

DESARROLLO DE *Agave americana* var. *oaxacensis* POR EFECTO DE NUTRICIÓN ORGÁNICA, FERTIRRIEGO Y BENCILAMINOPURINA

DEVELOPMENT OF *Agave americana* var. *oaxacensis* DUE TO THE EFFECT OF ORGANIC NUTRITION, FERTIGATION AND BENCYLAMINOPURINE

¹Daniel Eduardo Canseco-Santiago , ¹José Raymundo Enríquez-del-Valle , ¹Gerardo Rodríguez-Ortiz ,
¹Marcos Emilio Rodríguez-Vásquez , ¹Juan Ángel García-Aguilar , ²Gloria Paulina Pérez-Félix 

¹Tecnológico Nacional de México, Campus Valle de Oaxaca (TecNM-ITVO). Ex hacienda de Nazareno, Xoxocotlán, Oaxaca, México. C.P. 71233. ²Instituto Politécnico Nacional-Centro Interdisciplinario de Investigación para el Desarrollo Integral Regional (IPN-CIIDIR), Unidad Oaxaca, Oaxaca, México. C.P. 71230. ³Autor de correspondencia: (danny-casant@hotmail.com).

RESUMEN

Las especies de agave se reproducen de forma sexual y asexual; sin embargo, gran parte de las plantas en vivero no se fertilizan, ocasionando plantas raquíticas y de bajo porte, afectando así, la adaptación a nuevos sitios de establecimiento, escasa producción de bulbos y bajos niveles de azúcares durante su etapa fisiológica en campo. Por lo anterior el objetivo fue evaluar en vivero el crecimiento de plantas de *Agave americana* var. *oaxacensis*, y su producción de rizomas en diferentes sustratos, fertirriego y aplicación de N6-bencilaminopurina (BAP). El experimento se estableció bajo un diseño completamente al azar, con seis tratamientos; la unidad experimental fue una planta con cinco repeticiones por tratamiento. Los agaves fueron irrigados con agua, o fertirrigados con solución nutritiva (SN) o con SN+ bencilaminopurina (BAP), dos veces por semana durante 140 días. Los datos se sometieron a análisis de varianza, pruebas de medias (Tukey, 0.05) y contrastes ortogonales. Transcurridos 140 días, las plantas en suelo agrícola (SA) + abono bovino (AB), fertirrigadas con SN+ 20 mg L⁻¹ de BAP mostraron mejor crecimiento en las variables medidas; de tal manera que el incremento en rizomas, altura de planta, número de hojas y diámetro de tallo mejoró respectivamente en: 20.0, 19.8, 12.7 y 26.1 % en relación al grupo testigo (plantas en SA e irrigadas con agua). El abastecimiento nutrimental mediante fertirriego o incorporando abono al sustrato, así como la

aplicación de citocininas estimulan el crecimiento de las plantas de *A. americana* var. *oaxacensis* y desarrollan más vástagos de rizoma.

Palabras clave: citocinina, emisión de rizomas, solución nutritiva, sustratos.

ABSTRACT

Agave species reproduce sexually and asexually; however, a large part of the plants in the nursery are not fertilized, causing stunted and low plants, thus affecting the adaptation to new sites of establishment, low production of bulbs and low levels of sugars during their physiological stage in the field. Therefore, the objective was to evaluate the growth of *Agave americana* var. *oaxacensis*, and its production of rhizomes in different substrates, fertigation and application of N6-benzylaminopurine (BAP). The experiment was established under a completely randomized design, with six treatments. The experimental unit was one plant and there were five repetitions per treatment. The agaves were irrigated with water, or fertigated with nutrient solution (SN) or with SN+ benzylaminopurine (BAP), twice a week for 140 days. The data were analyzed using analysis of variance, tests of means (Tukey, 0.05) and orthogonal contrasts. After 140 days, the plants in agricultural soil (SA) + bovine manure (AB), fertigated with SN+ 20 mg L⁻¹ of BAP reached the best growth in the measured variables; in such way that the increase in rhizomes, plant height, number

of leaves and stem diameter improved respectively by: 20.0, 19.8, 12.7 and 26.1 % in relation to the control group (plants in SA and irrigated with water). Nutrient supply through fertigation or incorporating organic fertilizer into the substrate, as well as the application of cytokinins stimulate the growth of *A. americana* var. *oaxacensis* and develop more rhizome shoots.

Index words: cytokinin, rhizome emission, nutrient solution, substrates.

INTRODUCCIÓN

México, es considerado como centro de origen y diversificación de los agaves que son especies vegetales de gran importancia económica y cultural. En el país se encuentra el 75 % de especies (García-Mendoza, 2007) y su alta diversidad genética ofrece la oportunidad de seleccionar individuos que sobresalgan en adaptación a ambientes particulares, productividad y calidad de las cosechas (Eguiarte y González, 2009); lo anterior, se observa en variaciones morfológicas y fisiológicas, por lo que algunas especies son aprovechadas como alimento, obtención de fibras, mientras que a partir de otras se elaboran jarabe fructosado, bebidas (fresca, fermentada, destilada) y forraje (Colunga-García et al., 2017).

En el estado de Oaxaca, las especies de agaves se propagan de forma sexual y asexual; aunque los viveristas utilizan dos tipos de plantas obtenidas de forma asexual: las que se originan de bulbilos desarrollados en la inflorescencia, y plantas originadas de vástagos de rizoma (Enríquez-del Valle, 2008; García-Mendoza, 2007). Ambos tipos de plantas son resistentes y vigorosas, teniendo una tasa de sobrevivencia de alrededor del 95 % en campo (Wang y Cronk, 2003); sin embargo, la mayoría de viveristas no fertilizan las plantas, por lo que éstas no se desarrollan adecuadamente antes de su trasplante a campo. La sobrevivencia y tiempo para que las plantas reinicien el crecimiento en campo, depende principalmente de su calidad morfológica,

fisiológica y sanidad de acuerdo a su manejo en vivero (Bernaola-Paucar et al., 2015).

En la axila de cada hoja se encuentra una yema vegetativa y un rizoma desarrolla a partir de la brotación de una de estas yemas (Cervantes et al., 2007; Enríquez-del Valle, 2008); por otro lado, la dominancia apical es la inhibición de la brotación de yemas axilares debido a la actividad de la yema apical (Shin et al., 2020). La brotación de yemas axilares se estimula mediante la eliminación de la yema apical, o mediante aplicación de citoquinina, o dosis altas de fertilización (principalmente nitrogenada) y a menudo la brotación de las yemas se reprime mediante la aplicación exógena de auxinas justo encima de la yema lateral. Cuando ocurre la activación de alguna yema axilar y el alargamiento del nuevo brote, éste puede comenzar a producir su propia auxina (Su y Zhang, 2014).

La aplicación exógena de reguladores de crecimiento (*RC*), auxinas, giberelinas y citocininas, es otra alternativa para influir en el desarrollo vegetal; los reguladores de crecimiento son compuestos orgánicos producidos por la planta y que en bajas concentraciones tienen efectos en procesos metabólicos a nivel celular (Alcántara et al., 2019); aunado a esto, la mayoría de estudios reportados en plantas de agave se enfocan en evaluar el efecto de las fitohormonas sobre el crecimiento de cultivos *in vitro* (Borjas et al., 2020).

Las poblaciones de *A. americana* var. *oaxacensis* (maguey arroqueño) para la elaboración de mezcal han disminuido notablemente (Domínguez et al., 2008). A pesar de su importancia, es escasa la información sobre la propagación y cultivo (Morales et al., 2008). Por lo anterior, el objetivo fue evaluar en vivero el crecimiento de plantas de *A. americana* var. *oaxacensis* y desarrollo de rizomas, al someterlas a diferentes sustratos, fertirriego y aplicación de N6-bencilaminopurina.

MATERIALES Y MÉTODOS

Diseño de muestreo

Se seleccionaron 30 plantas de *A. americana* var. *oaxacensis* obtenidas *in vitro* mediante la organogénesis de brotes adventicios a partir de tejidos de tallo y el posterior enraizado de los brotes. Las plantas se aclimataron en invernadero y posteriormente en el vivero del Tecnológico Nacional de México/IT Valle de Oaxaca. A la edad de un año de crecimiento *ex vitro*, se colocaron en contenedores de 20 cm de diámetro por 25 cm de altura (7.8 cm³), que contenían los sustratos de suelo agrícola (SA) solo o SA combinado en proporción 1:1 con abono bovino (AB). Antes de preparar la mezcla, los materiales SA y el AB fueron tamizados mediante una malla, para eliminar pequeñas piedras, semillas de malezas, algunas pupas y larvas de insectos. Se estableció una planta en cada contenedor y se tuvieron 20 plantas en contenedores con SA y 10 plantas en contenedores con la mezcla de SA-AB. Las plantas fueron evaluadas durante un periodo de 140 días (febrero-junio), en sustrato SA-AB, se fertirrigaron con la solución nutritiva (SN), de la fórmula Steiner (1984) y se separaron en dos grupos para aplicarles dos condiciones de riego bajo los tratamientos que se indican en la **Tabla I**. La SN de Steiner (1984) contiene en mg L⁻¹: 166.42 N, 30.68 P, 276.44 K, 182.34 Ca, 49.09 Mg, 111.15 S, 1.25 Fe, 0.21 Mn, 0.025 Zn, 0.076 B, 0.005 Cu y 0.021 Mo.

Manejo y análisis de datos

El experimento se estableció en diseño completamente al azar, usando como unidad experimental una planta con cinco repeticiones. En los datos se verificaron los supuestos de normalidad y homogeneidad de varianzas mediante las pruebas de Shapiro-Wilks y Bartlett ($\alpha = 0.05$). Los datos se sometieron a análisis de varianza, comparación de medias (Tukey, 0.05) y contrastes ortogonales. Todos los análisis se realizaron con el paquete estadístico SAS 9.4. (SAS Institute, 2022).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Las plantas de *A. americana* var. *oaxacensis* que se evaluaron a los 140 días en vivero, mostraron diferencias de tamaño ($p \leq 0.01$) (**Tabla 2**) en respuesta al abastecimiento nutrimental, debido al abono incorporado en el sustrato, así como la aplicación de solución nutritiva, y la citocinina BAP incorporada en la solución nutritiva. Además, se observaron diferencias en magnitud de crecimiento de las plantas en los diversos tratamientos, particularmente en la cantidad de hijuelos de rizoma (**Figura 1 y 2**).

Tabla I. Tratamientos aplicados a plantas de agave sometidas durante 140 días a diferentes sustratos, dosis de fertilización y bencilaminopurina.

Tratamientos	Factores
T1	SA-AB + SN, 20 mg L ⁻¹ de BAP
T2	SA-AB + SN
T3	SA, + SN y 20 mg L ⁻¹ de BAP
T4	SA + SN
T5	SA + SN y 10 mg L ⁻¹ de BAP
T6	SA y agua común

SA = suelo agrícola; AB = abono bovino; SN = solución nutritiva; BAP = bencilaminopurina.



Figura. 1. A) Plantas de *Agave americana* var. *oaxacensis* en vivero. B) Desarrollo de vástagos de rizoma en los laterales de las plantas.

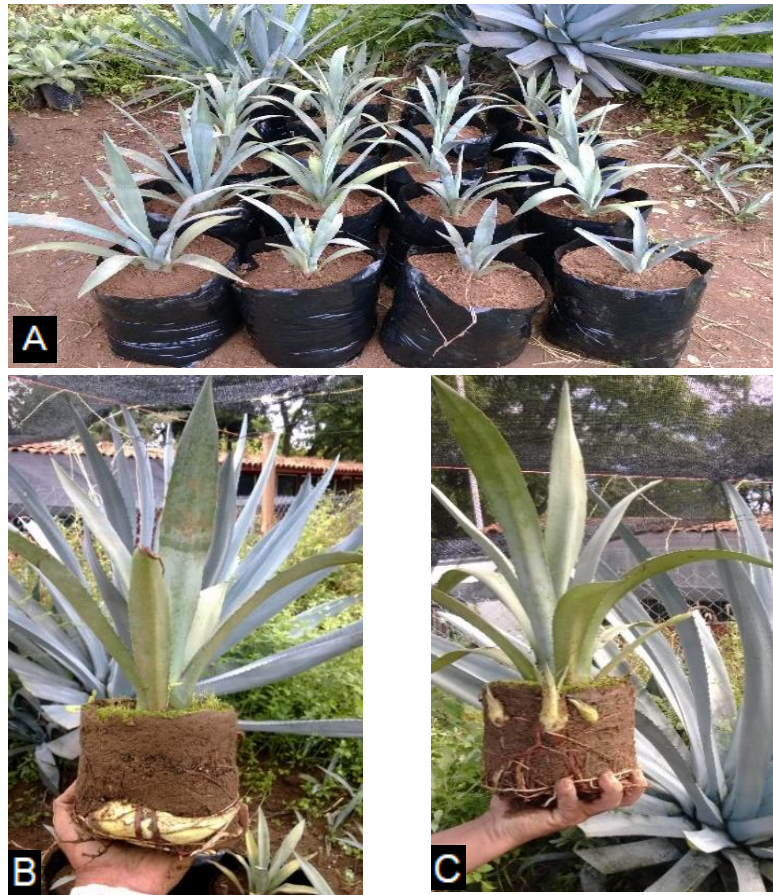


Figura 2. Desarrollo de vástagos de rizoma en plantas de *Agave americana* var. *oaxacensis* debido al efecto de diferentes condiciones de sustratos, abastecimiento nutricional en riego y aplicación de citocinina. A) Plantas con dos meses de fertirriego; B) planta en que se observa el desarrollo de rizoma; C) Planta con tres hijuelos de rizoma de tamaños diferentes.

Son escasos los reportes que describen el desarrollo de hijuelos de rizoma en especies de agaves y los efectos de diversas condiciones ambientales y de cultivo que influyen en la cantidad de hijuelos que forma la planta. En plantas obtenidas de bulbilos de inflorescencia de *Agave angustifolia* Haw que se evaluaron desde los 8 a los 20 meses de edad en vivero, Garnica-García et al. (2021) y Jarquín-Rosales et al. (2023) indican que están iniciando el desarrollo de hijuelos de rizoma. Por otro lado, Jarquín-Rosales et al. (2023) mostraron que plantas de *A. angustifolia*, originadas de bulbilos y sometidas a abastecimiento nutrimental y sustratos diferentes y fertirrigadas e inoculadas con la bacteria promotora de crecimiento *Azospirillum* sp. tuvieron tamaño mayor y desarrollaron cantidad mayor de rizomas, en comparación a plantas que recibieron menor abastecimiento nutrimental.

Los tratamientos que contenían sustrato SA-AB, SN con 20 mg L⁻¹ de bencilaminopurina (BAP) mostraron diferencias de efecto altamente significativas ($p \leq 0.01$) en altura de planta, número de hojas, diámetro de tallo y la cantidad de vástagos de rizoma. De acuerdo con las comparaciones de contrastes ortogonales planteadas, se comportaron de la siguiente manera: las plantas en los tratamientos que contenían abono bovino, SN y/o BAP, resultaron superiores en las variables número de rizomas, altura de la planta, número de hojas y diámetro del tallo ($p \leq 0.05$). Las plantas del grupo testigo su tamaño promedio fue inferior a la media de las plantas en los demás tratamientos (Tabla 2).

Tabla 2. Resumen del análisis de varianza de las características de las plantas de agave sometidas durante 140 días a diferentes sustratos, dosis de fertilización y bencilaminopurina.

FV/contraste (C)	GL	Cuadrados medios y significancia			
		NRIZO	Altura (cm)	NH	DT (cm)
Tratamiento (trat)	5	2.94 **	38.07 **	3.39 **	3.08 **
CI (trat 1,2 vs. trat 3,4,5,6)	1	3.750 *	104.280 **	8.81 **	2.016 **
C2 (trat 1 vs. trat 2)	1	3.600 *	23.409 *	0.400 ns	1.849 **
C3 (trat 3,5 vs. trat 4,6)	1	4.81 *	35.72 **	2.81 **	8.97 **
C4 (trat 1,2,3,4,5 vs. trat 6)	1	2.13 *	1.36 ns	3.33 **	2.58 **
C5 (trat 3 vs. trat 5)	1	0.400 ns	25.600 **	1.600 *	0.004 ns
CV (%)		24.2	2.4	3.2	1.7
RCME		0.605	1.044	0.547	0.164
Error	24				
Total	29				

FV = fuente de variación, CV = coeficiente de variación, RCME = raíz cuadrada media del error, GL = grados de libertad, NRIZO = número de vástagos de rizoma, NH = número de hojas, DT = diámetro de tallo. C= contraste ortogonal; CI = suelo agrícola más abono vs. suelo agrícola sin abono, C2 = suelo agrícola más abono, BAP vs. abono sin BAP, C3 = suelo agrícola más BAP vs. suelo agrícola sin BAP, C4 = SN vs. agua, C5 = BAP 20 mL vs. BAP 10 mL. **altamente significativo ($p \leq 0.01$). * significativo ($p \leq 0.05$), ns no significativo ($p > 0.05$).

La promoción del desarrollo de mayor cantidad de hijuelos de rizoma debido al abastecimiento nutrimental coincide con lo reportado en dos experimentos de campo (Sitangshu et al., 2018; Sitangshu et al., 2017) realizados en cultivos de sisal (*A. sisalana* Perr. Ex. Engelm), en Bamra, Odisha, India, en que se evaluó el potencial de producción de hijuelos de rizoma en plantas que se sometieron a diferentes niveles de tres factores: dos niveles de riego, dosis de aplicación de abono, y diferentes dosis de fertilizantes químicos; en donde encontraron que la aplicación de riego por goteo, abono y fertilizantes ($N_{60} P_{30} K_{60}$ o $N_{120} P_{30} K_{60}$ kg ha⁻¹), ejerció un efecto positivo en las plantas para aumentar su producción de hijuelos de rizoma. La producción de hijuelos de rizoma fue de 23.4 hasta 24.2×10^3 ha⁻¹. Las plantas durante los 7 a 12 años de edad produjeron un total de 142.6×10^3 hijuelos de rizoma ha⁻¹. La cantidad de hijuelos producidos cada año disminuyó gradualmente a partir del año 7 hasta el 12, después del cual el cultivo de sisal completó su ciclo de vida con el desarrollo del escapo floral y posterior muerte de las plantas.

Por otro lado, el contraste ortogonal C1, muestra que la incorporación de abono al sustrato tuvo efecto positivo en el desarrollo de las plantas. Se observa que, en las plantas establecidas en sustrato de suelo con abono vs. plantas en suelo sin abono, desarrollaron 3 y 2.2 hijuelos de rizoma, 45.7 y 41.79 cm de altura, 17.6 y 16.45 hojas, así como 9.89 y 9.34 cm de diámetro de tallo, cantidades significativamente diferentes. En el

contraste ortogonal C2, se observó que la citocinina BAP tuvo efecto positivo en el desarrollo de las plantas, que se establecieron en suelo con abono, SN y BAP, en contraste con las plantas en suelo con abono, SN sin BAP, presentaron 3 y 2.4 hijuelos, 47.3 cm y 44.2 cm de altura, 10.32 cm y 9.46 cm en diámetro de tallo, magnitudes significativamente diferentes ($p \leq 0.05$), mientras que tuvieron 17.8 y 17.4 hojas, que fueron valores no significativamente diferentes ($p > 0.05$). El contraste ortogonal C3, muestra que cuando no se incorporó abono al suelo, el abastecimiento de nutrimentos mediante solución nutritiva estimuló el desarrollo de las plantas, ya que las plantas que se establecieron en suelo agrícola e irrigaron con SN vs. plantas en suelo agrícola, irrigadas con agua, desarrollaron de 2.53 y 1.4 hijuelos de rizoma, de 42.56 y 39.48 cm de altura, 16.6 y 15.80 hojas, 9.72 y 8.18 cm en diámetro de tallo, en cada caso fueron significativamente diferentes ($p \leq 0.05$). El contraste ortogonal C4, muestra que la aplicación combinada de abastecimiento nutrimental mediante solución nutritiva y con citocinina, tuvo efecto significativo ($p \leq 0.05$) para promover mayor desarrollo en las plantas; ya que las plantas establecidas en suelo, SN, BAP vs. suelo, agua y sin BAP, presentaron 2.8 y 1.4 hijuelos de rizoma, con 17.0 y 5.8—hojas, 10.02 y 8.18 cm en diámetro de tallo; mientras que en la altura de plantas no hubo efecto significativo ($p > 0.05$) con promedios de 42.8 y 39.5 cm.

Tabla 3. Características de plantas de *Agave americana* var. *oaxacensis* en vivero y en diferentes condiciones de sustrato, abastecimiento nutrimental en el riego y aplicación de bencilaminopurina.

Tratamiento	Inc. vástagos de rizoma	Alt planta (cm)	Número de hojas (cm)	Diámetro del tallo (cm)
1) SA-AB, SN+BAP (20 mg l ⁻¹)	3.60 ^a	47.3 ^a	17.8 ^a	10.32 ^a
2) SA-AB, SN	2.40 ^{ab}	44.2 ^b	17.4 ^a	9.46 ^b
3) SA, SN+BAP (20 mg l ⁻¹)	2.60 ^{ab}	41.2 ^{cd}	16.6 ^c	10.00 ^a
4) SA, SN	2.00 ^{bc}	42.1 ^c	16.0 ^c	9.14 ^b
5) SA, SN+BAP (10 mg l ⁻¹)	3.00 ^{ab}	44.4 ^b	17.4 ^a	10.04 ^a
6) SA + agua	1.40 ^c	39.5 ^d	15.8 ^c	8.18 ^c

SA = suelo agrícola; AB = abono bovino; SN = solución nutritiva, Alt = altura; Inc.= incremento; BAP = bencilaminopurina . Letras diferentes en columnas indican diferencias significativas (Tukey, 0.05).

En el contraste ortogonal C5, se observó que en las plantas en suelo y que recibieron SN, al aplicar citocinina *BAP*, las dosis de ésta mostraron diferencias de efecto en el crecimiento de las plantas; ya que aquellas plantas a las que se aplicó SN con 20 mg L⁻¹ de *BAP* y las plantas irrigadas con SN y 10 mg L⁻¹ presentaron alturas de 41.2 y 44.4 cm, 16.6 y 17.4 hojas, magnitudes significativamente diferentes ($p \leq 0.05$); además, presentaron diámetros de tallo de 10.0 y 10.0 cm, así como 2.6 y 3.0 hijuelos, magnitudes no significativos ($p > 0.05$) (Tablas 2 y 3).

Garnica-García et al. (2021) reportaron que plantas de *A. angustifolia* establecidas en sustrato que, en relación a su volumen tuvieron 17.5 a 35 % de abono orgánico, acumularon más biomasa y sus tejidos foliares obtuvieron mayor contenido de nutrientes: N, P, K, Fe, Zn, B y Mg; además, desarrollaron mayor altura, número y tamaño de hojas, volumen foliar, raíces, tallo y vástagos de rizoma, en comparación a plantas que estuvieron

en sustrato que no se incorporó fertilizante orgánico. Resultados similares, en plantas de *A. angustifolia* Haw propagadas *in vitro* y adaptadas durante seis meses en vivero estuvieron en sustratos con compost y se fertirrigaron, lograron mayor tamaño, en comparación a las plantas que estuvieron en sustrato con menor contenido de materia orgánica e irrigadas con agua (Enríquez-del Valle, 2008; Enríquez-del Valle et al., 2005).

Cabe mencionar que las plantas establecidas durante los 140 días en sustrato con SA-AB, fertirrigadas con SN y aplicación de *BAP* a 10 y 20 mg L⁻¹, mostraron tamaño superior, comparándolas con las plantas del Tratamiento I, desarrollaron mayor número de rizomas, altura de la planta, número de hojas y diámetro del tallo mensualmente en comparación a las plantas en T6, establecidas en sustrato que no tenía abono, e irrigaron con agua (Figura 3).

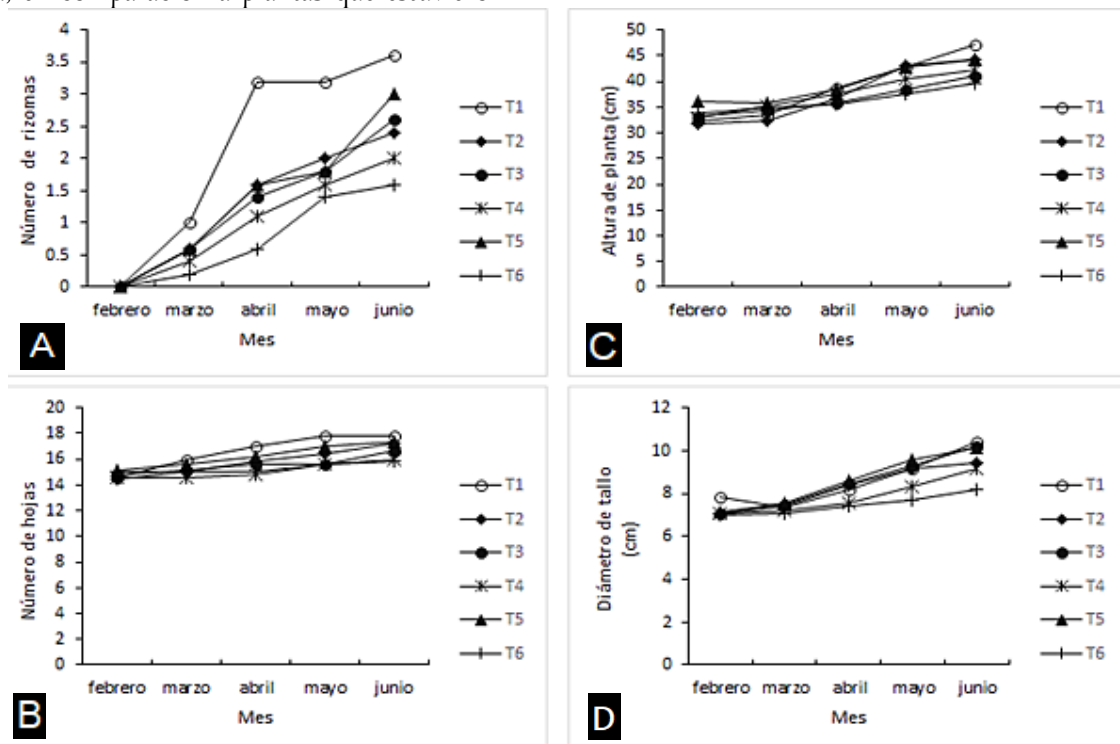


Figura 3. En plantas sometidas a los diversos tratamientos de abono en el sustrato, riego con solución nutritiva, SN, y citocinina en la SN. Tasa de crecimiento mensual durante el experimento en: a = número de rizomas, b = número de hojas, c = altura de la planta, d = diámetro de tallo.

Por otro lado, Ríos-Ramírez et al. (2021) evaluaron los contenidos nutrimentales en tejidos foliares y su relación con el tamaño de las plantas de *A. angustifolia*, en condiciones de vivero, fertirrigadas a diferentes concentraciones de nutrimentos. Las plantas fueron de tamaño mayor conforme se les abasteció con cantidades crecientes de *SN*. De manera similar, Sánchez-Mendoza y Bautista-Cruz (2022) evaluaron el efecto de la aplicación de fertilizantes de liberación lenta y fitohormonas en el crecimiento y contenido de azúcares en plantas de *A. angustifolia* Haw.; como resultado, estas plantas fueron superiores (10.1 %) en número de hojas (*NH*), 10.4 % en altura de planta (*AP*), 10.2 % en diámetro de tallo (*DT*), 28.4 % en peso fresco foliar y 33.1 % en peso fresco aéreo (*PFT*). Por lo anterior, los datos del presente trabajo muestran el inicio del efecto positivo del abastecimiento nutrimental y de una citocinina, en el crecimiento de las plantas y el desarrollo de hijuelos de rizoma; sin embargo, es conveniente evaluar las plantas durante un periodo mayor para observar diferencias más marcadas del efecto de tratamientos.

Al evaluar el crecimiento, nutrición y contenido de sólidos solubles totales (*TSS*, azúcares) de agave coyote (*Agave* spp.) en respuesta a la aplicación de fertilizantes de liberación lenta (*SRFs*) en condiciones de campo, Castillejos-Reyes et al. (2023) encontraron que plantas que se establecieron en sustrato en que se incorporó fertilizante Osmocote, éstas crecieron más, 28.4 % en el número de hojas desplegadas, 77.0 % en el peso fresco de hojas, 62.8 % en el peso fresco de tallo, 177.0 % en peso seco de hojas, 53.1 % en peso seco de tallo y 39.1 % en peso seco de raíz, con respecto a las plantas no fertilizadas. Por otro lado, Espinoza-González et al. (2022) al evaluar los efectos del tamaño de cormo (*TC*) y bencilaminopurina (*BAP*) sobre la proliferación de plántulas del plátano, *Musa*, encontraron que los efectos principales al aplicar *BAP* produjo un 30 % y 31 % de incrementos de tasa de multiplicación por cormo y por m², respectivamente, en relación al tratamiento sin *BAP*. Enríquez-del Valle et al. (2016) al evaluar

durante cinco meses en vivero el desarrollo de plantas micropropagadas-aclimatizadas de *Agave potatorum* Zucc que se fertirrigaron con cantidades diferentes de nutrimentos, observaron que las plantas fertirrigadas con solución nutritiva diluida a 1 % y plantas irrigadas con solución nutritiva completa (100%) presentaron 9.8 y 17 hojas, 126.53 y 392.35 cm² de área foliar, 2.22 y 2.84 cm de diámetro del tallo, 10.5 y 17.4 raíces primarias, 4 y 7.4 cm³ de volumen de raíz, 2.79 y 6.50 g de peso seco foliar, respectivamente. Las evidencias obtenidas en el presente estudio muestran que las plantas alcanzaron mayor tamaño en respuesta al abastecimiento nutrimental, ya sea mediante abono en el sustrato, riego con solución nutritiva, e incorporación de una citocinina en la solución nutritiva. Los reguladores de crecimiento vegetal influyen en las rutas de desarrollo, ya que en cultivos *in vitro* de *Agave americana*. Reyes-Zambrano et al. (2016) reportaron que el ácido 2,4-diclorofenoxiacético (2,4-D) y de 6-bencil adenina (*BA*) inducen la formación de callos embriogénicos, y encontraron que la organogénesis indirecta podría ser una alternativa para la micropropagación de *A. americana* L. con fines comerciales.

CONCLUSIONES

Las plantas de *Agave americana* var. *oaxacensis* que en condiciones de vivero se establecieron en sustrato con abono bovino y además recibieron abastecimiento nutrimental mediante fertirriego, alcanzaron mayor tamaño en altura, diámetro de tallo, número de hojas y número de vástagos de rizoma. El abastecimiento nutrimental mediante abono o fertirriego, complementado con la aplicación de la citocinina *BAP*, promueve que las plantas desarrollen mayor cantidad de hijuelos de rizoma; además, a los 140 días de fertirriego con 20 mg L⁻¹ de *BAP* y sustrato de suelo agrícola-abono, los agaves fueron más grandes en todas las variables evaluadas y en promedio tres vástagos de rizoma por planta, en comparación a las sometidas a las otras condiciones.

REFERENCIAS

- Alcántara C. J. S., Acero, G. J., Alcántara C. J. D. y Sánchez, M. (2019). Principales reguladores hormonales y sus interacciones en el crecimiento vegetal. *Nova*, 17(32), 109-129. <http://dx.doi.org/10.22490/24629448.3639>
- Bernaola-Paucar, R. M., Pimienta-Barrios, E., Gutiérrez-González, P., Ordaz-Chaparro, V. M., Alejo-Santiago, G. y Salcedo-Pérez, E. (2015). Volumen del contenedor en calidad y supervivencia de *Pinus hartwegii* Lindl en sistema doble-trasplante. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*, 6(28), 174-187.
- Borjas, V., R., Julca, O., A. y Alvarado, H., L. (2020). Las fitohormonas una pieza clave en el desarrollo de la agricultura. *Journal of the Selva Andina Biosphere*, 8(2), 150-164. <https://doi.org/10.36610/j.jsab.2020.080200150>
- Castillejos-Reyes, C., Bautista-Cruz, A., Sánchez-Mendoza, S. & Quiñonez-Aguilar, E. E. (2023). Response of agave coyote (*Agave* spp.) to the application of slow-release fertilizers under conditions. *Revista Bio Ciencias*, 10, e1431. <https://doi.org/10.15741/revbio.10.e1431>
- Colunga-García, P., Torres, G. I., Casas, A., Figueredo-U, C., Rangel-L, S., Lemus, A., Vargas-P, O., Cabrera-T. D., Zizumbo-V. D., Aguirre-D. X., Eguiarte, L. y Galván, G. (2017). Los agaves y las prácticas mesoamericanas de aprovechamiento, manejo y domesticación. In: *Domesticación en el Continente Americano*, Vol. Cap. II, pp. 273-308.
- Cervantes, M.T., Armenta, C.A.D. y Sánchez, A.J.G. (2007). El cultivo del maguey bacanora (*Agave angustifolia* Haw.) en la sierra de Sonora. Publicación Técnica No. I. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias, Fundación Produce Sonora, Universidad de la Sierra. Hermosillo, México. 37 p.
- Domínguez, R. M. S., González, M. L., Rosales, C., Quiñones, C., Delgadillo, L. Mireles, J. y Pérez, B. E. (2008). El cultivo *in vitro* como herramienta para el aprovechamiento, mejoramiento y conservación de especies del género *Agave*. España. *Investigación y Ciencia*, 16, 53-62.
- Enríquez-del Valle, J. R. (2008). *La propagación y crecimiento de agaves*. Fundación produce Oaxaca A. C. Instituto Tecnológico del Valle de Oaxaca. México. 46 p.
- Enríquez-del Valle, J. R., Alcará-Vázquez, S. E., Rodríguez-Ortiz, G., Miguel-Luna, M. E. y Manuel-Vázquez, C. (2016). Fertirriego en vivero a plantas de *Agave potatorum* Zucc micropropagadas-aclimatizadas. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 7(5), 1167-1177.
- Enríquez-del Valle, J.R., G. Carrillo-Castañeda, y J. Rodríguez-de la O. (2005). Sales inorgánicas y ácido indolbutírico en el enraizamiento in vitro de brotes de *Agave angustifolia*. *Revista Fitotecnica Mexicana*, 28, 175-178.
- Eguiarte, L. E. y Gonzáles, G. A. (2009). De genes y magueyes estudio y conservación de los recursos genéticos del tequila y el mezcal. Ciencias, No 087, Universidad Autónoma Nacional de México (UNAM).
- Espinoza-González, J., Bustamante-González, A. y Cedeño-García, G. (2022). Efectos del tamaño de corno y bencilaminopurina sobre la proliferación del plátano en dos ambientes de propagación. *Ciencia y Agricultura*, 19(1), 45-60. <https://doi.org/10.19053/01228420.v19.n1.2022.13905>
- García-Mendoza, A. J. (2007). *Los agaves de México*. Universidad Autónoma Nacional de México, Distrito Federal, México. 23 p.
- Garnica-García, R., Enríquez-del Valle, J. R., Rodríguez-Ortiz, G., Pérez-León, I., Trejo-Calzada, R., Morales, I. (2021). Plant growth and rhizome shoots of *Agave angustifolia* in different substrates, with fertigation and benzylaminopurine. *Emirates Journal of Food and Agriculture*, 32, 702-710. <https://doi.org/10.9755/ejfa.2020.v32.i9.2141>

- Jarquín-Rosales, D., Enríquez-del Valle, J. R., Alpuche-Osorio, J. J., Rodríguez-Ortiz G., Campos-Ángeles, G. V., Morales, I. (2023). *Agave angustifolia* bulbil growth in different substrates, with doses of fertigation and inoculation with *Azospirillum brasilense*. *Ciencia Rural Journal*, 53(3), 3-13. <https://doi.org/10.1590/0103-8478cr20210863>
- Morales, R. M. M., Torrez, M. M. I. y De la Cruz, L. L. (2008). Relación fenotípica entre plantas de *Agave tequilana* provenientes de micropropagación y de propagación convencional por hijuelos. Instituto de Manejo y Aprovechamiento de Recursos Fitogenéticos. Departamento de Producción Agrícola. CUCBA. *XIX Semana Nacional de la Investigación Científica*. Universidad de Guadalajara. pp. 55-61.
- Reyes-Zambrano, S. J., Lecona-Guzmán, C. A., Barredo-Pool, F. A., Ambrosio-Calderón, J. D., Abud-Archila, M., Rincón-Rosales, R., Ruiz-Valdiviezo, V. M. y Gutierrez-Miceli, F. A. (2016). Optimización de los reguladores de crecimiento para maximizar el número de brotes en *Agave americana* L. por organogénesis indirecta. *Gayana Botánica*, 73(1), 124-131. <http://dx.doi.org/10.4067/S0717-66432016000100014>
- Ríos-Ramírez, S. del C., Enríquez-del 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>
- SAS Institute. (2022). The SAS system for Windows user's guide. Release 9.4 SAS Institute. Cary, NC. USA. Disponible en <https://support.sas.com/en/documentation/install-center/94/installation-guide-for-windows.html>
- Sánchez-Mendoza, S. y Bautista-Cruz, A. (2022). Efecto de fertilizantes de liberación lenta y fitohormonas en el crecimiento de *A. angustifolia* Haw. *Entreciencias*, 10(24), 1-11. <https://doi.org/10.22201/enesl.20078064e.2022.24.82738>
- Sitangshu, S., Jha, A. K., Majumdar, B. & Saha, A.R. (2018). Influence of drip-irrigation, manure and fertilizers on production of planting material in sisal (*Agave sisalana* Perr. Ex Engelm.). *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences*. 7(9), 1934-1941. <https://doi.org/10.20546/ijcmas.2018.709.235>
- Sitangshu, S., Saha, A. R. & Majumdar, B. (2017). Sucker production potential of sisal (*Agave sisalana* Perr. Ex. Engelm.) as influenced by drip-irrigation, manure and fertilizers. *International Journal of Current Agricultural Research*, 5(6), 221-223.
- Su, Y. & Zhang, X. (2014). The hormonal control of regeneration in plants. *Current Topics in Developmental Biology*, 108, 35-69. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-391498-9.00010-3>
- Steiner, A. A. (1984). The universal nutrient solution. Proceedings 6th International Congress on Soilless Culture. Lunteren. *International Society for Soilless Culture. Wageningen, The Netherlands*. Pp. 633-650.
- Shin, J., Bae, S. & Seo, P. (2020). De novo shoot organogenesis during plant regeneration. Review paper. *Journal of Experimental Botany*, 71(1), 63-72. <https://doi.org/10.1093/jxb/erz395>
- Wang, C. N. & Cronk, Q. C. (2003). Meristem fate and bulbil formation in *Titanotrichum* (Gesneriaceae). *American Journal of Botany*, 90, 1696-1707.