



Acta universitaria

ISSN: 0188-6266

ISSN: 2007-9621

Universidad de Guanajuato, Dirección de Investigación y Posgrado

Aguilar Carpio, Cid; Arriaga Rubio, Luz María; Cervantes Adame, Yessica Flor; Arenas-Julio, Yasmani R.; Escalante-Estrada, José Alberto Salvador
Rentabilidad y producción del maíz VS-535 en respuesta a la fertilización química y biológica
Acta universitaria, vol. 32, e3285, 2022
Universidad de Guanajuato, Dirección de Investigación y Posgrado

DOI: <https://doi.org/10.15174/au.2022.3285>

Disponible en: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=41674605034>

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

UAGM [redalyc.org](https://www.redalyc.org)

Sistema de Información Científica Redalyc
Red de Revistas Científicas de América Latina y el Caribe, España y Portugal
Proyecto académico sin fines de lucro, desarrollado bajo la iniciativa de acceso abierto

Rentabilidad y producción del maíz VS-535 en respuesta a la fertilización química y biológica

Profitability and production of VS-535 corn in response to chemical and biological fertilization

Cid Aguilar Carpio¹, Luz María Arriaga Rubio², Yessica Flor Cervantes Adame^{4*}, Yasmani R. Arenas-Julio³, José Alberto Salvador Escalante-Estrada¹

¹Programa de Botánica. Campus Montecillo, Colegio de Postgraduados.

²IDAGRO S. de R. L. de C. V.

³Instituto de Investigación y Capacitación Agropecuaria Acuicola y Forestal del Estado de México (ICAMEX).

^{4*}Escuela de Estudios Superiores de Xalostoc, Universidad Autónoma del Estado de Morelos (UAEM). yessica.cervantes@uaem.mx.

*Autor de correspondencia

Resumen

El maíz es el cultivo más importante para los productores mexicanos, sin embargo, los bajos rendimientos y el alto costo generan una baja rentabilidad en el cultivo, por lo que productos biológicos pudieran mejorar la producción en el cultivo. Con el objetivo de determinar el efecto de la fertilización química y biológica sobre la rentabilidad, crecimiento y rendimiento del maíz VS-535, este estudio se llevó a cabo bajo condiciones de riego en el ejido de Cacahuatlán, municipio de Tlayacapan, Morelos, México. Se utilizó un diseño de bloques completos al azar y cuatro repeticiones. Se evaluaron cinco tratamientos con aplicación de *Rhizophagus irregularis* en asociación con la fertilización química. Las variables bajo estudio se sometieron a un análisis de varianza, comparación de medias Tukey, análisis de regresión y rentabilidad. Los resultados muestran que el fertilizante químico al 100% en asociaciones con *Rhizophagus irregularis* promovió la mejor altura, área foliar, peso seco y rentabilidad. El mayor rendimiento y peso de granos se logró con la fertilización al 100% + *Rhizophagus irregularis*, así como con la fertilización química al 100%.

Palabras clave: Rendimiento de grano; materia seca; biofertilización.

Abstract

Corn is the most important crop for Mexican farmers; however, low yields and high costs generate low profitability in the crop, so biological products could improve production in the crop. Aiming to determine the effect of chemical and biological fertilization on the profitability, growth, and yield of VS-535 corn, this study was carried out under irrigation conditions in the ejido of Cacahuatlán, municipality of Tlayacapan, Morelos, Mexico. A random complete block design and four repetitions were used. Five *Rhizophagus irregularis* application treatments were evaluated in association with chemical fertilization. The variables under study were subjected to an analysis of variance, comparison of Tukey means, regression analysis, and profitability. The results show that the 100% chemical fertilizer in association with *Rhizophagus irregularis* promoted the best height, leaf area, dry weight, and profitability. The highest grain yield and weight was achieved with 100% + *Rhizophagus irregularis* fertilization, as well as with 100% chemical fertilization.

Keywords: Grain yield; dry matter; biofertilization.

Recibido: 04 de agosto de 2021

Aceptado: 28 de abril de 2022

Publicado: 08 de junio de 2022

Cómo citar: Aguilar Carpio, C., Arriaga Rubio, L. M., Cervantes Adame, Y. F., Arenas Julio, Y. R., & Escalante Estrada, J. A. S. (2022). Rentabilidad y producción del maíz VS-535 en respuesta a la fertilización química y biológica. *Acta Universitaria* 32, e3285. doi: <http://doi.org/10.15174/au.2022.3285>

Introducción

La producción de cereales es de gran importancia a nivel mundial, el maíz no es la excepción. Estados Unidos y China destacan como los principales productores de grano y biocombustibles (Velázquez-Xochimil, 2018). En México, el maíz es uno de los cultivos más esenciales para su población, constituye la base de la alimentación al aportar energía y proteínas (297 kg, consumo *per cápita*) (Aguilar-Carpio *et al.*, 2017; Domínguez *et al.*, 2014). A nivel nacional se siembran alrededor de 7 157 586 ha para cultivos en modalidad de riego y temporal. Dentro de los 10 principales estados productores de maíz en México para el 2020 se encuentran Sinaloa, Jalisco, Michoacán, México, Guanajuato, Guerrero, Veracruz, Chiapas, Chihuahua y Puebla. Por otro lado, en Morelos se siembran alrededor de 38 709 ha, con una producción de 163 613 t y con un rendimiento promedio de 4.2 t ha⁻¹ (Sistema de Información Agropecuaria [SIAP], 2020).

La producción de maíz en el estado de Morelos ha disminuido debido al uso de genotipos criollos, aunado a superficies con bajo potencial productivo, por lo que el uso de semilla mejorada (por ejemplo, variedades sintéticas e híbridos) son elementos claves que conviene sembrar por su alto potencial de producción y sus características agronómicas favorables como tolerancia a enfermedades, resistencia al acame y ciclo vegetativo corto (Aguilar-Carpio *et al.*, 2015; Aguilar-Carpio *et al.*, 2017; González-Mateos, 2018).

Por otro lado, el uso de fertilizantes químicos es esencial para alcanzar los mayores rendimientos en el cultivo de maíz (Aguilar *et al.*, 2016). No obstante, las formas de producción tradicionales, es decir, con exceso de fertilizantes sintéticos, han originado como consecuencia la contaminación de suelos y aguas, el decremento de la biodiversidad y el incremento de los costos de producción. Por lo cual, es indispensable implementar alternativas como los productos de origen biológico que permitan mejorar la productividad de los cultivos, disminuir el uso de fertilizantes químicos, reducir el riesgo ambiente y aumentar las ganancias en el cultivo (Ayvar-Serna *et al.*, 2020).

La fertilización biológica se basa en la utilización de insumos naturales, dentro de los que se encuentran los abonos orgánicos, compostas, biosólidos y microorganismos como hongos y bacterias. Adicionalmente, su uso permite mejorar la productividad por área cultivada, mitigar la contaminación del suelo y del agua e incrementar la fertilidad del suelo (Díaz *et al.*, 2013).

Múltiples trabajos han mostrado que los fertilizantes biológicos influyen en el crecimiento de los cultivos y el rendimiento de grano en maíz (Aguilar-Carpio *et al.*, 2015; Aguilar-Carpio *et al.*, 2017). En este contexto, el objetivo del presente estudio fue determinar el efecto de la fertilización química y biológica sobre la rentabilidad, crecimiento y rendimiento de grano en el cultivo de maíz VS-535.

Materiales y métodos

El estudio se estableció en condiciones de riego en el ejido de Cacahuatlán, municipio de Tlayacapan, Morelos, México (18° 55' 8.78" N; 98° 59' 36.95" O; a 1300 m.s.n.m.) para conocer las características iniciales del suelo en los primeros 30 cm de profundidad, previo al establecimiento del estudio se realizó un análisis físico y químico en el Laboratorio de Nutrición Vegetal S. C., Fertilab. Los resultados indicaron que es un suelo de textura franco, densidad aparente de 1.12 g cm⁻³, pH de 7.36, conductividad eléctrica de 1.62 dS m⁻¹, materia orgánica del 1.93 %, nitrógeno inorgánico de 3.29 ppm, fósforo de 63.7 ppm y potasio de 218 ppm.

El 13 de enero de 2020 se sembró la variedad sintética VS-535. Los tratamientos consistieron en la aplicación al suelo de hongos micorrícicos arbusculares *Rhizophagus irregularis* (Błaszk, Wubet, Renker & Buscot) C. Walker & A. Schüßler, antes *Glomus intraradices* (Glomeraceae), en asociación con la fertilización química a base de urea, fosfato monoamónico y cloruro de potasio (180-100-60), el cual se aplicó de forma fraccionada; mientras que todo el fósforo, el potasio y la mitad del nitrógeno se aplicó al momento de la siembra; y el resto del nitrógeno se aplicó a los 30 días después de la siembra (dds). La aplicación del hongo se realizó en Drench a los 20 dds, 40 dds y 60 dds, en donde se utilizó la especie *Rhizophagus irregularis* (30 000 esporas por kg), la cual fue obtenida del producto comercial Micorrizafer de la Biofabrica Siglo XXI. Los tratamientos se describen en la Tabla 1. Los cinco tratamientos se distribuyeron en un diseño de bloques completos al azar y cuatro repeticiones:

$$Y_{ijk} = \mu + \beta_i + T_j + \varepsilon_{ijk}$$

donde Y_{ijk} es la variable respuesta, β_i es el efecto del i-ésimo bloque, T_j es el efecto del j-ésimo tratamiento y ε_{ijk} es el error experimental. La superficie de cada unidad experimental se conformó de tres surcos de 0.8 m de ancho y 4 m de largo. La densidad de población fue de cinco plantas por m⁻². Antes de la siembra se realizó un riego para asegurar la germinación de la semilla; posteriormente, se regó cada nueve días hasta el llenado de grano (ocho riegos). En cuanto al manejo agronómico, a los 20 dds y 40 dds se aplicaron los herbicidas nicosulfuron + 2,4-D sobre el complejo de malezas monocotiledóneas y dicotiledóneas. Con respecto al control de plagas (gusano cogollero), en etapa vegetativa se realizaron tres aplicaciones del insecticida bifentrina.

Tabla 1. Tratamientos utilizados en el estudio.

Tratamientos	Dosis
1. Testigo	Sin aplicación
2. Fertilización química (100%)	180-100-60 NPK 1 kg ha ⁻¹
3. <i>Rhizophagus irregularis</i>	(30 000 esporas por kg)
4. Fertilización química (50%) + <i>Rhizophagus irregularis</i>	90-50-30 NPK + 1 kg ha ⁻¹ (30 000 esporas por kg)
5. Fertilización química (100%) + <i>Rhizophagus irregularis</i>	180-100-60 NPK + 1 kg ha ⁻¹ (30 000 esporas por kg)

Fuente: Elaboración propia.

Durante el desarrollo del estudio se registró la temperatura máxima (T_{máx}) y mínima (T_{mín}) semanal, datos proporcionados por el Servicio Meteorológico Nacional (SMN) de la Comisión Nacional del Agua (Conagua). Así mismo, se calculó la acumulación de unidades calor (UC), mediante el método residual de Snyder (1985), el cual es descrito por la siguiente ecuación:

$$UC = \left(\frac{T_{máx} + T_{mín}}{2} \right) - TB$$

donde T_{máx} = Temperatura máxima diaria (°C), T_{mín} = Temperatura mínima diaria (°C) y TB = Temperatura base, considerada como 10 °C (Íñiguez-Covarrubias *et al.*, 2014). Las etapas fenológicas registradas fueron: días a emergencia (E), días a floración (FL) y días a madurez fisiológica (MF), de acuerdo con el criterio de Ritchie & Hanway (1982).

Para evaluar el crecimiento del cultivo, se hicieron muestreos destructivos de dos plantas en la parcela útil de cada unidad experimental a los 30 dds, 60 dds y 90 dds. En cada muestreo se registró la altura de la planta y el área foliar con un integrador electrónico (LI-COR 3100).

También se evaluó la materia seca por planta (MS, g) y se cuantificó con una báscula digital (OHAUS®), con aproximación de 0.0001 g, 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 relativo ($\overline{TCR}$) y absoluta de crecimiento ($\overline{TAC}$) mediante las ecuaciones siguientes:

$$\overline{TCR} = \frac{\ln PS_2 - \ln PS_1}{T_2 - T_1}$$

donde $\ln PS_2$ y $\ln PS_1$ indican el logaritmo natural del peso de la materia seca de la planta en los tiempos T_2 y T_1 , respectivamente (Escalante & Kohashi, 2015);

$$\overline{TAC} = \frac{PS_2 - PS_1}{T_2 - T_1}$$

donde PS_2 y PS_1 indican el peso de la materia seca de la planta en los tiempos T_2 y T_1 , respectivamente (Escalante & Kohashi, 2015).

A madurez fisiológica se evaluó el rendimiento de grano (RG, 10% de humedad, g m⁻²), peso de 100 granos (P100G, g) y número de granos por mazorca (NGM).

A las variables en estudio se les aplicó un análisis de varianza con el programa estadístico de SAS versión 9.0 (SAS, 2003) y la prueba de comparación de medias de Tukey ($\alpha = 0.05$). A las variables área foliar, altura y peso seco de la planta se les realizó un análisis de regresión y se obtuvo la ecuación correspondiente, con el programa Excel®, Microsoft Office de Windows.

Adicionalmente, se realizó un análisis económico para determinar la rentabilidad de cada tratamiento, tomando en cuenta el costo total (CT) y el ingreso total (IT), que sirvieron de base para determinar el ingreso neto (IN) y la ganancia por peso invertido (GPI). Se utilizaron las siguientes ecuaciones (Bueno-Jáquez *et al.*, 2005):

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

$$CT = (CF + CV)$$

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

$$IT = Py Y$$

donde Py = Precio del producto y Y = Producción ha⁻¹.

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

$$IN = (IT - CT)$$

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

$$GPI = (IN/CT)$$

Resultados

En la Figura 1 se observan las condiciones climáticas (media semanal) en las que se desarrolló el cultivo de maíz, en donde la T_{máx} y T_{mín} durante el ciclo del cultivo osciló entre 35.8 °C a 13.9 °C, respectivamente. Durante la etapa de siembra (S) a FL, la T_{máx} y T_{mín} promedio fue de 32 °C a 13.9 °C, y de FL a MF fue de 35.8 °C a 17.6 °C, respectivamente.

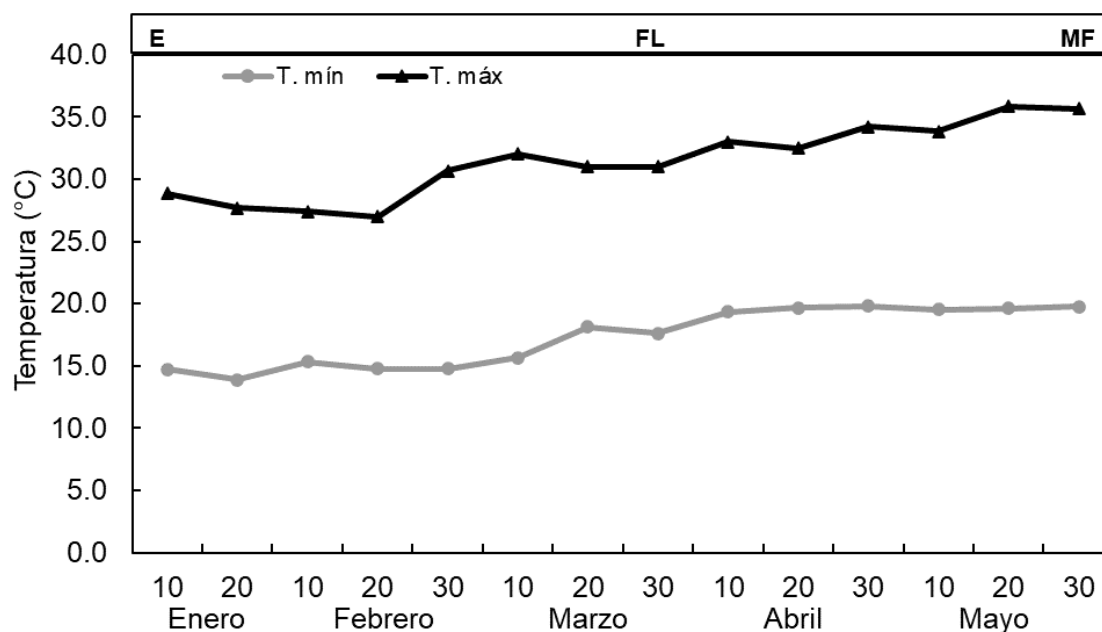


Figura 1. Medias decenales de la temperatura máxima (T_{máx}) y mínima (T_{mín}) durante el ciclo del cultivo del maíz VS-535. S = Siembra, E = Emergencia, FL = Floración, MF = Madurez fisiológica.
Fuente: Elaboración propia.

La acumulación de UC durante el ciclo del cultivo mostró una relación lineal con el tiempo que respondió al modelo $y = a + bx$ (Figura 2). El genotipo en estudio presentó la E a los 5 dds con un requerimiento de calor de 59.5 UC. La floración ocurrió a los 76 dds con 1012 UC, y la MF fue a los 140 dds (2082 UC). Cabe señalar que la acumulación total de UC se relaciona con la duración del ciclo del cultivo.

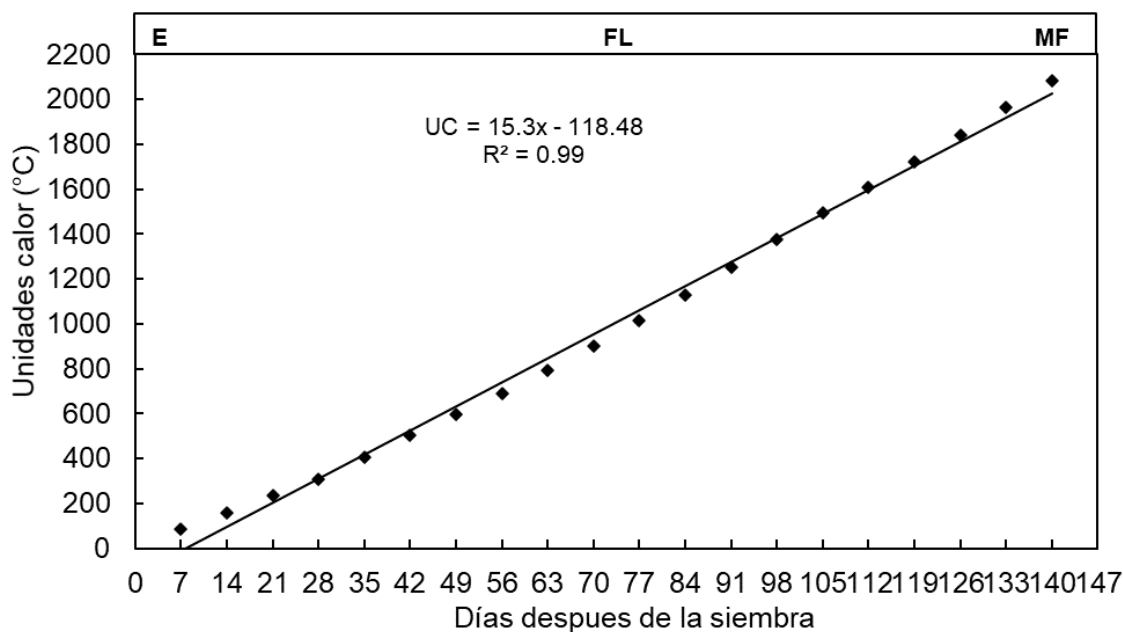


Figura 2. Unidades calor (UC) y fenología durante el ciclo del cultivo de maíz VS-535. E = Emergencia, FL = Floración, MF = Madurez fisiológica.
Fuente: Elaboración propia.

A los 90 dds, la fertilización química al 100% en combinación con *Rhizophagus irregularis* generó la mayor altura de planta (185.33 cm), con un incremento por día de 3.4 cm, en comparación al testigo, en el cual se presentó la menor altura durante el ciclo del cultivo (Figura 3). Es importante señalar que la aplicación de la fertilización química al 50% en asociación con *Rhizophagus irregularis* a los 90 dds presentó una mayor altura (183.33 cm) respecto a la fertilización química al 100%, (180.17 cm).

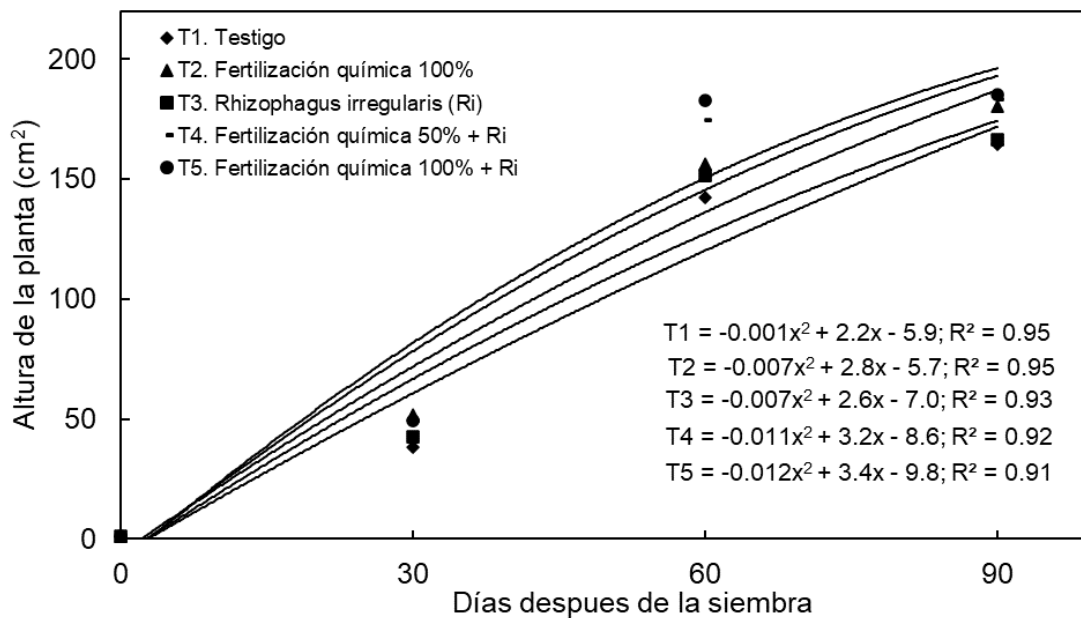


Figura 3. Efecto de la fertilización química y biológica sobre la altura de la planta de maíz VS-535.
Fuente: Elaboración propia.

El área foliar se afectó positivamente cuando se aplicó la fertilización química y biológica, los cuales superaron a la aplicación del hongo micorrícico solo y al testigo (Figura 4). Esta respuesta a la fertilización química y biológica se ajustó a un modelo cuadrático. Puede apreciarse que la fertilización química (100%) en asociación con *Rhizophagus irregularis* produjo la mayor área foliar por día ($138.98 \text{ cm}^2 \text{ día}^{-1}$), respecto a la fertilización química al 100% ($131.07 \text{ cm}^2 \text{ día}^{-1}$). Cabe señalar que la máxima expansión foliar se pudo observar a los 60 dds con la fertilización química (100%) en asociación con *Rhizophagus irregularis* (6442.22 cm^2).

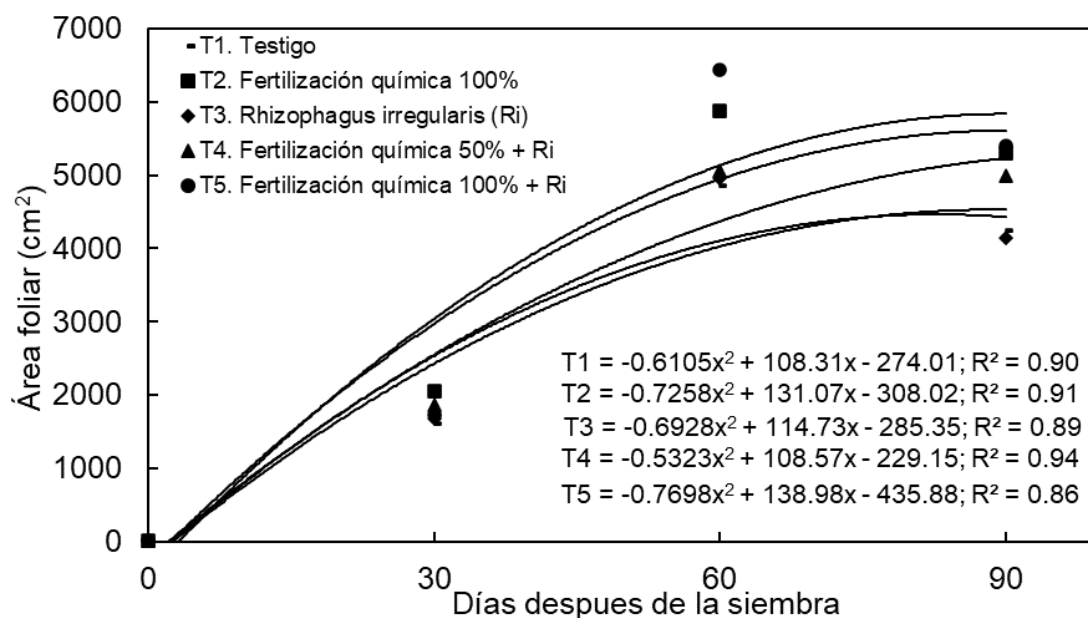


Figura 4. Efecto de la fertilización química y biológica sobre el área foliar en plantas de maíz VS-535.
Fuente: Elaboración propia.

En cuanto al peso seco de la planta, la aplicación del fertilizante químico (100%) en asociación con *Rhizophagus irregularis* presentó el valor más alto ($268.3 \text{ g planta}^{-1}$) a los 90 dds, esto con respecto a los demás tratamientos (Figura 5). Durante el desarrollo del cultivo, las tendencias del peso seco se ajustaron a un modelo cuadrático. Así, el peso seco de la planta por día fue de 0.69 g con la fertilización química (100%) y biológica, el cual superó a la fertilización química sola (0.55 g día^{-1}), así como también a la fertilización química al 50% + *Rhizophagus irregularis* (0.58 g día^{-1}).

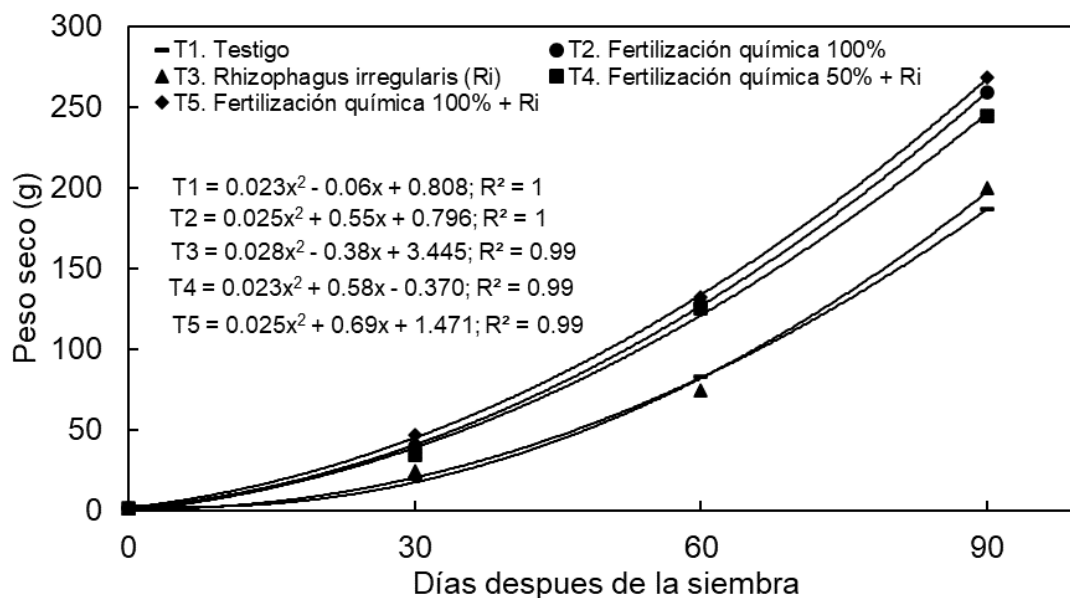


Figura 5. Efecto de la fertilización química y biológica sobre el peso seco de la planta de maíz VS-535.
Fuente: Elaboración propia.

Con respecto a la TRC, se observó que la máxima formación de materia seca se observó al inicio del cultivo de los 0 dds a 30 dds, el cual disminuyó a medida que fue creciendo el cultivo, siendo la TRC más baja a los 90 dds (Tabla 2), contrario a la TCA, donde se observa que los valores más altos de acumulación de materia seca por día se presentaron entre los 60 dds y 90 dds (Tabla 2). Al realizar el análisis de varianza y la prueba de comparación de medias Tukey sobre las variables TCA y TRC, no se registraron diferencias estadísticamente significativas entre los tratamientos.

Tabla 2. Efecto de la fertilización química y biológica sobre la tasa de crecimiento absoluta (TCA) y tasa relativa de crecimiento (TRC) en el cultivo de maíz VS-535.

Tratamientos	TCA (g día ⁻¹)			TRC (g g ⁻¹ día ⁻¹)		
	0 - 30	30 - 60	60 - 90	0 - 30	30 - 60	60 - 90
1. Testigo	0.62 a*	2.11 a	3.46 a	0.10 a	0.05 a	0.03 a
2. Fertilización química (100%)	1.30 a	2.92 a	4.40 a	0.12 a	0.04 a	0.02 a
3. <i>Rhizophagus irregularis</i>	0.79 a	1.67 a	4.18 a	0.11 a	0.04 a	0.03 a
4. Fertilización química (50%) + <i>Rhizophagus irregularis</i>	1.12 a	3.02 a	4.00 a	0.12 a	0.04 a	0.02 a
5. Fertilización química (100%) + <i>Rhizophagus irregularis</i>	1.51 a	2.87 a	4.53 a	0.13 a	0.03 a	0.02 a
Tukey $\alpha = 0.05$ (DMS)	0.9	1.5	3.6	0.03	0.03	0.02
CV (%)	32.1	21.5	31.1	9.1	27.4	32.1

*En columnas, para cada tratamiento, letras similares indican que los valores son estadísticamente iguales. CV = Coeficiente de variación. DMS = Diferencia mínima significativa.
Fuente: Elaboración propia.

En el rendimiento de grano, número de granos por mazorca y peso de 100 granos (Tabla 3) se encontró que el análisis de varianza y la prueba de comparación de medias Tukey mostró diferencias significativas entre tratamiento. En la Tabla 3 se muestra que el RG, NGM y P100S presentaron los valores más altos con a la fertilización química (100%) + *Rhizophagus irregularis*, el cual no mostró diferencias respecto a la fertilización al 100%, este a su vez tampoco fue diferente a fertilización química al 50% + *Rhizophagus irregularis*. En relación con el testigo sin aplicación, este no mostró diferencias respecto a la inoculación de *Rhizophagus irregularis*, tanto para el RG como para NGM; no así en el P100G, en donde sí se observó un efecto significativo con la aplicación del fertilizante biológico que generó un aumento en el peso del 29.5% en comparación al testigo.

Tabla 3. Efecto de la fertilización química y biológica sobre el rendimiento de grano (RG), número de granos por mazorca (NGM) y peso de 100 granos (P100G) en el maíz VS-535.

Tratamientos	RG (t ha ⁻¹)	NGM	P100G (g)
1. Testigo	3.367 d ^a	447 b	14.1 d
2. Fertilización química (100%)	5.617 ab	537 ab	25.6 ab
3. <i>Rhizophagus irregularis</i>	4.131 cd	481 ab	18.4 c
4. Fertilización química (50%) + <i>Rhizophagus irregularis</i>	4.808 bc	501 ab	23.2 b
5. Fertilización química (100%) + <i>Rhizophagus irregularis</i>	6.134 a	578 a	28.3 a
Tukey $\alpha = 0.05$ (DMS)	0.897	124.1	3.3
CV (%)	6.6	8.6	5.4

^aEn columnas, para cada tratamiento, letras similares indican que los valores son estadísticamente iguales. CV = Coeficiente de variación. DMS = Diferencia mínima significativa.
Fuente: Elaboración propia.

En cuanto a la rentabilidad en la producción de grano en el cultivo del maíz VS-535, se encontró que la aplicación del fertilizante químico (100%) en asociación con *Rhizophagus irregularis* generó el mayor ingreso neto (Tabla 4). A pesar de que el costo total fue el más alto, también lo fue el ingreso total, lo cual al final genera una mayor GPI; ya que, por cada peso invertido, se recuperó \$ 0.71 pesos.

Tabla 4. Rendimiento de grano (RG), ingresos totales (IT), costos totales (CT), ingresos netos (IN) y ganancia por peso invertido (GPI) en el maíz VS-535 en función de la fertilización química y biológica.

Tratamientos	IT	CT	IN	GPI
	(\$)			
1. Testigo	20 202.00	14 345.00	5857.00	0.41
2. Fertilización química (100%)	33 702.00	20 220.30	13 481.70	0.67
3. <i>Rhizophagus irregularis</i>	24 786.00	15 695.00	9091.00	0.58
4. Fertilización química (50%) + <i>Rhizophagus irregularis</i>	28 848.00	19 032.65	9815.35	0.52
5. Fertilización química (100%) + <i>Rhizophagus irregularis</i>	36 804.00	21 570.30	15 233.70	0.71

IT = RG x precio por kg de maíz (\$ 6.00).
Fuente: Elaboración propia.

Discusión

El cultivo de maíz VS-535 se desarrolló en temperaturas que oscilaron entre 35.8 °C y 13.9 °C. Dichos valores se encuentran dentro del umbral térmico promedio de 34 °C a 24 °C, apropiado para cultivares de maíz adaptados para climas cálidos (Aguilar-Carpio *et al.*, 2017). Lo anterior indica que el genotipo en estudio no se vio afectado por las temperaturas observadas, ya que las temperaturas máximas en las que se afecta el cultivo de maíz se encuentran entre los 40 °C y 44 °C (Kiniry & Bonhomme, 1991).

Para la acumulación de UC, durante el ciclo del cultivo fue de 2082 UC. Cabe señalar que la acumulación total de UC se relaciona con la duración del ciclo del cultivo. Al respecto, Aguilar-Carpio *et al.* (2015) registraron en el cultivo de maíz VS-535, en condiciones de riego para Iguala, Guerrero, requerimiento térmico de 1808 UC, datos casi similares a los del presente estudio. En referencia, Aguilar-Carpio *et al.* (2017) reportaron en el cultivo de maíz VS-535, en lluvias para Iguala, Guerrero, requerimiento térmico de 3096 UC, valor superior al encontrado en el presente estudio. Posiblemente las diferencias se deban a los diferentes lugares, épocas de siembra y condiciones ambientales de temperatura y evaporación.

A los 90 dds, la fertilización química al 100% en asociación con *Rhizophagus irregularis* generó la mayor altura y peso seco de la planta; y para el área foliar, la respuesta más alta se presentó a los 60 dds, mientras que en el testigo se observaron los valores más bajos. Esto nos indica que la altura de la planta está relacionada con la aportación de los nutrimentos esenciales aplicados en el suelo, lo que posiblemente promovió un aumento en la velocidad de alargamiento y división celular (Azcón-Bieto & Talón, 2008). Los nutrientes son aprovechados por las plantas a través de la simbiosis con los microorganismos, cuyos micelios actúan como enlace con las raíces de la planta (Martínez *et al.*, 2018). La disponibilidad de los nutrientes en el suelo, y a su vez el hongo, favoreció el crecimiento de la raíz, que promovió un aumento en el aparato fotosintético y, en consecuencia, una mayor área y peso del dosel vegetal. Por su parte, Montejo-Martínez *et al.* (2018), Martínez *et al.* (2018) y Parra-Cota *et al.* (2018) no observaron diferencias en la altura de la planta entre la fertilización química y el uso de fertilizantes biológicos. No obstante, Ayvar-Serna *et al.* (2020) y Aguilar-Carpio *et al.* (2017) encontraron que la mayor altura y área foliar de la planta de maíz se presentó con la fertilización química, respecto a la asociación del fertilizante químico y biológico. Estas diferencias se debieron a las condiciones climáticas en las que se desarrolló el cultivo de maíz, ya que las altas temperaturas en Iguala y Cocula, Guerrero, pudo afectar el crecimiento del hongo. Estudios realizados por Aguilar-Carpio *et al.* (2017) y Montejo-Martínez *et al.* (2018) reportaron una mejor producción de peso seco de la planta de maíz con la aplicación de nitrógeno en asociación con *Rhizophagus irregularis* y *Azospirillum brasilense*. Esos resultados presentaron tendencias similares a los reportados en el presente estudio.

Para la tasa relativa de crecimiento se encontró que la mayor producción de materia seca fue en los primeros 30 días del cultivo, que fue cuando la planta manifestó una mejor eficiencia para producir materia seca por unidad de materia seca presente, contrario o lo obtenido en la tasa absoluta de crecimiento, en donde el mayor aumento del peso seco de la planta por unidad de tiempo se distribuyó en el periodo de los 60 dds a 90 dds. Lo anterior indica que la mayor velocidad de crecimiento de la planta se realizó al inicio de su ciclo, el cual se redujo a medida que se fue desarrollando, además de que empezó la formación de órganos reproductivos, que es cuando comenzó la acumulación de materia seca (Benedetto & Tognetti, 2016). Cabe indicar que el análisis estadístico no presentó una evidencia clara del efecto de los tratamientos sobre la estructura de la planta. Al respecto, Montejo-Martínez *et al.* (2018) observaron en la TRC que entre tratamientos con fertilizantes químicos y orgánicos no presentaron diferencias, esta tendencia es similar a los resultados del presente estudio.

En relación con el rendimiento, número de granos por mazorca y peso de 100 grano, se observó que la aplicación del fertilizante químico al 100% en asociación con el biológico no mostró diferencias significativas respecto a la fertilización al 100%. Sin embargo, también se pudo registrar que el fertilizante químico al 50% en asociación con *Rhizophagus irregularis* no fue significativo con relación a la fertilización química al 100%. Esto indica que la incorporación de microorganismos al suelo puede impactar de forma positiva en el rendimiento y sus componentes en el cultivo de maíz al reducir la fuente de fertilización química, lo que posiblemente pudiera ayudar a disminuir la aplicación de fertilizantes inorgánicos y contaminación ambiental. Los microorganismos promovieron una mayor acumulación de fotoasimilados hacia el grano, lo que propicia un incremento en su peso, finalizando con una mayor producción en el rendimiento de grano. El uso del fertilizante biológico también generó un aumento en la captación de nutrientes del suelo, que al final influyó en la aparición y cuajado de furtos (granos) (Aguilar-Carpio *et al.*, 2015; Armenta-Bojórquez *et al.*, 2010; Azcón-Bieto & Talón, 2008). Al respecto, Aguilar-Carpio *et al.* (2017) y Ayvar-Serna *et al.* (2020) reportaron un mayor rendimiento de maíz con el uso de la fertilización química + biológica. En contraste, Aguilar-Carpio *et al.* (2015) y Martínez *et al.* (2018) encontraron que al aplicar la fertilización química y biológica no observaron diferencias significativas entre los diferentes fertilizantes. González-Mateos (2018) registraron variabilidad en la respuesta al biofertilizante sobre el rendimiento de maíz en diferentes zonas de Guerrero. Aguilar-Carpio *et al.* (2015), en condiciones de riego para Iguala, Guerrero, encontraron que con el uso de fertilizantes biológicos se generó un mayor número de granos por mazorca y peso de 100 granos que cuando no se aplicó el fertilizante biológico. Esto es contrario a lo reportado por Aguilar-Carpio *et al.* (2017), Martínez *et al.* (2018) y Ayvar-Serna *et al.* (2020) para Chiapas y Guerrero en temporal, donde no registraron diferencias en el peso de granos cuando aplicaron una fertilización química en mezcla con un biológico respecto a la fertilización química sola.

En cuanto a la rentabilidad en la producción de grano en el cultivo del maíz VS-535, se encontró que la aplicación del fertilizante químico en asociación con *Rhizophagus irregularis* generó el mayor ingreso neto. Estos resultados sugieren que el uso de fertilizantes químicos + biológicos logra un mejor beneficio económico, al incrementar la rentabilidad en la producción de grano en el cultivo de maíz. Al respecto, Aguilar-Carpio *et al.* (2017), Martínez *et al.* (2018) y Ayvar-Serna *et al.* (2020) encontraron una mejor rentabilidad con el uso de la fertilización biológica + química en comparación con la fertilización química para la producción de grano en diferentes genotipos de maíz. Esto contrasta con lo observado por Aguilar-Carpio *et al.* (2015), en donde la aplicación de fertilizantes biológicos en el maíz VS-535 generó una menor rentabilidad respecto a la fertilización química sola.

En general, el uso del fertilizante biológico (*Rhizophagus irregularis*) en asociación con el fertilizante químico al 50% vislumbró efectos favorables sobre las variables evaluadas, en comparación con la fertilización sola. Este comportamiento puede deberse a que el hongo promovió una mejor asimilación de los nutrientes del suelo, mejorando así la estructura de la planta, como lo señalan Tadeo *et al.* (2017), Rentería *et al.* (2018), Hernández-Reyes *et al.* (2019) y Ayvar-Serna *et al.* (2020). De acuerdo con los resultados encontrados, se sugiere emplear fertilizantes biológicos (*Rhizophagus irregularis*) en el cultivo de maíz, por presentar un aumento en la producción del dosel vegetal, rendimiento del cultivo y rentabilidad.

Conclusiones

La aplicación del fertilizante químico al 100% en asociaciones con *Rhizophagus irregularis* promovió la mejor altura, área foliar, peso seco de la planta, además de que fue el tratamiento más rentable en la producción del cultivo de maíz VS-535 por presentar el mayor ingreso neto y ganancia por peso invertido. El mayor rendimiento de grano y peso de 100 granos se logró con la fertilización al 100% + *Rhizophagus irregularis*, así como con la fertilización química al 100%.

Agradecimientos

Este agradecimiento es para la Universidad Autónoma del Estado de Morelos, por prestar sus equipos de medición para la toma de datos del presente estudio.

Conflictos de interés

No existe conflicto de interés.

Referencias

- Aguilar, C., Escalante, J. A. S., Aguilar, I., Mejía, J. A., Conde, V. F., & Trinidad, A. (2016). Eficiencia agronómica, rendimiento y rentabilidad de genotipos de maíz en función del nitrógeno. *Terra Latinoamericana*, 34(4), 1-11. <https://www.terralatinoamericana.org.mx/index.php/terra/article/view/176/143>
- Aguilar-Carpio, C., Escalante-Estrada, J. A. S., Aguilar-Mariscal, I., Mejía-Contreras, J. A., Conde-Martínez, V. F., & Trinidad-Santos, A. (2015). Rendimiento y rentabilidad de maíz en función del genotipo, biofertilizante y nitrógeno, en clima cálido. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, 18(2), 151-163. <https://www.revista.ccba.uady.mx/ojs/index.php/TSA/article/view/1953/970>
- Aguilar-Carpio, C., Escalante-Estrada, J. A. S., Aguilar-Mariscal, I., & Pérez-Ramírez, A. (2017). Crecimiento, rendimiento y rentabilidad del maíz VS-535 en función del biofertilizante y nitrógeno. *Ecosistemas y Recursos Agropecuarios*, 4(12), 475-483. doi: <https://doi.org/10.19136/era.a4n12.1000>
- Armenta-Bojórquez, A. D., García-Gutiérrez, C., Camacho-Báez, J. R., Apodaca-Sánchez, M. A., Gerardo-Montoya, L., & Nava-Pérez, E. (2010). Biofertilizantes en el desarrollo agrícola de México. *Ra Ximhai*, 6(1), 51-56. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=46112896007>
- Ayvar-Serna, S., Díaz-Nájera, J. F., Vargas-Hernández, M., Mena-Bahena, A., Tejeda-Reyes, M. A., & Cuevas-Apresa, Z. (2020). Rentabilidad de sistemas de producción de grano y forraje de híbridos de maíz, con fertilización biológica y química en trópico seco. *Terra Latinoamericana*, 38(1), 9-16. doi: <https://doi.org/10.28940/terra.v38i1.507>
- Azcón-Bieto, J., & Talón, M. (2008). *Fundamentos de fisiología vegetal* (2a ed.). McGraw-Hill.
- Bueno-Jáquez, J. E., Alonso-López, A., Volke-Haller, V., Gallardo-López, F., Ojeda-Ramírez, M. M., & Mosqueda-Vázquez, R. (2005). Respuesta del papayo a la fertilización con nitrógeno, fosforo y potasio en un luvisol. *Terra Latinoamericana*, 23(3), 409-415. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=57311101013>
- Di Benedetto, A., & Tognetti, J. (2016). Técnicas de análisis de crecimiento de plantas: Su aplicación a cultivos intensivos. *RIA*, 42(3), 258-282. http://ria.inta.gob.ar/sites/default/files/revisiones/di-benedetto-castellano-4_1.pdf
- Díaz, A., Ortiz, F. E., Lozano, M. G., Aguado, G. A., & Grageda, O. A. (2013). Growth, mineral absorption and yield of maize inoculated with microbe strains. *African Journal of Agricultural Research*, 8(28), 3764-3769. doi: <https://doi.org/10.5897/AJAR2012.6662>
- Domínguez, C. A., Brambila, J. J., Carballo, A., & Quero, A. R. (2014). Red de valor para maíz con alta calidad de proteína. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 5(1), 391-403. http://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S2007-09342014000300005&script=sci_abstract&tlng=pt

- Escalante, J. A. S., & Kohashi, S. J. (2015). *El rendimiento y crecimiento del frijol. Manual para la toma de datos*. Colegio de Postgraduados.
- González-Mateos, R. (2018). Rendimiento de maíz (*Zea mays* L.) y respuesta a fuentes y dosis de fertilizantes, en Guerrero, México. *Agroproductividad*, 11(1), 22-31. <https://revista-agroproductividad.org/index.php/agroproductividad/article/view/146>
- Hernández-Reyes, B. M., Rodríguez-Palacio, M. C., Castilla-Hernández, P., Sánchez-Robles, J., Vela-Correa, G., & Schettino-Bermúdez, B. (2019). Uso potencial de cianobacterias como biofertilizante para el cultivo de maíz azul en la Ciudad de México. *Revista Latinoamericana de Biotecnología Ambiental y Algal*, 10(1), 13-27.
- 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(1), 101-114. <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=263129782009>
- Kiniry, J. R., & Bonhomme, R. (1991). Predicting maize phenology. En T. Hodges (ed.), *Physiological aspects of predicting crop phenology* (pp. 115-131). CRC Press.
- Martínez, L., Aguilar, C. E., Carcaño, M. G., Galdámez, J., Morales, J. A., Martínez, F. B., Llaven, J., & Gómez, E. (2018). Biofertilización y fertilización química en maíz (*Zea mays* L.) en Villaflores, Chiapas, México. *Siembra*, 5(1), 26-37. doi: <https://doi.org/10.29166/siembra.v5i1.1425>
- Montejo-Martínez, D., Casanova-Lugo, F., García-Gómez, M., Oros-Ortega, I., Díaz-Echeverría, V., & Morales-Maldonado, E. R. (2018). Respuesta foliar y radical del maíz a la fertilización biológica-química en un suelo Luvisol. *Agronomía Mesoamericana*, 29(2), 325-341. doi: <https://doi.org/10.15517/ma.v29i2.29511>
- Parra-Cota, F. I., Coronel-Acosta, C., Amézquita-Avilés, C. F., De Los Santos-Villalobos, S., & Escalante-Martínez, D. I. (2018). Diversidad metabólica de microorganismos edáficos asociados al cultivo de maíz en el Valle del Yaqui, Sonora. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 9(2), 431-442. doi: <https://doi.org/10.29312/remexca.v9i2.1083>
- Rentería, P., Simental, F., & Portillo, A. C. (2018). Evaluación de dosis de biofertilizantes y sanialgas en la producción de maíz (*Zea mays* L.) forrajero en la Comarca, Lagunera. *Ingeniería y Región*, 20(1), 25-31. doi: <https://doi.org/10.25054/22161325.1932>
- Ritchie, S. W., & Hanway, J. J. (1982). *How a corn plant develops*. Cooperative Extension Service.
- Sistema de Información Agropecuaria (SIAP). (2020). *Sistema de información agropecuaria de consulta*. Secretaría de Agricultura, Ganadería y Desarrollo Rural (Sagarpa). <https://nube.siap.gob.mx/cierreagricola/>
- Snyder, R. L. (1985). Hand calculating degree days. *Agricultural and Forest Meteorology*, 35(1-4), 353-358. doi: [https://doi.org/10.1016/0168-1923\(85\)90095-4](https://doi.org/10.1016/0168-1923(85)90095-4)
- Statistical Analysis Software (SAS). (2003). *Institute SAS/STAT user's guide Release 9.1*. SAS Institute.
- Tadeo, M., García, J. J., Alcántar, H. J., Lobato, R., Gómez, N. O., Sierra, M., Irizar, M. B. G., Valdivia, R., Zaragoza, J., Martínez, B., López, C., Espinosa, A., & Turrent, A. (2017). Biofertilización en híbridos de maíz androestériles y fértiles para los Valles Altos de México. *Terra Latinoamericana*, 35(1), 65-75. http://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S0187-57792017000100065&script=sci_arttext
- Velázquez-Xochimil, H. G. (2018). Determinación del óptimo técnico y económico en maíz (*Zea mays* L.) modalidad temporal del Estado de México. *Agroproductividad*, 11(1), 15-21. <https://mail.revista-agroproductividad.org/index.php/agroproductividad/article/view/145>