

Efecto de microorganismos simbios en el comportamiento forrajero de maíces

Effect of symbiotic microorganisms on the foraging behavior of corn

Andrés Gilberto Limas-Martínez¹ , Emmanuel de Jesús Amaro-Perea², Camelia Alejandra Herrera-Corredor² , Gilberto Ballesteros-Rodea² , Edwin Rafael Alvarado-Ramírez^{1,3} , Marco Antonio Rivas-Jacobo^{2*} 

¹Universidad Autónoma de Tamaulipas, Facultad de Ingeniería y Ciencias. Centro Universitario Victoria, CP. 87149. Ciudad Victoria, Tamaulipas, México.

²Universidad Autónoma de San Luis Potosí, Facultad de Agronomía y Veterinaria, Carretera San Luis - Matehuala km 14.5, CP. 78321. Ejido Palma de la Cruz, Soledad de Graciano Sánchez, San Luis Potosí, México.

³Universidad Autónoma de Tamaulipas, Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia. Carretera Cd. Victoria - Cd. Mante km 5, CP. 87274. Ejido Santa Librada, Ciudad Victoria, Tamaulipas, México.

*Autor de correspondencia: marco.rivas@uaslp.mx

Artículo científico

Recibido: 22 de marzo 2024

Aceptado: 09 de julio 2025

RESUMEN. Los promotores del crecimiento vegetal, considerados una alternativa para aumentar los rendimientos en los cultivos y reducir los costos de producción en la agricultura moderna. El objetivo fue evaluar promotores del crecimiento vegetal en la productividad de diversas variedades de maíz con fines forrajeros y el comportamiento de sus componentes morfológicos, en Soledad de Graciano Sánchez, S. L. P. a 22° 12' LN y 100° 51' LO, a 1 835 m de altura. El clima es seco frío, con temperatura media anual de 18° C y precipitación anual de 350 mm. Se utilizaron 10 variedades de maíz criollos o locales e híbridos recruzados de diferentes orígenes, a los cuales se les aplicó *Azospirillum brasilense*, *Azospirillum b.* + Ectomicorrizas, *Azospirillum b.* + *Bacillus subtilis*, *Azospirillum b.* + *Trichoderma harzianum* y el testigo sin promotor del crecimiento. Se midió altura, diámetro y número de hojas de la planta, así como el rendimiento de la materia verde de hoja, tallo, elote y total. Se utilizó un modelo estadístico de bloques al azar y prueba de comparación de medias Tukey al 0.05. Los resultados mostraron efecto de variedad en altura, diámetro y número de hojas, así como en rendimiento de hojas, tallo, elote y total, y efectos por los promotores del crecimiento vegetal en número de hojas, rendimiento de hojas, elotes y total (58 150 kg ha⁻¹), y el testigo mostró menores valores (47 250 kg ha⁻¹). Esto demuestra que el uso de promotores del crecimiento es una alternativa en los incrementos del rendimiento.

Palabras clave: Maíces criollos, rendimiento de forraje, componentes morfológicos, bacterias, micorrizas.

ABSTRACT. Promoters of plant growth considered an alternative to increase crop yields and reduce production costs in modern agriculture. The objective was to evaluate plant growth promoters in productivity of various varieties of corn for forage purposes and the behavior of their morphological components, in Soledad of Graciano Sánchez, S. L. P. at 22° 12' LN and 100° 51' LO, at 1 835 m altitude. The climate is dry cold, with an average annual temperature of 18° C and annual precipitation of 350 mm. 10 varieties of native or local corn and recrossed hybrids from different origins were used, to which *Azospirillum brasilense*, *Azospirillum b.* + Ectomycorrhizas, *Azospirillum b.* + *Bacillus subtilis*, *Azospirillum b.* + *Trichoderma harzianum* and the control without growth promoter. Plant height, diameter and number of leaves were measured, as well as the yield of leaf, stem, corn and total green matter. A random block statistical model and Tukey mean comparison test at 0.05 were used. The results showed that there was an effect of the varietie on the height, diameter and number of leaves, as well as on the yield of leaves, stem, corn and total, and effects of the plant growth promoters on number of leaves, yield of leaves, corn and total (58150 kg ha⁻¹), and the control showed lower values (47 250 kg ha⁻¹). This shows that the use of growth promoters is an alternative to increase performance.

Keywords: Creole corn, forage yield, morphological components, bacteria, mycorrhizae.

Como citar: Limas-Martínez AG, Amaro-Perea E de J, Herrera-Corredor CA, Ballesteros-Rodea G, Alvarado-Ramírez ER, Rivas-Jacobo MA (2025) Efecto de microorganismos simbios en el comportamiento forrajero de maíces. Ecosistemas y Recursos Agropecuarios 12(2): e4099. DOI: 10.19136/era.a12n2.4099.

INTRODUCCIÓN

El grano de maíz es el principal producto para consumo humano y en segundo lugar para el ganado, y otra forma de utilizar la planta de maíz es como forraje, que se ofrece para la alimentación animal como forraje en verde, ensilado, en seco y como subproducto. El maíz forrajero en México juega un papel muy importante como fuente de energía en las dietas para la alimentación de rumiantes, es muy utilizado en la alimentación del ganado bovino destinado para la producción de carne y leche en países de América y Europa (Robles *et al.* 2017). La superficie destinada a la siembra de maíz para forraje es de cerca de 191 mil ha en riego y 370 mil ha en temporal, con rendimiento de forraje verde de 44.2 t ha⁻¹ en riego y 20.8 t ha⁻¹ en temporal (SIAP 2020). El maíz forrajero es considerado del valor más alto de los ensilados, debido al aporte de materia seca, azúcares solubles, almidón y capacidad buffer (Sánchez-Ledezma e Hidalgo-Ardón 2018). Sin embargo, cabe mencionar que los rendimientos de materia verde de maíz para forraje obtenidos en México oscilan entre 50 y 80 t ha⁻¹ (FIRA 2022).

La agricultura convencional depende del uso de fertilizantes minerales solubles, con el fin de obtener altos rendimientos en los cultivos, sin embargo, la aplicación excesiva de los fertilizantes ha provocado eutrofización, toxicidad de las aguas, contaminación de aguas subterráneas, contaminación del aire, degradación del suelo y de los ecosistemas, desequilibrios biológicos y reducción de la biodiversidad (González *et al.* 2015, Chen *et al.* 2018). Se sabe que las plantas solo pueden absorber entre un 30 y 50% de los fertilizantes químicos (N, P₂O₅ y K₂O), ya que el resto se pierde en el suelo. Otro nutriente químico es el fósforo, y ante un mal uso en la agricultura se genera aceleración del proceso de eutrofización en los cuerpos de agua y conduce a la floración de cianobacterias (Wang *et al.* 2018).

Algunas de las técnicas biotecnológicas que apoyan la mejora de la producción de maíz desde la semilla, es el uso de bacterias promotoras del crecimiento vegetal (BPCV) para mejorar la germinación y el peso seco de las plántulas asociadas a los mecanismos de la promoción del crecimiento vegetal debido a la solubilización de fosfatos, producción de ácido indol acético y de sideróforos, así como el antagonismo contra hongos fitopatógenos (Sánchez-Ceja *et al.* 2024). Las BPCV son microorganismos promisorios como alternativa posible para reducir los costos de la nutrición vegetal (De-Souza *et al.* 2015). Las BPCV ayudan a las plantas vasculares según Rai y Nabti (2017), en potenciar la solubilización y reciclaje de nutrientes, producción de hormonas estimuladoras del crecimiento, fijación de nitrógeno, inducción de defensa de las plantas, producción de antibióticos, entre otros. En la búsqueda de alternativas para disminuir el uso de nutrientes químicos Khabbaz *et al.* (2019), Reyna *et al.* (2023) reportan que las rizobacterias promotoras del crecimiento vegetal (RPCV), se asocian a las raíces cerca o incluso en el interior de los tejidos, estimulando los ciclos biogeoquímicos de los nutrientes, fijan nitrógeno atmosférico de forma no simbiótica, solubilizan fosfatos, producen reguladores del crecimiento y sideróforos, además de que reducen el ataque de microorganismos patógenos e insectos. Mientras que Uribe y Dzib (2006) reportan que la aplicación de micorrizas *Glomus intraradices*, *Azospirillum brasilense* y la fitohormona Brassinoesteroide, con y sin aplicación de fertilizantes químicos, tuvo efectos en los días a floración masculina, pero no en altura de planta y rendimiento. En cambio, Aguilar-Carpio *et al.* (2022) observaron que la aplicación de biofertilizante y nitrógeno en maíz ocasionó

incrementos en la producción de materia seca total, rendimiento de grano y sus componentes en función del genotipo utilizado. De acuerdo con la revisión realizada, el objetivo fue evaluar el uso de microorganismos simbios en la productividad y comportamiento de los componentes morfológicos de variedades de maíz forrajero.

MATERIALES Y MÉTODOS

Localización

El presente estudio se llevó a cabo en el campo agrícola de la Facultad de Agronomía y Veterinaria de la Universidad Autónoma de San Luis Potosí (UASLP), en el Ejido Palma de la Cruz, Soledad de Graciano Sánchez, S. L. P. ubicada en las coordenadas geográficas a 22° 12' Latitud Norte y 100° 51' Longitud Oeste del Meridiano de Greenwich a altitud de 1 835 m. La clasificación del clima corresponde a la fórmula BS kw'' (w) (i'), que equivale a un clima seco frío, con temperatura media anual de 18° C. Los meses más calurosos se presentan en mayo, junio y julio, y las temperaturas más frías desde principio de octubre hasta principios de abril. La precipitación anual es de 350 mm (García 2004).

Tratamientos

Los tratamientos fueron los promotores del crecimiento vegetal (PCV) simbios. Dos bacterias (*Azospirillum brasilense* y *Bacillus subtilis*) y dos hongos de ectomicorriza (*Glomus versiforme* y *Glomus intraradices*) y (*Trichoderma harzianum*) en diferentes combinaciones (Tabla 1).

Tabla 1. Relación de tratamientos de promotores del crecimiento vegetal.

Tratamiento	Promotor de Crecimiento Vegetal	Concentración UFC ml ⁻¹	Dosis
Tratamiento 1	<i>Azospirillum brasilense</i>	2x10 ¹²	2 L ha ⁻¹
Tratamiento 2	<i>Azospirillum b.</i> + Ectomicorriza	1x10 ¹² y 1x10 ⁷	2 L ha ⁻¹ + 2 L ha ⁻¹
Tratamiento 3	<i>Azospirillum b.</i> + <i>Bacillus subtilis</i>	2x10 ¹² y 1x10 ⁸	2 L ha ⁻¹ + 2 L ha ⁻¹
Tratamiento 4	<i>Azospirillum b.</i> + <i>Trichoderma harzianum</i>	2x10 ¹² y 1x10 ⁹	2 L ha ⁻¹ + 2 L ha ⁻¹
Tratamiento 5	Sin promotores del crecimiento vegetal	S/A	S/A

Los promotores del crecimiento vegetal se aplicaron a 10 variedades de maíz (Tabla 2) para ver su efecto en la producción de forraje, donde nueve variedades de maíz fueron locales (criollos) y un híbrido recruzado, de diferentes orígenes.

Unidad experimental

Se utilizó una parcela de 6.4 m de ancho por 15 m de largo (8 surcos de 0.8 m de ancho). Se depositó una semilla cada 20 cm con una sembradora automática John Deere Max-Planter, lo que dio una densidad de siembra de 62 500 plantas ha⁻¹.

Tabla 2. Relación de los orígenes de las variedades de maíz utilizadas en la evaluación.

Variedad	Origen
AS-948 R	Variedad AS-948 de ASPROS tropical
Raza Jala	Local del Valle de Jala, Nayarit
BVP baja	Local de Bellavista, Papantla, Veracruz
Fco. I. Madero	Local de la Sierra de Jala, Nayarit
Fco. I. Madero Cruzado	Local de la Sierra de Jala, Nayarit
Mexquitic	Local de Mexquitic, S. L. P.
PapVer2	Local de Papantla, Veracruz
Amarillo 7	Local de Tlanchinol, Hidalgo
Amarillo forrajero	Local del Valle de Jala, Nayarit
Tampiqueño	Local del Valle de Jala, Nayarit

Trabajo de campo

El suelo se preparó en el mes de marzo con un barbecho y un rastreo, posteriormente se sembró el día 19 de marzo de 2016 en suelo húmedo a los tres días después de aplicar una lámina de riego de 10 cm, para ello se trazaron surcos y se aplicó el riego por gravedad. Se depositó una semilla cada 20 cm en surcos separados a 80 cm. A la siembra se fertilizó con 41 kg de nitrógeno (N) ha⁻¹ en forma de urea y 46 kg de P₂O₅ ha⁻¹ en forma de superfosfato triple. A 34 días después de la siembra (DDS) se aplicó 46 kg de N con urea y se realizó una escarda y posteriormente se utilizó herbicida 2,4 D-amina a razón de 1.5 L ha⁻¹. A 28 DDS se aplicó 69 Kg de N ha⁻¹ en forma mateada al pie de la planta con urea (Fórmula N-P-K 156-46-00), y una segunda escarda y nuevamente 2,4 D-amina a la misma dosis.

Aplicación de los promotores del crecimiento vegetal

Se realizó la aplicación de los promotores del crecimiento vegetal (PCV) durante el desarrollo de la plántula y el crecimiento entre los meses de abril a mayo, a 22 DDS y por un periodo de 8 semanas y cada ocho días por la mañana (de 8:00 a 12:00 h) dentro del periodo y para ello se utilizó una mochila aspersora dosificadora de capacidad 15 L.

La aplicación de los PCV se realizó conforme se desglosan los tratamientos en la Tabla 1. La aplicación de los PCV se realizó utilizando una dosis de 2 litros ha⁻¹ de cada bacteria y hongo, los cuales se disolvieron en agua en un tambo hasta completar los 200 litros para una hectárea. El control del gusano cogollero para todos los tratamientos se realizó con la aplicación de *Bacillus thuringiensis* de un cultivo preparado de la bacteria en forma líquida con sustrato de agua no clorada, melaza, agua de coco y suero de leche a razón de 2 L ha⁻¹.

Cosecha y muestreo de las plantas de maíz para forraje

Para la evaluación forrajera, las plantas de maíz se cosecharon cuando el elote estaba en estado fisiológico lechoso (Tabla 3), lo cual se identificó por medio de muestreos en diversas plantas al pinchar los granos con la uña y que emergiera líquido lechoso, y mediante observación el estado

de los estigmas, que estuvieran en estado seco de color café y que con un golpe con los dedos de la mano en el estigma se desprendiera del elote, por lo tanto, el muestreo fue escalonado de acuerdo a que las variedades de maíz mostraran el grano del elote en estado lechoso.

Tabla 3. Días a cosecha en las variedades de maíz, en estado del elote lechoso.

Variedades de maíz	DDS a la Cosecha
AS-948 Recruzado	153
Raza Jala	154
BVP baja	152
Fco. I. Madero	131
Fco. I. Madero Cruzado	124
Mexquitic	118
PapVer2	123
Amarillo 7	117
Amarillo forrajero	121
Tampiqueño	130

Los muestreos de componentes morfológicos de materia verde se realizaron en cinco surcos centrales de la parcela, dejando 5 m de efecto de bordo; en cada surco se trazaron 5 m lineales en forma escalonada, donde se contó el número de plantas, número de elotes y se cosecharon todas las plantas al ras del suelo, para posteriormente pesarlas con una báscula mecánica colgante tipo resorte ADIR® modelo 1697 y se registró el peso. La composición morfológica se realizó de 6 plantas tomadas al azar en 5 m lineales; se separó hojas, tallos y elotes, y se pesó en la báscula digital Tor-rey digital modelo ECU-5/10 (1 g).

Variables evaluadas

Altura de planta (AP): se midió con una cinta métrica desde la base del tallo hasta donde se inserta la espiga en la base de la última hoja de las seis plantas seleccionadas de cada muestreo. Diámetro del tallo (DT): en las seis plantas seleccionadas al azar se midió con ayuda de un vernier marca AutoTEC® en el primer entrenudo de la base del tallo. Número de hojas (NH): de las seis plantas seleccionadas al azar se contó el total de hojas por cada planta. Rendimiento de materia verde de hoja (RMVH): de las seis plantas seleccionadas al azar se desprendieron las hojas sin vaina y se pesaron en una báscula digital Tor-rey modelo ECU-5/10 con aproximación a 1 g. El peso obtenido se utilizó para obtener el valor del total de plantas de los 5 m lineales por regla de tres. Y con los valores de los 5 m lineales se calculó para 100 m lineales y posteriormente se multiplicó por el número de surcos para obtener el rendimiento por hectárea. Rendimiento de materia verde de tallo (RMVT): de las seis plantas seleccionadas al azar se pesaron los tallos sin hoja y sin elote en la báscula Tor-rey. El peso obtenido se utilizó para obtener el valor del total de plantas de los 5 m lineales por regla de tres, y al igual que para hoja se calculó el RMVT por hectárea. Rendimiento de materia verde de elote (RMVE): de las seis plantas seleccionadas al azar se cortaron y se pesaron los elotes en la báscula Tor-rey. El peso obtenido se utilizó para obtener el valor del total de plantas

de los 5 m lineales por regla de tres y de los RMVE por hectárea. Rendimiento de materia verde total (RMVTOT): se obtuvo por la suma de los valores obtenidos por hectárea de componentes morfológicos (hoja, tallo y elote).

Análisis estadístico

Los datos se analizaron mediante un modelo estadístico bloques al azar, asignando el bloque a las variedades y los tratamientos a los promotores del crecimiento, utilizando el paquete estadístico SAS ver. 9.1 (SAS 2004). Como los resultados mostraron diferencias estadísticas entre tratamientos se utilizó una prueba de comparación de medias Tukey al 0.05.

RESULTADOS

En lo que respecta a los tratamientos (Promotores del Crecimiento Vegetal), solamente para la variable NH hubo diferencias significativas por efecto del tratamiento (Tabla 4), donde la aplicación de cualquier promotor del crecimiento vegetal, ya sea solo o combinado, mostró efectos positivos sobre el número de hojas que fue de 14 a 15 hojas planta⁻¹, mientras que sin PCV se mostró el menor valor con 13 hojas por planta.

Tabla 4. Comparación de medias de altura, diámetro, número de hojas y de elotes de variedades de maíz con fines forrajeros con aplicación de promotores del crecimiento vegetal.

Tratamiento	Altura (cm)	Diámetro (mm)	Nhojas
<i>Azospirillum brasilense</i>	228 ^a	22 ^a	14 ^{ab}
<i>Azospirillum b.</i> + <i>Ectomicorriza</i>	227 ^a	21 ^a	14 ^{ab}
<i>Azospirillum b.</i> + <i>Bacillus subtilis</i>	229 ^a	22 ^a	15 ^a
<i>Azospirillum b.</i> + <i>Trichoderma h.</i>	221 ^a	22 ^a	14 ^{ab}
Sin promotores	221 ^a	20 ^a	13 ^b
Media	225.2	21.4	14
DMS	22	4	1

a,b,c. Letras diferentes en la misma columna son estadísticamente significativas. Nhojas = Número de hojas, DMS = Diferencia mínima significativa, Tukey = 0.05.

Para la variable RMVH se observaron diferencias significativas, donde la combinación de PCV *Azospirillum b.* + *Trichoderma h.* mostró el mayor valor con 11 946 kg ha⁻¹, a la que le siguieron la combinación *Azospirillum b.* + *Ectomicorriza* y *Azospirillum b.* solo con 8 889 y 8 654 kg ha⁻¹, respectivamente. Para la variable RMVT no se mostraron diferencias significativas, obteniéndose una media general de 6 324 kg ha⁻¹. En tanto el RMVE mostró diferencias significativas entre tratamientos, donde todos los PCV solo o combinado obtuvieron los mayores valores en un rango de 16 025 a 19 925 kg ha⁻¹, y el tratamiento sin PCV mostró el valor más bajo. Y también el RMVTOT mostró diferencias significativas, donde todos los tratamientos de PCV fueron mayores (rango de 53 300 a 58 150 kg ha⁻¹) al tratamiento sin PCV (Tabla 5).

Tabla 5. Comparación de medias de los rendimientos de hoja, tallo, elote y rendimiento de materia verde total de variedades de maíz con fines forrajeros con aplicación de promotores del crecimiento vegetal.

Tratamiento	RMVH (kg)	RMVT (kg)	RMVE (kg)	RMVTOT (kg)
<i>Azospirillum brasilense</i>	8654 ^{ab}	30591 ^a	18905 ^{ab}	58150 ^a
<i>Azospirillum b.</i> + <i>Ectomicorriza</i>	8889 ^{ab}	28236 ^a	19925 ^a	57050 ^a
<i>Azospirillum b.</i> + <i>Bacillus s.</i>	7056 ^b	30219 ^a	16025 ^{ab}	53300 ^{ab}
<i>Azospirillum b.</i> + <i>Trichoderma h.</i>	11946 ^a	27443 ^a	16862 ^{ab}	56250 ^a
Sin promotores	7060 ^b	26461 ^a	13729 ^b	47250 ^b
Media	8721	28590	17089	54400
DMS	4579	6324	4579	8112

a,b,c. Letras diferentes en la misma columna son estadísticamente significativas. RMVH = Rendimiento de materia verde de hoja, RMVT = Rendimiento de materia verde de tallo, RMVE = Rendimiento de materia verde de elote, RMVTOT = Rendimiento de materia verde total, DMS = Diferencia mínima significativa, Tukey = 0.05.

En lo que respecta a las variedades en estudio se observó que para la variable AP si hubo diferencias significativas entre variedades (Tabla 6), donde Tampiqueño obtuvo el mayor valor con 301 cm, a la que le siguieron Raza Jala, Fco. I. Madero, BVP baja, PapVer2 y AS-948R con 258, 258, 248, 232 y 222 cm, respectivamente.

Tabla 6. Comparación de medias de altura, diámetro, número de hojas y elotes de 10 variedades de maíz con fines forrajeros.

Variedad	Altura (cm)	Diámetro (mm)	Nhojas
AS-948 R	222 ^{cbd}	21 ^b	15 ^a
Raza Jala	258 ^b	22 ^b	15 ^a
BVP baja	248 ^{cb}	20 ^b	15 ^a
Fco. I. Madero	258 ^b	19 ^b	14 ^a
Fco. I. Madero Cruzado	158 ^e	21 ^b	12 ^b
Mexquitic	200 ^d	20 ^b	15 ^a
PapVer2	232 ^{cbd}	23 ^b	15 ^a
Amarillo 7	217 ^{cd}	23 ^b	14 ^a
Amarillo forrajero	138 ^e	13 ^c	9 ^c
Tampiqueño	301 ^a	30 ^a	15 ^a
Media	223	21	14
DMS	36	6	2

a,b,c. Letras diferentes en la misma columna son estadísticamente significativas. Nhojas = Número de hojas, DMS = Diferencia mínima significativa, Tukey = 0.05.

Para DT se observaron diferencias significativas entre variedades (Tabla 6), donde el Tampiqueño mostró el mayor valor con 30 mm y el de menor valor fue Amarillo forrajero con 13 mm. La variable

NH también mostró diferencias significativas entre variedades (Tabla 6), donde casi todas las variedades mostraron 14 o 15 hojas planta⁻¹, excepto Francisco I. Madero cruzado que mostró 12 hojas y Amarillo forrajero que mostró el menor valor con 9 hojas planta⁻¹.

La variable RMVH entre variedades no mostró diferencias significativas, pero se obtuvo una media de 8 721 kg ha⁻¹. Para la variable RMVT se observaron diferencias significativas entre variedades (Tabla 7), donde Tampiqueño, BVP baja, PapVer2 y Amarillo 7 mostraron los mayores valores con 41 824, 38 981, 34 216 y 34 216 kg ha⁻¹, respectivamente. En cambio, el Amarillo forrajero mostró el menor valor con 14 436 kg ha⁻¹.

Tabla 7. Comparación de medias de los rendimientos de hoja, tallo, elote y rendimiento de materia verde total de 10 variedades de maíz con fines forrajeros.

Variedad	RMVH (kg)	RMVT (kg)	RMVE (kg)	RMVTOT (kg)
AS-948 R	8137 ^a	29185 ^{bcd}	14478 ^b	51800 ^{cd}
Raza Jala	6048 ^a	25128 ^{cd}	11224 ^b	42400 ^d
BVP baja	11833 ^a	38981 ^{ab}	18285 ^b	69100 ^{ab}
Fco. I. Madero	10795 ^a	22355 ^{de}	13649 ^b	46800 ^{cd}
Fco. I. Madero Cruzado	6564 ^a	19861 ^{de}	14975 ^b	41400 ^d
Mexquitic	8579 ^a	25346 ^{cd}	17475 ^b	51400 ^{cd}
PapVer2	6957 ^a	34216 ^{abc}	16078 ^b	57600 ^{bc}
Amarillo 7	7296 ^a	34216 ^{abc}	16387 ^b	57900 ^{bc}
Amarillo forrajero	10900 ^a	14436 ^e	18164 ^b	43500 ^d
Tampiqueño	10098 ^a	41824 ^a	30178 ^a	82100 ^a
Media	8721	28590	17089	54400
DMS	7599	10494	8656	13462

a,b,c. Letras diferentes en la misma columna son estadísticamente significativas. RMVH = Rendimiento de materia verde de hoja, RMVT = Rendimiento de materia verde de tallo, RMVE = Rendimiento de materia verde de elote, RMVTOT = Rendimiento de materia verde total, DMS = Diferencia mínima significativa, Tukey = 0.05.

El RMVE mostró diferencias significativas entre variedades (Tabla 7), donde Tampiqueño mostró el mayor valor con 30 178 kg ha⁻¹, mientras que las demás variedades anduvieron en el rango de 11 224 a 18 285 kg ha⁻¹. El RMVTOT mostró diferencias significativas entre variedades (Tabla 7), donde Tampiqueño y VBP baja mostraron los valores más altos con 82, 100 y 69, 100 kg ha⁻¹, respectivamente.

DISCUSIÓN

En esta investigación aunque no hubo un efecto significativo de los PCV en las variables de altura de la planta y en el diámetro del tallo, pero si ligeramente se obtuvieron mayores valores para los PCV, ya que la Altura fue de 221 a 229 cm y para el testigo sin PCV fue de 221 cm, y para diámetro con PCV fue de 21 a 22 mm y sin PCV fue de 20 mm, en cambio Márquez-Cruz *et al.* (2022) si

observó diferencias significativas en la variables Altura, pero no en Diámetro de tallo entre los maíces tratados con promotores y sin promotores, donde los valores fueron cercanos a 190 cm de Altura y 18 mm de Diámetro; valores que son menores a los obtenidos en este estudio. Los PCV mostraron valores más altos para el número de hojas (14 a 15 hojas Planta⁻¹) en esta investigación y fueron mayores a los obtenidos por Rivas *et al.* (2020), ya que ellos observaron que Tampiqueño1 y Forrajal fueron los del valor más alto con 13.6 y 13.1 hojas planta⁻¹, respectivamente, y una media general de 10.9 hojas planta⁻¹; y a las obtenidas por Sánchez *et al.* (2019) quienes observaron valores promedios de 10.3 hojas planta⁻¹. En cambio, Rivas-Jacobo *et al.* (2019) observó valores similares de 13.3 hojas planta⁻¹ en promedio y un valor más alto de 14.5 hojas planta⁻¹ para el HT-5 de origen tropical. Pero valores menores a los obtenidos por Rivas-Jacobo *et al.* (2020) quienes obtuvieron una media de 16.3 y un valor de 19.0 hojas planta⁻¹ para la Raza Jala.

Los datos obtenidos en esta investigación demuestran que al utilizar cualquier tipo de PCV tienen efectos positivos en las variables de Número de hojas, RMVH, RMVE y RMVTOT, lo que se considera de buena utilidad sobre todo al aumentar los rendimientos, aspectos que se han visto en otras investigaciones como la de García-de la Paz *et al.* (2022), donde se evaluaron cepas de *Bacillus subtilis* y *Bacillus amyloquelificans* como biofertilizantes aplicados a maíz forrajero. Los tratamientos donde se aplicaron bacterias demostraron ser superiores en las variables agronómicas evaluadas, sobre todo aquellos donde se utilizó *Bacillus subtilis*. Asimismo, se observó un aumento en la masa radical en todos los tratamientos donde se utilizaron bacterias y la masa radical correlacionó positiva y significativamente con la producción de materia seca, demostrando que son una alternativa viable para su uso como biofertilizante. Otra bacteria *Pseudomonas fluorescens* UM270 fue utilizada en un sistema agroecológico de maíz por Rojas-Sánchez *et al.* (2025) donde observaron que las plantas aumentaron la altura, la longitud de raíces y el peso seco de planta, y que la combinación de la *Pseudomonas fluorescens* UM270 combinada con fertilizante fosfato diamónico (DAP) mejoró significativamente el peso de las plantas y de las mazorcas, además que la producción de maíz aumentó en un 40% en el sistema monocultivo de maíz. Al igual Sánchez-Ceja *et al.* (2024) observaron que la BPCV mejoran el peso seco de las plantas de maíz. Aguilar-Carpio *et al.* (2022, 2017) reportaron que la materia seca, tasa de crecimiento del cultivo y la tasa de asimilación neta mostraron los valores más altos con la aplicación de biofertilizante, y la aplicación de 80 y 160 kg ha⁻¹ de nitrógeno, durante el ciclo del cultivo y el rendimiento de grano de maíz mostró la mayor respuesta al N con la aplicación de 160 kg ha⁻¹ más el biofertilizante. De tal manera que 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, y la mejor rentabilidad se logró con biofertilizante y 160 kg ha⁻¹ de nitrógeno. Así mismo, Carrizales-Silva *et al.* (2024) utilizaron diferentes combinaciones de *Azospirillum brasiliense*, *Bacillus subtilis* y *Serendipita indica* más la fertilización química, quienes observaron un incremento en los rendimientos de grano de 28.6 a 40.1% y se favoreció el comportamiento de la altura de planta, diámetro de la mazorca, el peso del grano y del rastrojo.

Los resultados en esta investigación tendieron a ser semejantes a lo que se observó en un estudio realizado por Rojas-Badía *et al.* (2020) que al utilizar *Bacillus* en el crecimiento de plantas de maíz observaron que el número de hojas en las plantas inoculadas con la cepa RC15 fue mayor con el testigo. En cambio, en el diámetro de tallo si hubo diferencias, siendo mayor con la cepa RC9 vs. el

testigo no inoculado, caso contrario a lo que se observó en esta investigación donde no hubo efecto en el diámetro del tallo. Mientras que Aguilar-Carpio *et al.* (2017) observaron valores similares de número de hojas de 14.56 hojas planta⁻¹ en la variedad VS-535 a una densidad de 62 500 plantas ha⁻¹ y con 160 kg ha⁻¹ de fertilizante nitrogenado químico sin bacterias y 13.92 hojas planta⁻¹ y la misma dosis de fertilización y con la mitad de la dosis mencionada y con bacterias *Glomus intraradices* y *Azospirillum brasilense*.

En cambio, para las variables peso de hojas, de tallo y de elote García-de la Paz *et al.* (2022) no observaron diferencias significativas entre los tratamientos de cepas de *Bacillus* en combinación con niveles de fertilización química (220-180-00 de N-P-K y la mitad de la fórmula) y control, siendo las medias de peso de hojas de 0.132 kg planta⁻¹ (11 616 kg ha⁻¹), peso de elote de 0.264 kg planta⁻¹ (23 232 kg de elote ha⁻¹) y peso de tallo de 0.281 kg planta⁻¹ (24 728 kg de tallo ha⁻¹). Rendimiento de materia verde promedio de 59 576 kg ha⁻¹ de acuerdo a la densidad de 88 000 plantas ha⁻¹. Por lo que la inoculación con PCV en gramíneas favorece la producción de materia seca en las raíces y parte aérea (Reis *et al.* 2000). Siendo menores en promedio en esta investigación, pero en este estudio la variedad Tampiqueño superó a todas las variedades en todas las variables. Aspecto que concuerda con Puente *et al.* (2016) quienes mencionan que cuando se utilizan distintos genotipos con biofertilizantes, alguno de ellos responde de manera más favorable. Que de igual manera concuerda con un trabajo de Aguilar-Carpio *et al.* (2015) en donde la variedad San Lorenzo mostró valores mayores en la mayoría de las variables al utilizar biofertilizantes en combinación con dosis menores de fertilizante químico nitrogenado, quienes destacaron que tuvieron incrementos significativos en rendimiento y materia seca, lo cual se atribuye al genotipo utilizado. Lo cual se debe a que, en las gramíneas, los microorganismos presentes en la rizosfera varían entre especies e incluso entre genotipos de la misma especie, lo cual se atribuye principalmente a las variaciones propias de cada planta, por las características cualitativas y cuantitativas de los exudados radicales (Loredo *et al.* 2004).

Los resultados de la variable AP en esta investigación fueron mayores a los obtenidos por Rivas *et al.* (2020) cuando evaluaron 21 genotipos de diferente ambiente en la misma localidad bajo una densidad de 70 000 plantas ha⁻¹ y una dosis de fertilización de 115-46-00 (N-P-K) bajo riego, siendo el mayor valor de 250 cm para Amarillo 7 y para Chalqueño con 220 cm y una media de 180 cm. De igual manera los valores de altura de planta obtenidos por Sánchez *et al.* (2019) fueron menores al observar un promedio de 203.1 cm para la variedad VS536 y un promedio general de 181.7 cm bajo un clima cálido húmedo a densidades de 50, 62.5 y 83.3 plantas ha⁻¹ y una dosis de fertilización de 161-46-00 (N-P-K). Valores mucho más altos a los obtenidos por Rivas-Jacobo *et al.* (2019) al observar datos promedio de 169 cm y para el HT-1 híbrido trilineal de valles altos un valor de 195 cm., y a los de Rivas-Jacobo *et al.* (2020) con 201 cm en promedio y 241.8 para Tampiqueño1 producidos bajo las mismas condiciones ambientales, pero con mayor densidad (92 463 plantas ha⁻¹) y una semilla cada 12 cm, y fertilización con 160-60-00. Valores semejantes a los de Zaragoza-Esparza *et al.* (2021) al obtener valores entre 233 a 273 cm de altura.

Los datos obtenidos para Diámetro en esta investigación son menores a los obtenidos por Rivas *et al.* (2020), ya que el Chalqueño mostró el mayor valor con 41 mm y en general un promedio de 32 mm. Al igual menores a los obtenidos por Sánchez *et al.* (2019) quienes observaron un promedio general de 52 mm. Valores mucho mayores a los obtenidos por Rivas-Jacobo *et al.* (2019) de 27 mm.

Datos similares a los de Rivas-Jacobo *et al.* (2020) con valores promedios de 25.3 mm y para Raza Jala 29.6 mm. Los valores de RMVH obtenidos en esta investigación fueron menores a los obtenidos por Sánchez *et al.* (2019) quienes observaron un promedio de 145.6 g planta⁻¹, lo que equivale a 9 704 kg ha⁻¹, bajo un clima cálido húmedo a densidades de 50, 62.5 y 83.3 plantas ha⁻¹ y una dosis de fertilización de 161-46-00 (N-P-K) y mucho menores a los de Ruiz *et al.* (2006) quienes obtuvieron un rango de 37.7 a 13.1 t ha⁻¹ de materia verde de hoja en clima seco y con una fertilización aproximada de 180-60-00 (N-P-K). Los valores de RMVT obtenidos en este estudio fueron mucho mayores a los obtenidos por Sánchez *et al.* (2019) que fueron en promedio de 6 365 kg ha⁻¹, y a los obtenidos por Ruiz *et al.* (2006) en un rango de 27.1 a 17 t ha⁻¹ de materia verde de tallo. Los resultados mostraron que para RMVE el valor obtenido para la variedad Tampiqueño fue mayor que los valores obtenidos por Sánchez *et al.* (2019) que fueron de 18 515 kg ha⁻¹. y a los de Ruiz *et al.* (2006) en un rango de 17.7 a 20 t ha⁻¹ de materia verde de elote.

Los valores de RMVTOT fueron mucho más altos a los obtenidos por Sánchez *et al.* (2019) al observar 34 100 kg ha⁻¹. Pero valores más bajos a los obtenidos por Rivas-Jacobo *et al.* (2019) quienes observaron valores promedios de 82 651 y 103 125 kg ha⁻¹ para un híbrido trilineal de valles altos (HIT-1) evaluado en un clima templado subhúmedo a 2183 m de altura a una densidad de 62 500 semillas ha⁻¹ y una dosis de fertilización de 160-60-00 (N-P-K). En cambio, Zaragoza-Esparza *et al.* (2021) obtuvo menores valores al observar una media de 64 500 kg ha⁻¹, y de 78.9 kg ha⁻¹ para el híbrido Tlaoli Puma bajo un ambiente de clima templado subhúmedo y a una altura de 2 240 m con una fertilización de 80-60-00 (N-P-K) a una densidad de 80 000 plantas ha⁻¹.

CONCLUSIONES

Los promotores del crecimiento vegetal afectaron el carácter de número de hojas por planta, los componentes morfológicos de hoja y elotes, así como el rendimiento de materia verde total de la planta completa, siendo mayores sus valores, lo que demuestra la gran utilidad de los promotores para incrementar los rendimientos de forraje y se demuestra como una alternativa viable para reducir el uso de fertilizantes químicos. Los caracteres, variables morfológicas de las plantas de maíz y el rendimiento de materia verde de forraje se vieron afectadas por el efecto de la variedad, mostrando variabilidad en los valores obtenidos por ser de diferente genotipo y ambiente. Se recomienda para la región centro de San Luis Potosí con clima seco las variedades Tampiqueño y BVP baja con el uso de *Azospirillum b.* o *Azospirillum b.* + Ectomicorriza.

LITERATURA CITADA

- Aguilar-Carpio C, Escalante-Estrada JAS, Aguilar-Mariscal I, Rojas-Victoria NJ (2022) Rentabilidad y rendimiento de tres genotipos de maíz en respuesta al biofertilizante y nitrógeno, en clima templado. Biotecnia 24(2): 77-83. <https://doi.org/10.18633/biotecnia.v24i2.1603>
- Aguilar-Carpio C, Escalante-Estrada JAS, 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. <https://doi.org/10.19136/era.a4n12.1000>.

- Aguilar-Carpio C, Escalante-Estrada JAS, Aguilar-Mariscal I, Mejía-Contreras JA, Conde-Martínez VF, 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.
- Canizalez-Silva M, Blanco-Macías F, España-Luna MP, de la Rosa-Rodríguez R, Lozano-Gutiérrez J, Lara-Herrera A (2024) Microorganismos en la biofertilización del cultivo de maíz como complemento a la fertilización química. *Ecosistemas y Recursos Agropecuarios* 11(1): e3903. <https://doi.org/10.19136/era.a11n1.3903>.
- Chen J, Lü S, Zhang Z, Zhao X, Li X, Ning P, Liu M (2018) Environmentally friendly fertilizers: A review of materials used and their effects on the environment. *Science of the Total Environment* 613-614: 829-839. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.09.186>
- De-Souza R, Ambrosini A, Passaglia LMP (2015) Plant growth-promoting bacteria as inoculants in agricultural soils. *Genetics and Molecular Biology* 38(4): 401-19. <https://doi.org/10.1590/S1415-475738420150053>
- FIRA (2022) Agrocostos. Costos de producción agrícola 2022. <https://www.fira.gob.mx/Nd/AcercadeNosotros.jsp>. Fecha de consulta: 10 de febrero de 2024.
- García E (2004) Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen. 5ª Edición. Instituto de Geografía UNAM. México. 90p.
- García-de la Paz NC, Gallegos-Robles MA, González-Salas U, Rodríguez-Sifuentes L, Mendoza-Retana SS, Sánchez-Lucio R (2022) Potencial de *Bacillus* nativos de la Comarca Lagunera como biofertilizante en la producción de maíz forrajero. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas* 13(28): 253-261. <https://doi.org/10.29312/remexca.v13i28.3280>
- González JD, Mosquera JD, Trujillo AT (2015) Efectos e impactos ambientales en la producción y aplicación del abono supermagro en el cultivo de sandía. *Revista Ingeniería y Región* 13(1): 103-111.
- Khabbaz SE, Ladhalakshmi D, Babu M, Aravindaram K, Ramamoorthy V, Saravanakumar D, Al-mughrabi T, Kandasamy S (2019) Plant growth promotion bacteria (PGPB) – A versatile tool for plant health management. *Canadian Journal of Pesticides & Management* 1(1): 1-25. <https://doi.org/10.34195/can.jppm.2029.05.001>.
- Loredo OC, López RL, Espinosa VD (2004) Bacterias promotoras del crecimiento vegetal asociadas con gramíneas: Una revisión. México. *Terra Latinoamericana* 22(2): 225-239.
- Márquez-Cruz S, Martínez-Cruz M, Acosta-Roca R (2022) Efecto de rizobios en el crecimiento y rendimiento del cultivar de maíz (*Zea mays* L.). *Cultivos Tropicales* 43(4). <https://cu-id.com/2050/v43n4e05>
- Puente FM, Rodríguez HS, Gayosso BO, Mendoza VR, Oyervides GA (2016) Inoculación de bacterias diazotróficas en genotipos de maíz forrajero. *Revista Iberoamericana de Ciencias* 3(4): 37-44.
- Rai A, Nabti E (2017) Plant growth-promoting bacteria: Importance in vegetable production. In: Zaidi A, Khan MS (eds) *Microbial strategies for vegetable production*. Springer International Publishing AG. Switzerland. pp. 23-48. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-54401-4>
- Reyna HR, Díaz NJF, Ayvar SS, Mena BA (2023) Inoculación de microorganismos promotores de crecimiento en etapas iniciales de maíz. Editorial Eliva Press. Republica de Moldavia, Europa. 103p.
- Reis VM, Baldini JL, Baldini VL, Dobereiner J (2000) Biological dinitrogen fixation in gramineae and palm trees critical. *Reviews Plant Sciences* 3(19): 227-247. <https://doi.org/10.1080/07352680091139213>.
- Rivas JMA, Mendoza PSI, Sangerman-Jarquín DM, Sánchez HMA, Herrera CCA, Rojas GAR (2020) Evaluación forrajera de maíces de diversos orígenes de México en la región semiárida. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas Número Especial* 24: 93-104. <https://doi.org/10.29312/remexca.v0i24.2361>
- Rivas-Jacobo MA, Carballo-Carballo A, Quero-Carrillo AR, Mendoza-Pedroza SI, Vaquera-Huerta H, Rivas-Zarco M, Sánchez-Hernández MA (2019) Productividad y caracteres morfológicos de híbridos de maíz forrajero. *Agroproductividad* 12(8): 59-65. <https://doi.org/10.32854/agrop.v0i0.1452>

- Rivas-Jacobo M, Ballesteros-Rodea G, Lepe-Aguilar R, Zaragoza-Bastida A, Ibarra-Gudiño C, Rivero-Pérez N (2020) Respuesta productiva de maíces subtropicales y tropicales con fines forrajeros en una región semiárida. *Abanico Agroforestal*. 1(2): 1-13. <http://dx.doi.org/10.37114/abaagrof/2020.6>
- Robles JLE, Ruiz-Pérez JA, Morales-Osorio A, Gutiérrez-Martínez MG, González-Ronquillo M (2017) Producción de forraje, composición química y producción de gas in vitro de maíces híbridos amarillos cultivados en México. *Tropical and Subtropical Agroecosystems* 20(3): 373-379.
- Rojas-Badía MM, Bello-González MA, Ríos-Rocafull Y, Lugo-Moya D, Rodríguez SJ (2020) Utilización de cepas de *Bacillus* como promotores de crecimiento en hortalizas comerciales. *Acta Agronómica* 69(1): 54-60. <https://doi.org/10.15446/acag.v69n1.79606>.
- Rojas-Sánchez B, Orozco-Mosqueda MC, Santoyo G (2025) Field assessment of a plant growth-promoting *Pseudomonas* of phytometric, nutrient, and yield components of maize in a milpa agrosystem. *Agricultural Research* 14: 143-158. <https://doi.org/10.1007/s40003-024-00756-0>.
- Ruiz O, Beltrán R, Salvador F, Rubio H, Grado A, Castillo Y (2006) Valor nutritivo y rendimiento forrajero de híbridos de maíz para ensilaje. *Revista Cubana de Ciencia Agrícola* 40(1): 91-96.
- 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(1): 67-76.
- Sánchez-Ceja MG, Loeza-Lara PD, Carballar-Hernández S, Jiménez-Mejía R, Medina-Estrada RI (2024) Aislamiento de bacterias nativas con potencial en la promoción del crecimiento del maíz criollo mexicano (*Zea mays* L.). *Biotecnia* 26(1): 83-92. <https://doi.org/10.18633/biotecnia.v26.212>.
- Sánchez HMA, Cruz VM, Sánchez HC, Morales TG, Rivas JMA, Villanueva VC (2019) Rendimiento forrajero de maíces adaptados al trópico húmedo de México. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas* 10(3): 699-712. <https://doi.org/10.29312/remexca.v10i3.1546>
- Sánchez-Ledezma W, Hidalgo-Ardón C (2018) Forage production and nutritive value of maize hybrids and local oats in Costa Rica. *Agronomia Mesoamericana* 29(1): 153-164. <https://doi.org/10.15517/ma.v29i1.27732>.
- SAS (2004) Institute Inc. SAS/STAT 9.1 User's Guide. Cary, NC, USA: SAS Institute Inc. 5131p.
- SIAP (2022) Producción Agrícola. Producción anual agrícola. Cierre de la producción agrícola 1980-2022. Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera. www.gob.mx. Fecha de consulta: 3 de marzo de 2024.
- Wang Y, Zhu Y, Zhang S, Wang Y (2018) What could promote farmers to replace chemical fertilizers with organic fertilizers? *Journal of Cleaner Production* 199: 882-890. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.07.222>.
- Zaragoza-Esparza J, Medina-Fernández MF, Tadeo-Robledo M, Espinoza-Calderón A, López-López C, Canales-Islas E, Chávez-Gordillo A, Alonso-Sánchez H (2021) Productividad y calidad de forraje de híbridos trilineales de maíz para valles altos de México. *Revista Fitotecnica Mexicana* 44(4): 537-544. <https://doi.org/10.35196/rfm.2021.4.537>.