Entreciencias: Diálogos en la Sociedad del Conocimiento
ISSN: 2007-8064
entreciencias@unam.mx
Universidad Nacional Autónoma de México
México

Efecto de fertilizantes de liberación lenta y fitohormanas en el crecimiento de Agave angustifolia Haw.

Sánchez-Mendozaa, Saúl; Bautista-Cruzb, Angélica
Efecto de fertilizantes de liberación lenta y fitohormanas en el crecimiento de Agave angustifolia Haw.
Entreciencias: Diálogos en la Sociedad del Conocimiento, vol. 10, núm. 24, 2022
Universidad Nacional Autónoma de México, México
Disponible en: https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=457669807027
DOI: https://doi.org/10.22201/enesl.20078064e.2022.24.82738

PDF generado a partir de XML-JATS4R por Redalyc
Proyecto académico sin fines de lucro, desarrollado bajo la iniciativa de acceso abierto

CIENCIAS DE LA SALUD, BIOLÓGICAS Y QUÍMICAS

Efecto de fertilizantes de liberación lenta y fitohormanas en el crecimiento de Agave angustifolia Haw.

The effect of slow-release fertilizers and phytohormones in the growth of *Agave angustifolia Haw*.

Saúl Sánchez-Mendozaa a
Instituto Politécnico Nacional, México
saul_sm@live.com.mx
https://orcid.org/0000-0002-2543-0168

Angélica Bautista-Cruzb b
CIIDIR-Oaxaca, México
mbautistac@ipn.mx
https://orcid.org/0000-0002-9751-7350.

DOI: https://doi.org/10.22201/enesl.20078064e.2022.24.82738
Redalyc: https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=457669807027

Recepción: 24 Mayo 2022
Aprobación: 24 Octubre 2022
Publicación: 14 Noviembre 2022

Resumen:

Objetivo: evaluar el efecto de la aplicación de fertilizantes de liberación lenta y fitohormonas en el crecimiento y contenido de azúcares en plantas de *Agave angustifolia* Haw.
Diseño metodológico: se utilizó un diseño completamente al azar con arreglo bifactorial 3×3, los factores evaluados fueron 1) fertilizantes de liberación lenta (FLL): Osmocote plus® (OS) y Basacote plus® (BA) y, 2) fitohormonas: Biozyme® (BI) y Agromil plus® (AG), adicionalmente se incluyó un control sin fertilizante (SFR) y sin fitohormonas (SFI). Después de 12 meses se midió

Notas de autor

a Maestro en Ciencias en Conservación y Aprovechamiento de Recursos Naturales por el Instituto Politécnico Nacional, CIIDIR-Oaxaca. Profesor-Investigador del área de Ingeniería en Agronomía de NovaUniversitas, Sistema de Universidades del Estado de Oaxaca. Líneas de Investigación: nutrición de agaves mezcaleros silvestres y cultivados; reproducción sexual en agaves mezcaleros silvestres y cultivados.

Últimas publicaciones:

Hernández-Canseco, J., Bautista-Cruz, A., Sánchez-Mendoza, S., Aquino-Bolaños, T. y Sánchez-Medina, P.S. (2022). Plant growth-promoting halobacteria and their ability to protect crops from abiotic stress: An eco-friendly alternative for saline soils. Agronomy 12, 804. https://doi.org/10.3390/agronomy12040804

García-Martínez, L.I., Sánchez-Mendoza, S. y Bautista-Cruz, A. (2020). Combinación de hongos micorrízicos y fertilización fosforada en el crecimiento de dos agaves silvestres. Terra Latinoamericana, 38, 771-780. DOI: 10.28940/terra.v38i4.702

Sánchez-Mendoza, S., Bautista-Cruz, A., Robles, C. y Rodríguez-Mendoza, M.N. (2020). Irrigation and slow-release fertilizers promote the nutrition and growth of Agave angustifolia Haw. Journal of Plant Nutrition, 699-708. DOI: 10.1080/01904167.2019.1701025

b Doctora en Ciencias Biológicas por la Universidad Autónoma Metropolitana. Profesora Titular en el Instituto Politécnico Nacional, CIIDIR-Oaxaca. Líneas de investigación: calidad de suelos; dinámica de la materia orgánica del suelo; fertilidad biológica; bacterias promotoras del crecimiento vegetal. Miembro del Sistema Nacional de Investigadores Nivel II.

Últimas publicaciones:

Hernández-Canseco, J., Bautista-Cruz, A., Sánchez-Mendoza, S., Aquino-Bolaños, T. y Sánchez-Medina, P.S. (2022). Plant growth-promoting halobacteria and their ability to protect crops from abiotic stress: An eco-friendly alternative for saline soils. Agronomy 12, 804. https://doi.org/10.3390/agronomy12040804

Ramírez-Cruz, M.A., Bautista-Cruz, A., Báez-Pérez, A., Aquino-Bolaños, T., Morales, I. y García-Sánchez, E. (2022). La aplicación foliar de ácido glutámico mejora el rendimiento y algunos parámetros físicos y químicos de la calidad del fruto de tomate (Solanum lycopersicum L.). Interciencia, 47(1-2), 31-38.

Sánchez-Mendoza, S., Bautista-Cruz, A., Robles, C. y Rodríguez-Mendoza, M.N. (2020). Irrigation and slow-release fertilizers promote the nutrition and growth of Agave angustifolia Haw. Journal of Plant Nutrition, 699-708. DOI: 10.1080/01904167.2019.1701025

PDF generado a partir de XML-JATS4R por Redalyc
Proyecto académico sin fines de lucro, desarrollado bajo la iniciativa de acceso abierto

altura de planta (AP), número de hojas desplegadas (NH), diámetro de tallo (DT), longitud radicular (LR), volumen radicular (VR), densidad radicular (DR), contenido de azúcares (sólidos solubles totales en tallo, SST), peso fresco de hoja (PFH), tallo (PFT) y raíz (PFR).
Resultados: con respecto a las plantas control, OS incrementó 10.1 % el NH, 10.4 % la AP, 10.2 % el DT, 28.4 % el PFH y 33.1 % el PFT. BA incrementó 42.1 % el PFR. La interacción OS+SFI incrementó 24.5 % el NH, 13.5 % la AP, 23.4 % el DT, 81.1 % el PFT y 135.9 % el VR. Con OS+BI, la AP aumentó 13.6 % y el PFH 50.1%. BA+SFI incrementó 105.6 % el PFR.
Limitaciones de la investigación: los productos evaluados no incluyen dosis ni periodos de aplicación para agave. Este es uno de los primeros estudios que aporta información en ese sentido. La investigación sobre FLL y fitohormonas en agave es escasa.
Hallazgos: los FLL promovieron el crecimiento de *A. angustifolia* pero no el contenido de SST. Las fitohormonas no promovieron el crecimiento vegetal ni el contenido de SST.

Palabras clave: agave, crecimiento vegetal, fertilización, reguladores de crecimiento vegetal.

Abstract:

Purpose: To evaluate the effect of the addition of slow-release fertilizers and phytohormones on growth and total soluble solids content (sugars) of *Agave angustifolia* Haw plants.
Methodological design: A completely randomized design with a 3×3 bifactorial arrangement was used. The evaluated factors were: 1) slow-release fertilizers (FLL): Osmocote plus® (OS) and Basacote plus® (BA) and, 2) phytohormones: Biozyme® (BI) and Agromil plus® (AG). Additionally, a control without fertilizer (SFR) or phytohormones was included. After twelve months plant height (AP), number of unfolded leaves (NH), stem diameter (DT), root length (RL), root volume (VR), root density (DR), sugar content (total soluble solids in the stem, SST), fresh weight of leaves (PFH), stem (PFT), and root (PFR) were measured.
Results: With reference to the control plants, OS increased NH by 10.1 %, AP by 10.4 %, DT by 10.2 %, PFH by 28.4 % and PFT by 33.1 %. BA increased PFR by 42.1 %. The interaction OS+SFI increased NH by 24.5 %, AP by 13.5 %, DT by 23.4 %, PFT by 81.1 % and VR by 135.9 %. With OS+BI, AP increased 13.6 % and PFH 50.1 %. BA+SFI increased PFR by 105.6 %.
Research limitations: The products evaluated do not include doses or application periods for agave. This is one of the first studies that provides information in this regard. Research on FLL and phytohormones in agave is scarce.
Findings: The slow-release fertilizers promoted the growth of *A. angustifolia* but not the content of SST. Phytohormones did not promote the growth of agave plants or content of SST.

Keywords: agave, plant growth, fertilization, plant growth regulators.

INTRODUCCIÓN

México es centro de origen de los agaves, posee 90% del total de especies de agave que existen en el mundo (García-Mendoza, 2010), de las cuales 57% son endémicas (García-Marín et al., 2017). Las plantas del género Agave han sido de las primeras aprovechadas en Mesoamérica, durante siglos se han utilizado como fuente de alimento, bebida, medicina, combustible, cobijo, ornato, fibras duras extraídas de las hojas (ixtle), abono, construcción de viviendas y elaboración de implementos agrícolas, entre otros usos (García-Mendoza, 2007). Estudios recientes indican que los agaves también tienen un alto potencial para la fijación de carbono (García-Moya, Romero-Manzanares y Nobel, 2010; Núñez, Rodríguez y Khanna, 2010). Muchas especies del género Agave son económicamente importantes para el estado de Oaxaca (México), ya que constituyen la materia prima para la producción de mezcal, bebida alcohólica tradicional oaxaqueña (Chagoya-Méndez, 2004).

Uno de los agaves más utilizados en la producción de mezcal es Agave angustifolia Haw. conocido comúnmente como "maguey espadín", es el de mayor demanda y el único que se cultiva de forma significativa en suelos semiáridos, de acuerdo con el Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera [SIAP] (Secretaría de Agricultura y Desarrollo rural, 2021), aproximadamente 17 591 ha se encuentran cultivadas con este agave. Generalmente los suelos donde se desarrollan especies del género Agave son pobres en materia orgánica, N y P (Bautista-Cruz et al., 2007). Sin embargo, estudios previos han revelado efectos positivos de la aplicación de nutrientes en el crecimiento de agaváceas, variables como altura de planta, número de hojas desplegadas, diámetro de tallo y acumulación de biomasa son las que mejor respuesta han presentado (Enríquez et al., 2018; García-Martínez, Sánchez-Mendoza y Bautista-Cruz, 2020; Sánchez-Mendoza et al., 2020; Zúñiga-Estrada et al., 2018).

PDF generado a partir de XML-JATS4R por Redalyc
Proyecto académico sin fines de lucro, desarrollado bajo la iniciativa de acceso abierto

El uso de fertilizantes químicos convencionales pudiera representar una alternativa para aportar nutrientes a las plantas, sin embargo, presentan poca eficiencia de aprovechamiento por factores como la fijación de *P*, la lixiviación y la volatilización de NO_3- y N_2O, generando serios problemas de contaminación ambiental y afectaciones a la salud humana (Barbieri, Eduardo-Echeverría y Saínz-Rosas, 2018; Larios-González et al., 2021; Zaho-Hui y Sheng-Xiu, 2019). Ante esta situación, y para mejorar la eficiencia en el uso de nutrientes, se han desarrollado los fertilizantes de liberación lenta (FLL), los cuales ofrecen una disponibilidad nutrimental para la planta en un periodo más prolongado, lo que promueve una mayor eficiencia de aprovechamiento generando con esto un menor impacto negativo al ambiente y a la salud humana (Kiplangat et al., 2019). La principal desventaja de los fll es su elevado costo (Vázquez-Cisneros et al., 2018), sin embargo, estos productos tienen el potencial de incrementar la eficiencia en la fertilización (Soti et al., 2015), además se requiere un menor número de aplicaciones al cultivo (Aguilera-Rodríguez et al., 2015), lo que genera un ahorro de tiempo y mano de obra, razones por las cuales son más rentables que los fertilizantes químicos convencionales.

Otra alternativa para promover el crecimiento de las plantas es el uso de fitohormonas (auxinas, giberelinas y citocininas), las cuales son compuestos producidos internamente por la planta y que en muy bajas concentraciones pueden tener un efecto a nivel celular, favoreciendo los patrones de crecimiento vegetal y permitiendo su control (Alcántara-Cortes et al., 2019). Las fitohormonas y la función que cumplen en diferentes procesos metabólicos asociados con el crecimiento vegetal han sido ampliamente estudiadas, no obstante, la información sistematizada sobre su uso práctico en la agricultura es aún escaso (Borjas-Ventura, Julca-Otiniano y Alvarado-Huamán, 2020). Más aún, el estudio del efecto producido por la aplicación de fitohormonas en especies del género Agave es incipiente. Los escasos estudios existentes se enfocan principalmente en evaluar el efecto de las fitohormonas sobre el crecimiento de plantas de agave cultivadas in vitro (Arzate-Fernández et al., 2020; Cancino-García, Ramírez-Prado y De la Peña, 2020; Reyes-Zambrano et al., 2016). Con base en lo anterior, el objetivo de este estudio fue evaluar el efecto de FLL y fitohormonas en el crecimiento y la acumulación de azucares en plantas de A. *angustifolia*.

MATERIALES Y MÉTODOS

El estudio se realizó en Ocotlán de Morelos (16º 48' N, 96º 40' O), Oaxaca, México, a 1 523 m de altitud, temperatura media anual de 20.5 °C y precipitación media anual de 695 mm; en esta comunidad se colectaron hijuelos apomícticos de Agave angusifolia. Se seleccionaron hijuelos similares en tamaño (entre 8 y 10 cm) y libres de plagas y enfermedades. El trasplante de estos hijuelos se realizó en bolsas de polietileno de 30×30 cm, las cuales se llenaron con aproximadamente nueve kg de suelo extraído de la zona de colecta, luego del trasplante las plantas se colocaron al interior de un vivero (malla sombra 25 %) de 8 × 20 m, no hubo control de las condiciones ambientales (temperatura y humedad). La fertilización se realizó un mes después del trasplante, los FLL utilizados fueron: a) Osmocote plus® marca ICL (os) (15% N, 9% P_2O_5, 12% K_2O, 6% SO_4, 0.02 % B, 0.05% Cu, 0.46% Fe, 0.06% Mn, 0.02 % Mo, 0.05 % Zn) con un periodo de liberación de entre 8 y 9 meses y b) Basacote plus® marca Compo (BA) (16% N, 8% P_2O_5, 12 % K_2O, 2% MgO, 12% SO_4, 0.02% B, 0.05% Cu, 0.40% Fe, 0.06% Mn, 0.015% Mo, 0.020 % Zn) con un periodo de liberación de 6 meses; se eligieron FLL con diferentes periodos de liberación para comparar la eficiencia de asimilación de nutrientes por la planta (lo cual se ve reflejado en su crecimiento). Al no contar con una dosis sugerida de estos fll para agaváceas en maceta, se consideró la dosis recomendada para especies forestales, las cuales, al igual que los agaves, son perennes; la dosis aplicada fue de 19 g por planta, lo que equivale a una relación igual a 2.5 kg m3 de suelo (Bustos et al., 2008). Los fertilizantes se aplicaron en forma circular a 5 cm del tallo y a 5 cm de profundidad.

Las fitohormonas evaluadas fueron: a) Biozyme TF® (bi) (extractos de origen vegetal y fitohormonas biológicamente activas 78.87, giberelinas 32.2 ppm, ácido indolacético 32.2 ppm, zeatina 83.2 ppm, 0.14%

PDF generado a partir de XML-JATS4R por Redalyc
Proyecto académico sin fines de lucro, desarrollado bajo la iniciativa de acceso abierto

Mg, 0.44% S, 0.30% B, 0.49% Fe, 0.12% Mn, 0.37% Zn, diluyente y acondicionadores 19.27 %) y b) Agromil plus® (ag) citocininas 0.204% p/v, diluyentes y acondicionadores (cantidad suficiente para completar un litro de producto) 100% p/v. Estas fitohormonas comerciales no presentan recomendaciones técnicas de dosis para agaváceas, por lo que se utilizó la dosis sugerida para especies perennes, la dosis evaluada de ambos productos fue 2.5 ml L^{-1}, se aplicaron 25 ml por planta. Para una mayor eficiencia en la aplicación, en cada dilución se adiciono el adherente comercial Prolux® a una dosis de 0.75 ml L^{-1}. Se aplicaron riegos semanales, la cantidad de agua aplicada por planta fue 1 L. Los momentos y la periodicidad de la aplicación de las fithormonas utilizadas varía dependiendo de la especie vegetal, por ejemplo, la aplicación de Biozyme TF® para fresa se recomienda al inicio de la floración y después cada 3 a 4 semanas, en frutales caducifolios desde la floración y hasta la caída de los pétalos. La aplicación de Agromil plus® en frutales caducifolios es al inicio del amarre de frutos y después en intervalos de 15 días, en jitomate se sugiere aplicar al inicio del periodo vegetativo y al inicio de la floración y cuajado de frutos. Al no contar con información sobre la frecuencia de aplicación de fitohormonas en especies del género Agave, y considerando que es una especie perenne de ciclo largo (6 a 8 años), se decidió realizar tres aplicaciones foliares durante el periodo de evaluación, la primera aplicación se realizó dos meses después del trasplante, periodo en el cual las plantas ya estaban adaptadas y desarrollando hojas nuevas, la segunda y tercera aplicación se realizaron a los cuatro y a los ocho meses, respectivamente.

El experimento se estableció bajo un diseño completamente al azar con arreglo bifactorial 3×3, con un total de 9 tratamientos y 10 repeticiones para cada uno. La unidad experimental fue una maceta con una planta de agave. Los factores y niveles de estudio fueron: a) fertilizante [OS y BA] y b) fitohormonas [BI y AG], se incluyó también un control sin fertilizante (SFR) y sin fitohormonas (SFI). Los tratamientos evaluados fueron: a) SFR+SFI, b) SFR+AG, c) SFR+BI, d) OS+SFI, e) OS+AG, f) OS+BI, g) BA+SFI, h) BA+AG y i) BA+BI. Después de 12 meses de evaluación bajo condiciones de vivero se determinó altura de planta (AP); número de hojas desplegadas (NH); diámetro de tallo (DT), con un vernier digital marca Maxwell; longitud radicular (LR), con un flexómetro se determinó la longitud de la raíz más larga; volumen radicular (VR), en una probeta de 250 ml con un volumen conocido de agua se introdujeron las raíces y se midió el volumen de agua desplazado; densidad radicular (dr), por medio de la relación masa-volumen; peso fresco de hoja (PFH), tallo (PFT) y raíz (PFR). El contenido de azúcares (sólidos solubles totales en tallo, SST) se determinó con un refractómetro portátil RHB-32 ATC. Las variables AP y NH se determinaron en todas las plantas por tratamiento, para el resto de las variables la medición se realizó en cinco plantas por tratamiento.

Análisis estadístico

Para las variables AP y NH se determinó la normalidad mediante la prueba de Kolmogorov-Smirnov, para PFH, PFT, PFR, DT, LR, VR, DR Y SST se utilizó la prueba de Shapiro-Wilk, la homogeneidad de varianza se determinó mediante la prueba de Bartlett. Las variables que no cumplieron con los supuestos de normalidad se transformaron a $\log_{10}(x)$. Posteriormente los datos obtenidos se sometieron a un análisis de varianza de dos vías y pruebas múltiples de separación de medias de Tukey con nivel de significancia $P \leq 0.05$, mediante el software estadístico SAS v. 9.1.

RESULTADOS

Ambos FLL promovieron el crecimiento de las plantas de *A. angustifolia*, sin embargo, el incremento más alto en la mayoría de las variables se obtuvo con el os. Con respecto a las plantas control, el os incrementó 10.1% el NH, 10.4% la AP, 11.5, 10.2% el DT, 28.4% el PHF y 33.1% el PFT (tabla 1). La interacción os+v incrementó 24.5, 13.5, 23.4, 81.1 y 135.9% el NH, AP, DT, PFT y VR, respectivamente (tabla 2). Con la interacción OS+BI,

PDF generado a partir de XML-JATS4R por Redalyc
Proyecto académico sin fines de lucro, desarrollado bajo la iniciativa de acceso abierto

el NH incrementó 20.2%, la AP 13.6% y el PFH 50.1% (Tabla 2). El BA incrementó 6.4% la AP, 5.8% el DT, 16.1 % el PFT y 42.1% el PFR (Tabla 1). El PFR aumentó 105.6% con BA+SFI y 96.5% con BA+AG (tabla 2). Las variables LR, DR, VR Y SST no mostraron una respuesta significativa a la fertilización (tablas 1 y 3). El uso de fitohormonas no promovió el crecimiento vegetal ni el SST en plantas de A. angustifolia (tabla 1).

Factores y niveles	NH	AP	LR	DT	PFH	PFT	PFR	DR	VR	SST
		cm			g			g cm^{-3}	cm^{-3}	°Bx
Fertilizante										
SFR (control)	17.7±0.4b	73.0±1.1b	55.2±7.2a	6.8±1.2c	975.4±46.4b	298.4±13.6c	40.8±3.3b	1.0±0.09a	41.6±4.0a	9.2±0.3a
OS	19.5±0.4a	80.6±1.3a	64.5±8.4a	7.5±1.3a	1252.5±63.2a	397.4±21.7a	49.8±3.3a b	1.1±0.10a	48.4±5.3a	10.8±0.9a
BA	18.6±0.3ab	77.7±1.0a	63.8±6.4a	7.2±2.0b	1011.7±67.3b	346.6±20.7b	58.0±4.0a	1.1±0.06a	53.3±3.8a	9.4±0.8a
Fitohormonas										
SFI (control)	18.4±0.6a	77.3±2.0a	55.3±7.5a	7.3±1.6a	1084.4±54.3a	357.7±21.4a	50.2±3.8a	1.1±0.07a	49.6±4.7a	10.6±0.76a
AG	18.7±0.6a	76.8±1.6a	58.2±4.4a	7.2±1.4a	1116.2±46.2a	339.6±18.4a	49.7±3.6a	1.0±0.05a	46.4±3.2a	9.5±0.31a
BI	18.8±0.6a	77.0±2.0a	70.0±5.0a	7.0±1.3a	1038.9±63.0a	345.1±14.5a	48.7±2.0a	1.1±0.07a	47.3±2.7a	9.3±0.31a
C.V. (%)	11.2	6.9	45.5	5.6	16.1	14.6	22.4	31.6	32.2	21.7

TABLA 1.

Valor medio ± error estándar del número de hojas desplegadas (NH), altura de planta (AP), longitud radicular (LR), diámetro de tallo (DT), peso fresco de hoja (PFH), peso fresco de tallo (PFT), peso fresco de raíz (PFR), densidad radicular (DR), volumen radicular (VR) y sólidos solubles totales (SST) como respuesta a la aplicación de fertilizantes de liberación lenta y fitohormonas en plantas de Agave angustifolia Haw.

Nota: SFR, sin fertilizante; OS, osmocote plus; BA, basacote plus; SFI, sin fitohormonas; AG, agromyl; BI, biozyme; C.V. coeficiente de variación. Medias con la misma letra en cada columna no son estadísticamente diferentes (Tukey < .05).

Fuente: elaboración propia.

Tratamiento	NH	AP	LR	DT	PFH	PFT	PFR	DR	VR
		cm			g			g cm^{-3}	cm^{-3}
SFR+SFI	16.3±0.6b	72.4±1.7bc	34.2±7.4a	6.4±1.5c	913.4±47.8bc	254.5±13.9c	31.7±3.9b	1.2±0.24a	27.8±3.3b
SFR+AG	19.2±0.5ab	76.0±1.6abc	49.3±6.8a	7.0±2.6bc	1059.2±67.2abc	316.3±28.2bc	43.0±7.1ab	0.9±0.13a	46.6±4.3ab
SFR+BI	17.8±1.0ab	70.5±2.3c	82.1±11.9a	6.9±1.4bc	953.7±114.2bc	324.3±15.2bc	47.6±3.9ab	0.9±0.09a	50.6±8.3ab
OS+SFI	20.3±0.6a	82.2±2.1a	72.8±20.2a	7.9±2.2a	1236.1±160.6ab	460.9±37.2a	53.8±7.2ab	0.8±0.05a	65.6±11.1a
OS+AG	18.7±0.8ab	77.4±2.6abc	64.6±13.5a	7.1±1.2abc	1149.9±59.1abc	328.8±15.0bc	43.6±4.2ab	1.1±0.08a	38.2±4.8ab
OS+BI	19.6±0.7a	82.3±1.8a	56.2±11.0a	7.6±2.0ab	1371.6±80.2a	402.5±33.9ab	52.1±5.9ab	1.3±0.2a	41.6±6.0ab
BA+SFI	18.3±0.7ab	77.5±1.7abc	58.9±16.5a	7.5±2.8ab	1103.9±82.8abc	357.7±31.5abc	65.2±3.9a	1.2±0.1a	55.6±8.3ab
BA+AG	18.5±0.6ab	77.0±1.3abc	60.8±7.5a	7.4±3.3ab	1139.7±126.6abc	373.6±47.9ab	62.3±9.8a	1.1±0.1a	54.6±9.0ab
BA+BI	18.9±0.6ab	78.7±2.2ab	71.8±8.9a	6.5±3.1c	791.5±79.5c	308.4±25.9bc	46.4±3.0ab	0.9±0.07a	49.8±0.8ab

TABLA 2.

Valor medio ± error estándar del número de hojas desplegadas (NH), altura de planta (AP), longitud radicular (LR), diámetro de tallo (DT), peso fresco de hoja (PFH), peso fresco de tallo (PFT), peso fresco de raíz (PFR), densidad radicular (DR) y volumen radicular (VR) como respuesta a la interacción de fertilizante de liberación lenta y fitohormonas en plantas de *Agave angustifolia* Haw.

Nota: SFR, sin fertilizante; SFI, sin fitohormona; AG, agromyl; BI, biozyme; OS, osmocote plus; BA, basacote plus. Medias con la misma letra en cada columna no son estadísticamente diferentes (Tukey < .05).

Fuente: elaboración propia.

PDF generado a partir de XML-JATS4R por Redalyc
Proyecto académico sin fines de lucro, desarrollado bajo la iniciativa de acceso abierto

Tratamiento	SST °Bx
SFR+SFI	9.2±0.3a
SFR+AG	9.2±0.9a
SFR+BI	9.2±0.3a
OS+SFI	13.4±2.6a
OS+AG	9.8±0.6a
OS+BI	9.4±0.2a
BA+SFI	9.2±0.3a
BA+AG	9.6±0.2a
BA+BI	9.4±0.5a

TABLA 3.
Valor medio ± error estándar del contenido de sólidos solubles totales (SST) en el tallo de plantas de Agave angustifolia Haw. como respuesta a la interacción de fertilizantes de liberación lenta y fitohormonas
Nota: SFR, sin fertilizante; SFI, sin fitohormona; AG, agromyl; BI, biozyme; osmocote plus; BA, basacote plus; Medias con la misma letra en cada columna no son estadísticamente diferentes (Tukey < .05).
Fuente: elaboración propia.

DISCUSIÓN

La aplicación de FLL promovió un incremento en el NH, AP, DT, PFH, PFT y PFR en plantas de A. *angustifolia*. Resultados que coinciden con lo reportado por Sánchez-Mendoza et al. (2020), quienes encontraron que el fll Multigro 6® (21–14–10 NPK + 2 MgO) incrementó 16.9% el DT, 45.1% el PFH, y 35.2% el PFT en plantas de A. angustifolia cultivadas en campo. Los resultados obtenidos en este estudio, así como los reportados por Sánchez-Mendoza et al. (2020) muestran que, independientemente de las condiciones de cultivo (a campo abierto o en bolsa en condiciones de vivero), las plantas de agave responden de manera positiva a la fertilización, aun cuando los contenidos de N y P son mayores en el fll Multigro 6® en comparación con Osmocote plus y Basacote plus.

Es importante brindar una buena nutrición a las plantas de A. *angustifolia* y de otras especies de agave en condiciones de vivero con la finalidad de obtener plantas de calidad en sanidad y vigor que se establezcan con éxito en campo (Ríos-Ramírez et al., 2021). Cuando las plantas se extraen del suelo del vivero generalmente se les podan las raíces para posteriormente establecerlas en campo durante el periodo de lluvias con la finalidad de que las plantas puedan formar nuevas raíces para establecerse en el suelo y reiniciar su crecimiento (Díaz et al., 2011). La capacidad de las plantas para captar radiación solar, fijar carbono, acumular materia seca y adaptarse a las nuevas condiciones depende de su condición fisiológica, la cual está relacionada con la condición nutrimental y el vigor de las plantas producidas en vivero (Ríos-Ramírez et al., 2021).

Aun cuando no existen estudios donde se haya evaluado el efecto de los FLL Osmocote plus y Basacote plus en plantas de agave, se ha demostrado su efecto positivo en otras especies vegetales. Por ejemplo, Aguilera-Rodríguez et al. (2015) evaluaron el efecto de dos sustratos elaborados a base de aserrín de pino más la adición de 8 g L-1 del fll Multicote® (18-6-12, con un periodo de liberación de 8 y 4 meses) y Osmocote plus® (15-9-12, con un periodo de liberación de 8 a 9 meses y 5 a 6 meses) en el crecimiento de plantas de *Pinus pseudostrobus* Lindl, en todos los tratamientos donde se combinó el sustrato a base de aserrín con el FLL se obtuvieron plantas

PDF generado a partir de XML-JATS4R por Redalyc
Proyecto académico sin fines de lucro, desarrollado bajo la iniciativa de acceso abierto

de buena calidad. Sin embargo, con Osmocote plus se obtuvieron los mejores resultados para las variables evaluadas (DT, peso seco aéreo, PSR, y relación entre peso seco aéreo y PSR).

Otro estudio que también reporta el efecto de FLL en otras especies vegetales diferentes a los agaves es el de Escamilla-Hernández et al. (2015), estos autores evaluaron el efecto de tres sustratos (vermiculita, agrolita y "peat moss") mezclados con los FLL Basacote plus® (16N-8P-12K), Osmocote plus® (15N-9P-12K) y Multicote® (18N-6P-12K), en tres dosis cada uno: 10 (baja), 20 (media) y 30 kg m^{-3} (alta), más un control sin fertilización, sobre el crecimiento de plantas de teca (*Tectona grandis* L. f.) cultivadas en tubetes de polietileno expandido y encontraron que las plantas de teca fertilizadas con Osmocote en las dosis media y alta presentaron el mayor incremento en todas las variables de crecimiento evaluadas (dt, altura del cuello, biomasa aérea y biomasa radicular).

Con excepción del trabajo de Sánchez-Mendoza et al. (2020), los estudios que evalúan el efecto de FLL en A. *angustifolia* son incipientes. No obstante, estudios previos han reportado que otros agaves han respondido positivamente a la fertilización convencional. Por ejemplo, García-Martínez et al. (2020) encontraron que la adición de 43.5 mg kg-1 de P incrementó 13.2, 34.9, 36.1 y 21.5% la AP, PFH, PFT y DT en plantas de A. potatorum Zucc. Estos mismos autores indicaron que en agave coyote (Agave spp.) la dosis de 29.0 mg kg^{-1} de P aumentó 16.4% la AP, 44.4% el PFT y 18.6 % el DT. Con 43.5 mg kg^{-1} de P el SST aumentó 40.0%, con 14.4 mg kg^{-1} de P el PFH incrementó 51.0%. Con excepción de lo obtenido para la variable SST en agave coyote, estos resultados son coincidentes con lo reportado en este estudio.

Sánchez-Mendoza et al. (2020), al igual que en este estudio, tampoco encontraron un efecto significativo de los FLL en el contenido de SST del tallo o "piña" de este agave. Zúñiga-Estrada et al. (2018) reportaron que plantas de A. tequilana que recibieron una fertilización de base (162-150-250 kg ha^{-1} de N, P y K) + fertirrigación (315.3 g de N; 179.9 g de P2O5; 353.4 g de K2O; 111 g de CaO y 89.1 g de MgO) tampoco mostraron un aumento en el contenido de SST por efecto de la fertilización. Posiblemente no se registró un aumento en el contenido de SST en las plantas de A. *angustifolia* con la aplicación de fll debido a que cada especie de agave responde de manera diferente a la fertilización dependiendo de sus características fenotípicas y genotípicas, así como de sus requerimientos nutricionales acorde a sus etapas fenológicas.

Por su parte, Martínez-Ramírez et al. (2013) también encontraron que el NH y la biomasa seca de plantas de *A. potatorum y A. angustifolia* cultivadas en macetas en invernadero incrementó significativamente con la aplicación de superfosfato triple, sulfato de potasio y sulfato de amonio.

De manera similar a lo obtenido en este estudio, Enríquez et al. (2018) mostraron que plantas de A. *angustifolia* cultivadas en un sustrato con 75% de abono bovino con fertirriego (formulación de Steiner) + biofertilizante líquido incrementaron 51.7% el NH, 27.1% la longitud de la hoja, 118.3% el peso seco de hoja, 68.4% el DT, 117.2% el peso seco de tallo y 97.61% la biomasa total en comparación con las plantas que crecieron en un sustrato sin abono bovino, sin fertirriego ni biofertilizante líquido (control).

El N es importante para diferentes procesos fisiológicos y metabólicos de las plantas, actividad enzimática, actividad fotosintética, respiración celular y señalización química, además, es constituyente de diferentes moléculas orgánicas (Ding et al., 2015; Yang et al., 2012). El P es considerado un nutriente primario para el crecimiento vegetal, este elemento es escencial en procesos de división celular, reproducción y metabolismo celular, de igual forma su función está relacionada con la adquisición, almacenamiento y uso de energía (Salinas et al., 2013; Lynch y Brown, 2008 FLL BA). Además de N y P, los evaluados contienen K, S, Mg y diferentes micronutrientes, los cuales, en conjunto, posiblemente favorezcan el crecimiento de las plantas de agave. Los agaves presentaron un mayor crecimiento cuando se aplicó os, probablemente debido a una mayor eficiencia de aprovechamiento de los nutrientes contenidos en este fertilizante cuyo periodo de liberación es más prolongado (8 a 9 meses) que el de , que tiene un periodo de liberación de 6 meses.

De acuerdo con Nobel, Quero y Linares (1989) una adecuada nutrición mejora la condición fisiológica de las plantas de agave aumentando la fijación de CO_2, lo que trae como consecuencia un incremento en

PDF generado a partir de XML-JATS4R por Redalyc
Proyecto académico sin fines de lucro, desarrollado bajo la iniciativa de acceso abierto

la biomasa y el rendimiento. Bautista-Cruz et al. (2007) indicaron que las plantas responden mejor a la fertilización cuando crecen en suelos pobres en materia orgánica y N, dos características que están presentes en la mayoría de los suelos donde se cultiva *A. angustifolia*. Los agaves al estar sometidos a condiciones restrictivas de agua y nutrientes desarrollan diferentes mecanismos de adaptación, como son hojas suculentas, cutículas gruesas y fotosíntesis tipo CAM (Ramírez-Tobías, Peña-Valdivia y Rogelio-Aguirre, 2014), es posible que, al mejorar las condiciones del suelo mediante la adición de nutrientes y agua, estos mecanismos permitan potencializar de mejor manera su crecimiento y desarrollo.

La aplicación de fitohormonas no promovió el crecimiento ni la acumulación de azúcares en plantas de *A. angustifolia*. Los estudios que evalúan el efecto de la aplicación de fitohormonas en el crecimiento de agaváceas y de plantas de zonas áridas en condiciones in vivo son escasos, poco claros y, por lo general, las concentraciones aplicadas son muy contrastantes (Mandujano, Golubov y Rojas-Aréchiga, 2007), esto dificulta la comparación de los resultados obtenidos en este ensayo. La mayoría de los estudios realizados son a nivel laboratorio utilizando técnicas de cultivo in vitro, en la mayoría de esos estudios se han encontrado resultados positivos en la emisión de brotes y crecimiento de plantas de agave como resultado de la adición de auxinas, giberelinas y citocininas (Aguilar-Jiménez y Rodríguez, 2018; Amador-Alférez et al., 2013; Arzate-Fernández et al., 2020; Cancino-García et al., 2020; Reyes-Zambrano et al., 2016).

Garnica-García et al. (2020) encontraron que los bulbilos de *A. angustifolia* cultivados en diferentes sustratos mostraron incrementos estadísticamente significativos en longitud de hoja, ancho de hojas, PST, peso seco total, volumen total, AP, número de raíces, volumen del tallo, NH, DT y volumen de hojas cuando se regaron y fertilizaron con una solución Steiner diluida al 50% + 25 g L^{-1} de la citocinina comercial benzilaminopurina en comparación con las plantas control regadas con agua corriente, posiblemente la citocinina favoreció el crecimiento y la división celular lo que se reflejó en un mayor crecimiento, estos resultados difieren a lo obtenido en este experimento.

Amador-Alférez et al. (2013) sugirieron realizar evaluaciones del efecto de fitohormonas en el crecimiento de especies vegetales en diferentes condiciones ambientales y analizar el efecto combinado de reguladores de crecimiento, por ejemplo, ácido giberélico (AG3) y auxinas como el ácido naftalenacético y/o ácido indolacético con la finalidad de conocer más sobre la función de estos compuestos químicos.

Existen algunos estudios donde se han evaluado las fitohormonas utilizadas en este ensayo en algunas especies vegetales. Por ejemplo, Ayvar-Serna et al. (2015) evaluaron el efecto de la aplicación de diferentes fitohormonas en el crecimiento, sst y rendimiento de jitomate bajo condiciones de invernadero, dentro de las fitohormonas evaluadas incluyeron Biozyme TF y Agromil plus, las cuales promovieron una mayor altura y DT. Sin embargo, las variables rendimiento, SST y diámetro horizontal y vertical del fruto no mostraron diferencias estadísticamente significativas con respecto al control. Navarro-Ainza, López-Carvajal y Enciso-Lara (2016) evaluaron el efecto de fitohormonas (Cytokin, Biozyme-TF, Maxigrow plus y Agromil plus) y urea foliar sobre el amarre y rendimiento de frutos de olivo y no encontraron diferencias significativas para las variables amarre de frutos y rendimiento entre los productos aplicados y el control.

En los estudios donde se han evaluado fitohormonas en agave en condiciones in vitro, éstas se han aplicado en el sustrato de soporte (medio sólido), de igual forma en el estudio de Garnica-García et al. (2020) las citocininas se aplicaron junto con los nutrientes en solución directamente al suelo, aun cuando se ha demostrado que las hojas de agave tienen una buena capacidad de absorción (Bejines-Ramos et al., 2017). Por lo que, se pudiera considerar la aplicación de fitohormonas directamente al suelo para eficientizar su absorción y por consecuencia un mayor crecimiento y desarrollo de las plantas de agave.

CONCLUSIONES

La aplicación de Osmocote plus® y Basacote plus® promovió el crecimiento de *Agave angustifolia* Haw. pero no el contenido de SST. El fertilizante Osmocote plus® indujo un mayor crecimiento en las plantas de agave

PDF generado a partir de XML-JATS4R por Redalyc
Proyecto académico sin fines de lucro, desarrollado bajo la iniciativa de acceso abierto

incrementando el NH, AP, DT, PFH y PFT. La interacción os+bi promovió incrementos en la AP y PFH, con BA +SFI incrementó el PFR. La aplicación de fitohormonas no generó una respuesta positiva en el crecimiento ni en el contenido de azucares en el tallo de las plantas de agave.

Referencias

Aguilar-Jiménez, D. y Rodríguez, J.L. (2018). Micropropagación y aclimatación de Maguey Pitzometl (*Agave marmorata* Roezl) en la Mixteca Poblana. *Revista Colombiana de Biotecnología, 20*(2), 124-131. DOI: 10.15446/rev.colomb.biote.v20n2.77084

Aguilera-Rodríguez, M., Aldrete, A., Martínez-Trinidad, T. y Ordaz-Chaparro, V.M. (2015). Producción de Pinus pseudostrobus Lindl. con sustratos de aserrín y fertilizantes de liberación controlada. Revista Mexicana de Ciencias Forestales, 7(34), 7-19.

Alcántara-Cortes, J.S., Acero-Godoy, J., Alcántara-Cortes, J.D. y Sánchez-Mora, R.M. (2019). Principales reguladores hormonales y sus interacciones en el crecimiento vegetal. NOVA, 12(32), 109-129. http://dx.doi.org/10.22490/24629448.3639

Amador-Alférez, K.A., Díaz-González, J., Loza-Cornejo, S. y Bivián-Castro, E.Y. (2013). Efecto de diferentes reguladores de crecimiento vegetal sobre la germinación de semillas y desarrollo de plántulas de dos especies de Ferocactus (Cactaceae). Polibotánica, 35, 109-131.

Arzate-Fernández, A.M., Martínez-Velasco, I., Álvarez-Aragón, C., Martínez-Martínez, S.Y. y Norman-Mondragón, T.H. (2020). Respuesta morfogenética de dos especies de agave regeneradas in vitro. Tropical and Subtropical Agroecosystems, 23(47), 1-16.

Ayvar-Serna, S., Mena-Bahena, A., Díaz-Nájera, J.F. y Maya-Pineda, E. (2015). Rendimiento de fruto de la var. Elsa de tomate verde en respuesta a la aplicación de hormonas y fertilizantes foliares. Revista de Energía Química y Física, 2(5), 374-378.

Barbieri, P.A., Eduardo-Echeverría, H. y Saínz-Rosas, H.R. (2018). Pérdidas por volatilización y eficiencia de uso de nitrógeno en maíz en función de la fuente, dosis y momento de aplicación. Revista de la Facultad de Agronomía, 117(1), 111-116.

Bautista-Cruz, A., Carrillo-Gonzalez, R., Arnaud-Vinas, M.R., Robles, C. y De León-Gonzalez, F. (2007). Soil fertility properties on Agave angustifolia Haw. plantations. Soil and Tillage Research, 96(1-2), 342-349. DOI: 10.1016/j.still.2007.08.001

Bejines-Ramos, G., González-Eguiarte, D.R., Rodríguez-Mendoza, M.N. y Rodríguez-Macías, R. (2017). Vías de penetración de un fertilizante foliar en Agave tequilana Weber var. Azul. Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas, 8(4), 985-991.

Borjas-Ventura, R., Julca-Otiniano, A. y Alvarado-Huamán, L. (2020). Las fitohormonas una pieza clave en el desarrollo de la agricultura. Journal of the Selva Andina Biosphere, 8(2), 150-164. DOI: 10.36610/j.jsab.2020.080200150

Bustos, F., González, M.E., Donoso, P., Gerding, V., Donoso, C. y Escobar, B. (2008). Efectos de distintas dosis de fertilizante de liberación controlada (Osmocote®) en el desarrollo de plantas de coigüe, raulí y ulmo. BOSQUE, 29(2), 155-161

Cancino-García, V.H., Ramírez-Prado, J.H. y De la Peña, C. (2020). Auxin perception in agave is dependent on the species´auxin response factors. Scientific Reports, 10, 3860. DOI: 10.1038/s41598-020-60865-y

Chagoya-Méndez, V.M. (2004). Diagnosis of the productive chain of the maguey-mezcal product system. Oaxaca, México: Secretaría de Agricultura Ganadería Desarrollo Rural Pesca y Alimentación [SAGARPA]

Díaz, J.G., Rojas, G., Him, F.Y., Hernández, B.N., Torrealba, E. y Rodríguez, Z. (2011). Efecto de la fertilización nitrogenada sobre el crecimiento en vivero de Cocuy (Agave cocui Trelease). Revista de la Facultad de Agronomía, 28(1), 264-272.

PDF generado a partir de XML-JATS4R por Redalyc
Proyecto académico sin fines de lucro, desarrollado bajo la iniciativa de acceso abierto

Ding, L., Gao, C., Li, Y., Li, Y., Zhu, Y., Xu, G... Guo, S. (2015). The enhanced drought tolerance of rice plants under ammonium is related to aquaporin (AQP). Plant Science, 234, 14-21. https://doi.org/10.1016/j.plantsci.2015.01.016.

Enríquez, J.R., Rodríguez-Ortiz, G., Ruiz-Luna, J., Pacheco-Ramírez, A.J. y Vásquez-Vásquez, L. (2018). Crecimiento y condición nutrimental de plantas micropropagadas de Agave angustifolia abonadas y fertirrigadas en vivero. Revista Mexicana de Agroecosistemas, 5(2), 106-115.

Escamilla-Hernández, N., Obrador-Olán, J.J., Carrillo-Ávila, E. y Palma-López, D.J. (2015). Uso de fertilizantes de liberación controlada en plantas de teca (Tectona grandis), en la etapa de vivero. Revista Fitotecnia Mexicana, 38(3), 329-333.

García-Marín, P., Torres-García, I., Casas, A., Figueredo, U.C.J., Rangel-Landa, S. y Delgado-Lemus, A. (2017). Los agaves y las prácticas mesoamericanas de aprovechamiento, manejo y domesticación. En A. Casas, J. Torres-Guevara y F. Parra-Rondinel, *Domesticación en el Continente Americano* (pp. 273-308). México: unam-unalm.

García-Martínez, L.I., Sánchez-Mendoza, S. y Bautista-Cruz, A. (2020). Combinación de hongos micorrízicos y fertilización fosforada en el crecimiento de dos agaves silvestres. *Terra Latinoamericana, 38*, 771-780. DOI: *10.28940.terra.v38i4.702*

García-Mendoza, A.J. (2010). Revisión taxonómica del complejo *Agave potatorum* Zucc. (Agavaceae): Nuevos taxa y neotipificación. *Acta Botánica Mexicana, 91*, 71-93. DOI: 10.21829/abm91.2010.292

García-Mendoza, A.J. (2007). Los agaves de México. *Ciencias, 87*, 14-23. Recuperado de https://revistacienciasunam.com/es/48-revistas/revista-ciencias-87/285-los-agaves-de-mexico.html

García-Moya, E., Romero-Manzanares, A. y Nobel, P.S. (2010). Highlights for Agave productivity. *Global Change Biology Bioenergy, 3*, 4-14. DOI: 10.1111/j.1757-1707.2010.01078.x

Garnica-García, R., Enríquez, J.R., Rodríguez-Ortiz, G., Pérez-León, I., Trejo-Calzada, R. y Morales, I. (2020). Plant growth and rhizome shoots of *Agave angustifolia* in different substrates, with fertigation and benzylaminopurine. *Emirates Journal of Food and Agriculture, 32*(10), 702-710. DOI: 10.9755/ejfa.2020.v32.i10.2141

Kiplangat, R., Karuku, G.N., Mbui, D., Njomo, N. y Michira, I. (2019). Evaluating the effects of formulated nano-NPK slow-release fertilizer composite on the performance and yield of maize, kale and capsicum. *Annals of Agricultural Sciences, 64*(1), 9-19. DOI: 10.1016/j.aoas.2019.05.010

Larios-González, R.C., García-Centeno, L., Jerónimo-Ríos, M., Ávalos-Espinoza, C. y Castro-Salazar, J.R. (2021). Pérdidas de nitrógeno por volatilización a partir de dos fuentes nitrogenadas y dos métodos de aplicación. *Siembra, 8*(2),e2475. DOI: 10.29166/siembra.v8i2.2475

Lynch, J.P. y Brown, K.M. (2008). Root strategies for the acquisition of phosphorus. En P. White y J. Hammond, *The ecophysiology of plant-phosphorus interactions. Plant Ecophysiology* (pp. 83-116). Netherlands: Springer.

Mandujano, M.C., Golubov, J. y Rojas-Aréchiga, M. (2007). Efecto del ácido giberélico en la germinación de tres especies del género *Opuntia* (Cactaceae) del Desierto Chihuahuense. *Cactaceas y Suculentas Mexicanas, 52*, 46-52.

Martínez-Ramírez, S., Trinidad-Santos, A., Bautista-Sánchez, G. y Pedro-Santos, E.C. (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. DOI: 10.35196/rfm.2013.4.387

Navarro-Ainza, J.A.C., López-Carvajal, A. y Enciso-Lara, J.M. (2016). Respuesta del olivo (*Olea europaea* L.) 'Manzanillo' a la aplicación de biorreguladores y urea foliar y su interacción con altas temperaturas. *Revista Chapingo Serie Zonas Áridas, 15*(2), 77-88. DOI: 10.5154/r.rchsza.2016.01.002

Nobel, P.S., Quero, E. y Linares, H. (1989). Root versus shoot biomass: Responses to water, nitrogen, and phosphorus applications for *Agave lechuguilla. Botanical Gazette, 150*(4), 411-416.

Núñez, H.M., Rodríguez, L.F. y Khanna, M. (2010). Agave for tequila and biofuels: an economic assessment and potential opportunities. *Global Change Biology Bioenergy, 3*, 43-57. DOI: 10.1111/j.1757-1707.2010.01084.x

Ramírez-Tobías, H.M., Peña-Valdivia, C.B. y Rogelio-Aguirre, J. (2014). Respuestas bioquímico-fisiológicas de especies de agave a la restricción de humedad. *Botanical Sciences, 92*(1), 131-139.

PDF generado a partir de XML-JATS4R por Redalyc
Proyecto académico sin fines de lucro, desarrollado bajo la iniciativa de acceso abierto

Reyes-Zambrano, S.J., Lecona-Guzmán, C.A., Barredo-Pool, F.A., Ambrosio-Calderón, J.D., Abud-Archila, M. y Rincón-Rosales, R. (2016). Optimización de los reguladores de crecimiento para maximizar el número de brotes en *Agave americana* L. por organogénesis indirecta. *Gayana Botánica, 73*(1), 120-129. DOI: 10.4067/S0717-66432016000100014

Ríos-Ramírez, S.C., Enríquez, J.R., Rodríguez-Ortíz, 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.

Salinas, R., Sánchez, E., Ruíz, J.M., Lao, M.T. y Romero, L. (2013). Phosphorus levels influence plasma membrane H +-ATPase activity and K+, Ca2+, and Mg2+ assimilation in green bean. *Communications in Soil Science and Plant Analysis, 44,* 456-464.

Sánchez-Mendoza, S., Bautista-Cruz, A., Robles, C. y Rodríguez-Mendoza, M.N. (2020). Irrigation and slow-release fertilizers promote the nutrition and growth of *Agave angustifolia* Haw. *Journal of Plant Nutrition*, 699-708. DOI: 10.1080/01904167.2019.1701025

Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural. (2021). Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera [base de datos]. Recuperado de https://nube.siap.gob.mx/avance_agricola/

Soti, P., Fleurissaint, A., Reed, S. y Jayachandran, K. (2015). Effects of Control Release Fertilizers on Nutrient Leaching, Palm Growth and Production Cost. *Agriculture, 5,* 1135-1145. DOI: 10.3390/agriculture5041135

Vázquez-Cisneros, I., Prieto-Ruíz, J.A., López-López, M.A., Wehenkel, C., Domínguez-Calleros, P.A. y Muñoz-Sáez, F.E. (2018). Crecimiento y supervivencia de una plantación de *Pinus greggii* Engelm. ex Parl. var. *greggii* bajo diferentes tratamientos de fertilización. *Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente, 24*(2), 251-264. DOI: 10.5154/r.rchscfa.2017.05.036

Yang, X., Yong, L., Binbin, R., Lein, D., Cuimin, G., Qirong, S. y Shiwei, G. (2012). Drought-induced root aerenchyma formation restricts water uptake in rice seedlings supplied with nitrate. *Plant and Cell Physiology, 53*, 495-504.

Zaho-Hui, W. y Sheng-Xiu, L. (2019). Nitrate N loss by leaching and surface runoff in agricultural land: A global issue (a review). *Advances in agronomy, 156,* 159-217. DOI: 10.1016/bs.agron.2019.01.007

Zúñiga-Estrada, L., Rosales, E.R., Yáñez-Morales, M.J. y Jacques-Hernández, C. (2018). Características de una planta MAC, *Agave tequilana* desarrollada con fertirrigación en Tamaulipas, México. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas, 9*, 553-564. DOI: 10.29312/remexca.v9i3.1214

Información adicional

Paginación electrónica: e24.82738

PDF generado a partir de XML-JATS4R por Redalyc
Proyecto académico sin fines de lucro, desarrollado bajo la iniciativa de acceso abierto