

Fertirriego y *Azospirillum* en la nutrición de vitroplantas de *Agave angustifolia* en vivero

Maura Elisama Miguel-Luna¹
José Raymundo Enríquez-del Valle^{1,5}
Isidro Morales-García²
María Guadalupe Peralta Sánchez³
Gerardo Rodríguez-Ortiz¹
Vicente Arturo Velasco-Velasco¹

1 Tecnológico Nacional de México-Instituto Tecnológico del Valle de Oaxaca-División de Estudios de Posgrado e Investigación. Exhacienda de Nazareno, Santa Cruz Xoxocotlán, Oaxaca, México. CP. 71230.

2 Instituto Politécnico Nacional-CIIDIR Oaxaca. Hornos 1003, Col. Nochebuena, Santa Cruz Xoxocotlán, Oaxaca, México. CP. 71230.

3 Laboratorio de Nutrición Vegetal-Edafología-Colegio de Postgraduados en Ciencias Agrícolas-Campus Montecillo. Montecillo, Texcoco Estado de México, México. CP. 56264.

Autor de correspondencia: jenriquezdelvalle@yahoo.com.

Resumen

La humanidad busca incrementar la productividad y calidad de los cultivos que le proporcionan beneficios básicos o económicos. El objetivo del trabajo fue evaluar el desarrollo de vitroplantas de *Agave angustifolia*, fertirrigadas con diferentes alicuotas de nutrimentos e inoculación con *Azospirillum brasilense*, durante los años 2023 a 2024. En un experimento con diseño experimental factorial 3x2x3, los factores fueron: 1) tamaño inicial de plantas (pequeña, mediana y grande); 2) inoculación con la bacteria *A. brasilense* y sin inocular; y 3) concentraciones de la solución nutritiva Steiner (SN) (0, 75 100%). Transcurridos 20 meses se evaluaron características morfológicas y la cantidad de nutrientes en las hojas. Las plantas de tamaño inicial mayor mantuvieron diferencias en el crecimiento respecto a las plantas medianas y pequeñas. Las plantas fertirrigadas con SN-100%, tuvieron 51 cm de altura (18.6%), 85.8 cm de diámetro de roseta (25.8%), 9.6 cm de diámetro del tallo (65.5%). Su hoja más grande de 66 cm (13.7%), y en sus hojas tuvieron 6 987 ppm de N (9.6%), 1 775 ppm de P (11%), y 3 093 ppm de K (-25.8%), respecto a plantas irrigadas con solo agua. Las plantas inoculadas con la bacteria tuvieron más hojas, diámetro de roseta, longitud de hojas, volumen de raíz, peso seco de tallo y de raíz, respecto a plantas no inoculadas. Las plantas de *A. angustifolia* micropropagadas que en vivero se fertirrigaron y complementariamente se inocularon con *A. brasilense* alcanzaron tamaños adecuados para su trasplante a campo.

Palabras clave:

análisis de nutrimentos, bacterias promotoras de crecimiento vegetal, contenido nutrimental, micropropagación vegetal, solución nutritiva.



Introducción

En el estado de Oaxaca, se tienen 17 700 ha cultivadas con agaves (SIAP, 2019; Olvera Vargas *et al.*, 2022) el *A. angustifolia* es de gran importancia económica, ya que ocupa el 80% de la superficie de plantaciones y en el año 2023, el 86.31% de la materia prima para la producción del mezcal fue de esta especie (Enríquez-del Valle *et al.*, 2023). Las plantaciones de esta especie han aumentado durante la década reciente, demandando plantas de calidad que aseguren su sobrevivencia y productividad en campo (Jarquín-Rosales *et al.*, 2022).

Cada especie y genotipo de planta requiere de abastecimiento nutrimental óptimo para su crecimiento y desarrollo normal, asegurando con esto una producción que garantice la creciente demanda de materia prima para la industria (García y Oberschelp, 2015), una opción es aplicar fertilizantes inorgánicos (Sánchez-Mendoza *et al.*, 2022). Zuñiga-Estrada *et al.* (2018) demostraron que plantas de *Agave tequilana* que recibieron fertirrigación, superaron la altura, cantidad de hojas y producción de materia seca, respecto a plantas no fertilizadas.

Así mismo, plantas de *A. angustifolia* que en vivero recibieron durante tres meses fertilización al 100% mediante el riego, alcanzaron tamaño mayor y desarrollaron más hojas y área foliar, que plantas con menor abastecimiento nutrimental (Enríquez-del Valle *et al.*, 2023; Luna-Luna *et al.*, 2017). Por otro lado, Domínguez-Duarte *et al.* (2019), señalan que los microorganismos promotores de crecimiento vegetal (PCV) son un conjunto de especies distintas que contribuyen que las plantas muestren más desarrollo y productividad. Entre estos se encuentran los géneros *Rhizobium*, *Pseudomonas* y *Azospirillum* (Bashan y Holguin, 1998).

Sus mecanismos de acción son la solubilización de fosfatos o fijación de nitrógeno o generan hormonas (Glick, 2014), tienen un impacto directo en el metabolismo de la planta al aumentar la absorción de agua y minerales, optimizando el desarrollo de las raíces (Lavenus *et al.*, 2013), aumentan la actividad de las enzimas en la planta o facilitan que otros microorganismos beneficiosos ejerzan un mejor efecto sobre las plantas (Shu *et al.*, 2016). Hay pruebas de las ventajas que ofrecen las bacterias promotoras del crecimiento de las plantas (BPCV). Al respecto, Okon y Vanderleyden (1997) inocularon plantas de maíz con la bacteria *Azospirillum* y éstas desarrollaron espigas más grandes y su productividad fue superior respecto a plantas no inoculadas.

Así mismo, Jarquín-Rosales *et al.* (2023) reportaron que plantas de *Agave angustifolia* obtenidas de la germinación de semillas y fertirrigadas con SN-100% e inoculadas con *A. brasilense* tuvieron mayor altura, cantidad y tamaños de hojas, diámetro de tallo, pesos secos de la parte aérea, raíz y área foliar, respecto a plantas no inoculadas. Por lo anterior, el objetivo de estudio fue determinar las características morfológicas y la concentración nutrimental en hojas de vitroplantas de *A. angustifolia* en etapa de vivero, que fueron fertirrigadas con diferentes concentraciones de solución nutritiva Steiner y se inocularon con *Azospirillum brasilense*.

Materiales y métodos

La investigación se realizó en el vivero del Instituto Tecnológico del Valle de Oaxaca, en Santa Cruz Xoxocotlán, Oaxaca, México, durante los años 2023 a 2024. Se usaron plantas de *A. angustifolia* micropropagadas y aclimatadas, que tenían seis meses en vivero. Las plantas se separaron en tres categorías de tamaño dependiendo de la longitud de la hoja más grande: 1) chica (<12 cm), 2) mediana (12 a 16 cm) y 3) grande (>16 cm). Se establecieron individualmente en macetas de polietileno, con capacidad de 10 dm³, que contenían una mezcla en proporción 1:2:1 v/v de turba de musgo-arena-tierra de monte, con un pH de 7.64, conductividad eléctrica de 1.11 dS m⁻¹.

Para aplicar diferentes métodos de riego, las plantas de cada categoría de tamaño se separaron en tres grupos para aplicarles: 1) agua; 2) fertirriego con la solución nutritiva, SN, Steiner (1984) diluida a 50%; 3) fertirriego con SN a 100%. La cantidad de nutrimentos en mg L⁻¹ de la SN al 100% fue: 102.6 N, 30.6 P, 220.1 K, 182.3 Ca, 49 Mg y 110.9 S. Cada planta se fertirrigó con 200 ml de SN una vez a la semana. Posteriormente, las plantas de cada categoría de tamaño y tipo de

riego se separaron en dos subgrupos, y el primer subgrupo se inoculó con *Azospirillum brasilense*, aplicando cada mes 1 000 000 unidades formadoras de colonia (UFC) por planta; mientras que el segundo subgrupo no se inoculó.

La bacteria se obtuvo del fertilizante biológico, AzoFer PLUS®. El experimento se organizó conforme a un diseño completamente al azar con una disposición factorial de 3x3x2. A los 20 meses del experimento, en seis plantas de cada tratamiento se evaluó: número de hojas desplegadas (NH), altura del tallo (AT, cm), longitud de la raíz (LR, cm), longitud y ancho de la hoja más grande (LH, AH, cm), diámetro de roseta (DR, cm) y diámetro de tallo (DT, mm).

Para las mediciones se utilizó vernier digital Steren®. Posteriormente se separaron las hojas, tallo (piña) y raíces; el volumen de raíz (VR, ml) y volumen del tallo (VP, ml) se determinaron mediante inmersión en un volumen conocido de agua en una probeta de 2000 ml y se registró el volumen de agua desplazada. Para determinar el peso fresco foliar (PFF, g), peso fresco del tallo (piña) (PFP, g) y peso fresco de raíz (PFR, g) se utilizó una balanza digital Torrey Pcr-20®; posteriormente, las partes vegetativas de la planta (hojas, tallo, raíz) fueron puestos individualmente en bolsas de papel y se deshidrataron a lo largo de cuatro días en una estufa de secado Memmert, modelo 100-800, a temperatura de 75 °C hasta obtener peso constante y se registró peso seco foliar, de tallo y de raíz (PSF, PST, PSR, g).

Para determinar el contenido de nutrimentos, se tomaron cinco hojas secas del centro de la roseta y se pulverizaron en un molino manual Surtek®, el análisis se realizó en el Laboratorio de Nutrición Vegetal del Postgrado de Edafología del Colegio de Postgraduados, Campus Montecillo, Estado de México. El N se determinó siguiendo el método de Alcántar y Sandoval (1999) usando el procedimiento de Kjeldahl. Las concentraciones de P, K, Ca, Mg, Fe, Cu, B y Na se determinaron usando un equipo de espectrometría por ICP-OES.

Se verificó la homogeneidad de varianzas y la normalidad de los datos a través de las pruebas de Shapiro-Wilk y Bartlett ($\alpha = 0.05$), respectivamente. Los datos que no cumplieron con estos supuestos se transformaron a e^x para realizar análisis de varianza. Para la prueba de medias (Tukey, 0.05) se usaron los datos sin transformar. Para los análisis estadísticos se utilizó el software de análisis estadístico SAS (SAS Institute, 2011).

Resultados y discusión

Variables de crecimiento

Los análisis de varianza (Cuadro 1) indican que las características morfológicas y contenidos nutrimentales en tejidos foliares de plantas de *A. angustifolia* estuvieron influenciados por el tamaño inicial de la planta, la cantidad de abastecimiento nutrimental en el fertirriego y la inoculación con *A. brasilense*, que recibieron durante 20 meses.

Cuadro 1. Análisis de varianza de características morfológicas de vitro plantas de *Agave angustifolia*, que durante 20 meses en vivero se fertirrigaron a diferentes concentraciones de nutrimentos e inocularon con *Azospirillum brasilense*.

FV	Tam	Fer	Inoc	TxF	TxI	FxI	TxFxI	Error
GL	2	2	1	4	2	2	4	54
NH [#]	0.7 **	3.26 **	0.67 **	**	ns	ns	ns	0.005
AP [#]	0.44 **	1.5 **	0.03 **	**	ns	ns	ns	0.004
DR	432.88 **	2780.47 **	122.03 **	**	ns	**	ns	1.31
LH	219.56 **	1169.55 **	27.1 **	**	ns	ns	ns	0.93
DT [#]	0.43 **	3.83 **	0.026 **	**	ns	ns	ns	0.002
LR [#]	2.002 **	5.88 **	2.32 **	**	*	**	*	0.014
VR [#]	29.39 **	199.27 **	19.98 **	**	ns	ns	ns	0.305
VP	3229.56 **	41922.06 **	6086.72 **	**	*	ns	**	60.86

FV	Tam	Fer	Inoc	TxF	TxI	FxI	TxFxI	Error
PSP [#]	0.0003 **	0.0009 **	0.0001 **	**	ns	*	ns	0.000004
PSR	0.003 **	0.01 **	0.004 **	**	ns	ns	ns	0.00003
PSF	0.05 **	0.09 **	0.003 ns	ns	**	ns	ns	0.006

FV= fuentes de variación; Tam= tamaño; Fer= fertilización; Inoc= inoculación; TxF= interacción Tamaño×Fertilización; TxI= interacción Tamaño×Inoculación; FxI= interacción Fertilización×Inoculación; TxFxI= interacción, Tamaño× Fertilización×Inoculación; T= total; GL= grados de libertad; NH= número de hojas; AP= altura de planta; DR= diámetro de roseta; LH= longitud de la hoja; DT= diámetro de tallo; LR= longitud de raíz, VR= volumen de raíz; VP= volumen de la piña; PSP= peso seco de piña; PSR= peso seco de raíz; PSF= peso seco foliar; ns= valores de F no significativos (p> 0.05); *= valores de F significativos (P≤ 0.05); y **= valores de F altamente significativos (p≤ 0.01); [#]= indica que se usaron datos transformados.

Para el factor tamaño de planta, la evidencia muestra que las plantas que inicialmente fueron grandes tuvieron los mayores valores en el tamaño de parte aérea (tallo y hojas) y de raíz, superando entre un 5 y 15%, a las plantas de tamaño inicial medianas y chicas (Cuadro 2). Las plantas de tamaño inicial pequeñas, continuaron teniendo el menor tamaño. Para el factor fertilización, las plantas que recibieron menor abastecimiento nutrimental fueron las más pequeñas en todas las variables evaluadas y las plantas alcanzaron tamaños más grandes conforme recibieron mayor abastecimiento nutrimental.

Cuadro 2. Características morfológicas de plantas en función de niveles de factores principales.

Variable	Tamaño de planta			Fertilización			Inoculación	
	Chica	Mediana	Grande	0	50	100	Sin	Con
NH	46 c	48.1 b	49.8 a	43.6 c	48.5 b	51.8 a	46.9 b	49.1 a
AP (cm)	8.4 c	9 b	9.8 a	7.9 c	8.9 b	10.5 a	9 b	9.2 a
DR (mm)	76.9 b	76.9 b	80.2 a	68.2 c	76.3 b	85.8 a	75.7 b	77.8 a
LH (cm)	61.2 c	63.7 b	66.2 a	58.3 c	63.2 b	66.7 a	63.2 b	64.2 a
DT (cm)	7 c	7.6 b	8.3 a	5.8 c	7.5 b	9.6 a	7.5 b	7.7 a
LR (cm)	31.4 c	35.2 b	38.4 a	29.5 c	34 b	41.5 a	32.8 b	37.2 a
VR (cm ³)	232 c	265.4 b	305.4 a	182.7 c	249.3 b	370.8 a	251.5 b	283.8 a
VP (cm ³)	131 c	143.6 b	154.2 a	101.4 c	142.4 b	185 a	133.8 b	152.1 a
PSP (g)	41 c	48 b	54 a	35 c	47 b	61 a	46 b	49 a
PSR (g)	90 c	110 b	120 a	80 c	110 b	140 a	100 b	120 a
PSF (g)	440 a	490 a	520 a	430 b	470 b	550 a	480 a	490 a

NH= número de hojas; AP= altura de la planta; DR= diámetro de roseta; LH= longitud de la hoja; DT= diámetro de tallo; LR= longitud de la raíz; VR= volumen de raíz; VP= volumen de la piña; PSP= peso seco de la piña; PSR= peso seco de raíz; PSF= peso seco foliar. Valores con la misma letra dentro de cada columna y por factor no son significativamente diferentes (Tukey, α= 0.05).

A las plantas que se aplicó solución nutritiva al 100% de concentración de nutrientes, y las plantas irrigadas con solo agua tuvieron 51 y 43 hojas, 85.8 y 68.2 cm de diámetro de roseta, sus hojas de 66 y 58 cm de longitud, 9.6 y 5.8 cm de diámetro de tallo, 61 y 35 g, 140 y 80 g, 550 y 430 g de pesos secos de tallo (piña), raíz y foliar, respectivamente, magnitudes que en cada caso fueron significativamente diferentes (Tukey, 0.05). Las plantas inoculadas con *Azospirillum brasilense*, alcanzaron tamaño y pesos secos mayores que plantas no inoculadas, en la mayoría de las variables evaluadas de tallo, hojas y raíz (Cuadro 2).

El abastecimiento de nutrimentos en cantidad y en periodos críticos es un factor importante entre otros: abastecimiento de agua, rango de temperatura, iluminación (intensidad, fotoperiodo) que influyen en la magnitud del crecimiento de las plantas (Muñoz-Flores *et al.*, 2015), que de tener abastecimiento menor al óptimo se limita el crecimiento y productividad. Pérez-Santiago *et al.*(2014) en *Agave americana*, describieron que existe una relación positiva entre la magnitud de crecimiento vegetativo y el abastecimiento de nutrimentos a las plantas en la etapa de vivero y como consecuencia de esta relación resulta la calidad, vigor en crecimiento y morfología de las plantas.

En el presente trabajo, las plantas fertirrigadas desarrollaron más hojas y fueron en promedio más grandes, respecto a las hojas que desarrollaron las plantas no fertirrigadas. Lo anterior podría reflejarse en diferencias de capacidad fotosintética (Jarquín-Rosales *et al.*, 2023). Cruz-García *et al.*, (2019) demostraron el efecto positivo del abastecimiento nutrimental en plantas de *Agave americana* var. *Oaxacensis* en vivero fertirrigadas con 100% de solución nutritiva, las que tuvieron mayor crecimiento vegetativo respecto a plantas no fertirrigadas.

Datos reportados por Ríos-Ramírez *et al.* (2021) muestran el efecto positivo del abastecimiento nutrimental, ya que plantas de *A. angustifolia* que durante siete meses en vivero se fertirrigaron con solución nutritiva y plantas irrigadas con solo agua tuvieron 453 y 282 g de materia seca foliar, 103 y 75 g de materia seca en la raíz, 14 957 y 7 225 ppm de N, así como 6 719 y 3 017 ppm de P en sus hojas. Los resultados obtenidos de esta evaluación se relacionan con lo mencionado por Enríquez-del Valle *et al.* (2018), que resaltan que, en diversas especies de cultivo, las plantas que reciben adecuado abastecimiento nutrimental, principalmente de nitrógeno, aumentan su actividad fotosintética y la magnitud de acumulación de biomasa.

Así mismo, Yescas-Arreola *et al.* (2016) reportaron que plantas de *A. americana* var. *Oaxacensis* que en vivero se fertirrigaron con solución SN-100%, desarrollaron mayor cantidad y tamaño de hojas, en comparación con plantas irrigadas únicamente con agua. Las hojas de las plantas en los diversos tratamientos alcanzaron tamaños, medidas en longitud y ancho de la hoja más grande, apropiada para la etapa posterior que es el establecimiento en campo. Además, las plantas que recibieron mayor abastecimiento nutrimental tuvieron mejores características morfológicas.

Contenidos nutrimentales en hojas

Los análisis de varianza (Cuadro 3) indican que, los contenidos nutrimentales en tejidos foliares de plantas de *A. angustifolia* mostraron diferencias atribuibles a los tratamientos. Conforme se aumentó el abastecimiento nutrimental mediante fertirriego, las plantas tuvieron en sus tejidos foliares más concentración de N, P, K, así como Ca, Cu, B y Na, ya que las plantas fertirrigadas con SN-100% y las plantas irrigadas con solo agua tuvieron 6 987 y 6 291 ppm N, 1 775 y 1 599 ppm de P, 3 093 y 4 170 ppm de K, 3 075 y 2 257 ppm Ca en sus hojas, cantidades que fueron significativamente (Tukey, 0.05) diferentes (Cuadro 4).

Cuadro 3. Análisis de varianza de contenidos nutrimentales en tejidos foliares de plantas de *Agave angustifolia* que en vivero se fertirrigaron durante 20 meses a diferentes concentraciones de nutrimentos e inocularon con *Azospirillum brasilense*.

FV	Tam	Fer	Inoc	TxF	TxI	FxI	TxFxI	Error
N [#]	0.014**	0.004**	0.001ns	**	**	**	**	0.0003
P [#]	2.8ns	45.1**	15.7ns	**	**	**	**	5.94
K	54101.1ns	7572836.3**	708819.7ns	**	**	*	**	184658.8
Ca	21239313ns	1263723687**	91220425ns	**	ns	ns	**	14824338
Mg	835084.6**	2841411.7**	508857.2**	**	**	**	**	140817.9
Fe [#]	133.83**	336.89**	310.25**	**	**	**	**	2.32
Cu [#]	0.34*	1.03**	0.34ns	**	**	ns	**	0.1
B [#]	3.48**	9.41**	2.51**	**	**	**	**	0.08
Na [#]	37.42**	117.07**	10.66ns	**	ns	*	**	4.81

FV= fuentes de variación; Tam= tamaño; Fer= fertilización; Inoc= inoculación; TxF= interacción Tamaño×Fertilización; TxI= interacción Tamaño×Inoculación; FxI= interacción Fertilización×Inoculación; TxFxI= interacción Tamaño×Fertilización×Inoculación; T= total; GL= grados de libertad; N= Nitrógeno; P= fosforo; K= potasio; Ca= calcio; Mg= magnesio; Fe= hierro; Cu= cobre; B= boro; Na= sodio; [#]= variables transformadas; ns= valores de F no significativos (p> 0.05); *= valores de F significativos (p≤ 0.05) y, **= valores de F altamente significativos (p≤ 0.01).

Cuadro 4. Contenidos nutrimentales (ppm) en hojas de plantas de *Agave angustifolia* Haw. en función de niveles de factores principales.

Var	Tamaño de planta			Fertilización			Inoculación	
	Chica	Mediana	Grande	0	50	100	Sin	Con
N	6 162.5 b	6 270.8 b	7 320.8 a	6 291.7 b	6 475 b	6 987.5 a	6 486.1 a	6 683.3 a
P	1 591 a	1 635 a	1 665 a	1 517 b	1 599 b	1 775 a	1 595 a	1 665 a
K	3 668 a	3 748 a	3 752 a	3 093 b	3 905 a	4 170 a	3 623 a	3 822 a
Ca	2 919 a	3 002 a	3 107 a	2 257 c	3 067 b	3 705 a	2 897 b	3 122 a
Mg	3 874 b	4 192 a	4 202 a	3 707 b	4 187 a	4 374 a	4 005 a	4 173 a
Fe	734 b	730 b	1 036 a	965 a	993 a	544 b	701 b	966 a
Cu	12.9 b	12.65 b	14.49 a	11.45 b	14.18 a	14.43 a	12.75 b	13.94 a
B	14.83 c	16.71 b	21.31 a	13.37 c	15.02 b	24.46 a	15.92 b	19.31 a
Na	280.6 b	287.7 b	352.3 a	232.5 c	306.3 b	381.9 a	292 a	321 a

Var= variable; N= nitrógeno; P= fósforo; K= potasio; Ca= calcio; Mg= magnesio; Fe= hierro; Cu= cobre; B= boro; Na= sodio. Valores con la misma letra dentro de cada columna y por factor no son significativamente diferentes (Tukey, $\alpha=0.05$).

El factor tamaño de planta, la mayor concentración de nitrógeno, hierro, cobre y boro se registraron en las plantas de tamaño inicial grande, diferente a las plantas de tamaños menores. La concentración nutrimental de P, K y Ca fueron estadísticamente similares en los tres tamaños de plantas. Al respecto Cruz-García *et al.* (2019) indican que, a mayor contenido de N presente en las hojas, las plantas de agave desarrollan tallos (piñas) de mayor tamaño y peso.

Las plantas inoculadas no mostraron diferencias ($p\#0.05$) de concentración de nutrimentos nitrógeno, fósforo, potasio y sodio, pero si tuvieron significativamente (Tukey, 0.05) más Ca, Fe, Cu y B, respecto a las plantas no inoculadas (Cuadro 4). Jarquín-Rosales *et al.* (2023) reportaron que plantas de *A. angustifolia* obtenidas de bulbilos de inflorescencia y establecidas durante ocho semanas en vivero, algunas plantas inoculadas con la bacteria *Azospirillum brasilense* tuvieron tamaños significativamente mayores en número de hojas, diámetro de tallo, diámetro de roseta, longitud de la hoja, volumen de raíz, volumen de la piña, peso fresco de raíz, que plantas no inoculadas.

Conclusiones

Las plantas de *Agave angustifolia* micropropagadas, clasificadas en tres categorías de tamaño inicial, que se establecieron durante 20 meses en vivero y recibieron abastecimiento nutrimental mediante fertirriego al 100% de concentración y con inoculación de *Azospirillum brasilense*, alcanzaron mayores valores de altura, diámetro de tallo, número de hojas, longitud de hojas, pesos secos de tallo, raíz y foliar y acumularon mayores concentraciones de N, P, K, Ca, Mg, Cu y B en sus tejidos foliares, en comparación a plantas no fertirrigadas y no inoculadas. Las plantas que tuvieron tamaño inicial mayor continuaron con tamaño superior con respecto a las plantas de tamaño inicial medianas y chicas. Todas las plantas de todos los tratamientos tuvieron el tamaño apropiado para su establecimiento en campo.

Agradecimientos

Al Consejo Nacional de Humanidades, Ciencias y Tecnologías (CONAHCYT) Ahora SECIHTI por la beca de doctorado en Ciencias, otorgada a Maura Elisama Miguel Luna y al Instituto Tecnológico del Valle de Oaxaca.

Bibliografía

- 1 Alcántar, G. G. y Sandoval, V. M. 1999. Manual de análisis químico de tejido vegetal. Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo, AC. Chapingo, México. Publicación especial 10. 156 p.
- 2 Bashan, Y. and Holguin, G. 1998. A proposal for the division of "plant growth-promoting rhizobacteria" into two classifications: biocontrol-plant growth-promoting bacteria and plant growth-promoting bacteria. *Soil Biology and Biochemistry*. 30(9):1225-1228.
- 3 Cruz-García, H.; Campos-Ángeles, G. V.; Enríquez-Valle, J. R.; Rodríguez-Ortiz, G. y Velasco-Velasco, V. A. 2019. Desarrollo de plantas micropropagadas de *Agave americana* var. *Oaxacensis* durante su aclimatización en invernadero. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*. 10(7):1491-1503. <https://doi.org/10.29312/remexca.v10i7.1625>.
- 4 Domínguez-Duarte, C. F.; Cecato, U.; Trento-Biserra, T.; Mamédo D. y Galbeiro, S. 2019. *Azospirillum* spp. en gramíneas y forrajeras. *Revista Mexicana de Ciencias Pecuarias*. 11(1):223-240. <https://doi.org/10.22319/rmcp.v11i1.4951>.
- 5 Enríquez-Valle, J. R.; Rodríguez-Ortiz, G.; Ruiz-Luna, J.; Pacheco-Ramírez, A. J. y Vázquez-Vázquez L. 2018. Crecimiento y condición nutrimental en plantas micropropagadas de *A. angustifolia* abonadas y fertirrigadas en vivero. *Revista Mexicana de Agroecosistemas*. 5(2):106-115.
- 6 Enríquez-Valle, J. R.; Chávez-Cruz, I. L.; Rodríguez-Ortiz, G. y Campos-Ángeles, G. V. 2023. Vitroplantas de *Agave angustifolia* Haw. obtenidas en ambientes de incubación contrastantes, aclimatadas en diferentes sustratos. *Revista Fitotecnia Mexicana*. 46(3):291-298. Doi: <https://doi.org/10.35196/rfm.2023.3.291>.
- 7 García, M. A. y Oberschelp, G. P. J. 2015. Fertilización de *Eucalyptus grandis* en vivero: calidad de las plantas y comportamiento a campo. XXIX Jornadas forestales de entre ríos. 5 p. <http://hdl.handle.net/20.500.12123/17698>.
- 8 Glick, B. R. 2014. Bacteria with ACC deaminase can promote plant growth and help to feed the world. *Microbiology Research*. 169:30-39. <https://doi.org/10.1016/j.micres.2013.09.009>.
- 9 Jarquín-Rosales, D.; Enríquez-Valle, J. R.; Alpuche-Osorno, J. J.; Rodríguez-Ortiz, G.; Martín, M. P. and Campos-Angeles, G. V. 2022. The effects of fertirrigation and *Azospirillum brasilense* inoculation on photosynthetic compounds of *Agave angustifolia*. *Australian Journal of Crop Science*. 16(01):162-168. Doi: 10.21475/ajcs.22.16.01.p3280.
- 10 Jarquín-Rosales, D.; Enríquez-Valle, J. R.; Alpuche-Osorno, J. J.; Rodríguez-Ortiz, G.; Campos-Ángeles, G. V. and Morales, I. 2023. *Agave angustifolia* bulbil growth in different substrates, with doses of fertirrigation and inoculation with *Azospirillum brasilense*. *Ciencia Rural*. 53(3):e20210863. <http://doi.org/10.1590/0103-8478cr20210863>.
- 11 Lavenus, J.; Goh, T.; Roberts, I.; Guyomarc'h, S.; Lucas, M.; Smet, I. and Fukaki, H. 2013. Lateral root development in arabidopsis: fifty shades of auxin. *Trends Plant Science*. 18(8):450-458. <https://doi.org/10.1016/j.tplants.2013.04.006>.
- 12 Luna-Luna, J. S.; Enríquez-Valle, J. R.; Rodríguez-Ortiz, G.; Carrillo-Rodríguez, J. C. y Velasco-Velasco, V. A. 2017. Anatomía y morfología de plantas micropropagadas-aclimatadas de *Agave potatorum* zucc. fertirrigadas en vivero. *Revista Fitotecnia Mexicana*. 40(4):491-494. <https://doi.org/10.35196/rfm.2017.4.491-494>.
- 13 Muñoz-Flores, H. J.; Sáenz-Reyes, J. T.; Coria-Avalos, V. M.; García-Magaña, J. J.; Hernández-Ramos, J. y Manzanilla-Quijada, G. E. 2015. Calidad de planta en el vivero forestal La Dieta, Municipio Zitácuaro, Michoacán. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*. 6(27):72-89.
- 14 Okon, Y. and Vanderleyden, J. 1997. Root-associated *Azospirillum* species can stimulate plants. *Applied Environment Microbiology*. 63(7):366-370.

- 15 Olvera-Vargas, L. A. J.; Pardo-Núñez, N.; Aguilar-Rivera, D. y Contreras-Medina, I. 2022. Detección de *Agave angustifolia* y *Agave cupreata* con técnicas geomáticas en Guerrero, México. *Ciencia y Tecnología Agropecuaria*. 23(2):e2241. <https://doi.org/10.21930/rcta.vol23-num2-art:2241>.
- 16 Pérez-Santiago, R.; Enríquez-Valle, J. R.; Castañeda-Hidalgo, E.; Velasco-Velasco, A. V.; Rodríguez-Ortiz, G. y Campos-Ángeles, G. V. 2014. Dosis de fertirriego durante la aclimatación de plantas de *Agave americana* Micropropagadas. *Revista Mexicana de Agroecosistemas*. 1(1):20-27.
- 17 Ríos-Ramírez, S. C.; Enríquez-Valle, J. R.; Rodríguez-Ortiz, G.; Ruíz-Luna, J. y Velasco-Velasco, V. A. 2021. El crecimiento de *Agave angustifolia* Haw. con relación a la condición nutrimental. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*. 12(5):865-873. <https://doi.org/10.29312/remexca.v12i5.2638>.
- 18 Sánchez-Mendoza, S.; Bautista-Aparicio, G. and Bautista-Cruz, A. 2022. Inorganic fertilization improves *Agave potatorum* Zucc growth and nutrition. *International Journal of Agriculture and Natural Resources*. 49(3):147-156. Doi: 10.7764/ijanr.v 49i3.2338.
- 19 SAS Institute. 2011. SAS/STAT User's Guide. Ver. 9.3. SAS Institute, Inc. Cary, NC. 8621. <http://support.sas.com/documentation/cdl/en/statug/63962/PDF/default/statug.pdf>.
- 20 Shu, K.; Liu, X. D.; Xie, Q. and He, Z. H. 2016. Two faces of one seed: hormonal regulation of dormancy and germination. *Molecular Plant*. 9:34-45. <https://doi.org/10.1016/j.molp.2015.08.010>.
- 21 SIAP. 2019. Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera. Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural. Ciudad de México. <https://nube.siap.gob.mx/cierreagricola/>.
- 22 Steiner, A. A. 1984. The universal nutrient solution. In: proceedings of IWOSC 1984 6 the International Congress on Soilless Culture. Wageningen, the netherlands. 633-650 pp.
- 23 Zúñiga-Estrada, L.; Rosales-Robles, E.; Yáñez-Morales, M. J. y Jacques-Hernández, C. 2018. Características y productividad de una planta MAC, *Agave tequilana* desarrollada con fertigación en Tamaulipas, México. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*. 9(3):553-564. <https://doi.org/10.29312/remexca.v9i3.1214>.



Fertirriego y *Azospirillum* en la nutrición de vitroplantas de *Agave angustifolia* en vivero

Journal Information
Journal ID (publisher-id): remexca
Title: Revista mexicana de ciencias agrícolas
Abbreviated Title: Rev. Mex. Cienc. Agríc
ISSN (print): 2007-0934
Publisher: Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias

Article/Issue Information
Date received: 01 February 2026
Date accepted: 01 April 2026
Publication date: 01 May 2026
Publication date: May-Jun 2026
Volume: 17
Issue: 3
Electronic Location Identifier: e4325
DOI: 10.29312/remexca.v17i3.4325

Categories

Subject: Artículo

Palabras clave:

Palabras clave:

análisis de nutrimentos
bacterias promotoras de crecimiento vegetal
contenido nutrimental
micropropagación vegetal
solución nutritiva

Counts

Figures: 0
Tables: 4
Equations: 0
References: 23