

BIOFERTILIZACIÓN EN EL CRECIMIENTO DE PLÁNTULAS DE *Agave angustifolia* Haw. EN VIVERO

BIOFERTILIZATION IN THE GROWTH OF *Agave Angustifolia* Haw. SEEDLINGS UNDER NURSERY CONDITIONS

Francisco De los Santos-Álvarez^{1a}, Juan Elias Sabino-López^{1b}, Elías Hernández-Castro^{2a*}, Héctor Ramón Segura-Pacheco^{1c}, Mirna Vázquez-Villamar^{1d}, Nicasio Cruz-Huerta³ y Blas Cruz Lagunas^{2b}

^{1a} Maestría en Ciencias Agropecuarias y Gestión Local. Universidad Autónoma de Guerrero. Carretera Iguala-Tuxpán km 2.5, Iguala, CP. 40052, Guerrero, México

<https://orcid.org/0009-0001-3134-5584>

^{1b} Maestría en Ciencias Agropecuarias y Gestión Local. Universidad Autónoma de Guerrero. Carretera Iguala-Tuxpán km 2.5, Iguala, CP. 40052, Guerrero, México

<https://orcid.org/0000-0002-9510-3031>

^{1c} Maestría en Ciencias Agropecuarias y Gestión Local. Universidad Autónoma de Guerrero. Carretera Iguala-Tuxpán km 2.5, Iguala, CP. 40052, Guerrero, México

<https://orcid.org/0000-0002-6232-9819>

^{1d} Maestría en Ciencias Agropecuarias y Gestión Local. Universidad Autónoma de Guerrero. Carretera Iguala-Tuxpán km 2.5, Iguala, CP. 40052, Guerrero, México

<https://orcid.org/0000-0002-5322-3537>

^{2a} Facultad de Ciencias Agropecuarias y Ambientales. Doctorado en Ciencias Ambientales. Universidad Autónoma de Guerrero. Iguala-Tuxpán, CP. 40015, Guerrero, México

<https://orcid.org/0000-0001-6573-6236>

^{2b} Facultad de Ciencias Agropecuarias y Ambientales. Doctorado en Ciencias Ambientales. Universidad Autónoma de Guerrero. Iguala-Tuxpán, CP. 40015, Guerrero, México

<https://orcid.org/0000-0003-4146-7566>

³ Colegio de Postgraduados Campus Montecillo. Posgrado de Recursos Genéticos y Productividad. Km. 36.5 Carretera México-Texcoco C.P. 56230, Montecillo, Texcoco Estado de México, México

<https://orcid.org/0000-0003-1318-8674>

* Autor para correspondencia: ehernandez@uagro.mx

RESUMEN

El *Agave angustifolia* es una especie originaria de México utilizada para obtener diversos productos. Sin embargo, su producción tradicional presenta inconvenientes. Ante esto, la forma de propagación y fertilización podrían ser una alternativa para mejorar la producción de agave. El objetivo de este estudio fue evaluar el efecto de la biofertilización sobre el crecimiento de plántulas de *A. angustifolia* en vivero. Se estableció un experimento, con un arreglo factorial 3×3 completamente al azar. Los factores estudiados fueron: tipo de propagación (semilla, hijuelo e *in vitro*) y la concentración de la solución orgánica (testigo 0%, 5% y 10%). La combinación de los factores resultó en nueve tratamientos con 21 repeticiones. Las plantas de 18 meses de edad se trasplantaron en macetas. A los 90 días después del trasplante (ddt) las plántulas se regaron quincenalmente con la solución orgánica. A los 150 ddt se registró altura, diámetro de la roseta, largo y ancho de la hoja principal y número de hojas por planta. Se realizó un análisis de varianza y prueba de Tukey ($\alpha=0,05$). Las plántulas provenientes de hijuelos tuvieron un mayor diámetro (75 cm) de roseta. Las soluciones al

5 y 10% influyeron en la altura (58,5 a 61 cm) y diámetro (85 a 75 cm) de la roseta, además del número de hojas planta⁻¹ (8 a 9 hojas). La longitud de la hoja principal (61,9 cm) se incrementó con la solución al 10%. Lo anterior indica que la biofertilización representa una alternativa favorable para mejorar la adaptación y el crecimiento de plantas de *A. angustifolia* en vivero.

Palabras clave: *Agave angustifolia*, bagazo, *in vitro*, hijuelos, biofertilización.

ABSTRACT

Agave angustifolia is a species native to Mexico that is used to obtain various products. However, its traditional production presents several challenges. In this context, propagation and fertilization methods could serve as alternatives to improve agave production. The objective of this study was to evaluate the effect of biofertilization on the growth of *A. angustifolia* seedlings under nursery conditions. An experiment was established using a completely randomized 3×3 factorial arrangement. The factors studied were type of propagation (seed, offshoot, and *in vitro*) and the concentration of the organic solution (control 0%, 5%, and 10%). The combination of these factors resulted in nine treatments with 21 replicates. Eighteen-month-old plants were transplanted into pots. Ninety days after transplanting (DAT), the seedlings were watered biweekly with the organic solution. At 150 DAT, plant height, rosette diameter, length and width of the main leaf, and number of leaves per plant were recorded. An analysis of variance and Tukey's test ($\alpha=0,05$) were performed. Seedlings derived from offshoots had a larger rosette diameter (75 cm). The 5% and 10% solutions influenced rosette height (58.5 to 61 cm) and diameter (85 to 75 cm), as well as the number of leaves per plant (8 to 9 leaves). The length of the main leaf (61.9 cm) increased with the 10% solution. These findings indicate that biofertilization represents a favorable alternative for improving the adaptation and growth of *A. angustifolia* plants under nursery conditions.

Keywords: *Agave angustifolia*, bagasse, *in vitro*, suckers, biofertilization.

INTRODUCCIÓN

El agave (*Agave angustifolia* Haw.) es una planta perenne comúnmente conocida como maguey, cuyo centro de origen y diversidad natural es México, donde se encuentran alrededor de 150 especies de las más de 200 existentes (Narváez et al., 2016), distribuidas principalmente en ecosistemas áridos y semiáridos (Pérez et al., 2012). El agave se ha utilizado desde épocas prehispánicas con fines alimenticios, habitacional, espiritual y de recreación (Muñiz-Márquez et al., 2013).

Sin embargo, la producción de plantas de agave presenta algunos inconvenientes, debido a que la mayoría de los productores siembran a través de hijuelos, provocando a largo plazo la pérdida de diversidad genética y la disminución de la resistencia a enfermedades y plagas (García, 2017). A pesar de que las plantas de agave obtenidas por semilla son de suma importancia para mantener la dinámica de las poblaciones y la estructura debido a la alta variabilidad genética que presentan, estas tienen lento desarrollo (Ramírez-Tobías et al., 2011). Este tipo de propagación no es muy usado, debido a que comúnmente el quiote (nombre con el que se conoce en México al escapo floral) es eliminado para el aprovechamiento de la piña

(la parte inferior del tallo) para la elaboración de mezcal; esto evita que las plantas adultas desarrollen inflorescencias y, por ende, que no haya producción de semillas (Brena-Bustamante et al., 2013).

Cuando la reproducción es por semilla, los productores realizan la propagación de manera artesanal, en almácigos conocidos localmente como terrarios o pacholes, con empleo de muy escasa tecnología; esto provoca que las plantas presenten baja sanidad, vigor y uniformidad (Vázquez et al., 2011). Otra forma de propagación es por cultivo *in vitro*; esta es una técnica importante para la multiplicación masiva en agave, con la ventaja de que se obtienen ejemplares sanos, vigorosos y libres de patógenos (Ángeles-Espino et al., 2012), lo que representa una forma de rescatar las especies en peligro de extinción (Garriga et al., 2010).

Otro aspecto importante en el crecimiento de los cultivos es la fertilización, práctica poco común en el cultivo de agave, debido a la dificultad que representa para los productores conocer la condición nutrimental de las plantas adultas que se cosechan, pues la mayoría de las plantaciones, sobre todo silvestres, se desarrollan en suelos con pendientes prolongadas, pedregosos y con baja fertilidad (Cruz et al., 2013). Es importante mencionar que la fertilización con NPK influye

directamente sobre el crecimiento y biomasa de la plántula de agave (Martínez-Ramírez et al., 2013). Recientemente, el uso de la biofertilización en la agricultura ha tomado auge, debido a su bajo impacto en el ambiente y a su uso como fuente alterna de nutrientes y hormonas de crecimiento vegetal provenientes de desechos orgánicos que, favorecen el crecimiento y desarrollo de las plantas (Mamani, 2020; Zagoya et al., 2015). La fertilización orgánica e inorgánica tiene gran importancia en el cultivo de agave, porque es una práctica que lo fortalece y disminuye considerablemente la presencia de plagas (Rosales-Serna et al., 2020).

Por lo anterior, el objetivo de la investigación fue estudiar el efecto de la biofertilización sobre crecimiento de plantas de *A. angustifolia* en vivero, reproducidas sexual y asexualmente.

MATERIALES Y MÉTODOS

Localización del experimento

El experimento se estableció en un vivero cubierto con malla sombra con 40% de transmitancia, ubicado en la Facultad de Ciencias Agropecuarias y Ambientales de la Universidad Autónoma de Guerrero, unidad Tuxpan, Iguala de la Independencia, Guerrero, México; en las coordenadas geográficas 20° 34' 01" N y 99° 30' 10.7" Oeste, a 766 m de altitud. La temperatura

media mensual máxima y mínima en el interior del vivero, durante el crecimiento del cultivo fue de 44 y 25 °C, respectivamente (julio 2019 – julio 2020) (Fig. 1).

Se utilizó un arreglo factorial 3×3 completamente al azar; los factores de estudio fueron el tipo de propagación de las plántulas: por semilla, por hijuelo e *in vitro*, la concentración de la solución orgánica: sin solución 0, 5 y 10%. La combinación de los niveles de cada factor resultó en nueve tratamientos (Tabla 1), con 21 repeticiones. La unidad experimental consistió en una maceta con una planta, con un total de 189 unidades experimentales.

Material vegetal

Se utilizaron plantas de *A. angustifolia*, propagadas por semillas, hijuelos e *in vitro*, procedentes de la región Centro (municipios de Chilapa y Ahuacotzingo) del estado de Guerrero, México, con una edad aproximada de 18 meses.

Biopreparado (biofertilizante líquido)

La preparación del biofertilizante líquido se realizó siguiendo la metodología descrita por el manual de la Food and Agriculture Organization of the United Nations (2010), basada en la fermentación anaerobia de una mezcla de estiércol de ganado bovino y diferentes aditivos para acelerar su fermentación dentro de un

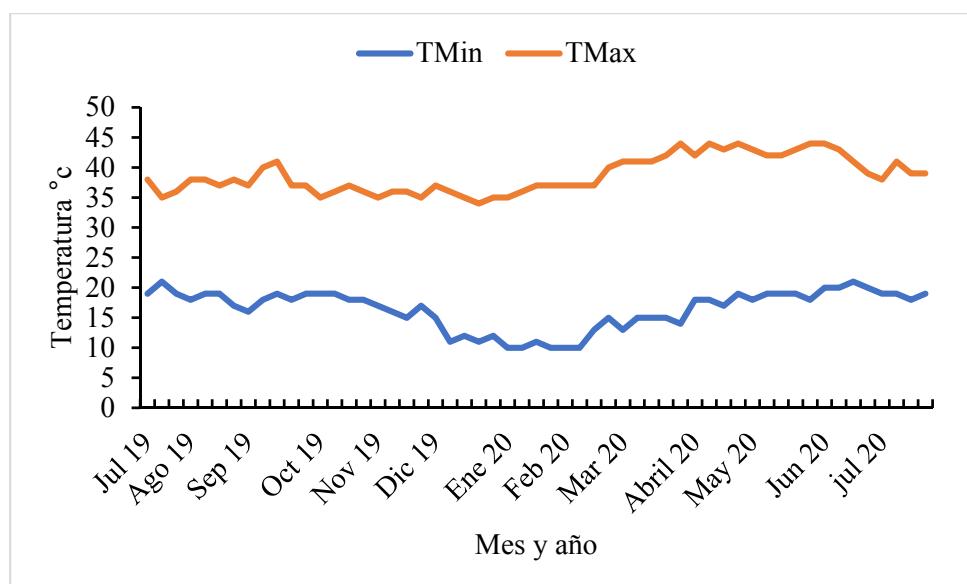


Fig. 1. Temperaturas máximas (Tmáx) y mínimas (Tmín) mensuales durante el crecimiento de plantas de *A. angustifolia* en vivero, durante el periodo julio 2019-julio 2020.

Fig. 1. Maximum (Tmax) and minimum (Tmin) monthly temperatures recorded during the growth of *A. angustifolia*. plants under nursery conditions from July 2019 to July 2020.

Tabla 1. Tratamientos resultantes de la combinación de niveles de los factores estudiados en la producción de plantas de *A. angustifolia* en vivero.
Table 1. Treatments resulting from the combination of factor levels studied in the production of *A. angustifolia* plants under nursery conditions.

Tratamientos	Combinaciones
T1	Plántulas de hijuelos sin solución nutritiva
T2	Plántulas de semilla sin solución nutritiva
T3	Plántulas de in vitro sin solución nutritiva
T4	Plántulas de hijuelos con solución nutritiva al 5%
T5	Plántulas de semilla con solución nutritiva al 5%
T6	Plántulas de in vitro con solución nutritiva al 5%
T7	Plántulas de hijuelos con solución nutritiva al 10%
T8	Plántulas de semilla con solución nutritiva al 10%
T9	Plántulas de in vitro con solución nutritiva al 10%

biodigestor, que consistió en un recipiente de 200 L, cerrado herméticamente, el cual se dejó reposar durante 40 días bajo sombra. Una vez abierto el biodigestor, se tomó una muestra de 1 L para su análisis físico - químico (Tabla 2).

Trasplante

El trasplante se realizó cuando las plántulas presentaron una altura de roseta de 40,3 cm, diámetro de roseta de 51,8 cm y un promedio de 7 hojas planta⁻¹, en macetas de polietileno de 3,8 L, llenadas con sustrato (mezcla de suelo con bagazo de *A. angustifolia*, resultante de los desechos de la destilación de mezcal en el año 2018 y precomposteado a la intemperie durante un año, molido con una trituradora KOHLER®, modelo CH520, serie 4430802021), se colectó una muestra de este, la cual se envió a un laboratorio privado (Fertilab®) para su análisis fisicoquímico (Tabla 2). Enseguida, las plantas se sometieron a un periodo de adaptación de 30 días dentro del vivero y regadas con agua de la llave, previo al riego con solución orgánica.

Riegos y fertilización

Durante el periodo de adaptación, los riegos se realizaron cada 7 días con 1 L de agua corriente por maceta. La fertilización inició a los 92 días después del trasplante (ddt) mediante la aplicación de solución orgánica (biofertilizante) al 5 y 10% de concentración en los tratamientos correspondientes, mientras que los tratamientos testigo (0%) se regaron con agua de la llave (Tabla 2). El pH de la solución orgánica se ajustó a 5,5 en cada riego - utilizando ácido sulfúrico a razón de 2,7 mL por 10 L de solución - con el fin de optimizar la disponibilidad de nutrientes, considerando los requerimientos edáficos de *Agave* spp. en condiciones de vivero. La

medición y verificación del pH se realizó con un potenciómetro HANNA® modelo HI 9812-5.

Variables respuesta y análisis estadístico

A los 150 ddt, la altura (AR) y el diámetro de la roseta (DR), la longitud (LHP) y el ancho de la hoja principal (AHP) fueron registrados con un flexómetro, y se cuantificó el número de hojas (NH) por planta. Finalmente, los datos obtenidos se organizaron en una hoja de cálculo de Excel (2019) con el programa Statistical Analisys System (SAS) versión 9,3, se realizó un análisis de varianza, y las variables significativas fueron comparadas con una prueba de medias de Tukey ($\alpha=0,05$).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

De acuerdo con los valores de *p-value* obtenidos en el análisis de varianza se tuvo que la altura y el diámetro de la roseta, la longitud de la hoja principal y el número de hojas por planta presentaron diferencias estadísticamente significativas por el efecto del tipo de propagación, concentración de la solución orgánica y la combinación de ambos (Tabla 3).

Altura de la roseta

La altura de la roseta en plantas obtenidas de hijuelos (54,2 cm) y semillas (51,7 cm) superó en 26,0 y 22,4%, respectivamente a la altura de roseta de las plantas de *in vitro* (40 cm) (Fig. 2). Esto se debe a que las plantas provenientes de semillas e hijuelos tuvieron mayor velocidad de crecimiento en comparación con las plantas producidas *in vitro*, que requieren un tiempo mayor para aclimatarse o adaptarse. Monja et al. (2015) y Yescas et al. (2016) lo atribuyen a que las plantas de agave cultivadas *in vitro* experimentan

Tabla 2. Características físicas y químicas del sustrato y del biofermentado de estiércol de bovino.
Table 2. Physical and chemical characteristics of the substrate and the biofermented bovine manure.

Determinación	Unidades	Sustrato	Biopreparado
pH		7,51	8,22
Conductividad Eléctrica	dS ⁻¹	1,25	7,80
Nitrógeno total	%	2,09	0,16
Fósforo (P)	%	0,16	0,0034
Potasio (K)	%	0,40	0,19
Calcio (Ca)	%	9,30	0,0099
Magnesio (Mg)	%	0,26	0,04
Sodio (Na)	%	0,0040	0,01
Azufre (S)	%	0,20	0,0039
Hierro (Fe)	ppm	4448	7,86
Cobre (Cu)	ppm	91,70	0,18
Manganoso (Mn)	ppm	60,25	0,15
Zinc (Zn)	ppm	92,16	0,59
Boro (B)	ppm	19,3	0,39
Humedad	%	8,77	99,2
Materia orgánica	%	77,5	0,45
Cenizas	%	22,5	0,40
Carbono orgánico	%	45,0	0,26

Tabla 3. Valores de *p*-value del análisis de varianza para efectos principales e interacciones sobre el crecimiento de plantas de *A. angustifolia*.

Table 3. *P*-values from the analysis of variance for the main effects and interactions on the growth of *A. angustifolia* plants.

Factores de estudio	AR	DR	LHP	AHP	NH
	cm				
Tipo de propagación (P)	<,0001**	<,0001**	<,0001**	0,0679ns	<,0001**
Concentración de la solución orgánica (F)	<,0001**	<,0001**	<,0001**	0,0043ns	<,0001**
PxF	<,0001**	<,0001**	<,0001**	0,0122ns	<,0001**

Valores de *p*-value > 0,05: no significativo (ns); valores de *p*-value ≤ 0,05: significativo (*); valores de *p*-value ≤ 0,01: altamente significativo (**); AR: altura de roseta; DR: diámetro de roseta; LHP: largo de la hoja principal; AHP: ancho de la hoja principal; NH: número de hojas.

cambios severos en su morfología durante la aclimatación, acentuándose en el desarrollo del aparato estomático. Por otro lado, González et al. (2014), mencionan, que la altura de las plantas de agave (*A. fourcroydes* Lem.) estuvo relacionada con el tipo de propagación. Vázquez et al. (2011) indican que la propagación asexual por hijuelos es la forma más común y exitosa de propagación de plantas de *Agave* spp., por desarrollarse más rápido.

En este contexto, Zúñiga-Estrada et al. (2018),

obtuvieron un incremento significativo en plantas de agave provenientes de hijuelos cultivados con fertirriego. Así mismo, Arreola et al. (2020), al comparar el efecto de la biofertilización y fertilización química en *A. tequilana* var. Azul, obtuvieron que la biofertilización promueve la altura de planta, resultados similares a los obtenidos en esta investigación, donde el riego con biofertilización al 5 y 10% permitió el incremento de la altura de las plantas (Fig. 2); ambos tratamientos superaron en 14,1 y 18,2%

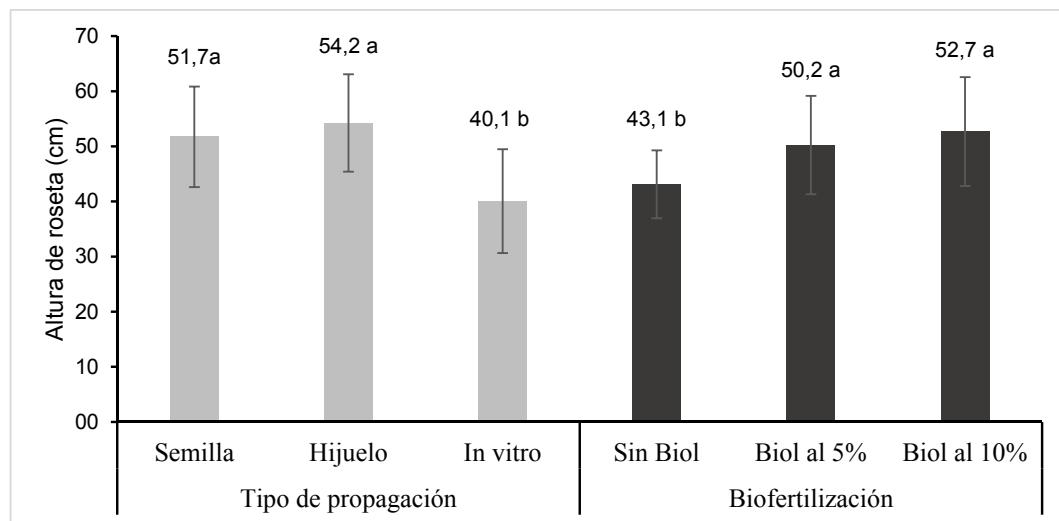


Fig. 2. Efecto del tipo de propagación y fertilización orgánica sobre la altura de roseta en plántulas de *A. angustifolia* cultivadas en vivero. Valores con letras diferentes en columnas del mismo color son estadísticamente diferentes. Tukey ($\alpha = 0,05$). DMS para tipo de propagación: 4,10; DMS para biofertilización: 4,10.

Fig. 2. Effect of propagation type and organic fertilization on rosette height of *A. angustifolia* seedlings grown under nursery conditions. Values with different letters in columns of the same color are statistically different. Tukey ($\alpha = 0.05$). DMS for propagation type: 4.10; DMS for biofertilization: 4.10.

a la altura de roseta en las plantas sin solución, resultado similar al reportado por Ormeño et al. (2013), quienes afirman que la aplicación de abonos orgánicos líquidos favorece el incremento de la altura de las plantas, debido al efecto positivo que provoca la fertilización al aportar nutrientes.

En el mismo sentido, Mamani (2020) encontró que la biofertilización con biol de estiércol de bovino en cañahua (*Chenopodium pallidicaule* Aellen) favoreció la altura de planta. Este efecto también se asemeja con lo mencionado por Ticona et al. (2016), al observar un incremento de la altura en cebada (*Hordeum vulgare* L.) por el efecto del biol; también concuerda con lo indicado por Linares-Gabriel et al. (2017), quienes obtuvieron que la aplicación de biol influye en la altura de heliconia (*Heliconia psittacorum* cv. Tropica), en tanto que Miranda (2018) indica que la aplicación de biol de estiércol de bovino mejora la altura de bolaina blanca (*Guazuma crinita* Mart). En contraste, Yescas et al. (2016) mencionaron que la mayor altura de roseta en *A. americana* var. Oaxacensis L. la tuvieron en plantas *in vitro* sin fertilización.

Por otro lado, se tuvo que la combinación de niveles de los factores estudiados influyó sobre la altura de roseta (Tabla 4). El riego con

solución orgánica al 10% en plantas provenientes de semillas y el riego con solución al 10 y 5%, respectivamente, en plantas de hijuelos, favoreció el incremento de la altura de la roseta, mientras que las plantas obtenidas de *in vitro* y sin solución presentaron menor altura de roseta (Tabla 4). En forma similar, las plantas de *in vitro* regadas con solución (5 y 10%), junto con las plantas de semilla sin solución mostraron la misma respuesta y registraron alturas menores. Este efecto fue constatado por Enríquez et al. (2013), quienes después de evaluar diferentes dosis de fertilización en plantas de *A. angustifolia* y *A. potatorum* Zucc, obtuvieron un incremento en la altura de roseta por el efecto combinado del genotipo y la fertilización. Esta tendencia es similar a lo mencionado por otros investigadores en diferentes cultivos como pimiento morrón (*Capsicum annuum* L.), al obtener incrementos en el rendimiento y producción por el efecto combinado de la fertilización orgánica y la variedad (García-Hernández et al., 2020). Sin embargo, esto es contrario a lo reportado por Martínez-Ramírez et al. (2013), que señalan que no obtuvieron respuesta favorable en la altura de plántulas de *A. angustifolia* y *A. potatorum* con la fertilización.

Tabla 4. Efecto de la interacción entre el tipo de propagación y la biofertilización sobre el crecimiento de plántulas de *A. angustifolia* cultivadas en vivero.**Table 4. Effect of the interaction between propagation type and biofertilization on the growth of *A. angustifolia* seedlings grown under nursery conditions.**

Propagación	Solución orgánica (%)	cm				
		AR	DR	LHP	AHP	NH
Semilla	0	42,3 cde	48,9 e	38,1 de	2,5 a	6,8 b
	5	51,5 bc	59,4 cde	49,1 bc	2,2 a	8,4 ab
	10	61,0 a	69,8 bc	57,9 ab	2,3 a	10,1 a
Hijuelos	0	49,7 bcd	65,1 bcd	49,8 bc	2,9 a	6,7 b
	5	58,5 ab	85,0 a	57,3 abc	2,7 a	8,3 ab
	10	54,6 ab	75,0 ab	61,9 a	2,4 a	8,5 ab
<i>In vitro</i>	0	37,4 e	47,5 e	28,7 e	2,8 a	6,7 b
	5	40,8 de	50,9 de	38,7 d	2,2 a	8,1 ab
	10	42,0 de	53,4 de	47,7 cd	2,3 a	8,9 ab
DMS		9,45	14,86	9,77	0,68	2,35

DMS= Diferencia significativa mínima AR: Altura de roseta; DR: Diámetro de roseta; LHP: Largo de la hoja principal; AHP: Ancho de la hoja principal; NH: Número de hojas.

Diámetro de la roseta

Las plantas procedentes de hijuelos tuvieron un mayor crecimiento en el diámetro de la roseta (75 cm) (Fig. 3), seguido de las plantas obtenidas por semilla (59,4 cm), mientras que las plantas de *in vitro* tuvieron menor diámetro de roseta (50,6 cm). Esta respuesta se debería a que las plantas de agave reproducidas por hijuelo o por semilla presentan mejor adaptación al momento del trasplante en campo o en vivero, mientras que las plantas de *in vitro* presentan mayores problemas en su adaptación, debido a que se obtienen en el laboratorio y, por lo tanto, son manipuladas en un ambiente controlado (Indacochea-Ganchozo et al., 2017). Los resultados obtenidos en esta investigación contrastan con lo reportado por Martínez-Ramírez et al. (2013), quienes mencionan que el tipo de propagación en plántulas de agave no influye en el diámetro de la roseta. Por otro lado, Martínez-Ramírez et al. (2013), también coinciden con lo reportado por Hariyanto et al. (2019), quienes encontraron diferencias en el crecimiento de tallo en plantas de orquídeas (*Dendrobium sylvanum* Rchb. F.) cultivadas en sustratos orgánicos y fertilizadas.

Por otro lado, el riego con solución orgánica al 5 y 10% favoreció el incremento en el diámetro de la roseta (Fig. 3), con 65,1 y 66,1 cm, respectivamente. En cambio, las plantas sin solución presentaron el menor diámetro de roseta (53,8 cm). Al respecto, algunos estudios indican que el suministro de nutrientes en los cultivos mediante la fertilización orgánica e inorgánica

favorecen el crecimiento, lo que incrementa el diámetro del tallo o de la roseta (Martínez-Ramírez et al., 2013; Morales et al., 2017). Estos resultados coinciden con lo reportado en otros cultivos por Mamani (2020), quien menciona que el biol favorece el crecimiento de cañahua (*Ch. pallidicaule*). En el mismo sentido, Ticona et al. (2016) encontraron un aumento en el crecimiento del tallo en cebada (*H. vulgare*) con la aplicación de biol de estiércol de bovino. Mientras que, Miranda (2018), demostró que la fertilización con biol incrementa el diámetro del tallo en bolaina blanca (*G. crinita*).

La respuesta positiva de las plantas de agave regadas con solución orgánica evaluadas en este estudio fue evidente, ya que, como se ha demostrado en otras investigaciones, el riego con solución nutritiva favorece el desarrollo de un diámetro mayor de la roseta en *A. americana* var. Oaxacensis L. (Yesca et al., 2016). También, es común observar un incremento en el diámetro del tallo del agave a medida que es mayor la concentración de la solución nutritiva, como lo demostraron Morales et al. (2017) en *A. potatorum*. El mismo efecto se ha observado en plantas de *A. americana* var. Oaxacensis, al incrementarse el diámetro del tallo a medida que aumentó la dosis de fertilización (Enríquez et al., 2013); igualmente, Cruz et al. (2019) indican efecto positivo en el diámetro del tallo en plantas de *A. americana* regadas con solución nutritiva.

Por otra parte, la combinación del tipo de propagación y concentración de la solución

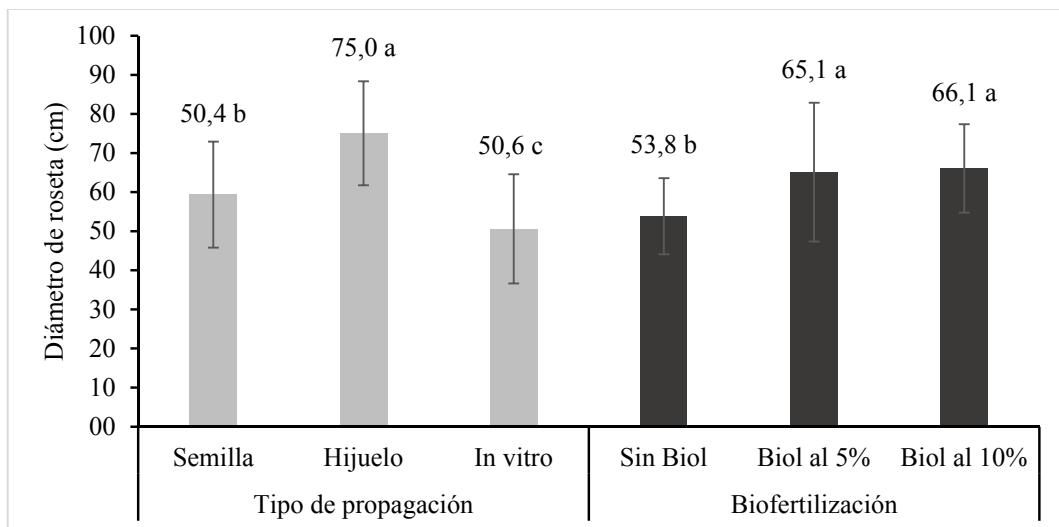


Fig. 3. Efecto del tipo de propagación y fertilización orgánica sobre el diámetro de la roseta en plántulas de *A. angustifolia* cultivadas en vivero. Valores con letras diferentes en columnas del mismo color son estadísticamente diferentes. Tukey ($\alpha = 0,05$). DMS para tipo de propagación: 6,44; DMS para biofertilización: 6,44.

Fig. 3. Effect of propagation type and organic fertilization on rosette diameter of *A. angustifolia* seedlings grown under nursery conditions. Values with different letters in columns of the same color are statistically different. Tukey ($\alpha = 0.05$). DMS for propagation type: 6.44; DMS for biofertilization: 6.44.

orgánica afectaron el diámetro de la roseta (Tabla 4). Las plantas obtenidas por hijuelos regadas con solución al 10 y 5% tuvieron valores promedio de 75 y 85 cm, respectivamente, superando en 13,2 y 23,4% el diámetro de roseta en plantas de semilla e *in vitro* sin solución orgánica, las cuales tuvieron menores valores promedio (61 y 42 cm) (Tabla 4). Estos resultados contrastan con lo señalado por Martínez-Ramírez et al. (2013), quienes no encontraron respuesta a la fertilización con NPK en plántulas de *A. angustifolia* y *A. potatorum*, a diferencia de lo reportado por Morales et al. (2017), quienes observaron un incremento en el diámetro de tallo con la aplicación de la solución nutritiva en *A. potatorum*, regadas con solución nutritiva a diferentes concentraciones. Este comportamiento contrasta con lo reportado por Cruz et al. (2019), quienes señalan que la solución nutritiva afecta negativamente en el diámetro del tallo en plantas de *A. americana*.

Longitud de la hoja principal

Se obtuvo que las plantas provenientes de hijuelos (56,3 cm) y semillas (48,4 cm) superaron en 30,1 y 20,6% la longitud de la hoja alcanzado por las plantas de *in vitro* (38 cm) (Fig. 4). Según Vázquez et al. (2011) y Morales et al. (2017),

esto se debió a que las plantas provenientes de semillas e hijuelos tienden a tener hojas con mayor longitud. Los resultados del presente trabajo tienen similitud con lo señalado por Imery y Cequea (2012), quienes mencionan que el tipo de propagación de *Aloe vera* (L.) influye en la longitud de planta.

También se observó que el riego con solución orgánica al 5 y 10% incrementó la longitud de la hoja principal (Fig. 4) en 19,6 y 30,4%, con respecto a la longitud de la hoja sin biofertilización. Esta respuesta positiva sobre la longitud de la hoja también se ha observado en *A. tequilana* y *A. Weber* var. Azul, por efecto de la biofertilización (Arreola et al., 2020). Este comportamiento fue observado por Enríquez et al. (2013) y Morales et al. (2017), quienes indican que la fertilización y la concentración de la solución nutritiva afectó positivamente la longitud de la hoja de *A. potatorum*. En contraste, Yescas et al. (2016), mencionan que la fertilización no influye en la longitud de la hoja en plantas de *A. americana* var. Oaxacensis. En el mismo sentido, Cruz et al. (2019) indican que la fertilización no incrementó la longitud de hoja en plantas *A. americana*, lo cual es contrario a lo reportado por Harynto et al. (2019), quienes demostraron en orquídeas que,

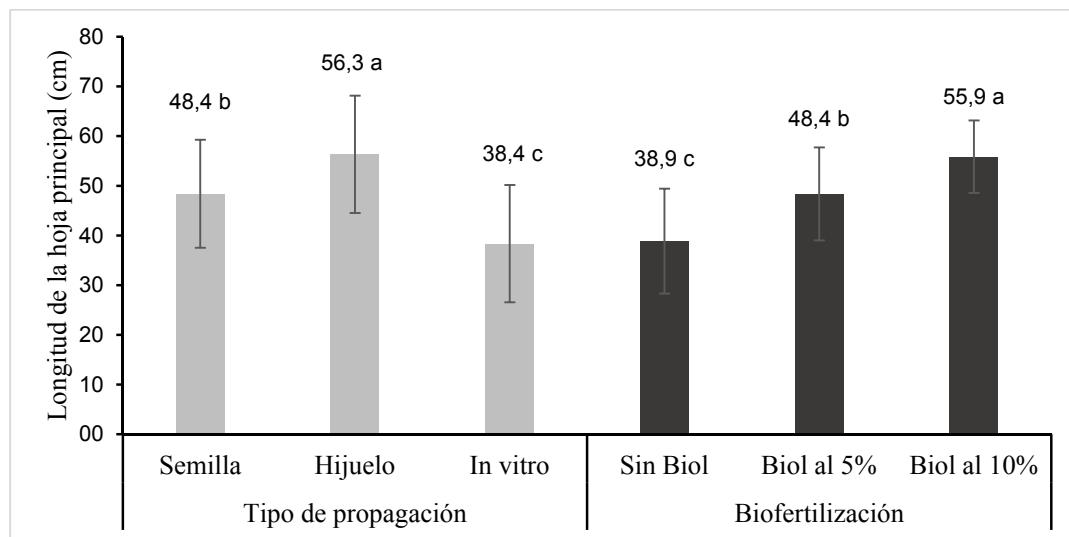


Fig. 4. Efecto del tipo de propagación y fertilización orgánica sobre la longitud de la hoja principal por plántula de *A. angustifolia* cultivadas en vivero. Valores con letras diferentes en columnas del mismo color son estadísticamente diferentes. Tukey ($\alpha = 0.05$). DMS para tipo de propagación: 4,23; DMS para biofertilización: 4,23.

Fig. 4. Effect of propagation type and organic fertilization on the length of the main leaf per seedling of *A. angustifolia* grown under nursery conditions. Values with different letters in columns of the same color are statistically different. Tukey ($\alpha = 0.05$). DMS for propagation type: 4.23; DMS for biofertilization: 4.23.

el incremento de la longitud de hojas, se puede atribuir a la aplicación de fertilizante. Hazrati et al. (2012) obtuvieron un resultado similar con la aplicación de N en *Aloe vera*.

Por otro lado, la combinación de niveles del tipo de propagación y de la solución orgánica modificó la longitud de la hoja principal (Tabla 4). Por un lado, las plantas obtenidas por semillas e hijuelos regadas con solución orgánica al 5 y 10% alcanzaron la mayor longitud de hoja con 57,9 y 61,9 cm, respectivamente, mientras que las plantas de *in vitro* sin solución presentaron menor longitud de hoja (Tabla 4). Esta respuesta es similar a lo reportado por Arreola et al. (2020) en *A. tequilana* Weber, quienes observaron efectos positivos en la longitud de la hoja asociados a la biofertilización. También se ha reportado que el incremento de la longitud de la hoja ocurre en respuesta a la fertilización en *A. potatorum* (Morales et al., 2017). Dicho comportamiento también fue registrado en *Agave americana* var. Oaxacensis por Enríquez et al. (2013), quienes atribuyen el incremento de la longitud de hoja a la fertilización. Por su parte, Adriano et al. (2011) señalan que la biofertilización mejora el crecimiento y desarrollo de las plantas.

Ancho de la hoja principal

Los resultados encontrados con respecto al ancho de la hoja en el presente trabajo fueron negativos (Fig. 5), similar a lo reportado por Arreola et al. (2020), que no encontraron efecto de la biofertilización en el ancho de la hoja en *A. tequilana*.

Asimismo, Martínez et al. (2012), observaron que las plantas sin solución orgánica (0%) tuvieron hojas más anchas, en plantas de *A. potatorum* sin solución nutritiva que con solución, lo que indica que en algunos casos la biofertilización no siempre afecta el tamaño de la hoja como se ha reportado en otras especies como lechuga (*Lactuca sativa* L.) (Mamani-Mamani et al., 2015).

Sin embargo, Enríquez del Valle et al. (2024), reportan que las plantas de *A. angustifolia* establecidas en vivero, donde se les aplicó sustratos con 17,5 o 35% de abono, alcanzaron tamaños mayores en altura de planta y ancho de hoja, lo cual coincide con Morales et al. (2017), que indican que el aumento de la concentración de la solución nutritiva genera hojas más anchas en *A. potatorum*. Este efecto positivo también se ha reportado en *A. americana*, donde el aumento de la concentración de la solución nutritiva incrementó el ancho de las hojas (Cruz et al., 2019).

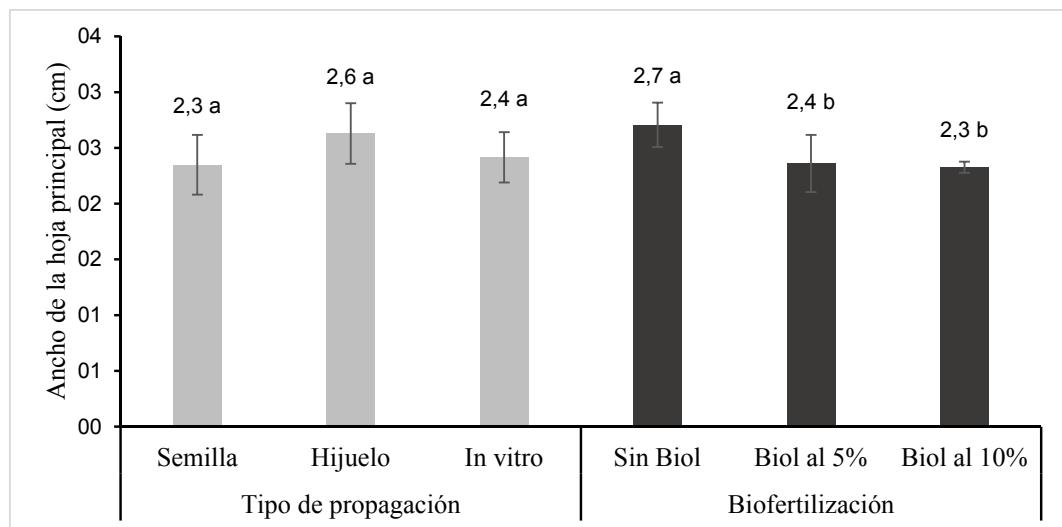


Fig. 5. Efecto del tipo de propagación y fertilización orgánica sobre el ancho de la hoja principal de plántulas de *A. angustifolia* cultivadas en vivero. Valores con letras diferentes en columnas del mismo color son estadísticamente diferentes. Tukey ($\alpha = 0,05$). DMS para tipo de propagación: 0,29; DMS para biofertilización: 0,29.

Fig. 5. Effect of propagation type and organic fertilization on the width of the main leaf of *A. angustifolia* seedlings grown under nursery conditions. Values with different letters in columns of the same color are statistically different. Tukey ($\alpha = 0.05$). DMS for propagation type: 0.29; DMS for biofertilization: 0.29.

Harynto et al. (2019) mencionan que el ancho de la hoja en orquídea (*Dendrobium sylvanum* Rchb. F.), se debe al efecto de la fertilización. Dicho comportamiento concuerda con lo reportado por Hazrati et al. (2012) e Imery y Cerqueda, (2012) quienes señalan un efecto positivo de la fertilización en el ancho de la hoja de *Aloe vera*.

Con respecto a la interacción de los factores de estudio, se tuvo que el ancho de la hoja principal no se modificó por el efecto combinado del tipo de propagación y la biofertilización, cuyos promedios oscilaron de 2,2 a 2,9 cm (Tabla 4). Esto podría deberse a que de manera individual ninguno de los factores estudiados influyó en el incremento del tamaño de la hoja (Fig. 5). Sin embargo, la biofertilización sí afecta el ancho de la hoja en otros cultivos (Mamani-Mamani et al., 2015).

Número de hojas

Los análisis estadísticos indican que la forma de propagación no influyó en el número de hojas en las plantas de agave evaluadas, cuyo valor promedio fue de 8 hojas planta⁻¹ (Fig. 6). Estos resultados son similares al número de hojas reportado por Arreola et al. (2020) en *A. tequilana* Weber. Sin embargo, algunos trabajos publicados indican que la propagación *in vitro*

favorece el incremento en el número de hojas en plantas de agave (González et al., 2014), así como en otras especies (i. e. *Psidium guajava* L.), donde plantas obtenidas por *in vitro* presentaron mayor número de hojas durante su crecimiento, en comparación con las plantas obtenidas por semilla (Vilchez et al., 2015). Por el contrario, Imery y Cequea (2012), obtuvieron mayor número de hojas en plantas de *Aloe vera* cuando estas se obtuvieron por semilla.

Con respecto a la biofertilización, el riego con solución al 5 y 10% favorecieron la producción de hojas en las plantas de agave estudiadas (Fig. 6), estas superaron en 19,2 y 27,1%, respectivamente, al número de hojas producidas en plantas regadas sin solución, lo cual se puede atribuir al efecto positivo de los nutrientes proporcionados por la solución orgánica. Esta respuesta también ha sido registrada en *A. tequilana*, donde el número de hojas planta⁻¹ se incrementó al ser fertirrigadas con solución nutritiva (Zúñiga-Estrada et al., 2018). Un comportamiento similar ha sido corroborado por Cruz et al. (2019), quienes demostraron que la solución nutritiva influyó sobre el número de hojas en *A. americana*. En el mismo contexto, los resultados de la presente investigación indican que el riego con solución nutritiva

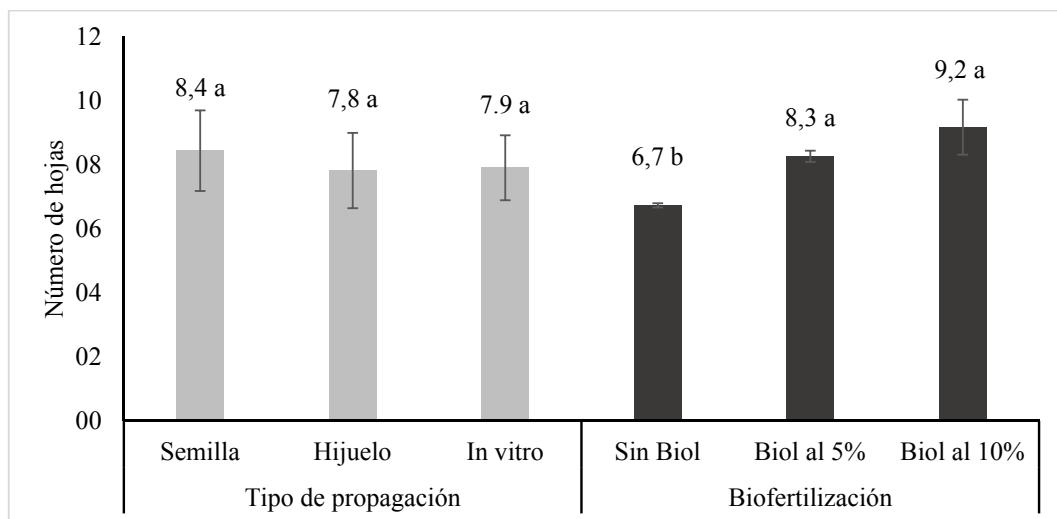


Fig. 6. Efecto del tipo de propagación y fertilización orgánica sobre número de hojas de plántulas de *A. angustifolia* cultivadas en vivero. Valores con letras diferentes en columnas del mismo color son estadísticamente diferentes. Tukey ($\alpha = 0.05$). DMS para tipo de propagación: 1,02; DMS para biofertilización: 1,02.

Fig. 6. Effect of propagation type and organic fertilization on the number of leaves in *A. angustifolia* seedlings grown under nursery conditions. Values with different letters in columns of the same color are statistically different. Tukey ($\alpha = 0.05$). DMS for propagation type: 1.02; DMS for biofertilization: 1.02.

favorece el incremento en el número de hojas en diferentes especies de agave (Enríquez et al., 2013; Morales et al., 2017). Estos resultados son similares a lo reportado por Hazrati et al. (2012), quienes demostraron que el número de hojas de las plantas es atribuido a la aplicación de fertilizante. También tiene similitud con lo que reportado por Chowdhury et al. (2020), quienes mencionan que la fertilización orgánica tiene efecto significativo en número de hojas de *Aloe vera*.

Por otro lado, la combinación de la forma de propagación con la biofertilización provocó diferencias en el número de hojas planta⁻¹ (Tabla 4). Se obtuvo que tanto las plantas provenientes de semillas, hijuelos e *in vitro*, regadas con solución al 5 y 10%, presentaron un mayor número de hojas, mientras que las plantas obtenidas por hijuelos e *in vitro* sin biofertilización tuvieron el menor número de hojas planta⁻¹ (Tabla 4), lo que indica que independientemente del tipo de propagación, la biofertilización puede influir en el crecimiento de las plantas y, por ende, la producción de hojas (Abanto-Rodríguez et al., 2019). En contraparte, Martínez-Ramírez et al. (2013) no detectaron incrementos en el número de hojas por la fertilización en *A. angustifolia* y *A. potatorum*. Este comportamiento también

es confirmado por Yescas et al. (2016), quienes observaron que la fertilización no influyó en un incremento de hojas en *A. americana* var. *Oaxacensis* L. obtenidas por *in vitro*.

CONCLUSIONES

La forma de propagación influyó en el crecimiento de las plántulas de *A. angustifolia*. Sobre todo, cuando estas provienen de hijuelos, al presentar mayor crecimiento en altura y diámetro de la roseta, así como en la longitud de la hoja principal.

La biofertilización con biol de estiércol bovino mostró un efecto positivo y consistente en el crecimiento de las plántulas en condiciones de vivero. La aplicación de soluciones al 5 y 10% incrementó significativamente la altura y el diámetro de la roseta, la longitud de la hoja principal y el número de hojas por planta, independientemente del método de propagación utilizado.

Estos hallazgos respaldan que la biofertilización representa una alternativa técnica y sustentable para mejorar la producción y adaptación de plántulas de *A. angustifolia* en vivero, potenciando el crecimiento vegetal de forma eficiente y ecológicamente responsable.

Contribución de autores

Participación activa en la revisión bibliográfica: Francisco De los Santos Álvarez, Juan Elias Sabino López, Elías Hernández Castro, Héctor Ramón Segura Pacheco, Mirna Vázquez Villamar y Nicasio Cruz Huerta

Participación activa en la elaboración de la metodología: Francisco De los Santos Álvarez, Juan Elias Sabino López, Elías Hernández Castro, Héctor Ramón Segura Pacheco, Nicasio Cruz Huerta y Blas Cruz Lagunas

Participación activa en la discusión de los resultados: Juan Elias Sabino López, Elías Hernández Castro, Héctor Ramón Segura Pacheco, Nicasio Cruz Huerta y Blas Cruz Lagunas

Revisión y aprobación de la versión final del artículo: Elías Hernández Castro, Héctor Ramón Segura Pacheco y Nicasio Cruz Huerta

LITERATURA CITADA

- Abanto-Rodríguez, C., G. M. Soregui-Mori, M. H. Pinedo-Panduro, E. V. Velasco-Castro, E. J. Paredes-Dávila y E. Medeiros-Oliveira. 2019. Uso de biofertilizantes en el desarrollo vegetativo y productivo de plantas de camu-camu en Ucayali, Perú. Revista Ceres 66:108-116. <https://doi.org/10.1590/0034-737X201966020005>
- Adriano, A M. D. L., R. Jarquín G., C. Hernández R., M. Salvador F. y C. T. Monreal V. 2011. Biofertilización de café orgánico en etapa de vivero en Chiapas, México. Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas 2:417-431. <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=263119714009>
- Ángeles-Espino, A. J. Valencia-Botín, G. Virgen-Calleros, C. Ramírez-Serrano, L. Paredes-Gutiérrez y S. Hurtado-De la Peña. 2012. Micropropagation of agave (*Agave tequilana* Weber. var. Azul) through axillary buds. Tropical and Subtropical Agroecosystems 15:693-698. <http://dx.doi.org/10.56369/tsaes.1355>
- Arreola, T. J. M., V. M. Montoya J., J. M. Arreola N., X. Castillo V., E. A. Olivares A. y A. Báez P. 2020. Efecto de la aplicación de levasa (mosto de caña de azúcar) en la producción y calidad de *Agave tequilana* Weber. Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas 11:1311-1324. <https://doi.org/10.29312/remexca.v11i6.2216>
- Brena-Bustamante, P., R. Lira-Saade, E. García-Moya, A. Romero-Manzanares, H. Cervantes-Maya, M. López-Carrera y S. Chávez-Herrera. 2013. Aprovechamiento del escapo y los botones florales de *Agave kerchovei* en el Valle de Tehuacán-Cuicatlán, México. Botanical Sciences 91:181-186. https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-42982013000200005
- Chowdhury, T., M. A. H. Chowdhury, M. A. Rahman, K. Nahar, M.T.I. Chowdhury, and M. S. I. Khan. 2020. Response of *Aloe vera* to inorganic and organic fertilization in relation to leaf biomass yield and post harvest fertility of soil. Bulgarian Journal of Agricultural Science 26(2):346-354. https://journal.agrojournal.org/page/en/details.php?article_id=2805
- Cruz, G. H., G. V. Campos Á., J. R. Enríquez D. V., G. Rodríguez O. y V. A. Velasco. 2019. Desarrollo de plantas micropagadas de *Agave americana* var. Oaxacensis durante su aclimatación en invernadero. Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas 10:1491-1503. <https://doi.org/10.29312/remexca.v10i7.1625>
- Cruz, G. H., J. R. Enríquez, V. A. Velasco, J. Ruiz, G. V. Campos y D. E. Aquino. 2013. Nutrientes y carbohidratos en plantas de *Agave angustifolia* Haw. y *Agave karwinskii* Zucc. Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas 4:1161-1173. <https://doi.org/10.29312/remexca.v0i6.1280>
- Enríquez-del Valle, J. R., R. Garnica-García, G. Rodríguez-Ortiz e I. Morales. 2024. Crecimiento de plantas de *Agave angustifolia* originadas de bulbos, sometidas a diferentes sustratos y fertirriego. Idesia (Arica) 42(1): 24-31. <https://dx.doi.org/10.4067/s0718-34292024000100024>
- Enríquez, V. J. R., A. Estrada S., G. Rodríguez O., V. A. Velasco V. y G. V. Campos Á. 2013. Sustrato y dosis de fertirriego en la aclimatación de vitroplantas de *Agave americana* var. oaxacensis. Revista de la Facultad de Ciencias Agrarias 45:341-348. <http://bdigital.uncu.edu.ar/6128>
- Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO) .2010. Biopreparados para el manejo sostenible de plagas y enfermedades en la agricultura urbana y periurbana. Primera Edición, noviembre de 2010. 56 p. <http://www.fao.org/3/a-as435s.pdf>
- García, C.M. 2017. Los Agaves en el campo mexicano. Oikos 18:7-11. <https://publicaciones.ecología.unam.mx/oikos4/images/portadas-pdfs/N18.pdf>

- García-Hernández, S. A., J. Marín-Sánchez, M. Romero-Méndez, C. Hernández-Pérez y S. López-Aguirre. 2020. Respuesta productiva y de calidad de seis variedades de pimiento morrón (*Capsicum annuum* L.) a la fertilización orgánica en Guadalzacaar, SLP. Revista Bio Ciencias 7:1-12. <https://doi.org/10.15741/revbio.07.e743>
- Garriga, C. M., G. González O., S. Alemán G., E. Abreu C., K. Quiroz B., P. D.S. C., and R. García G. 2010. Management of Auxin-Cytokinin interactions to improve micropropagation protocol of Henequen (*Agave fourcroydes* Lem.). Chilean Journal of Agricultural Research 70:545-551. <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-58392010000400003>
- González, O. G., M. Sosa. C., S. Alemán G. y E. Abreu C. 2014. Efecto de diferentes tipos de semilla en la propagación de *Agave fourcroydes* Lem. variedad Sac Kí'sobre indicadores relacionados con el crecimiento en vivero. Biotecnología Vegetal 14:169-178. <https://biblat.unam.mx/hevila/Biotecnologiatectal/2016/vol16/no1/4.pdf>
- Hariyanto, S., A Ridwan J., and H. Purnobasuki. 2019. Effects of plant media and fertilization on the growth of orchid plant (*Dendrobium sylvanum* rchb. F.) in acclimatization phase. Planta Tropika: Journal Agrosains (Journal of Agro Science) 7(1):66-72. <https://doi.org/10.18196/pt.2019.095.66-72>
- Hazrati, S., Z. T. Sarvestani, and A. Salehi. 2012. The effect of differential nitrogen fertilization on morphological and physiological traits of *Aloe vera* plants. International Research Journal of Applied and Basic Sciences 3:682-687. <https://scispace.com/pdf/the-effect-of-differential-nitrogen-fertilization-on-2c8ntftunt.pdf>
- Imery, B. J. D. V. y H. Cequea. 2012. Estudio morfológico y citogenético del híbrido experimental *Aloe vera* (L.) Burm. f. x *A. jacksonii* Reyn. Revista Científica UDO Agrícola 12:267-274. <https://rebiun.baratz.es/OpacDiscovery/public/catalog/detail/pdf?detailId=b2FpOmNlbGVicmF0aW9uOmVzMjJhcmF0ei5yZW4vMzA4NDg0NjY>
- Indacochea-Ganchozo, B., J. Parrales-Villacreses, C. Castro-Piguave, M. Vera-Tumbaco y J. Gabriel-Ortega. 2017. Aclimatación *in vitro* de especies forestales nativas del Sur de Manabí en peligro de extinción. Journal of the Selva Andina Research Society 8:124-134. <http://dx.doi.org/10.36610/j.jsars.2017.080200124>
- Linares-Gabriel, A., C. J. López-Collado, C. A. Tinoco-Alfaro, J. Velasco-Velasco and G. López-Romero. 2017. Application of biol, inorganic fertilizer and superabsorbent polymers in the growth of heliconia (*Heliconia psittacorum* cv. Tropica). Revista Chapingo Serie Horticultura 23:35-48. <http://dx.doi.org/10.5154/r.rchsh.2016.02.004>
- Mamani, R. F. 2020. Producción de grano de ecotipos locales de Cañahua (*Chenopodium pallidicaule* Aellen) con aplicación de biol de estiercol bovino en la Estación Experimental Choquenaira. Revista de Investigación e Innovación Agropecuaria y de Recursos Naturales 7:30-39. http://www.scielo.org.bo/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2409-16182020000100005
- Mamani-Mamani, V., M. Loza-Murguia, L. Coronel-Quispe, H. Sainz-Mendoza, V. Paaye-Huaranca, y F. Coronel. 2015. Uso de la orina humana como fertilizante en la producción de lechuga Waldmann green (*Lactuca sativa* L.). Journal of the Selva Andina Biosphere 3:24-38. <http://dx.doi.org/10.36610/jjsab.2015.030100024>
- Martínez, R. S., A. Trinidad S., C. Robles, A. Galvis S., T. M. Hernández M., J.A. Santizo-Rincón, G. Bautista-Sánchez y E.C. Pedro-Santos. 2012. Crecimiento y sólidos solubles de *Agave potatorum* Zucc. inducidos por riego y fertilización. Revista Fitotecnia Mexicana 35:61-68. <https://doi.org/10.35196/rfm.2012.1.61>
- Martínez-Ramírez, S., A. Trinidad-Santos, G. Bautista-Sánchez, y E.C. Pedro-Santos. 2013. Crecimiento de plántulas de dos especies de mezcal en función del tipo de suelo y nivel de fertilización. Revista Fitotecnia Mexicana 36:387-393. <http://dx.doi.org/10.35196/rfm.2013.4.387>
- Miranda, R. E. 2018. Efecto de tres tipos de abono orgánico líquido (biol), en la etapa de desarrollo en vivero de bolaina blanca (*Guazuma crinita* C. Martius). Tzhoecoen 10:371-382. <http://dx.doi.org/10.26495/rtzh1810.327529>
- Monja-Mio, K.M., F. Barredo Pool, G. Herrera Herrera, M. Esqueda Valle y M. Robert. 2015. Development of the stomatal complex and leaf surface of *Agave angustifolia* Haw. 'Bacanora' plantlets during the *in vitro* to *ex vitro* transition process. Scientia Horticulturae 189:32-40. <http://dx.doi.org/10.1016/j.scienta.2015.03.032>
- Morales I., G. A. Martínez G., C. I. Cortés M., T. Aquino B., C. Escamirosa T. y M. Hernández T. 2017. Crecimiento de *Agave potatorum* cultivado en ambientes contrastantes y fertirrigación. Revista Mexicana de Agroecosistemas 4:18-27. <https://revistaremaeitvo.mx/index.php/remae/issue/view/18>

- Muñiz-Márquez, D. B., R. M. Rodríguez-Jasso, R. Rodríguez-Herrera, J. C. Contreras-Esquivel, y C. N. Aguilar-González. 2013. Producción artesanal del Aguamiel: Una bebida tradicional mexicana producción artesanal del Aguamiel. Revista Científica de la Universidad Autónoma de Coahuila 5:12-19. <https://iniciativasolidaria.itesa.edu.mx/resources/DCVI/3.%20Aguamiel%20producci%C3%B3n.pdf>
- Narváez, S. A. U., T. Martínez S., y M. A. Jiménez V. 2016. El cultivo de maguey pulquero: opción para el desarrollo de comunidades rurales del altiplano mexicano. Revista de Geografía Agrícola 56:33-44. <http://dx.doi.org/10.5154/r.rga.2016.56.005>
- Ormeño D. M. O., A. Ovalle, N. Terán, y J. C. Rey B. 2013. Evaluación de diferentes abonos orgánicos en el desarrollo de plantas de guayaba y calidad de los suelos en vivero. Agronomía Trop 63:73-84. https://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0002-192X2013000100008
- Pérez M. B. E., M. J. Esparza A. y M. E. Pérez R. 2012. Conservación in vitro de germoplasma de *Agave* spp. bajo condiciones de crecimiento retardado. Revista Fitotecnia Mexicana 35:279-287. <http://dx.doi.org/10.35196/rfm.2012.4.279>
- Ramírez-Tobías, H. M., C. B. Peña-Valdivia, J. R. Aguirre-R, J. A. Reyes-Agüero, A. B. Sánchez-Urdaneta, and G. S. Valle-G. 2011. Seed germination temperatures of eight Mexican *Agave* species with economic importance. Plant Species Biology 27:124-137. <http://dx.doi.org/10.1111/j.1442-1984.2011.00341.x>
- Rosales-Serna, R., Ríos-Saucedo J. C., Rosales-Mata S., Santana E. S. y Domínguez-Martínez, P.A. 2020. Fertilización química y crecimiento de maguey cenizo y sotol en plantaciones comerciales establecidas en durango. Ciencia e Innovación 3(1):43-52. www.researchgate.net/publication/342393173
- Ticona, G. O., R. Céspedes, Z. Martínez, y G. Chi-pana. 2016. Aplicación de Biol y riego por aspersión en la producción de cebada forrajera (*Hordeum vulgare*) en el municipio de Viacha. Revista de Investigación e Innovación Agropecuaria y de Recursos Naturales 3:39-47. http://www.scielo.org.bo/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2409-16182016000100006
- Vázquez D.E., J. R. García N., C. B. Peña V., H. M. Ramírez T. y V. Morales R. 2011. Tamaño de la semilla, emergencia y desarrollo de la plántula de maguey (*Agave salmiana* Otto ex Salm-Dyck). Revista Fitotecnia Mexicana 34:167-173. <https://doi.org/10.35196/rfm.2011.3.167>
- Vilchez, J., L. Martínez y N. Albany. 2015. Comparación del crecimiento en vivero entre plántulas y vitroplantas de guayabo cultivar enana roja cubana Eea-1840. Interciencia 40:270-274. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=33935906006>
- Yescas, A. E., G. V. Campos Á., J. R. Enríquez V., V. A. Velasco V., G. Rodríguez O. y J. Ruiz L. 2016. Aclimatación de *Agave americana* var. Oaxacensis obtenidas in vitro. Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas 7:911-922. <https://doi.org/10.29312/remexca.v7i4.275>
- Zagoya Martínez, J., J. Ocampo M., I. Ocampo F., A. Macías L., y P. De La Rosa P. 2015. Caracterización fisicoquímica de biofermentados elaborados artesanalmente. Biotecnia 17:14-19. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=672971115003>
- Zúñiga-Estrada L., E. Rosales-Robles, M. D. J. Yáñez-Morales, y C. Jacques-Hernández. 2018. Características y productividad de una planta MAC, *Agave tequilana* desarrollada con fertigación en Tamaulipas, México. Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas 9:553-564. <https://doi.org/10.29312/remexca.v9i3.1214>

