

Aplicación foliar de quitosano en plántulas de *Agave salmiana* y su respuesta en algunos parámetros morfofisiológicos

Foliar application of chitosan in *Agave salmiana* seedlings and their response in some morphophysiological parameters

Emilio Raymundo Morales-Maldonado¹ , Zeila Marian Ramírez-Otero¹ , Oscar Cruz-Alvarez² , Ofelia Adriana Hernández-Rodríguez²  y Damaris Leopoldina Ojeda-Barrios^{2*} 

¹ Instituto Tecnológico Superior de Huichapan, Ingeniería en Innovación Agrícola Sustentable. Dom. conocido s/n, El saucillo. 42411 Huichapan, Hidalgo, México.

² Universidad Autónoma de Chihuahua, Facultad de Ciencias Agrotecnológicas. Avenida Pascual Orozco, Santo niño. 31350 Chihuahua, Chihuahua, México.

* Autora para correspondencia (dojeda@uach.mx)

Editor de Sección: Dr. Luis Hernández Adame

RESUMEN

Agave salmiana L., es una planta con alto valor agroecológico, agroindustrial y gastronómico, sin embargo, su propagación tradicional por hijuelos reduce su variabilidad genética. El objetivo de esta investigación fue evaluar la acumulación de materia seca, clorofila total y algunos compuestos nitrogenados como respuesta a la aplicación foliar de quitosano en plántulas de *A. salmiana*. El estudio se realizó en el Instituto Tecnológico Superior de Huichapan, México. El diseño experimental fue completamente al azar con 10 repeticiones. Se evaluaron cinco dosis foliares de quitosano (mg L^{-1}) (0.10, 0.25, 0.50, 0.75 y 1.0), donde T0 corresponde al testigo (agua destilada). Los parámetros evaluados fueron altura de planta, diámetro del tallo, número de hojas, longitud y volumen radicular, materia seca, clorofila total, nitrógeno total y nitratos. La aplicación foliar de 0.75 y 1.0 g L^{-1} incrementaron la altura de planta, diámetro de tallo, número de hojas, longitud y volumen de raíz. Sin embargo, la dosis de 0.5 g L^{-1} también mostró efecto significativo en la altura de planta y el diámetro de tallo. Por otro lado, los tratamientos con 0.5, 0.75 y 1.0 mg L^{-1} mostraron los valores más altos de clorofila total, nitrógeno total y nitratos, aunque la acumulación de materia seca, solo fue significativa con la dosis de 1.0 mg L^{-1} . La aplicación foliar de quitosano es una alternativa que

podría ayudar a mejorar algunas de las características morfofisiológicas en plántulas de *A. salmiana*, una especie endémica de México.

Palabras clave: *agave pulquero, agricultura orgánica, bioestimulantes, germinación, manejo agronómico.*

SUMMARY

Agave salmiana L., is a plant with high agroecological, agro-industrial and gastronomic value, however, its traditional propagation by suckers reduces the genetic variability of this species. The objective of this research was to evaluate the accumulation of dry matter, total chlorophyll and some nitrogenous compounds as response to the foliar application of chitosan in *A. salmiana* seedlings. The study was conducted at the Instituto Tecnológico Superior of Huichapan, Hidalgo, Mexico. The experimental design was completely random with 10 replications. Five foliar doses of chitosan (mg L^{-1}) were evaluated (0.10, 0.25, 0.50, 0.75 and 1.0), where T0 corresponds to the control (distilled water). The parameters evaluated were plant height, stem diameter, number of leaves, root length and volume, dry matter, total chlorophyll, and total nitrogen and nitrates. Foliar application of 0.75 and 1.0 g L^{-1} increased plant height, stem diameter, number of leaves, length and root volume. However, the dose of 0.5 g L^{-1} also showed significant effect on plant height

Cita recomendada:

Morales-Maldonado, E. R., Ramírez-Otero, Z. M., Cruz-Alvarez, O., Hernández-Rodríguez, O. A. y Ojeda-Barrios, D. L. (2022). Aplicación foliar de quitosano en plántulas de *Agave salmiana* y su respuesta en algunos parámetros morfofisiológicos. *Terra Latinoamericana*, 40, 1-7. e1571. <https://doi.org/10.28940/terra.v40i0.1571>

Recibido: 3 de mayo de 2022. Aceptado: 6 de junio de 2022.

Nota de investigación. Volumen 40, octubre de 2022.

and stem diameter. On the other hand, treatments with 0.5, 0.75 and 1.0 mg L⁻¹ showed the highest values of total chlorophyll and total nitrogen and nitrates, where dry matter accumulation was only significant with the dose of 1.0 mg L⁻¹. The foliar application of chitosan is an alternative that could help improve some of the morphophysiological characteristics in seedlings of *A. salmiana*, a species endemic to Mexico.

Index words: *agave pulquero*, *organic agriculture*, *biostimulants*, *germination*, *agronomic management*.

INTRODUCCIÓN

El género *Agave* está conformado por aproximadamente 200 especies y la mayoría se encuentran distribuidas en México (Hidalgo, Tlaxcala, Estado de México, Puebla y San Luis Potosí) (Castillo-Quiroz, Villarreal y Cano, 2020). La planta de maguey es representativa de la cultura tradicional mexicana y se encuentra asociada con una amplia diversidad de usos, entre los que destacan el medicinal, cultural, agroindustrial, ecológico y gastronómico (Arrazola-Cárdenas, García, Robledo, Ybarra y Muratalla, 2020). En particular *Agave salmiana* constituye una fuente para la extracción de pulque, miel y fibras, cuya comercialización impacta en el ingreso económico y bienestar social de las comunidades en las que se produce (Vázquez-Díaz, García, Peña, Ramírez y Morales, 2011). Por otro lado, de forma tradicional el agave es propagado por hijuelos y en algunos casos por cultivo *in vitro*, lo que ha propiciado una reducción significativa de la variabilidad genética y susceptibilidad al ataque de plagas y enfermedades (Puente-Garza, Espinosa y García, 2021). En este sentido, la propagación por semilla es una alternativa para obtener plantas con características sobresalientes que les permitan incrementar su adaptación a suelos degradados, condiciones de salinidad, déficit hídrico, así como al ataque de plagas y enfermedades (Cruz-Vasconcelos, Ruiz, García, Sandoval y Cruz, 2020).

El desempeño de las plantas puede ser mejorado con la aplicación de sustancias o microorganismos, incluyendo ácidos húmicos, extractos de algas, aminoácidos, elementos benéficos (silicio, selenio y cobalto), bacterias promotoras del crecimiento en la rizosfera (*Rhizobium*, *Bradyrhizobium*, *Azotobacter*, *Pseudomonas*, *Bacillus*) y biopolímeros (alginato, quitina, celulosa y quitosano) (Palacio-Márquez *et al.*, 2022).

Entre los beneficios de su aplicación foliar o edáfica se encuentran un incremento en la tasa fotosintética, absorción de nutrientes y mitigación del estrés ocasionado por la presencia de sales, déficit hídrico y la presencia de agentes patógenos (Cruz-Crespo *et al.*, 2014; Puente-Garza *et al.*, 2021). Entre los bioestimulantes más recientes, se encuentra el quitosano (forma desacetilada de la quitina), proveniente principalmente de exoesqueletos de insectos y crustáceos (Mirbolook, Rasouli, Sepehr, Lakzian y Hakimi, 2020). La aplicación foliar de quitosano participa en la activación H⁺-ATPasa en la membrana plasmática (receptor específico de quitina), cuya respuesta se manifiesta como un mecanismo de defensa en la planta (Hadwiger, 2015).

El uso de quitosano ha demostrado un efecto antifúngico y bioestimulante en la germinación, crecimiento y desarrollo vegetativo en varios cultivos, incluido el maíz (*Zea mays* L.), frijol (*Phaseolus vulgaris* L.), tomate (*Solanum lycopersicum* L.), repollo (*Brassica oleracea* var. *capitata*) y albahaca (*Ocimum basilicum* L.) (Ahmed, Khan, Siddiqui y Jahan, 2020; Chakraborty *et al.*, 2020). Así mismo, se han reportado variaciones significativas en la concentración de pigmentos fotosintéticos, contenido de nutrientes minerales y rendimiento en plátano (*Musa × paradisiaca* L.) y caña de azúcar (*Saccharum officinarum* L.) (Reyes-Pérez, Ramos, Llerena, Ramírez y Falcón, 2021). Por otro lado, en plantas de arroz (*Oriza sativa* L.) ‘sd20a’, la aplicación foliar de quitosano (250 mg L⁻¹) incrementó la altura de la planta, longitud de raíz y rendimiento con respecto al testigo en 16.57, 52 y 16.21%, respectivamente (Molina-Zerpa, Colina, Rincón y Vargas, 2017). En este mismo sentido, Salgado-Valle *et al.* (2020) y López-Tobar, Álvarez, Reyes, Vital y Yáñez, (2021) en tomate ‘Yuval 810’ y pepino (*Cucumis sativus* L.) ‘HA-436, ATAR’ al aplicar quitosano (1000 y 4 mg L⁻¹, respectivamente), incrementaron la altura de la planta, diámetro del tallo, número racimos, peso y número de frutos. Sin embargo, la información asociada con su efecto en plántulas de agave es escasa o nula, es por ello que esta investigación puede ofrecer elementos interesantes para comprender sus efectos en algunos parámetros fisiológicos de esta planta endémica de México. El objetivo de este estudio fue evaluar el efecto de la aplicación foliar de quitosano en plántulas de agave pulquero (*Agave salmiana* L.) en algunas variables morfofisiológicas.

MATERIALES Y MÉTODOS

La presente investigación fue realizada en Huichapan, Hidalgo, México (20° 19' 09.93" N y 99° 42' 29.27" O), con altitud de 2 172 m. La temperatura y precipitación media anual fue de 15.7 °C y 516.4 mm, respectivamente. Se utilizaron semillas de *Agave salmiana* procedentes de una colecta realizada en Cardonal, Hidalgo, México (20° 32' 41" N y 99° 04' 08" O). El proceso de germinación fue realizado en cajas Petri (100 × 20 mm), para ello se utilizó un conjunto de 150 semillas con un porcentaje de germinación del 90%. Transcurrido un periodo de 25 días, las plántulas fueron trasplantadas en bolsas de poliestireno negro (10 × 15 cm) con mezcla de humus de lombriz y tezontle (70:30), como sustrato. Se evaluaron cinco dosis foliares de quitosano (mg L^{-1}) (0.10, 0.25, 0.50, 0.75 y 1.0), donde T0 corresponde al testigo (agua destilada). El diseño experimental fue completamente al azar con 10 repeticiones, donde la unidad experimental fue una plántula de agave con 90 días después del trasplante. Las soluciones fueron preparadas en 0.1 L de agua destilada y ácido acético al 1% a pH 5.6 ajustado con KOH. La aplicación foliar de los tratamientos fue realizada mediante un atomizador preimpreso con gatillo (TOLCO, México) (10 mL) con un volumen y frecuencia de 0.2 mL plántula⁻¹ y tres días durante un año, respectivamente. El suministro de nutrientes fue realizado con la siguiente solución nutritiva: 6 mmol NH_4NO_3 , 1.6 mmol K_2HPO_4 , 2.4 mmol K_2SO_4 , 4.0 mmol $\text{CaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$, 1.4 mmol MgSO_4 , 5 μmol Fe-EDDHA, 2 μmol $\text{MnSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$, 1.0 μM of ZnSO_4 , 0.25 μmol $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$, 0.3 μmol $(\text{NH}_4)_6\text{Mo}_7\text{O}_{24} \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ and 0.5 μmol H_3BO_3 . El pH de la solución se ajustó a 5.7 y la conductividad eléctrica a 2.7 dS m^{-1} . Esta actividad fue realizada cada tercer día con un volumen de agua entre 0.2-0.5 L plántula⁻¹.

La altura de planta, longitud radicular y diámetro del tallo fueron determinadas con calibrador digital marca Mitutoyo® (Absolute Digimatic, USA). Los resultados son expresados en cm. Así mismo, se cuantificó el total de hojas en la planta (número de hojas). El volumen radicular fue determinado de acuerdo con el método descrito por Cruz-Crespo *et al.* (2014). Brevemente, las raíces fueron separadas del cuello del tallo mediante un bisturí (Inox®, Germany). Posteriormente, fueron sumergidas en una probeta (ISOLAB®, México) con capacidad de 250 mL, donde el volumen de agua desplazado por arriba de la línea

de aforo se consideró como el volumen radicular ($1 \text{ mL} = 1 \text{ cm}^3$). Por otro lado, las muestras fueron colocadas en una estufa de secado Luzeren® (Luzeren, México) por 48 h a 60 °C. Se obtuvo el peso seco (g) con una balanza electrónica portátil Scout® Pro SP202 (Ohaus, Parsippany-Troy Hills, USA) con sensibilidad de 0.01 g. La concentración de clorofila total fue determinada por el método descrito por Cruz-Álvarez *et al.* (2012), para ello se colocaron 0.5 g de tejido fresco (hojas) en acetona al 80% (v:v) por 24 h. Las lecturas de absorbancia se realizaron con un espectrofotómetro UV-visible Lambda 25® (Perkin Elmer, USA). Los resultados son expresados en $\mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1}$. Para la cuantificación de compuestos nitrogenados fue determinado por el método publicado por Cruz-Alvarez *et al.* (2020). Se recolectó una hoja ($\approx 2 \text{ g}$) de agave y fue lavada con una solución al 0.1% de detergente libre de fosfato, seguido de un enjuague con agua desionizada y secado a 80 °C en una estufa Heratherm™ VCA 230 (Thermo Scientific™, USA). Las muestras se homogeneizaron en un molino (Wiley®, USA) con malla de 1 mm. El N-total se cuantificó por el método de Micro-Kjeldahl (Novatech®, USA y Micro Kjeldahl Labconco®, USA). De forma simultánea, la concentración de nitratos (N-NO_3) fue determinada por el método de ácido fenol-disulfónico (Fisher y Hart, 1971).

A los datos obtenidos se les verificó su normalidad y homogeneidad de varianzas con la prueba de Kolmogórov-Smirnov y Bartlett, respectivamente (Sokal y Rohlf, 1995). Posteriormente, se realizó el análisis de varianza de clasificación simple y comparación múltiple de medias mediante la prueba de Tukey ($\alpha \leq 0.05$). En todos los casos se empleó el programa de análisis estadístico SAS versión 9.0 (SAS Institute, 2002).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Aspectos morfológicos de las plántulas. Los datos obtenidos de altura, diámetro de tallo, número de hojas, longitud y volumen de raíz de las plántulas de *A. salmiana* son mostrados en el Cuadro 1. En este estudio, las plántulas sometidas a la aplicación foliar de 0.75 y 1.0 mg L^{-1} de quitosano mostraron mayor altura, número de hojas, longitud y volumen de raíz. Estudios previos han demostrado que el quitosano posee varias funciones, incluida la de elicitador, inhibidor de proteinasas y bioestimulante, lo que en conjunto permite mejorar el desempeño en el crecimiento y desarrollo vegetativo

Cuadro 1. Altura de planta, diámetro del tallo, número de hojas longitud y volumen radicular en plántulas de *Agave salmiana* con aplicaciones foliares de quitosano.**Table 1. Plant height, stem diameter, number of leaves, length and root volume in *Agave salmiana* seedlings with foliar applications of chitosan.**

Quitosano	AP	DT	NH	LR	VR
g L ⁻¹	----- cm -----			cm	cm ³
Testigo	36.37 ± 0.00 d [†]	14.1±0.01c	3 ± 0.00 d	27.55 ± 0.02 c	0.50 ± 0.01 c
0.10	52.50 ± 0.02 c	18.5±0.01 b	4 ± 0.02 cd	28.62 ± 0.02 c	0.55 ± 0.03 de
0.25	62.45 ± 0.02 b	21.7±0.03 ab	5 ± 0.03 bc	42.58 ± 0.00 b	0.65 ± 0.01bc
0.50	71.65 ± 0.02 ab	23.8±0.01 a	5 ± 0.01 bc	39.40 ± 0.03 b	0.60 ± 0.00 cd
0.75	75.55 ± 0.01 a	24.2±0.00 a	6 ± 0.01 ab	52.89 ± 0.01 a	0.70 ± 0.03 ab
1.00	77.49 ± 0.03 a	24.6±0.02 a	7 ± 0.00 a	56.69 ± 0.04 a	0.75 ± 0.05 a

AP = altura de planta; DT = diámetro del tallo; NH = número de hojas; LR = longitud de raíz; VR = volumen de raíz. † Medias con la misma letra dentro de columnas son estadísticamente iguales (Tukey, $P \geq 0.05$). Desviación estándar (n = 10).

PH = Plant height; SD = stem diameter; NL = number of leaves; RL = root length; RV = root volume. † Means with the same letter within each column are statistically equal (Tukey, $P \geq 0.05$). Standard deviations (n = 10).

de las plantas (Pichyangkura y Chadchawan, 2015). En este sentido, Reyes-Pérez *et al.* (2020) y Gustavo-González *et al.* (2021) al realizar aplicaciones foliares de 1 g L⁻¹ de quitosano en tomate (*S. lycopersicum* L.) ‘ESEN’ y ‘L-43’ incrementaron la altura de planta (23.52 y 20.16 cm), diámetro de tallo (5.9 y 4.9 cm), número de hojas (6.3 y 5.6), longitud de raíz (5.46 y 6.58 cm) y materia seca (7.8 y 6.7 g), respectivamente. Un comportamiento similar ha sido publicado en soya (*Glycine max* L.) ‘IS-27’ por Costales y Falcón (2020) con la aspersión foliar de 0.5 g L⁻¹ de quitosano. Del mismo modo, dosis de 0.3 g L⁻¹ en semillas de tomate permitieron obtener plantas con mayor altura de planta, diámetro de tallo y longitud de raíz con valores de 98.23, 0.12, 28.61 cm, respectivamente (López-Tobar *et al.*, 2021). La presencia de este compuesto en los tejidos vegetales estimula la biosíntesis de compuestos fenólicos mediante la enzima fenilalanina amonio liasa, cuya actividad se asocia con los mecanismos de defensa (vía la ruta del óxido nítrico) en contra del estrés oxidativo ocasionado por factores adversos (déficit hídrico, temperaturas extremas, suelos erosionados, presencia de patógenos, entre otros) (Pichyangkura y Chadchawan, 2015; Molina-Zerpa *et al.*, 2017).

Aspectos fisiológicos de las plántulas. Los datos correspondientes a la acumulación de materia seca, clorofila total y compuestos nitrogenados son presentados en el Cuadro 2. La biosíntesis de clorofila se encuentra vinculada al metabolismo nitrogenado (N-total, nitratos, N-orgánico, nitrato reductasa, glutamato sintasa, entre otras), cuyos productos estimulan el crecimiento y

acumulación de materia seca (Juárez-Rosete, Aguilar, Aburto y Alejo, 2019; Arrazola-Cárdenas *et al.*, 2020). Las plántulas tratadas con dosis de quitosano entre 0.5 y 1.0 mg L⁻¹ mostraron los valores más altos de clorofila total, nitrógeno total y nitratos. Sin embargo, la acumulación de materia seca (0.66 ± 0.03 g) fue mayor con el tratamiento de 1.0 mg L⁻¹. En este sentido, se ha reportado el papel del quitosano en el estímulo de la maquinaria fotosintética, en la que se incluye la regulación de la fotoquímica primaria, amplificación de la fijación de carbono estomatal y síntesis de carbohidratos (Ahmed *et al.*, 2020; Jayanudin *et al.*, 2021). Así mismo, impacta en la tasa de absorción y acumulación de nitrógeno en los tejidos vegetales, lo que se manifiesta en la acumulación de materia seca y en la eficiencia fotosintética (Salachna y Zawadzińska, 2014). Por otro lado, el agave es una planta que se desarrolla generalmente en suelos degradados con déficit hídrico y altas temperaturas, condiciones propicias para la generación de estrés oxidativo por la síntesis de etileno en las raíces y hojas, donde la presencia de quitosano en los tejidos puede ayudar a minimizar estos efectos negativos al estimular la absorción de compuestos nitrogenados (Molina-Zerpa *et al.*, 2017; Chakraborty *et al.*, 2020). En contraste, dosis entre 150 y 300 mg L⁻¹ de quitosano aplicadas por Reyes-Pérez *et al.* (2020) no mostraron efecto significativo en la calidad de fruto (sólidos solubles totales, contenido de proteínas, vitamina C, y acidez titulable) y concentración de

Cuadro 2. Acumulación de materia seca, clorofila total y compuestos nitrogenados en plántulas de *Agave salmiana* con aplicaciones foliares de quitosano.**Table 2. Accumulation of dry matter, total chlorophyll and nitrogenous compounds in *Agave salmiana* seedlings with foliar applications of chitosan.**

Quitosano	Materia seca	Clorofila total	N-total	NO ₃
g L ⁻¹	g	mg g ⁻¹	g kg ⁻¹	mg kg ⁻¹
Testigo	0.49 ± 0.01 d [†]	35.33 ± 0.00 d	16.0 ± 0.02 c	342.00 ± 0.03 b
0.10	0.55 ± 0.03 c	38.80 ± 0.01 cd	17.0 ± 0.02 bc	393.33 ± 0.03 b
0.25	0.60 ± 0.02 b	44.44 ± 0.03 b	18.0 ± 0.01 bc	496.67 ± 0.01 ab
0.50	0.60 ± 0.01 b	49.13 ± 0.03 ab	19.5 ± 0.03 ab	563.33 ± 0.02 a
0.75	0.60 ± 0.00 b	54.87 ± 0.02 a	21.5 ± 0.00 a	617.53 ± 0.01 a
1.00	0.66 ± 0.03 a	56.93 ± 0.01 a	24.0 ± 0.03 a	664.00 ± 0.02 a

[†] Medias con la misma letra dentro de columnas son estadísticamente iguales (Tukey, $P \leq 0.05$). Desviación estándar (n = 10).

[‡] Means with the same letter within each column are statistically equal (Tukey, $P \leq 0.05$). Standard deviations (n = 10).

algunos elementos minerales (N, P, K⁺, Ca²⁺ y Mg²⁺) en tomate (*S. lycopersicum* L.) ‘Floradade’. En general, existe información limitada sobre el efecto que tiene el quitosano en los parámetros fisiológicos y bioquímicos en las plántulas de agave. Por ello, es necesario realizar evaluaciones más profundas de los efectos causados por los bioestimulantes (quitosano) en la fisiología y bioquímica de otras especies de agave, así como el impacto en el ambiente. No obstante, el efecto de quitosano en plántulas de maguey pulquero puede estar vinculado con su papel en la activación de la enzima ATPasa a nivel de la membrana plasmática, cuya señal es traducida por un mensajero secundario, activando los orgánulos responsables de la fotosíntesis presente en los cloroplastos y promoviendo respuestas fisiológicas en la planta (Hidangmayum, Dwivedi, Katiyar y Hemantaranjan, 2019).

CONCLUSIONES

La aplicación foliar de quitosano en dosis de 0.75 y 1.0 mg L⁻¹ permiten incrementar la altura, número de hojas, longitud y volumen de raíz, clorofila total, nitrógeno total y nitratos en agave pulquero propagado por semillas. Así mismo, las plántulas tratadas con 1.0 mg L⁻¹ mostraron la mayor acumulación de materia seca. El uso de bioestimulantes como el quitosano representa una alternativa para mejorar el desempeño de algunos parámetros morfofisiológicos de *A. salmiana*, una especie endémica y con alto impacto económico, agroecológico e industrial para muchas comunidades rurales de México.

DECLARACIÓN DE ÉTICA

No aplicable.

CONSENTIMIENTO PARA PUBLICACIÓN

No aplicable.

DISPONIBILIDAD DE DATOS

Los conjuntos de datos utilizados y analizados durante el estudio actual están disponibles del autor correspondiente a solicitud razonable.

CONFLICTO DE INTERESES

Los autores declaran que no tienen intereses en competencia.

FONDOS

Esta investigación no contó con financiamiento.

CONTRIBUCIÓN DE LOS AUTORES

Conceptualización, adquisición de fondos, metodología, software, formal, investigación de campo, recursos, curación de datos: E.R.M.M. Análisis de laboratorio, preparación de reactivos, manejo de reactivos: Z.M.R.O. Preparación del borrador original, interpretación: O.C.A. Análisis estadísticos, interpretación de datos, validación: O.A.H.R. Análisis, escritura: revisión y edición, supervisión: D.L.O.B.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen al Instituto Tecnológico Superior de Huichapan y a la Universidad Autónoma de Chihuahua, por el apoyo técnico y administrativo otorgado para la ejecución de la presente investigación.

LITERATURA CITADA

- Ahmed, K. B. M., Khan, M. M. A., Siddiqui, H., & Jahan, A. (2020). Chitosan and its oligosaccharides, a promising option for sustainable crop production-a review. *Carbohydrate Polymers*, 227, 115331. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2019.115331>
- Arrazola-Cárdenas, L., García-Nava, J. R., Robledo-Paz, A., Ybarra-Moncada, M. C., & Muratalla-Lúa, A. (2020). Sustratos y dosis de fertirrigación en la acumulación de azúcares totales y el crecimiento de *Agave salmiana* (Asparagaceae). *Polibotánica*, 50, 109-118.
- Castillo-Quiroz, D., Villarreal-Quintanilla, J. A., & Cano-Pineda, A. (2007). El género *Agave* L. bajo cultivo: taxonomía, distribución y usos. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*, 32(101), 57-70.
- Chakraborty, M., Hasanuzzaman, M., Rahman, M., Khan, A. R., Bhowmik, P., Mahmud, N. U., ... Tofazzal, I. (2020). Mechanism of plant growth promotion and disease suppression by chitosan biopolymer. *Agriculture*, 10(12), 1-30. <https://doi.org/10.3390/agriculture10120624>
- Costales-Menéndez, D., & Falcón-Rodríguez, A. B. (2020). Effect of chitosan molecular mass on germination and *in vitro* growth of soy. *Cultivos Tropicales*, 41(1), 1-10.
- Cruz-Alvarez, O., Hernández-Rodríguez, A. O., Jacobo-Cuellar, J. L., Ávila-Quezada, G., Morales-Maldonado, E., Parra-Quezada, R. A., ... Ojeda-Barrios, D. L. (2020). Nitrogen fertilization in pecan and its effect on leaf nutrient concentration, yield and nut quality. *Revista Chapingo Serie Horticultura*, 26(3), 163-173. <https://doi.org/10.5154/r.rchsh.2019.10.021>
- Cruz-Álvarez, O., Martínez-Damián, M. T., Rodríguez-Pérez, J. E., Colinas-León, M. T., & Moreno-Pérez, E. C. (2012). Postharvest conservation of husk tomato (*Physalis ixocarpa* Brot. Ex. Horm.) with and without calyx. *Revista Chapingo Serie Horticultura*, 18(3), 333-344. <https://doi.org/10.5154/r.rchsh.2010.11.105>
- Cruz-Crespo, E., Can-Chulim, A., Bugarín-Montoya, R., Pineda-Pineda, J., Flores-Canales, R., Juárez-López, P., & Alejo-Santiago, G. (2014). Concentración nutrimental foliar y crecimiento de chile serrano en función de la solución nutritiva y el sustrato. *Revista Fitotecnia Mexicana*, 37(3), 289-295.
- Cruz-Vasconcelos, S. T., Ruiz-Posadas, L., García-Moya, E., Sandoval-Villa, M., & Cruz-Huerta, N. (2020). crecimiento y tasa de intercambio de CO₂ de maguey pulquero (*Agave salmiana* Otto ex Salm-Dyck) obtenido por semilla. *Agrociencia*, 54(7), 911-926. <https://doi.org/10.47163/agrociencia.v54i7.2242>
- Fisher, J. H. & Hart, F. L. (1971). *Modern Food Analysis*. (1st Ed.). Heidelberg, Berlin, Germany: Springer.
- Gustavo-González, L., Paz-Martínez, I., Boicet-Fabré, T., Jiménez-Arteaga, M.C., Falcón-Rodríguez A., & Rivas-García, T. (2021). Efecto del tratamiento de semillas con QuitoMax® en el rendimiento y calidad de plántulas de tomate variedades ESEN y L-43. *Terra Latinoamericana*, 39, 1-6. <https://doi.org/10.28940/terra.v39i0.803>
- Hadwiger, L. A. (2015). Anatomy of a nonhost disease resistance response of pea to *Fusarium solani*: PR gene elicitation via DNase, chitosan and chromatin alterations. *Frontiers in Plant Science*, 6, 373. <http://doi.org/10.3389/fpls.2015.00373>
- Hidangmayum, A., Dwivedi, P., Katiyar, D., & Hemantaranjan, A. (2019). Application of chitosan on plant responses with special reference to abiotic stress. *Physiology and Molecular Biology of Plants*, 25(2), 313-326. <https://doi.org/10.1007/s12298-018-0633-1>
- Jayanudin, J., Lestari, R. S. D., Kustiningsih, I., Irawanto, D., Bahaudin, R., Wardana, R. L. A., ... Luthfi, M. (2021). Preparation of chitosan microspheres as carrier material to controlled release of urea fertilizer. *South African Journal of Chemical Engineering*, 38, 70-77. <https://doi.org/10.1016/j.sajce.2021.08.005>
- Juárez-Rosete, C. R., Aguilar-Castillo, J. A., Aburto-González, C. A., & Alejo-Santiago, G. (2019). Biomass production, nutritional requirement of nitrogen, phosphorus and potassium, and concentration of the nutrient solution in oregano. *Revista Chapingo Serie Horticultura*, 25(1), 17-28. <https://doi.org/10.5154/r.rchsh.2018.02.006>
- López-Tobar, S. F., Álvarez-Sánchez, A. R., Reyes-Pérez, J. J., Vital-López, L., & Yáñez-Cajo, D. J. (2021). Respuesta agronómica y control fitosanitario de plantas de tomate (*Solanum lycopersicum* L), a la aplicación de quitosano. *Revista Científica Agroecosistemas*, 9(3), 6-12.
- Mirbolook, A., Rasouli-Sadaghiani, M., Sepehr, E., Lakzian, A., & Hakimi, M. (2020). Synthesized Zn (II)-amino acid and -Chitosan chelates to increase Zn uptake by bean (*Phaseolus vulgaris*) plants. *Journal of Plant Growth Regulation*, 40(2), 831-847.
- Molina-Zerpa, J. A., Colina-Rincón, M., Rincón, D., & Vargas-Colina, J. A. (2017). Efecto del uso de quitosano en el mejoramiento del cultivo del arroz (*Oryza sativa* L. variedad sd20a). *Revista de Investigación Agraria y Ambiental*, 8(2), 151-165. <https://doi.org/10.22490/21456453.2041>
- Palacio-Márquez, A., Ramírez-Estrada, C. A., Sánchez, E., Ojeda-Barrios, D. L., Chávez-Mendoza, C., Sida-Arreola, J. P., & Preciado-Rangel, P. (2022). Use of biostimulant compounds in agriculture: chitosan as a sustainable option for plant development. *Notulae Scientia Biologicae*, 14(1), 1-19.
- Pichyangkura, R., & Chadchawan, S. (2015). Biostimulant activity of chitosan in horticulture. *Scientia Horticulturae*, 196, 49-65. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2015.09.031>
- Puente-Garza, C. A., Espinosa-Leal, C. A., & García-Lara, S. (2021). Effects of saline elicitors on saponin production in *Agave salmiana* plants grown in vitro. *Plant Physiology and Biochemistry*, 162, 476-482.
- Reyes-Pérez, J. J., Ramos-Remache, R. A., Llerena-Ramos, L. T., Ramírez-Arrebató, M. Á., & Falcón-Rodríguez, A. B. (2021). Potencialidades de oligolacturónidos y quitosacáridos en el enraizamiento de las plantas. *Terra Latinoamericana*, 39, 1-9. <https://doi.org/10.28940/terra.v39i0.846>
- Reyes-Pérez, J. J., Enríquez-Acosta, E. A., Ramírez-Arrebató, M. A., Zúñiga-Valenzuela, E., Lara-Capistrán, L., & Hernández-

-
-
- Montiel, L.G. (2020). Efecto del quitosano sobre variables del crecimiento, rendimiento y contenido nutricional del tomate. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 11(3), 457-465. <https://doi.org/10.29312/remexca.v11i3.2392>
- Salachna, P., & Zawadzińska, A. (2014). Effect of chitosan on plant growth, flowering and corms yield of potted freesia. *Journal of Ecological Engineering*, 15(3), 97-102. <https://doi.org/10.12911/22998993.1110223>
- Salgado-Valle, Y., Henríquez-Díaz, F. M., Ramírez-Arrebató, M. A., Rodríguez-Pedroso, A. T., Ruiz-Sánchez, M., Reyes-Pérez, J. J., & Ruiz-Espinoza, F. H. (2020). Evaluación de Quitomax® en la producción de *Cucumis sativus* L. en cultivo protegido. *Revista de la Facultad de Agronomía (LUZ)*, 37(4), 430-441.
- SAS Institute. (2002). *Statistical Analysis System SAS User's Guide. version 9.0*. Cary, NC, USA: SAS Institute Inc.
- Sokal, R. R., & Rohlf, F. J. (1995). *Biometry: The principles and practice of statistics in biological research*. New York, USA: W.H. Freeman and Company. ISBN: 978-0-7167-8604-4
- Vázquez-Díaz, E., García-Nava, J. R., Peña-Valdivia, C. B., Ramírez-Tobías, H. M., & Morales-Ramos, V. (2011). Tamaño de la semilla, emergencia y desarrollo de la plántula de maguey (*Agave salmiana* Otto ex Salm-Dyck). *Revista Fitotecnia Mexicana*, 34(3), 167- 173.