

Fertilización en la producción de *Agave angustifolia* Haw en vivero de Sola de Vega, Oaxaca

Fertilization in the production of *Agave angustifolia* Haw in the nursery of Sola de Vega, Oaxaca

Lidia Velasco-Velasco^{1*} , Langen Corlay-Chee² , Jesús Alberto Camacho-Montoya³ , Marco Antonio Sánchez-de Jesús⁴ , Salvador Valle-Guadarrama² , Héctor Hugo Fuentes-Franco² 

¹Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias, Campo Experimental Iguala. Km. 2.5 Carretera Iguala-Tuxpan, CP. 40000. Iguala de la Independencia, Guerrero, México.

²Universidad Autónoma Chapingo. Km. 38.5 Carretera México-Texcoco, 56230. Texcoco, Estado de México, México.

³Universidad Tecnológica de la Sierra Sur de Oaxaca. Magnolia S/N, La Soledad, CP. 71400, Villa Sola de Vega, Oaxaca, México.

⁴Posgrado en Edafología, Colegio de Postgraduados. Km. 36.5 Carretera México-Texcoco, CP. 56230, Montecillo, Texcoco, Estado de México.

*Autor de correspondencia: velasco.lidia@inifap.gob.mx

Artículo científico

Recibido: 17 de agosto 2024

Aceptado: 12 de junio 2025

RESUMEN. La producción de mezcal en Villa Sola de Vega es una actividad distintiva para la economía local, lo que ha llevado a un aumento en su elaboración y en la demanda de materia prima. Como respuesta, se han establecido grandes superficies de cultivo, se ha intensificado la producción de plantas en viveros para su trasplante al campo y con ello la búsqueda de estrategias orientadas a reducir el tiempo de producción. Sin embargo, esta producción masiva de plantas está asociada al uso irracional de agroquímicos, lo que provoca un deterioro progresivo de la calidad y fertilidad del suelo. Por ello, el objetivo del presente trabajo fue evaluar la aplicación de guano en el crecimiento de *Agave angustifolia* como alternativa sostenible para la producción de plantas y mejoramiento de la fertilidad del suelo. Se evaluó cuatro tratamientos; testigo, seis kilogramos de guano, fertilización convencional y la combinación, el diseño experimental fue completamente al azar. La evaluación se realizó a los 208 días después del trasplante, se midieron variables de crecimiento, concentración de sólidos solubles totales en savia, colonización micorrízica, bacterias fijadoras de nitrógeno y parámetros relacionados con la fertilidad del suelo. La aplicación de guano mejoró los parámetros de fertilidad del suelo y favoreció el microbioma del suelo, esto se mostró en la planta con mayor altura, diámetro de roseta inferior y biomasa. Se concluye que el guano, un recurso local de bajo valor económico, es una alternativa sostenible para mejorar la fertilidad del suelo y la producción de *Agave angustifolia*.

Palabras clave: Guano, fertirriego, fertilización, microbioma del suelo, rizosfera.

ABSTRACT. Mezcal production in Villa Sola de Vega is a key component of the local economy, which has led to an increase in its production and demand for raw materials. In response, large areas of mezcal cultivation have been established, nursery production for transplanting into the field has intensified, and strategies aimed at reducing production times have been sought. However, this massive production of plants is associated with the irrational use of agrochemicals, which causes a progressive deterioration in soil quality and fertility. Therefore, the objective of this study was to evaluate the application of guano to the growth of *Agave angustifolia* as a sustainable alternative for plant production and soil fertility improvement. Four treatments were evaluated: a control, six kilograms of guano, conventional fertilization, and a combination. The experimental design was completely randomized. The evaluation was conducted 208 days after transplantation, measuring growth variables, total soluble solids concentration in sap, mycorrhizal colonization, nitrogen-fixing bacteria, and parameters related to soil fertility. Guano application improved soil fertility parameters and favored the soil microbiome, as evidenced by the increased plant height, smaller rosette diameter, and biomass. It is concluded that guano, a local resource of low economic value, is a sustainable alternative for improving soil fertility and *Agave angustifolia* production.

Key words: Guano, fertigation, fertilization, soil microbiome, rhizosphere.

Como citar: Velasco-Velasco L, Corlay-Chee L, Camacho-Montoya JA, Sánchez-de-Jesús MA, Valle-Guadarrama S, Fuentes-Franco HH, (2025) Fertilización en la producción de *Agave angustifolia* Haw en vivero de Sola de Vega, Oaxaca. Ecosistemas y Recursos Agropecuarios 12(2): DOI: 10.19136/era.a12n2.4281.

INTRODUCCIÓN

En México, la producción de mezcal se concentra en los estados con denominación de origen, siendo Oaxaca el principal productor con 90.51%, seguido por Puebla (4.94%), Michoacán (1.33%), Durango (1.07%), San Luis Potosí (0.88%), Guerrero (0.68%), Zacatecas (0.30%), Tamaulipas (0.24%) y Guanajuato (0.05%) (COMERCAM 2024).

En Oaxaca, la producción de *Agave* representa una actividad de gran relevancia cultural, social y económica para la obtención de mezcal (Del-Valle *et al.* 2018, García *et al.* 2020, Sánchez *et al.* 2022). Este recurso no solo se considera un producto forestal y agrícola, sino que también se utiliza para elaborar artesanías, productos medicinales y agroalimentarios (Arrazola *et al.* 2020, Sánchez *et al.* 2022). Dado su amplio uso, el cultivo y la producción de *Agave* se realiza en altitudes que varían entre 1 389 hasta los 1 921 msnm (Martínez-Jiménez *et al.* 2019); lo que se ha reflejado en la expansión de su cultivo en laderas, el cambio de uso de suelo, la adopción de nuevas técnicas y tecnologías para mejorar la producción tradicional en viveros y campos (González *et al.* 2023). Las nuevas formas de producción acelerada han provocado el uso excesivo de agroquímicos para aumentar su producción y controlar daños causados por enfermedades y plagas, principalmente el picudo del agave (*Scyphophorus acupunctatus*) conocida como una de las plagas de mayor importancia por las repercusiones en la planta (Recéndiz-De la Mora *et al.* 2024). En tanto que, Palma *et al.* (2016) describen las etapas esenciales para la obtención de destilados en la cadena productiva del agave-mezcal: 1) método de reproducción, 2) producción de hijuelos o plántulas en vivero, 3) producción de agave en campo, 4) producción del destilado, 5) envasado y 6) comercialización. Villa Sola de Vega presenta todas las etapas, lo que ha inducido a la expansión en producción y superficie cultivada debido al aumento en la demanda de piñas como materia prima; esto promovió el aumento de costo por kilo, de \$2.00 hasta \$15.00 (González *et al.* 2023). Sola de Vega tiene la creciente demanda de plantas de *Agave angustifolia* producidas intensivamente en viveros con costos elevados de la materia prima y producción, reflejándose en precios de venta que oscilan desde \$2.00 hasta \$20.00 por planta, aunado a esto, las plantas no presentan uniformidad en altura, tamaño de piña y en su mayoría carecen de sanidad (Del-Valle *et al.* 2018).

La producción de plantas en viveros es una etapa crítica (Arrazola *et al.* 2020), donde se obtienen plantas de calidad, sanas e inocuas, con buen desarrollo radical, tamaño adecuado de roseta y altura apropiada. Estas características físicas les permiten tolerar el trasplante en campo, así como las condiciones edafoclimáticas y la exposición a otros factores bióticos (Crespo *et al.* 2013). Sin embargo, los recientes acontecimientos prolongados de sequía, escasez de lluvias, así como los efectos adversos de la producción extensiva en el suelo para aumentar rendimientos, hacen necesaria la búsqueda de soluciones sostenibles a fin de optimizar el método de fertilización convencional para la obtención de plantas de *Agave angustifolia* de calidad que toleren el trasplante en campo. Por tanto, el objetivo de esta investigación fue evaluar el efecto de aplicación de guano (abono orgánico de la región) en crecimiento de agave en vivero y en la calidad del suelo, como una alternativa para la producción sostenible de planta de *Agave angustifolia*.

MATERIALES Y MÉTODOS

Área de estudio

Este trabajo se realizó en el periodo noviembre 2020 a junio 2023 en un vivero de *A. angustifolia* ubicado en el municipio de Villa Sola de Vega, Oaxaca, México (16° 51' 21" LN, 97° 12' 43" LO y 1 478 msnm) en un vivero de crecimiento de plantas de agave para campo. El suelo fue de tipo luvisol, clima templado subhúmedo con lluvias en verano, con precipitaciones de 900 mm y la temperatura promedio de 26 °C (INEGI 2010).

Instalación y desarrollo del experimento

Se construyeron cuatro camas de crecimiento de 1.5 m de ancho y 22 m de largo, en el que se aplicaron los tratamientos correspondientes en cada uno. El diseño experimental empleado fue completamente al azar, los tratamientos fueron: TEST (0 kg de guano m⁻²), TC (fertilización convencional con dos g L⁻¹ de triple 20-20-20, Mezfer®), G6 (seis kg de guano m⁻²) y TCG6 (fertilización convencional combinada con seis kg de guano m⁻²). Posteriormente se realizó el trasplante de plántulas de *Agave angustifolia* de 35 días de germinación y altura promedio de 10 cm, previamente se desinfectaron las raíces con la solución de cupravit® al 30%. Las plántulas se trasplantaron a 15 cm entre cada planta en un arreglo topológico de tres bolillo. La humedad se mantuvo mediante sistema de riego localizado, el cual se aplicó con intervalo de diez días y con un gasto de 16 L h⁻¹, por este medio se suministró la fertilización convencional a los tratamientos TC y TCG6 en la cama correspondiente.

Evaluación de tratamientos

En la evaluación se seleccionaron aleatoriamente 20 plantas por tratamiento, considerando cada planta como una unidad experimental. Las variables de crecimiento vegetal se evaluaron a los 208 días después del trasplante. La altura de planta se midió verticalmente con un flexómetro a nivel del suelo hasta la punta de la hoja más alta. El diámetro inferior del tallo se midió en dirección norte-sur utilizando un vernier digital, tomando la lectura en la parte media del tallo. El diámetro superior se obtuvo de igual manera en la zona media de la planta, a la altura de la roseta de hojas. El número de hojas desplegadas se contabilizó después de medir las rosetas y posteriormente se separaron del tallo. Las hojas fueron secadas en horno de aire forzado a 70 °C durante 10 días, hasta el registro de peso constante y con ello se calculó el porcentaje de humedad y biomasa seca. La determinación de sólidos solubles totales de savia se realizó con un refractómetro HANNA®, para cada tratamiento se tomaron cuatro plantas, se molieron los tallos en fresco para obtener la savia.

La cuantificación de bacterias fijadoras de nitrógeno y colonización micorrízica se realizó en muestras de rizosfera y raíz de agave. Para ello, se tomaron diez submuestras de suelo por tratamiento, a 10 cm de profundidad en la parte central de cada cama de crecimiento, también se extrajeron 10 plantas de agaves completas.

La cuantificación de bacterias fijadoras de nitrógeno se llevó a cabo en cada tratamiento mediante diluciones seriadas (de 10⁻² a 10⁻⁶), sembradas por triplicado en placas con agar que contenían una fuente combinada de carbono (C), según el método descrito por Rennie *et al.* (1981) y detallado por

Zúñiga (2012). Finalmente, se realizó el conteo de colonias a las 24 horas de la siembra y se calcularon en unidades formadoras de colonias (UFC) por gramo de suelo rizosférico.

El porcentaje de colonización micorrízica se determinó mediante el método de Biermann y Linderman (1981), el cual consistió en aclarado y la tinción de las raíces más finas y delgadas con azul de tripano. Las muestras se montaron en portaobjetos y se observaron al microscopio óptico a 10X; la colonización se calculó a partir de la presencia de al menos una de las estructuras fúngicas características: vesículas, micelio intra-radical o arbuscúlos.

Se realizaron dos evaluaciones de fertilidad física y química del suelo, la primera antes del establecimiento y la segunda después de la evaluación experimental. Para la primera, se tomaron 15 submuestras en todo el lote y se formó una muestra compuesta. En la segunda evaluación, se tomaron 10 submuestras por cada tratamiento y se formó una muestra compuesta para cada uno. En ambos, se extrajeron a 25 cm de profundidad, mediante el método de zigzag, se rotularon y enviaron al laboratorio para su análisis. En el laboratorio se realizó el proceso de análisis con la metodología descrita en la NOM-021-SEMARNAT-2000.

Análisis estadístico

En el análisis de datos se utilizó el software R-Studio, versión 4.2.2. Se realizó la prueba de Shapiro-Wilk para verificar la normalidad de los datos y la prueba de Bartlett para evaluar la homogeneidad de varianzas. Posteriormente, se realizó el ANOVA (Alpha = 0.95) y posteriormente la comparación de medias mediante la prueba de Tukey ($P \leq 0.05$).

RESULTADOS

En las variables de crecimiento evaluadas, se obtuvieron diferencias estadísticas significativas entre tratamientos (Figuras 1 y 2). El mayor número de hojas desplegadas (Figura 1a) se obtuvo con la adición de guano (G6) como fuente de fertilización y el menor con el tratamiento sin fertilización (TEST). Resultados similares se registraron en la altura de las plantas, la mayor altura en el tratamiento G6 respecto al tratamiento testigo (Figura 1b).

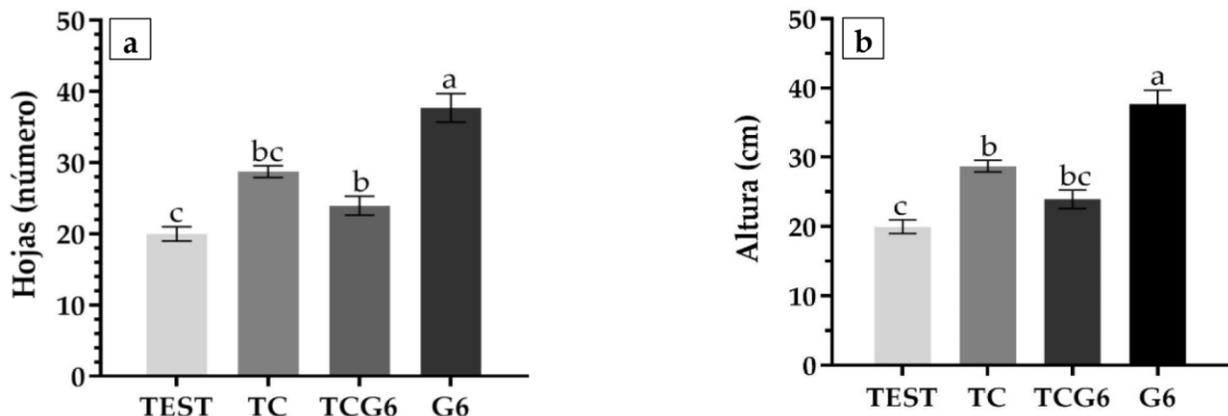


Figura 1. Variables de desarrollo en *Agave angustifolia*. a) Número de hojas desplegadas, b) Altura de la planta. Barras \pm error estándar con letras distintas, indican diferencias estadísticas (Tukey ≤ 0.05).

Se encontraron diferencias estadísticas significativas entre tratamientos para las variables de diámetro superior e inferior de la roseta, destacando el tratamiento G6 en comparación con el tratamiento testigo (Figura 2).

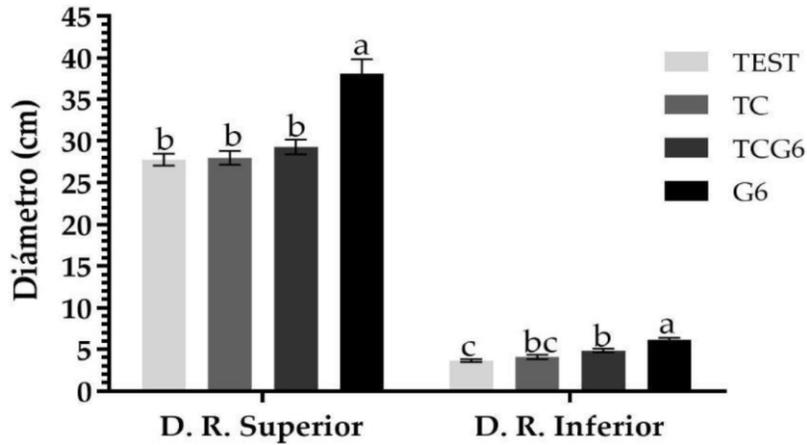


Figura 2. Diámetro de roseta (D.R.), superior e inferior de *Agave angustifolia*. Barras ± error estándar con letras distintas, indican diferencias estadísticas (Tukey ≤ 0.05).

En las variables de biomasa seca y humedad, los tratamientos presentaron diferencias estadísticas significativas (Figura 3); la combinación de guano con fertilizante inorgánico (TCG6) incrementó el porcentaje en peso, mientras que el tratamiento sin fertilización (TEST) registró menor biomasa. Resultados similares se obtuvieron en el contenido de humedad (Figura 3).

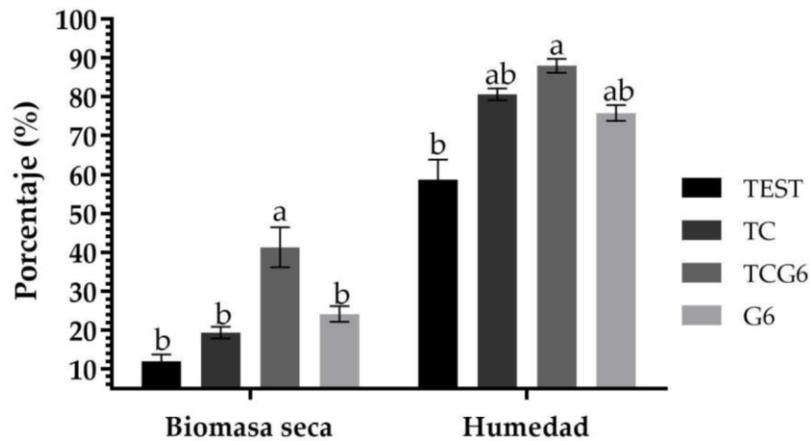


Figura 3. Biomasa seca vegetativa y porcentaje de humedad en parte vegetativa de *Agave angustifolia*. Barras ± error estándar con letras distintas, indican diferencias estadísticas (Tukey ≤ 0.05).

La cantidad de sólidos solubles totales, expresados en grados Brix, se presentó en mayor concentración en el tratamiento TCG6, seguido del tratamiento G6, mientras que el resto de los tratamientos no fueron estadísticamente diferentes (Figura 4).

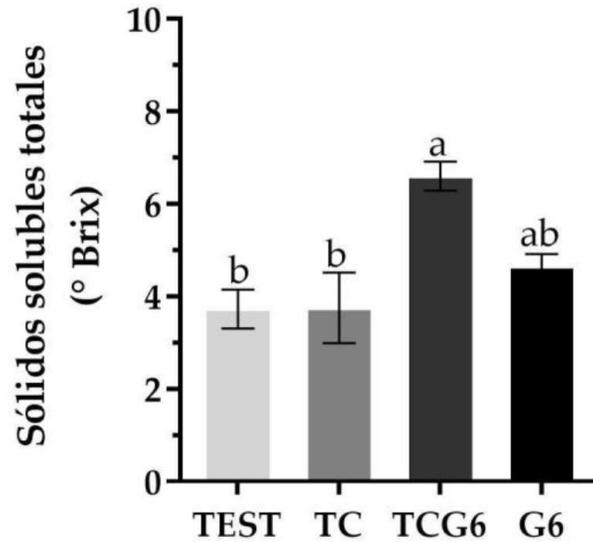


Figura 4. Concentración de sólidos solubles totales de la roseta inferior en *Agave angustifolia*. Barras \pm error estándar con letras distintas, indican diferencias estadísticas (Tukey ≤ 0.05).

En la colonización micorrízica en raíces de agaves se presentaron diferencias estadísticas significativas entre tratamientos (Figura 5a) y los mejores resultados se registraron con el tratamiento TCG6 (fertilizante triple 20-20-20 y guano); mientras que los tratamientos TC, G6 y TEST presentaron colonizaciones menores.

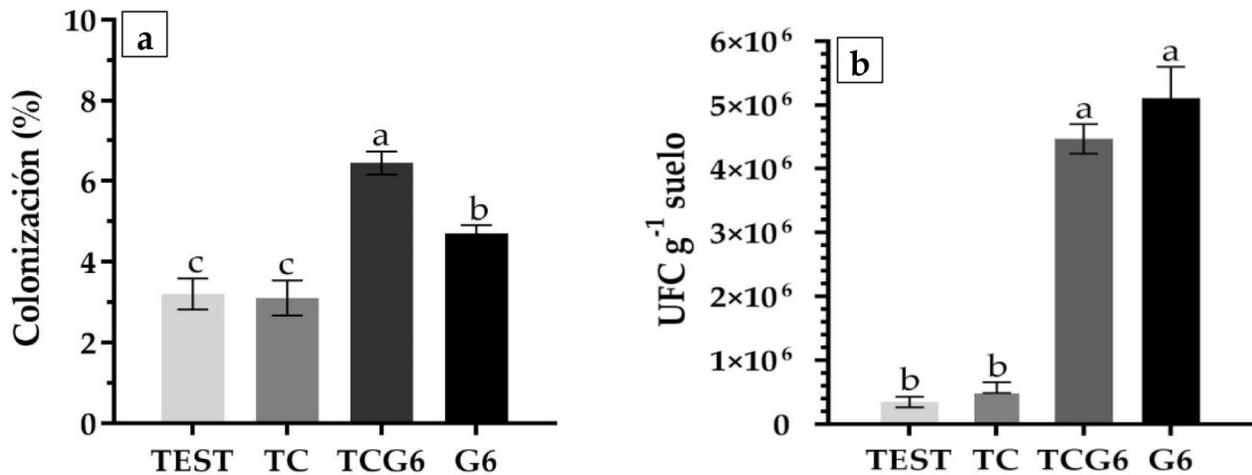


Figura 5. Rizosfera de *Agave angustifolia*. a) Colonización micorrízica en raíces, b) Unidades formadoras de colonias (UFC) con capacidad de fijación biológica de nitrógeno atmosférico. Barras \pm error estándar con letras distintas, indican diferencias estadísticas (Tukey ≤ 0.05).

La adición de guano al suelo incrementó la diversidad microbiana benéfica y la disponibilidad de nutrientes; esto se mostró en el incremento de microorganismos rizosféricos de vida libre con capacidad de fijación de nitrógeno atmosférico de los tratamientos G6 y TCG6, mientras que los

tratamientos sin aplicación de guano presentaron menores valores de unidades formadoras de colonias como se muestra en la Figura 5b.

El análisis físico y químico del suelo mostró que la adición de guano mejoró aspectos importantes del suelo, como la densidad aparente y el porcentaje de materia orgánica, lo que derivó en mayor disponibilidad de nutrimentos en comparación con el tratamiento testigo. En este sentido, el aumento en la cantidad de guano por unidad de superficie elevó los niveles de fertilidad y mejoró la calidad del suelo (Tabla 1).

Tabla 1. Análisis de parámetros físicos y químicos del suelo en los tratamientos evaluados.

Parámetros	Análisis inicial	Análisis Final /Tratamientos			
		TEST	TC	TCG6	G6
Densidad Aparente (g cm ⁻³)	1.41	1.39	1.35	1.31	1.19
Textura	Franco arcillo arenoso	Franco arcillo arenoso	Franco arcillo arenoso	Franco arcillo arenoso	Franco arcillo arenoso
pH	7.81	7.75	7.72	7.80	7.29
Conductividad Eléctrica (dS m ⁻¹)	0.35	0.32	0.29	0.28	0.88
Materia orgánica (%)	1.05	1.12	1.23	3.89	4.73
Nitrógeno inorgánico (mg kg ⁻¹)	12.80	11.50	15.10	9.84	106.92
Fósforo (mg kg ⁻¹)	1.12	1.08	2.38	1.94	17.78
Potasio (mg kg ⁻¹)	149.00	154.00	191.00	146.00	184.00
Calcio (mg kg ⁻¹)	13 827.00	13 471.7	12 568.10	13 860.4	12 770.40
Magnesio (mg kg ⁻¹)	509.00	421.68	348.76	387.96	341.50
Azufre (mg kg ⁻¹)	1.89	2.84	2.10	2.88	6.96

DISCUSIÓN

Las respuestas obtenidas por la aplicación de fertilizante inorgánico y orgánico en las variables de crecimiento presentaron diferencia estadística significativa. Se observó al inicio del trasplante que los magüeyes del tratamiento con seis kg m⁻² de guano mostraron estrés y pérdida de hojas, mientras que, las plantas del tratamiento convencional crecieron de manera continua. La aplicación de guano al suelo incrementó el contenido de materia orgánica, mejoró sus características físicas, la retención de humedad y la disponibilidad de nutrimentos para su absorción por las plantas. Estos efectos se reflejaron en un mayor crecimiento en altura, mayor número de hojas desplegadas y un mayor diámetro de roseta, en comparación con el tratamiento testigo y la fertilización convencional. Esto coincide con otros autores que han documentado la producción de agave en vivero con diversas fuentes nutrimentales y han observado respuestas similares, como Del-Valle *et al.* (2018), quienes obtuvieron incrementos significativos de altura al aplicar abonos orgánicos y solución nutritiva en plantas micropropagadas de *Agave angustifolia*. Mientras que Canales *et al.* (2021) indicaron que la aplicación de abonos orgánicos en plántulas de *Agave cupreata* Trel y Berger en fase de vivero incrementó el crecimiento en altura, número, longitud y ancho de hojas, así como diámetro de roseta.

Los valores mayores de diámetro de roseta inferior se obtuvieron en plantas del tratamiento G6; esta es una variable de importancia al momento del trasplante en campo; se ha observado que mientras mayor diámetro del tallo, la respuesta de adaptación y generación de raíces adventicias es mayor, así como la tolerancia al estrés abiótico. Al respecto, Crespo *et al.* (2013) reportaron que en plántulas de *A. tequilana* Weber con aplicación de composta de gabazo de agave 50% mejoró el diámetro tallo, número de hojas y longitud de hoja en comparación con turba y polvo de coco.

La biomasa seca total de las plantas, así como la concentración de sólidos solubles totales en la piña, se incrementaron con la aplicación combinada de guano y fertilización inorgánica. Se ha reportado que las plantas bajo un manejo agronómico adecuado presentan un crecimiento más eficiente y mayores valores de °Brix (Canales *et al.* 2021, Sánchez-Mendoza *et al.* 2022). En este sentido, Arrazola *et al.* (2020), en un ensayo con plántulas de *A. salmiana* bajo fertirriego con solución Steiner al 25 % mejoró el número de hojas desplegadas, ancho de hoja, biomasa seca total y biomasa seca de raíz; no obstante, el diámetro de la roseta fue superior con la solución Steiner al 100% y ningún tratamiento mostró efecto sobre el contenido de azúcares totales en el tejido foliar. Mientras que Martínez *et al.* (2013) indicaron que la fertilización de plántulas de *A. angustifolia* y *A. potatorum* con 30-20-15 de N-P₂O₅-K₂O mejoró el crecimiento (diámetro de roseta, hojas desplegadas y biomasa seca) de ambas especies. En *A. potatorum* la fertilización con N (47.5 mg kg⁻¹) y P (42.5 mg kg⁻¹) incrementa 77.4% los sólidos solubles totales en tallo, por el contrario, cuando se aplica N (47.5 mg kg⁻¹) y P (0 mg kg⁻¹) el número de hojas desplegadas incrementa de 7.7 a 14.6 hojas, respecto al testigo (Sánchez *et al.* 2022).

La adición de guano al suelo estimuló la presencia de bacterias fijadoras de nitrógeno en la rizosfera. Además, la combinación de guano con fertilizantes inorgánicos promovió una sinergia entre los hongos micorrízicos y su hospedante, favoreciendo su desarrollo y crecimiento a través de una asociación simbiótica. Esta asociación beneficia al hospedero al facilitarle nutrimentos, agua y tolerancia al estrés y a cambio el hospedero le confiere azúcares obtenidos de la fotosíntesis (García *et al.* 2020). Mientras que Bautista y Martínez (2020), mostraron que *Flavobacterium* sp. incrementa 164.8% la producción de biomasa seca total y *Paenibacillus amylolyticus* aumenta tres veces más la biomasa seca del tallo con respecto al control y presentan efectos positivos en diámetro de roseta, altura y área foliar. Por otro lado, el uso de consorcio micorrízico nativo (*Acaulospora denticulata*, *Acaulospora scrobiculata*, *Acaulospora spinosa*, *Claroideoglossum etunicatum*, *Diversispora aurantia* y *Glomus deserticola*) en bulbillos florales de *A. tequilana* Weber obtuvo 30.7% de colonización y la producción de biomasa fresca aumentó 60.8% (Quiñones *et al.* 2023).

Respecto a la calidad y fertilidad del suelo, el guano mejora la calidad física del suelo como la porosidad, consistencia, e incluso su interacción con los organismos del suelo y con ello el desarrollo de las plantas (Valladares *et al.* 2020); el guano tiene un alto contenido de fósforo, potasio, nitrógeno y hierro, y su liberación lenta o gradual de nutrimentos proporciona una mayor disponibilidad y acceso nutricional para el agave (Pinochet *et al.* 2017), por tanto, garantiza un abastecimiento constante y eficiente para la planta y promueve un equilibrio del microbioma rizosférico.

CONCLUSIONES

La aplicación de abono orgánico al suelo incrementa el contenido de materia orgánica, fomenta la diversidad biológica en la rizosfera, mejora la retención de humedad, las propiedades físicas y químicas del suelo y con ello la disponibilidad de nutrientes. En *Agave angustifolia*, este tipo de fertilización favorece el crecimiento y el aumento de tamaño de piña. Por ende, el guano es una alternativa sostenible de fertilización para la producción de plantas de agave en vivero.

AGRADECIMIENTOS

Al Departamento de Suelos de la Universidad Autónoma Chapingo por las facilidades para el uso de sus laboratorios.

CONFLICTO DE INTERÉS

Los autores declaran que no tienen conflicto de interés.

LITERATURA CITADA

- Arrazola CL, García NJR, Robledo PA, Ybarra MMC, Muratalla LA (2020) Sustratos y dosis de fertirrigación en la acumulación de azúcares totales y el crecimiento de *Agave salmiana* (Asparagaceae). *Polibotánica* 50: 109-118. <https://doi.org/10.18387/polibotanica.50.8>
- Bautista CA, Martínez GV (2020) Promoción del crecimiento de *Agave potatorum* Zucc. por bacterias fijadoras de nitrógeno de vida libre. *Terra Latinoamericana* 38(3): 555-567. <https://doi.org/10.28940/terra.v38i3.647>
- Biermann B, Linderman RG (1981) Quantifying vesicular-arbuscular mycorrhizae: a proposed method towards standardization. *New phytologist* 87(1): 63-67. <https://doi.org/10.1111/j.1469-8137.1981.tb01690.x>
- Canales SE, Paredes CJM, Solís M, Rubén SV (2021) Crecimiento del agave mezcalero (*Agave cupreata* Trel y Berger) por la adición de abonos orgánicos. *Foro de estudios sobre guerrero* 8(1): 673-678.
- COMERCAM (2024) Informe estadístico 2024. El Consejo Mexicano Regulador de la Calidad del Mezcal, A.C. https://comercam-dom.org.mx/wp-content/uploads/2024/04/PUBLICO_INFORME_2024.pdf. Fecha de consulta: 11 de agosto de 2024.
- Crespo GMR, González EDR, Rodríguez MR, Rendón SLA, del Real LJI, Torres MJP (2013) Evaluación de la composta de bagazo de agave como componente de sustratos para producir plántulas de agave azul tequilero. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas* 4(8): 1161-1173.
- Del-Valle JRE, Rodríguez OG, Luna JR, Ramírez AJP, Vásquez LV (2018) Crecimiento y condición nutricional de plantas micropropagadas de *Agave angustifolia* abonadas y fertirrigadas en vivero. *Revista Mexicana de Agroecosistemas* 5(2): 106-115.
- García MLI, Sánchez MS, Bautista CA (2020) Combinación de hongos micorrízicos y fertilización fosforada en el crecimiento de dos agaves silvestres. *Terra Latinoamericana* 38(4): 771-780. <https://doi.org/10.28940/terra.v38i4.702>

- González VSE, Tapia GLA, Martínez GGA, Toledo LA (2023). Resiliencia agrícola en los pequeños Productores de agave en Oaxaca. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas* 14(2): 197-209. <https://doi.org/10.29312/remexca.v14i2.3055>
- INEGI (2010) Compendio de información geográfica municipal 2010 Villa Sola de Vega Oaxaca. México. Instituto Nacional de Estadística y Geografía. https://www.inegi.org.mx/contenidos/app/mexicocifras/datos_geograficos/20/20277.pdf. Fecha de consulta 11 de agosto de 2024.
- Martínez RS, Trinidad SA, Bautista SG, Pedro SEC (2013) Crecimiento de plántulas de dos especies de mezcal en función del tipo de suelo y nivel de fertilización. *Revista Fitotecnia Mexicana* 36(4): 387-393.
- Martínez-Jiménez R, Ruiz-Vega J, Caballero-Caballero M, Silva-Rivera M, Montes-Bernabé J (2019) Agaves silvestres y cultivados empleados en la elaboración de mezcal en Sola de Vega, Oaxaca, México. *Tropical and Subtropical Agroecosystems* 22(2): 477-485. <http://dx.doi.org/10.56369/tsaes.2750>
- Palma CF, Pérez P, Meza V (2016) Diagnóstico de la cadena de valor mezcal en las regiones de Oaxaca. <https://www.oaxaca.gob.mx/coplade/wp-content/uploads/sites/29/2017/04/Perfiles/AnexosPerfiles/6.%20CV%20MEZCAL.pdf>. Fecha de consulta 11 de agosto de 2024.
- Pinochet D, Cárdenas C, Carrasco J (2017) ¿Cambia la mineralización del nitrógeno desde abonos orgánicos compost, bokashi y biol provenientes del mismo guano de gallina?. *Agro Sur* 45(2): 47-56. <https://doi.org/10.4206/agrosur.2017.v45n2-05>
- Quiñones AEE, Montoya MAC, Rincón EG, López PL (2023) Inoculación de bulbilos de *Agave tequilana* con hongos micorrízicos arbusculares: efecto en el crecimiento y biocontrol contra *Fusarium oxysporum*. *Ciencia y Tecnología Agropecuaria* 24(1): e3043. https://doi.org/10.21930/rcta.vol24_num1_art:3043
- Recéndiz-De la Mora MB, Niño-Maldonado S, Gómez-Moreno VC, Reyes-Muñoz JL, Venegas-Solís EY, Valenzuela-Ceballos S, Sánchez-Galván H, Cano LA (2024) Situación actual de *Scyphophorus acupunctatus* Gyllenhal (Coleoptera: Curculionidae) en México. *Folia Entomológica Mexicana* 10: 1-17. <https://doi.org/10.53749/fem.2024.10.05>
- Rennie RJ (1981) A single medium for the isolation of acetylene-reducing (Dinitrogen-fixing) bacteria from soils. *Canadian Journal Microbiology* 27: 8-14.
- Sánchez MS, Bautista AG, Bautista CA (2022) Inorganic fertilization improves *Agave potatorum* Zucc growth and nutrition. *International journal of agriculture and natural resources* 49(3): 147-156. <https://dx.doi.org/10.7764/ijanr.v49i3.2338>
- SEMARNAT (2000) Norma Oficial Mexicana (NOM) que establece las especificaciones de fertilidad, salinidad y clasificación de suelos, estudio, muestreo y análisis. *Diario Oficial de la Federación* 31 de diciembre de 2002. <http://www.ordenjuridico.gob.mx/Documentos/Federal/wo69255.pdf>. Fecha de consulta: 11 de agosto 2024.
- Valladares JD, Zárate AR, Cruz RC, Gaspar GA, Mendoza CC (2020) La aplicación combinada de abonos orgánicos mejora las propiedades físicas del suelo asociado al cultivo de quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.). *Scientia Agropecuaria* 11(3): 401-408.
- Zúñiga D (2012) Manual de Microbiología Agrícola: *Rhizobium*, PGPRs, indicadores de fertilidad e inocuidad. Ed. Olaya M. Universidad Nacional Agraria La Molina. Lima-Perú. 112p.