que es más eficiente en la absorción de agua y nutrientes y en consecuencia, se incrementa el desarrollo de las plantas y la producción de mazorcas (Bashan *et al.*, 2012).

**Peso de mazorcas sin brácteas.** En esta variable no existió diferencia estadística, sin embargo, se manifestó una tendencia similar a la característica anterior, porque las mazorcas del híbrido P4082W pesaron 9.89 kg, promedio 17.49% mayor que 8.2 kg obtenido con H565 (Cuadro 1); por otra parte, se determinó que la fertilización no influyó significativamente en esta variable ( $P = 0.1127$ ); sin embargo, fue mayor el promedio obtenido con la fertilización química + biológica (Cuadro 1).

<sup>1</sup> Xiu, A. K. 2014. Evaluación del crecimiento del maíz VS-536 inoculado con microorganismos (Micorrizas y *Azospirillum*), y con la adición de fertilizantes químicos en un suelo Luvisol. Informe Técnico de Residencia Profesional. Instituto Tecnológico de la Zona Maya (ITZM). Juan Sarabia, Quintana Roo, México.

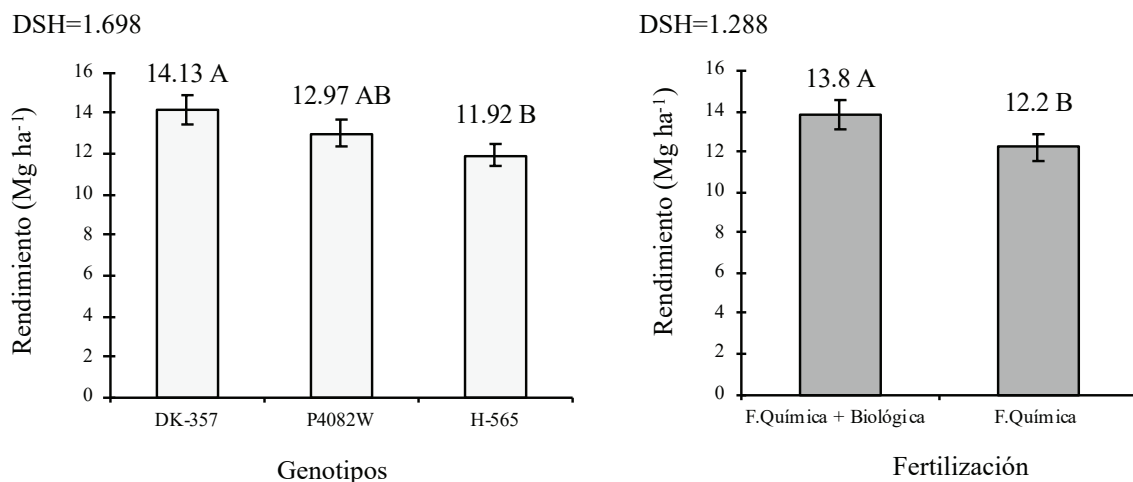


**Longitud de la mazorca.** Esta característica no exhibió diferencias estadísticas, no obstante las plantas del híbrido DK357 desarrollaron mazorcas de 16.8 cm, que es el mayor promedio, en comparación con 15.3 cm del P4082W (Cuadro 1). La fertilización no provocó efecto significativo ( $P = 0.0808$ ), a pesar de que con fertilización química + biológica, se produjeron mazorcas de 16.4 cm de longitud, contra 15.5 cm de la fertilización química (Cuadro 1); tales resultados podrían atribuirse a la mayor disponibilidad y suministro de nutrientes que pudo tener el cultivo, lo que provocó aumento en la longitud de la mazorca y mejoró la transferencia de asimilados (Anees *et al.*, 2016).

**Rendimiento de forraje molido seco.** En este experimento se encontró que el rendimiento de forraje molido seco no registró diferencias significativas, a pesar de eso las plantas del híbrido DK357 presentaron el mayor rendimiento de forraje, que fue de 20.66 Mg ha<sup>-1</sup> (Cuadro 1). La fertilización no influyó significativamente en el rendimiento de forraje molido seco ( $P = 0.5516$ ), pero las plantas con fertilización química presentaron un promedio superior al obtenido con fertilización química + biológica; resultados que difieren con lo reportado por Farnia y Torkaman (2015), quienes concluyeron que el rendimiento de biomasa de maíz, se incrementa con la aplicación de biofertilizantes. Cusicanqui y Lauer (1999)

mencionaron que el rendimiento de forraje en maíz, depende de los genotipos y densidad de población; aunque al aumentar ésta disminuyen la digestibilidad y la cantidad de proteína.

**Rendimiento de grano.** Se encontró que el rendimiento más alto fue de 14.13 Mg ha<sup>-1</sup> con el híbrido DK357, el cual fue mayor que el promedio de 11.92 Mg ha<sup>-1</sup> obtenido con H565 (Figura 1). Por otra parte, se determinó que el factor fertilización también influyó significativamente en el comportamiento de esta variable ( $P = 0.0229$ ), porque en las plantas con fertilización química más biofertilizante, se obtuvo el máximo rendimiento, de 13.8 Mg ha<sup>-1</sup> (Figura 1). Por último, la interacción del factor genotipo × fertilización, no afectó el rendimiento de grano. Farnia y Torkaman (2015) mencionaron que la fertilización con N y P + biológica, aumentan el rendimiento del maíz. El comportamiento del rendimiento puede variar en función del genotipo, temperatura, precipitación, propiedades físico-químicas del suelo y el manejo agronómico (García-Olivares *et al.*, 2007), quienes determinaron que el rendimiento de maíz puede variar dependiendo del genotipo utilizado; reportando que con Asgrow-Tigre, Dekalb-2003 y Garst-8222 se obtuvieron incrementos de 0.3, 1.3 y 0.3 Mg ha<sup>-1</sup>, respectivamente. La inoculación de la semilla, con *A. brasilense* y *Glomus* spp. puede aumentar el rendimiento de maíces criollos e híbridos (Aguilar-



**Figura 1. Efecto de los factores genotipo y fertilización sobre el rendimiento de grano en el cultivo de maíz.** Los valores promedio en las barras con letras iguales no son estadísticamente diferentes (Tukey  $\alpha = 0.05$ ). DSH = Diferencia significativa honesta de Tukey.

**Figure 1. Effect of genotype and fertilization factors on grain yield in corn cultivation.** The average values on the bars with equal letters are not statistically different (Tukey  $\alpha = 0.05$ ). DSH = Tukey's Honest significant difference.

Carpio *et al.*, 2015). Asimismo, la aplicación de *Glomus mosseae* ayuda a la nutrición de las plantas y la solubilización de nutrientes, especialmente de fósforo para ser aprovechado por las raíces (Faboodi *et al.*, 2011). También el uso de *Glomus intraradices* mejoró el contenido de N, P, K, Zn, Mn y Mg en maíz, y en trigo, soya, cebolla, chile y trébol rojo (Faboodi *et al.*, 2011). En maíz se encontró que la inoculación de *Glomus mosseae* mejoró la absorción de nitrógeno y fósforo, con y sin la fertilización con P; no obstante, en el suelo con menor contenido de este último elemento, las plantas de maíz inoculadas acumularon mayor cantidad de materia seca (Asmah, 1995). Además, Faboodi *et al.* (2011) determinaron que el rendimiento de maíz fue más alto, con la aplicación de micorriza y 150 kg de P ha<sup>-1</sup>.

**Análisis económico para producción de grano y forraje zacateado.** Se encontró que todos los tratamientos en estudio son rentables (Cuadro 2); no

obstante, se determinó que el tratamiento 6 (DK357 con fertilización química y biológica) obtuvo la mayor ganancia por peso invertido -GPI- (\$1.99) mientras que la menor fue \$1.32 y se encontró en donde se utilizó el genotipo H565 con solo fertilización química. Las actividades que generaron mayores costos fueron la fertilización, cosecha y comercialización del producto, representando 15.20, 42.55 y 42.25%, respectivamente, de los gastos totales.

**Análisis económico para producción de forraje molido seco.** Los resultados obtenidos en este análisis indican que todos los tratamientos son rentables y, de igual manera que en el análisis anterior, el tratamiento 6 (DK357 con fertilización inorgánica + biológica) fue el que obtuvo la mayor rentabilidad, con un costo total de \$25 310.00 y ganancia por peso invertido (GPI) de \$1.61. Mientras que los tratamientos 5 (H565 con fertilización química + biológica) y 2 (H565 con fertilización química) fueron los menos

**Cuadro 2. Estructura de costos y ganancia por peso invertido con fertilización química y fertilización química + biológica en maíz híbrido (\$ ha<sup>-1</sup>, 2017).**

**Table 2. Cost structure and weight gain invested with chemical fertilization and chemical + biological fertilization in hybrid corn (\$ ha<sup>-1</sup>, 2017).**

Sistemas de producción						
Producción de grano y forraje zacateado						
	P Q	H Q	D Q	P Q+B	H Q+B	D Q+B
CT	23 360.00	23 030.00	23 200.00	23 810.00	23 480.00	23 790.00
IT	59 735.00	53 420.00	64 665.00	65 580.00	61 195.00	71 180.00
IN	36 375.00	30 390.00	41 465.00	41 770.00	37 715.00	47 390.00
GPI	1.55	1.32	1.79	1.75	1.6	1.99
Producción de forraje molido seco						
CT	25 060.00	24 790.00	24 960.00	25 410.00	25 140.00	25 310.00
IT	64 800.00	47 970.00	57 780.00	54 660.00	42 780.00	66 180.00
IN	39 740.00	23 180.00	32 820.00	29 250.00	17 640.00	40 870.00
GPI	1.59	0.94	1.31	1.15	0.7	1.61
Producción de grano						
CT	16 710.00	16 380.00	16 710.00	17 160.00	16 830.00	17 140.00
IT	55 125.00	49 500.00	60 075.00	61 560.00	57 735.00	67 050.00
IN	38 415.00	33 120.00	43 365.00	44 400.00	40 905.00	49 910.00
GPI	2.3	2	2.6	2.59	2.43	2.91

P Q = P4082W con fertilización química; H Q = H565 con fertilización química; D Q = DK357 con fertilización química; P Q+B = P4082W con fertilización química + biológica; H Q+B = H565 con fertilización química + biológica; D Q+B = DK357 con fertilización química + biológica; CT = costo total; IT = ingreso total; IN = ingreso neto; GPI = ganancia por peso invertido.

P Q = P4082W with chemical fertilization; H Q = H565 with chemical fertilization; D Q = DK357 with chemical fertilization; P Q + B = P4082W with chemical + biological fertilization; H Q + B = H565 with chemical + biological fertilization; D Q + B = DK357 with chemical + biological fertilization; CT = total cost; IT = total income; IN = net income; GPI = gain by MXN peso invested.

rentables (Cuadro 2). Las actividades que implicaron los mayores costos fueron la fertilización, cosecha y comercialización.

**Análisis económico para producción de grano.** En este estudio se encontró que todos los tratamientos evaluados para la producción de grano, son rentables, porque la GPI que obtuvieron fluctuó desde \$2.00 (H565 con fertilización química) hasta \$2.91 (DK357 con fertilización biológica + química) (Cuadro 2). Los resultados obtenidos en el análisis económico para producción de grano demuestran las ventajas de aplicar fertilizantes biológicos y químicos combinados para incrementar la productividad en el cultivo de maíz.

**Comparación de la rentabilidad de los tres sistemas de producción de maíz.** Se encontró que los tres sistemas de producción agrícola son rentables. Sin embargo, en el cultivo de maíz para producción de grano, se obtuvieron \$2.47 de GPI, que fue la mayor rentabilidad de los tres sistemas de producción, porque se realizó menor inversión en las actividades de cosecha y trilla mecanizada. En segundo lugar, se encuentra la producción de grano y forraje zacateado, con \$1.67, debido a que la cosecha manual y el desgrane semimecanizado incrementaron los costos. Por último, se ubicó la producción de forraje seco molido, con \$1.22, porque el proceso de molienda fue la actividad más costosa, y por lo tanto se obtuvo la menor utilidad.

## CONCLUSIONES

El híbrido DK357 registró la mayor altura, número de hojas, peso del grano, longitud de la mazorca; rendimientos de forraje seco molido y de grano ha<sup>-1</sup>. El genotipo P4082W únicamente generó el mayor peso de mazorcas con y sin brácteas. El material DK357 presentó el mayor rendimiento de grano y forraje tanto zacateado como molido seco. La fertilización química aplicada sola favoreció al rendimiento de forraje zacateado. La fertilización química + biológica promovió más rendimiento de grano que cuando se utilizó en forma individual. La interacción entre las fertilizaciones química y química + biológica, con los híbridos, no influyó en las variables estudiadas. Todos los híbridos manejados con fertilización química y química+biológica fueron rentables para producción de forraje zacateado+grano, rendimiento, y forraje seco molido.

## LITERATURA CITADA

- Aazadi, M. S., S. A. Siyadat, M. Mehdi-Poor Syahbidi, and E. Younesi. 2014. The study effect of nitrogen, *Azotobacter* spp. and *Azospirillum* spp. on phenological and morphological traits of durum wheat cultivars in Dehloran region, Iran. *Cercetări Agronom. Moldova* 48: 15-21. doi: <https://doi.org/10.2478/cerce-2014-0002>.
- Aguilar-Carpio, C., J. A. S. Escalante-Estrada, I. Aguilar-Mariscal, J. A. Mejía-Contreras, V. F. Conde-Martínez y A. Trinidad-Santos. 2015. Rendimiento y rentabilidad de maíz en función del genotipo, biofertilizante y nitrógeno, en clima cálido. *Trop. Subtrop. Agroecosyst.* 18: 151-163.
- Alimadadi, A., M. R. Jahansouz, H. Besharati, and R. Tavakkol Afshari. 2010. Evaluating the effects of phosphate solubilizing microorganisms, mycorrhizal fungi and seed priming on nodulation of chickpea. *Iranian J. Soil Res.* 24 : 44-53.
- Anees, M. U., H. Z. Khan, Z. Ahmad, M. Javaid Akhter, A. Ahmad, F. Ahmad Choudhary, and N. Ahmad. 2016. Role of organic amendments and micronutrients in maize (*Zea mays* L.) sown in calcareous soils. *Am. Eur. J. Agric. Environ. Sci.* 16: 795-800. doi: 10.5829/idosi.ajeaes.2016.16.4.12879.
- Asmah, A. E. 1995. Effect of phosphorus source and rate of application of VAM fungal infection and growth of maize (*Zea mays* L.). *Mycorrhiza* 5: 223-228. doi: <https://doi.org/10.1007/BF00203342>.
- Basaglia, M., S. Casella, U. Peruch, S. Poggiolini, T. Vamerali, G. Mosca, J. Vanderleyden, P. de Troch, and M. P. Nuti. 2003. Field release of genetically marked *Azospirillum brasilense* in association with *Sorghum bicolor* L. *Plant Soil* 256: 281-290. doi: <https://doi.org/10.1023/A:1026198522123>.
- Bashan, Y., B. G. Salazar, M. Moreno, B. R. López, and R. G. Linderman. 2012. Restoration of eroded soil in the Sonoran Desert with native leguminous trees using plant growth-promoting microorganisms and limited amounts of compost and water. *J. Environ. Manage.* 102: 26-36. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2011.12.032>.
- Biari, A., A. Gholami, and H. A. Rahmani. 2008. Growth promotion and enhanced nutrient uptake of maize (*Zea mays* L.) by application of plant growth promoting rhizobacteria in arid region of Iran. *J. Biol. Sci.* 8: 1015-1020. doi: 10.3923/jbs.2008.1015.1020.
- Borrás, L. and M. E. Otegui. 2001. Maize kernel weight response to postflowering source-sink ratio. *Crop Sci.* 49: 1816-1822. doi: 10.2135/cropsci2001.1816.
- Cusicanqui, J. A. and J. G. Lauer. 1999. Plant density and hybrid influence on corn forage yield and quality. *Agron. J.* 91: 911-915. doi: 10.2134/agronj1999.916911x.
- Díaz-Nájera, J. F., J. Sahagún-Castellanos, M. Vargas-Hernández, S. Ayvar-Serna, O. G. Alvarado-Gómez, C. Villanueva-Verduzco, and M. Acosta-Ramos. 2018. Diagnosis and integrated management of fruit rot in *Cucurbita argyrosperma*, caused by *Sclerotium rolfsii*. *The Plant Pathol. J.* 34: 171-181. doi: 10.5423/PPJ.OA.08.2017.0185.

- El-Zemrany, H., J. Cortet, M. P. Lutz, A. Chabert, E. Baudoin, J. Haurat, N. Maughan, D. Félix, G. Défago, R. Bally, and Y. Moënné-Loccoz. 2006. Field survival of the phytostimulator *Azospirillum lipoferum* CRT1 and functional impact on maize crop, biodegradation of crop residues, and soil faunal indicators in a context of decreasing nitrogen fertilisation. *Soil Biol. Biochem.* 38: 1712-1726. doi: <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2005.11.025>.
- Faboodi, M., M. Alfarmani, A. Faramarzi, and S. Shahrokhi. 2011. Phosphorus levels effects on quantitative and qualitative characteristics of corn in presence and absence of a biofertilizer. 2nd International Conference on Agricultural and Animal Science. IPCBEE Vol. 22. 129-132. IACSIT Press, Singapore.
- Farnia, A. and H. Torkaman. 2015. Effect of different biofertilizers on yield and yield components of maize (*Zea mays* L.). *Bull. Environ. Pharmacol. Life Sci.* 4: 75-79.
- FIRA (Fideicomisos Instituidos en Relación con la Agricultura). 2015. Panorama agroalimentario. Edición internet: [https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/61952/Panorama Agroalimentario\\_Maíz\\_2015.pdf](https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/61952/Panorama_Agroalimentario_Maíz_2015.pdf) (Consulta: marzo 17, 2017).
- García, E. 2005. Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen. Instituto de Geografía, UNAM. México, D. F., México.
- García O., J. G., V. R. Moreno M., I. C. Rodríguez L., A. Mendoza H. y N. Mayek P. 2007. Efecto de cepas de *Azospirillum brasilense* en el crecimiento y rendimiento de grano del maíz. *Rev. Fitotec. Mex.* 30: 305-310.
- Gholami, A., S. Shahsavani, and S. Nezarat. 2009. The effect of plant growth promoting rhizobacteria (PGPR) on germination seedling growth and yield of maize. *World Acad. Sci. Engin. Technol.* 49: 19-24.
- Gómez M., N. O., F. Palemón A., G. Reyes G., C. A. Hernández G., M. A. Cantú A., P. Juárez L. y A. Ascencio A. 2016. Rendimiento de grano y características fenotípicas de maíz: Efecto de ambiente y dosis de fertilización. *Rev. Mex. Cienc. Agríc.* 7: 1801-1813.
- INTAGRI (Instituto para la Innovación Tecnológica en Agricultura). 2017. Fijación de potasio en el suelo. Serie suelos Núm. 31. Artículos técnicos de INTAGRI. México.
- Krugman, P. y R. Wells. 2006. Introducción a la economía, microeconomía. Reverte. Barcelona España.
- Maciel, de O. S., R. E. M. Almeida, I. A. Ciampitti, C. Pierozan Jr., B. C. Lago, P. C. O. Trivelin, and J. L. Favarin. 2018. Understanding N timing in corn yield and fertilizer N recovery: An insight from an isotopic labeled-N determination. *PloS/one* 13(2). e0192776. doi: 10.1371/journal.pone.0192776.
- Peng, S. H., W. M. Wan-Azha, W. Z. Wong, W. Z. Go, E. W. Chai, K. L. Chin, and P. S. H'ng. 2013. Effect of using agro-fertilizers and N-fixing *Azotobacter* enhanced biofertilizers on the growth and yield of corn. *J. Appl. Sci.* 13: 508-512. doi: 10.3923/jas.2013.508.512.
- SAS Institute. 2018. SAS/SAT user's guide. Version 6.4. SAS Institute. Cary, NC, USA.
- SAGARPA (Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural). 2011. Evaluación de pérdidas en el sistema producto maíz. Comité Técnico Estatal de Evaluación. Informe final. Diciembre 2011. Agenda de Evaluación. SAGARPA. Gobierno de Guerrero. Guerrero, México.
- Samuelson, P. A. y W. D. Nordhaus. 2009. Economía. McGraw-Hill Interamericana. Madrid, España. ISBN: 9788448151546.
- Sharma, A. K. 2002. Biofertilizers: For sustainable agriculture. Agrobios. ISBN-13: 978-8177541182.
- SIAP (Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera). 2016. Atlas agroalimentario 2016. Publicaciones SIAP. México, D. F.
- Tognetti, C., F. Laos, M. J. Mazzarino, and M. T. Hernández. 2005. Composting vs. Vermicomposting: A comparison of end product quality. *Compost Sci. Utilizat.* 13: 6-13. doi: <https://doi.org/10.1080/1065657X.2005.10702212>.
- Zaremanesh, H., B. Nasiri, and A. Amiri. 2017. The effect of vermicompost biological fertilizer on corn yield. *J. Mater. Environ. Sci.* 8: 154-159.