

Alternativas para Producción de *Agave durangensis* Gentry en Vivero en Sustratos no Convencionales

Alternatives for Production of *Agave durangensis* Gentry in Nursery in Non-Conventional Substrates

Silvia Salcido-Ruiz¹, José Ángel Prieto-Ruiz^{1†}, Rosa Elvira Madrid-Aispuro²,
José Ángel Sigala-Rodríguez³, Enrique Santana-Aispuro¹ y Arnulfo Aldrete¹

¹ Facultad de Ciencias Forestales y Ambientales. Av. Río Papaloapan y Blvd. Durango s/n. Col. Valle del Sur. 34120 Durango, Durango, México; (S.S.R.), (J.A.P.R.), (E.S.A.).

[†] Autor para correspondencia: jprieto@ujed.mx

² Colegio de Postgraduados, Campus Montecillo. Carretera México-Texcoco km 36.5, Montecillo, 56264 Texcoco, Estado de México, México; (R.E.M.A.), (A.A.).

³ Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias, Centro de Investigación Norte-Centro, Campo Experimental Valle del Guadiana. Carretera Durango-El Mezquital km 4.5. 34170 Durango, Durango, México; (J.A.S.R.).

RESUMEN

Dentro del proceso productivo de planta en vivero, algunos sustratos convencionales presentan limitaciones importantes como su disponibilidad, alto costo y el impacto ambiental derivado de su extracción. Por ello, encontrar sustratos alternativos puede ampliar las posibilidades de producción, aprovechando insumos locales con menor impacto ecológico. Se evaluó el efecto de cuatro sustratos sobre la germinación y desarrollo de planta de *Agave durangensis* Gentry en vivero. El ensayo consistió en seis tratamientos a partir de la integración de mezclas con bagazo de agave compostado, olate triturado, aserrín fresco de pino y tierra de enlame, en diferentes proporciones, así como un tratamiento testigo con la mezcla convencional de turba, vermiculita y perlita. Se determinó porcentaje de emergencia y germinación acumulada y, a diez meses de la siembra, se evaluó altura de la planta y largo del cepellón, largo de raíz, diámetro de roseta, diámetro de tallo y de cuello de raíz, biomasa seca aérea y radical y número de hojas expandidas. Los resultados mostraron un porcentaje de emergencia mayor al 80% en la mayoría de los tratamientos y la germinación acumulada máxima se alcanzó a los 42 días. Se encontró un efecto significativo del tipo de sustrato en la germinación acumulada final ($p < 0.001$); sin embargo, las diferencias sólo existieron entre el sustrato compuesto por bagazo de agave compostado, aserrín fresco de pino y tierra de enlame (S5-BAE), que mostró la menor germinación (51.7%), con respecto al resto de tratamientos, que alcanzaron valores entre 80 y 92.5%. La mezcla de bagazo de agave compostado, aserrín fresco de pino y tierra de enlame (1:1:1), favoreció más el desarrollo morfológico del agave, comparado con el sustrato convencional. Se concluye que sustratos no convencionales permiten el desarrollo adecuado de planta de calidad de *Agave durangensis* Gentry en etapa de vivero, por lo que representan una alternativa viable para su uso tanto en contenedor como en sistema tradicional de bolsa.



Cita recomendada:

Salcido-Ruiz, S., Prieto-Ruiz, J. A., Madrid-Aispuro, R.E., Sigala-Rodríguez, J. A., Santana-Aispuro, E., & Aldrete, A. (2026). Alternativas para Producción de *Agave durangensis* Gentry en Vivero en Sustratos no Convencionales. *Terra Latinoamericana*, 44, 1-15. e2347. <https://doi.org/10.28940/terralatinoamericana.v44i.2347>

Recibido: 2 de julio de 2025.

Aceptado: 13 de octubre de 2025.

Artículo. Volumen 44.

Enero de 2026.

Editor de Sección:

Dr. Luis Alfredo Rodríguez Laramendi

Editor Técnico:

Dr. Fernando López Valdez



Copyright: © 2026 by the authors.

Submitted for possible open access publication under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY NC ND) License (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>).

Palabras clave: aserrín fresco de pino, germinación, morfología, olate de maíz, residuos agroindustriales compostados.

SUMMARY

Within the nursery production process, some conventional substrates present significant limitations, such as limited availability, high cost, and the environmental impact resulting from their extraction. Therefore, identifying alternative substrates can expand production possibilities by taking advantage of local inputs with lower ecological impact. The effect of four substrates on the germination and development

of *Agave durangensis* Gentry plants under nursery conditions was evaluated. The trial consisted of six treatments based on mixtures of composted agave bagasse, crushed corncob, fresh pine sawdust, and enlame soil in different proportions, as well as a control treatment with a conventional mixture of peat, vermiculite, and perlite. The percentage of emergence and cumulative germination were determined, and ten months after planting, plant height, root ball length, root length, rosette diameter, stem diameter and root collar diameter, dry aboveground and root biomass, and the number of expanded leaves were evaluated. The results showed an emergence rate greater than 80% in most treatments, and maximum cumulative germination was reached at 42 days. A significant effect of substrate type on final cumulative germination was observed ($p < 0.001$); however, differences were only detected for the substrate composed of composted agave bagasse, fresh pine sawdust, and enlame soil (S5-BAE), which showed the lowest germination (51.7%) compared with the other treatments, which reached values between 80 and 92.5%. The mixture of composted agave bagasse, fresh pine sawdust, and enlame soil (1:1:1) favored the morphological development of agave plants compared with the conventional substrate. It is concluded that non-conventional substrates allow adequate development of high-quality *Agave durangensis* Gentry plants at the nursery stage; therefore, they represent a viable alternative for use in both container and traditional bag production systems.

Index words: *fresh pine sawdust, germination, morphology, maize cob, composted agroindustrial residues.*

INTRODUCCIÓN

Hasta hace seis años, a nivel nacional la producción de planta en vivero con fines de reforestación se hacía en 154 viveros forestales (CONAFOR, 2021) y para el año 2023 creció a 115 (CONAFOR, 2023). No obstante, en 2019 inició el programa federal 'Sembrando Vida' y, con éste, surgió la creación de viveros comunitarios, como mecanismo local para generar gobernanza en el ámbito ambiental e impactar en el aspecto socioeconómico. El Consejo Nacional de Evaluación de la Política de Desarrollo Social (CONEVAL) reportó que para el año 2021 se habían establecido alrededor de 14 500 viveros comunitarios, donde se producía planta de diversas especies, incluyendo agave como especie agroindustrial (CONEVAL, 2022). En este tipo de viveros, el sistema de producción prevaleciente es el tradicional, caracterizado por el uso de bolsa de polietileno negro como envase, con dimensiones de 1 a 2 L y el empleo de tierra o ensolve de río como sustrato (SE, 2016). Si bien, el uso de tierra o algún otro material parecido le da autonomía al sistema de producción; también debe considerarse que un material por sí solo difícilmente integra las características físicas y químicas necesarias para que la planta logre su óptimo desarrollo, por lo que se recomienda la combinación de dos o más materiales (Acosta-Durán, Gallardo, Normann-Kämpf y Carvallo, 2008).

La norma mexicana para la certificación de la operación de viveros forestales (NMX-AA-170-SCFI-2016), contempla el uso de seis modelos de mezclas de sustratos con turba, perlita, vermiculita, corteza de pino y aserrín, para la producción de planta en contenedores (SE, 2016). Por el contrario, para el sistema tradicional, la norma menciona 11 mezclas compuestas principalmente por tierra, gravilla, corteza, aserrín y, en algunos casos, se considera la composta como material único. La mezcla de turba, perlita y vermiculita es un sustrato convencional, que posee algunas características idóneas para el crecimiento de las plantas; sin embargo, algunas de sus limitantes trascienden, como la disponibilidad limitada en algunas regiones, costos elevados y el impacto ambiental relacionado a su extracción y manufactura (González-Orozco *et al.*, 2018; Salinas-Sanhueza, Gaudig, Krebs, Moya y Silva, 2024). Por lo tanto, contemplar sustratos no convencionales, como alternativas de producción, puede brindar un panorama más amplio, considerando insumos locales que pueden ser incorporados al sistema productivo de planta, tanto en viveros forestales tecnificados como en los viveros comunitarios.

El estado de Durango se sitúa en el cuarto lugar a nivel nacional en la producción de mezcal, lo que remarca la importancia económica que representa el aprovechamiento del maguey (COMERCAM, 2024); sin embargo, las plantaciones comerciales para obtener materia prima apenas se están impulsando, por lo que a la fecha existe una presión alta sobre las poblaciones silvestres de las especies de agave, entre las que se encuentra *Agave durangensis* Gentry (Vazquez-Elorza *et al.*, 2019). Para contribuir a la sustentabilidad del aprovechamiento de dicha especie, es importante impulsar la producción de planta de calidad en vivero, como fuente principal para el establecimiento de plantaciones (García-Rodríguez, Sarmiento, Sigala y Monárrez, 2023).

En lo que a sustratos alternativos se refiere, existen diversos residuos derivados de procesos agroindustriales que pueden ser incorporados a las mezclas de sustratos, ya sea en sustitución o como complemento de los componentes convencionales. Por ejemplo, del proceso para obtener mezcal se generan cantidades importantes de bagazo como residuo sólido que, en muchos casos, no se usa y queda abandonado como desperdicio. Se estima que del 42 a 49% de la piña del agave se transforma en bagazo (Flores-Ríos, Celerino y Castañeda, 2020), por lo que pudiera ser una fuente importante y sostenible de material para formular sustratos para producir planta. Este uso alternativo del bagazo de agave se ha probado en estudios previos en la producción de agave azul (Crespo-González *et al.*, 2013), así como para el cultivo de hongos comestibles (Chairez-Aquino, Enríquez-del-Valle, Ruíz, Campos y Martínez, 2015), con resultados favorables. Otro recurso disponible es el olate de maíz que, tan sólo en Durango, se estima que se generan cantidades superiores a las 51 000 toneladas de maíz al año, considerando que por cada tonelada resultan aproximadamente 170 kg de olate (Rodríguez-Martínez, Lucas, Nogez y Sánchez 2016). Aunque su uso principal es como forraje para el ganado, también se ha considerado como un sustrato alternativo en el cultivo de hongos comestibles (Roblero-Mejía, Aguilar y Sánchez, 2021; Morales-Campos *et al.*, 2024).

El aserrín de pino es un residuo de la industria forestal que aún no ha tenido un gran impacto como sustrato alternativo, esto derivado del escaso conocimiento de experiencias de uso (Aguilera-Rodríguez, Aldrete, Sánchez y Prieto, 2023). En Durango, al ser uno de los Estados con mayor producción forestal y considerando que la industria del aserrío genera el 40% de este tipo de residuos (CONAFOR, 2023; Fregoso-Madueño *et al.*, 2017), su uso es latente y tiene potencial alto para mermar la problemática existente en cuanto a su disposición final. Por otra parte, la tierra de enlace es un recurso natural de origen mineral, que se obtiene de depósitos de corrientes fluviales (Monsalve-Camacho, Henao y Gutiérrez, 2021); se ha utilizado como sustrato en sistemas de doble trasplante de especies forestales (Bernaola-Paucar *et al.*, 2016) y hortalizas (Salas-Pérez *et al.*, 2016).

Las investigaciones científicas recientes relacionadas con *Agave durangensis* Gentry son escasas y se han centrado en cuestiones taxonómicas (Torres-Morán, Hormaza y Larranaga, 2024), de condiciones de sitio (Loera-Gallegos *et al.*, 2018), del proceso de industrialización del mezcal (Martínez-Estrada *et al.*, 2024), de riqueza de especies asociadas (González-Castillo, Quintos y Castaño, 2011) y de producción de planta (Rosales-Serna *et al.*, 2022). Sin embargo, no existe reporte del uso de sustratos no convencionales en la producción de esta especie en contenedores, por lo que el objetivo del presente estudio se centró en evaluar el efecto del uso de bagazo de agave compostado, olate de maíz triturado, aserrín fresco de pino y tierra de enlace como sustratos alternativos sobre la germinación y desarrollo de planta de *Agave durangensis* Gentry en vivero.

MATERIALES Y MÉTODOS

El ensayo experimental tuvo lugar en el vivero de la Facultad de Ciencias Forestales y Ambientales de la Universidad Juárez del Estado de Durango, ubicado en las coordenadas geográficas 24° 00' 47.88" N, 104° 41' 02.54" O, a una altitud de 1900 m, con perímetro de 330 m y área total de 6012 m². Tiene una capacidad de producción de 750 000 plantas de pino, principalmente.

Insumos para la Producción de Planta

La semilla fue colectada en un predio natural donde la vegetación está compuesta por *Agave durangensis* Gentry, *Dasyliorion* sp. y *Neltuma laevigata* Humb. et Bonpl. ex Willd, ubicado en el municipio de Nombre de Dios, Durango, México, en las coordenadas 23° 58' 06" N y 104° 19' 30" O, a 2108 m de altitud y se mantuvo en refrigeración a 4 °C por cinco meses hasta su uso. Un día antes de la siembra, las semillas se pusieron en remojo en agua a temperatura ambiente por 24 h, el agua se cambió cada 8 h para evitar la eutrofificación. Después se retiraron las semillas del agua, al estar semisecas se impregnaron con fungicida Promyl® y se pusieron a secar. La siembra se realizó el 27 de noviembre de 2023, en cada mezcla de sustrato se agregó 6 g L⁻¹ de fertilizante de liberación controlada Multicote® (12N-25P-12K), con período de liberación de ocho meses. Los envases utilizados fueron charolas de 59 cm de largo y 36 cm de ancho, de color negro, tipo bloque de polietileno rígido, de 60 cavidades (10 × 6), 13 cm de alto, con guías internas y volumen de 200 mL por cavidad.

Tratamientos Evaluados

Se evaluaron seis tratamientos considerando cinco mezclas con sustratos no convencionales: bagazo de agave compostado, oloote triturado, aserrín fresco de pino y tierra de enlace, en diferentes proporciones. Asimismo, se incluyó un tratamiento testigo con una mezcla base conformada por turba, vermiculita y perlita, como componente convencional (Cuadro 1). Por tratamiento se tuvieron cuatro repeticiones de 30 plantas cada una, en total 720 plantas conformaron el ensayo. Los tratamientos se distribuyeron en un diseño de bloques completos al azar. El bagazo de agave compostado utilizado presentó una relación C/N de 23.7, pH de 8.2 y conductividad eléctrica de 2.5 dS m⁻¹; respecto al aserrín fresco de pino se obtuvo de los residuos de la madera de pino al momento de su aserrío y se utilizó directamente sin proceso alguno.

Condiciones de Producción

Atendiendo a la etapa de desarrollo de la planta, el experimento estuvo en tres condiciones: invernadero, malla sombra e intemperie. Durante la etapa de establecimiento (27 de noviembre de 2023 a 26 de marzo de 2024), la planta creció en un invernadero con temperatura promedio de 15 °C, máxima de 37.7 °C y mínima de -1.6 °C; la humedad relativa promedio fue 44%. La etapa de desarrollo comprendió del 27 de marzo al 26 de julio, el ensayo se trasladó a un área de malla sombra al 50%, con temperatura promedio de 24.3 °C, máxima de 43.5 °C y mínima de 3 °C, con humedad relativa de 37%; por último, para el preacondicionamiento la planta creció del 27 de julio al 26 de septiembre en condiciones de intemperie, con temperatura promedio de 23.9 °C, máxima de 46.1 °C y mínima de 9.9 °C; la humedad relativa promedio fue 58% (Figura 1). La evaluación final se realizó 10 meses después de la siembra.

Análisis Físico y Químico de las Mezclas

Para la porosidad total, de aireación y capacidad de retención de humedad de cada mezcla, se utilizó la metodología descrita en la norma mexicana NMX-AA-170-SCFI-2016 para la certificación de la operación de viveros forestales (SE, 2016), cada prueba se repitió cuatro veces. La distribución del tamaño de las partículas se obtuvo con el uso de tamices de 0.5 y 0.3 mm, a 1 L de mezcla se cernió en los dos tamices y se obtuvo la proporción de sustrato ≥ 5 mm, la proporción que estuvo dentro del rango < 5 mm y > 3 mm, y la proporción ≤ 3 mm, con los resultados se obtuvieron los porcentajes correspondientes de la granulometría, este procedimiento se repitió cuatro veces.

El análisis químico se realizó en el Laboratorio de Análisis de Suelos y Nutrición de la empresa Fertilab. La conductividad eléctrica y el pH se determinaron mediante la técnica de potenciometría; el nitrógeno total, por combustión tipo Dumas; los carbonatos, bicarbonatos y cloruros, por volumetría; los nitratos, mediante la técnica de nitración por UV-visible; los fosfatos, por espectroscopía UV-visible; los sulfatos, por turbidimetría UV-visible; y el calcio, magnesio, sodio, potasio, hierro, manganeso, cobre y boro, mediante espectroscopía de emisión óptica con plasma acoplado inductivamente (ICP-OES) (Cuadro 2).

Cuadro 1. Mezclas de sustratos no convencionales evaluadas en producción de *Agave durangensis* en vivero.
Table 1. Non-conventional substrate mixtures evaluated in *Agave durangensis* nursery production.

Tratamiento	Descripción de la mezcla
S1-TVP	Turba, vermiculita y perlita (2:1:1) - Tratamiento testigo
S2-BOA	Bagazo de agave compostado, oloote triturado y aserrín fresco de pino (2:1:1)
S3-BOAE	Bagazo de agave compostado, oloote triturado, aserrín fresco de pino y tierra de enlace (1:1:1:1)
S4-BOE	Bagazo de agave compostado, oloote triturado y tierra de enlace (1:1:1)
S5-BAE	Bagazo de agave compostado, aserrín fresco de pino y tierra de enlace (1:1:1)
S6-OAE	Oloote triturado, aserrín fresco de pino y tierra de enlace (1:1:1)

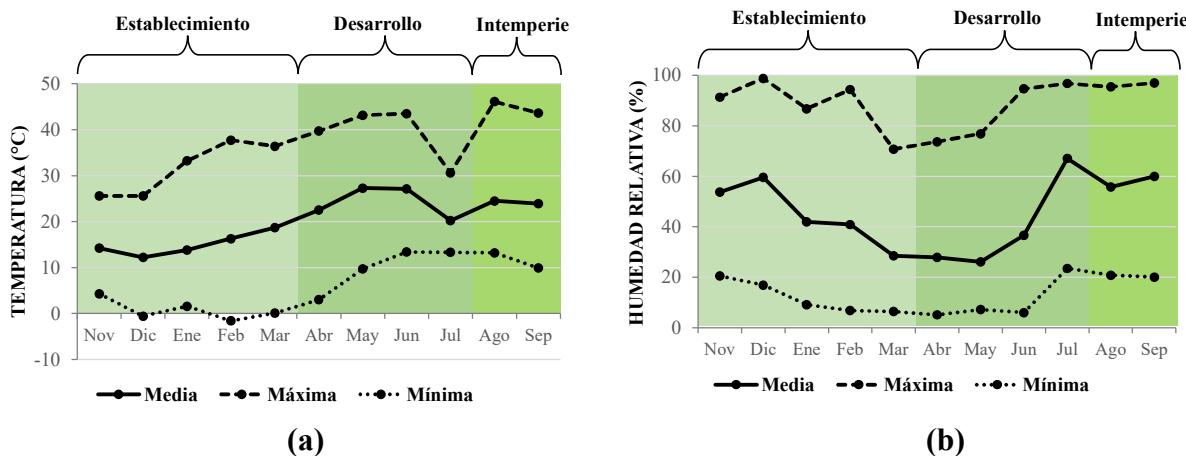


Figura 1. Condiciones ambientales registradas durante el experimento en el vivero forestal de la Facultad de Ciencias Forestales y Ambientales de la UJED. (a) Temperatura promedio mensual con límite máximo y mínimo; (b) Humedad relativa promedio mensual con límite máximo y mínimo.

Figure 1. Environmental conditions recorded during the experiment in the forest nursery of the Faculty of Forestry and Environmental Sciences of the UJED. (a) Average monthly temperature with maximum and minimum limits; (b) Average monthly relative humidity with maximum and minimum limits.

VARIABLES DE RESPUESTA EVALUADAS

Después de la siembra se monitoreó la germinación cada tercer día a partir de la emergencia de la primera semilla, estos conteos consecutivos se hicieron hasta que ya no hubo registro de emergencia. Se consideró semilla germinada cuando se identificó la presencia del hipocótilo sobre el sustrato (Figura 2). Se estimó el porcentaje de emergencia con la proporción del número de semillas emergidas en relación con la cantidad de semillas sembradas; y la germinación acumulada (PG) con la siguiente ecuación:

$$PG = \left(\frac{\text{semillas germinadas}}{\text{total de semillas}} \right) * 100 \quad (1)$$

A diez meses de la siembra se realizó la evaluación final, para lo cual de cada charola se extrajeron nueve plantas de la parte central de cada repetición (36 plantas por tratamiento). Se midió altura del cepellón (cm) y después se procedió a retirar el sustrato con agua corriente, enseguida se midieron las variables de altura de la planta (cm), largo de raíz (cm) y diámetro de roseta (cm), utilizando una regla graduada (Pilot); diámetro de tallo (mm) y diámetro a la base o de cuello de raíz (mm), con un vernier digital (Truper, CALDI-6MP); biomasa seca aérea (g) y biomasa seca radical (g), y número de hojas expandidas. Para estimar biomasa seca, cada planta fue seccionada de manera transversal para separar la parte radical y aérea, para facilitar la deshidratación la parte aérea fue dividida y las hojas rayadas, se colocaron en bolsas de papel estraza y se introdujeron en una estufa de secado (ECOSHEL, 9052) a 70 °C hasta que las plantas alcanzaron peso constante. Con los datos recabados se hicieron análisis de varianza y donde hubo significancia se realizaron pruebas de medias de Tukey ($p \leq 0.05$), previamente se comprobaron los supuestos de normalidad y la homogeneidad de varianzas mediante la prueba Shapiro-Wilk y Levene; se utilizó el paquete estadístico SAS versión 9.2 (SAS Institute, 2009).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Emergencia

La germinación inició 14 días después de la siembra y la germinación acumulada máxima se alcanzó a los 42 días; se encontró un efecto significativo del tipo de sustrato en la germinación acumulada final ($p < 0.001$); sin embargo, las diferencias sólo existieron entre el sustrato compuesto por bagazo de agave compostado, aserrín fresco de pino y tierra de enlame (S5-BAE), que mostró la menor germinación (51.7%), con respecto al resto de tratamientos, donde el S1-TVP alcanzó 83.3%, el S2-BOA registró 92.5%, S3-BOAE obtuvo 89.2%, mientras que el S4-BOE y S6-OAE alcanzaron valores de 80 y 80.8%, respectivamente (Figura 3).

Cuadro 2. Propiedades físicas y químicas de las mezclas de sustratos no convencionales evaluados en la producción de *Agave durangensis* en contenedor.**Table 2. Physical and chemical properties of non-conventional substrate mixtures evaluated in the production of *Agave durangensis* in containers.**

Parámetros	S1-TVP	S2-BOA	S3-BOAE	S4-BOE	S5-BAE	S6-OAE
Físicos						
Porosidad total (%)	60	61	52	50	48	49
Porosidad de aireación (%)	30	44	32	28	30	30
Capacidad de retención agua (%)	30	17	20	22	18	19
Granulometría $\geq 5\text{mm}$ (%)	9	33	26	24	6	32
Granulometría $> 3 \text{ y } < 5\text{mm}$ (%)	18	18	17	22	14	21
Granulometría $\leq 3\text{mm}$ (%)	73	49	57	54	80	47
Químicos						
CE (ds m^{-1})	2.3	2.5	2.9	2.9	3.4	1.8
pH	5.4	7.5	7.7	7.6	7.4	6.8
C/N	24.3	39.7	117	126	86.9	193
Nitrógeno total (%)	0.91	1.32	0.21	0.22	0.18	0.13
Carbonatos (mg L^{-1})	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
Bicarbonatos (mg L^{-1})	95.8	744.4	927.5	1049.5	299	371
Cloro (mg L^{-1})	75.2	300	368.8	450.3	89	215.9
Nitratos (mg L^{-1})	86.7	9.2	12	9.1	362.6	8.4
Fosfatos (mg L^{-1})	390.3	99.4	62.3	13.9	23.5	124.2
Sulfatos (mg L^{-1})	65.3	38.8	44.1	43.6	39.4	27.7
Calcio (mg L^{-1})	31.9	75.6	150.9	168.7	350.7	84.4
Magnesio (mg L^{-1})	18.6	20.7	38.8	36.1	65.9	19.2
Sodio (mg L^{-1})	10.1	63	77.3	72	91.7	33.1
Potasio (mg L^{-1})	656.9	578.7	508.3	469.2	394.9	418.4
Hierro (mg L^{-1})	0.4	0.4	11.5	3.9	0.9	1.2
Manganeseo (mg L^{-1})	0.2	0.2	2	2	0.2	1.9
Cobre (mg L^{-1})	0.02	0.21	0.13	0.07	0.01	0.06
Boro (mg L^{-1})	0.15	0.26	0.27	0.2	0.21	0.17

Orea-Lara, Cifuentes, Gómez y Hernández (2006), evaluaron la germinación de *Agave durangensis*, reportaron que la temperatura ideal de germinación debe ser entre 20 y 25 °C, donde a los 26 días alcanzaron porcentajes de 94 al 96% en cámara de germinación. En este caso, en condiciones de invernadero la temperatura promedio fue menor (15 °C), lo que en parte explica que la mayoría de los tratamientos alcanzaran porcentajes inferiores y en un mayor lapso de tiempo, sin llegar al porcentaje mínimo reportado por estos autores. Por su parte, Candia-Acosta, Díaz, Torres, Quiroz y Domínguez (2019), analizaron el efecto de dos tipos de cobertura (biótica conformada por arbustos y abiótica conformada por rocas), sobre la germinación en esta especie, quienes determinaron que la cobertura con rocas brindó mejores condiciones de temperatura para la emergencia de semillas, sin definir el porcentaje alcanzado.

Ambos estudios estuvieron centrados en el efecto de la temperatura sobre la emergencia; sin embargo, en este estudio se observó que el tipo de sustrato influyó sobre ésta, encontrando que los sustratos con oíote de maíz triturado y aserrín fresco de pino (S2-BOA, S3-BOAE, S4-BOE y S6-OAE) tuvieron germinaciones superiores

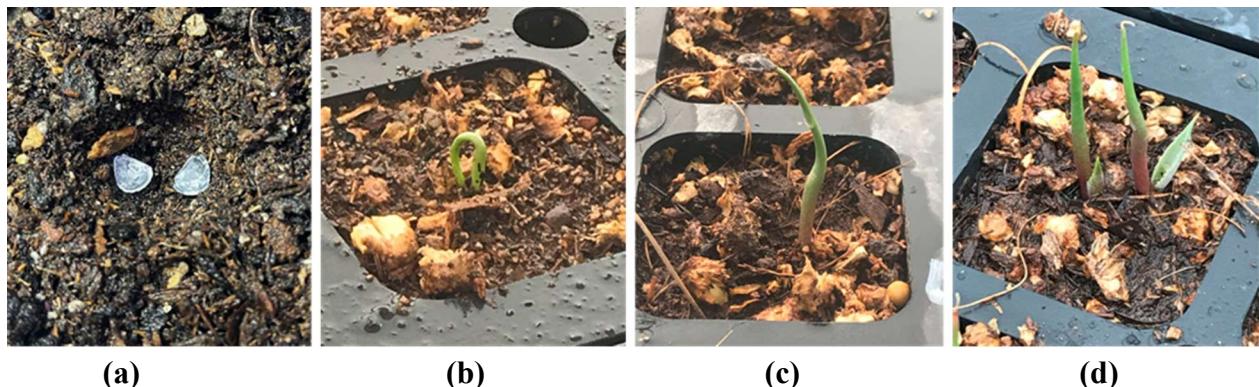


Figura 2. Desarrollo inicial de *Agave durangensis* en sistema de producción en contenedores. (a) Siembra; (b) Emergencia; (c) A 30 días de la siembra; (d) A 52 días de la siembra.

Figure 2. Early development of *Agave durangensis* in container production system. (a) Sowing; (b) Emergence; (c) 30 days after sowing; (d) 52 days after sowing.

al 80% y en algunos casos superaron al tratamiento testigo (S1-TVP). Al respecto, Rodríguez-Martínez *et al.* (2016) y Aguilera-Rodríguez *et al.* (2023) mencionan que el oloote de maíz y aserrín de pino tienen alta capacidad de retención de agua, por lo que es posible que al integrarlos en la mezcla se favorezca la germinación, ya que en esta etapa la semilla requiere de humedad para dar inicio al proceso de imbibición. Por el contrario, en el S5-BAE, a pesar de contener 80% de granulometría $\leq 3\text{mm}$, los microporos generados no lograron retener en forma suficiente la humedad, de ahí su baja capacidad de retención de agua de 18%, que puede explicarse a la propiedad arenosa de la tierra de enlame.

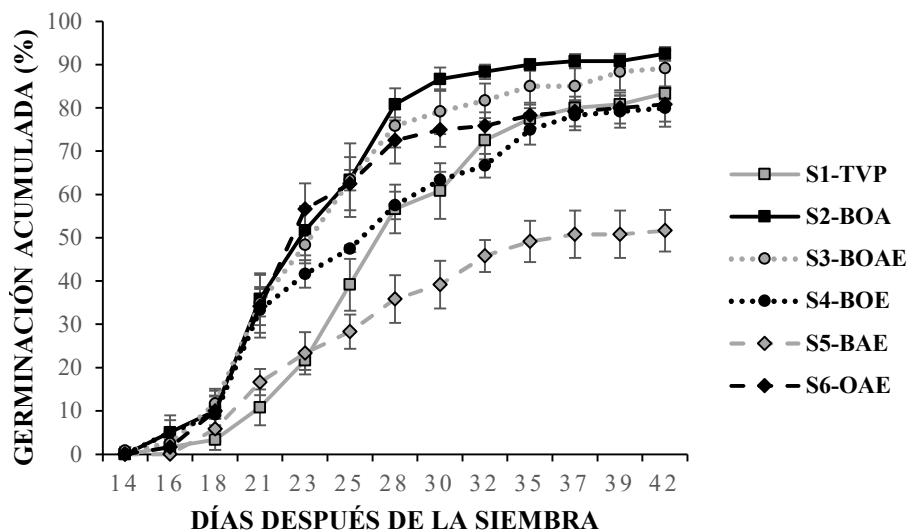


Figura 3. Germinación acumulada de *Agave durangensis* en sustratos no convencionales.

S1-TVP= turba, vermiculita y perlita (1:1:1); S2-BOA= bagazo de agave compostado, oloote de maíz triturado y aserrín fresco de pino (1:1:1); S3-BOAE= bagazo de agave compostado, oloote de maíz triturado, aserrín fresco de pino y tierra de enlame (1:1:1:1); S4-BOE= bagazo de agave compostado, oloote de maíz triturado y tierra de enlame (1:1:1); S5-BAE= bagazo de agave compostado, aserrín fresco de pino y tierra de enlame (1:1:1); S6-OAE= oloote de maíz triturado, aserrín fresco de pino y tierra de enlame (1:1:1).

Figure 3. Cumulative germination of *Agave durangensis* on non-conventional substrates.

S1-TVP= peat, vermiculite and perlite (1:1:1); S2-BOA= composted agave bagasse, crushed corn cob and fresh pine sawdust (1:1:1); S3-BOAE= composted agave bagasse, crushed corn cob, fresh pine sawdust and enlame soil (1:1:1:1); S4-BOE= composted agave bagasse, crushed corn cob and enlame soil (1:1:1); S5-BAE= composted agave bagasse, fresh pine sawdust and enlame soil (1:1:1); S6-OAE= crushed corn cob, fresh pine sawdust and enlame soil (1:1:1).

La germinación también es afectada por la viabilidad de la semilla; en este caso la refrigeración a 4 °C por cinco meses favoreció su longevidad, tal como lo señalan Pérez y Pita (2001) quienes recomiendan que, para conservar semillas ortodoxas hasta 10 años, almacenarlas a una temperatura entre 0 y 10 °C en el caso específico de agave, se ha reportado que el uso de semilla almacenada por un año a temperatura ambiente logró de 74 a 85% de germinación (Castillo-Reyes, Castillo-Quiroz, Sáenz, Rueda y Sáenz, 2021). Por otro lado, Alvarado-Cepeda, Vega, Felipe y Reyes (2024), evaluaron el uso de sustratos alternativos por separado en la germinación de *Agave salmiana* Otto ex Salm-Dyck, utilizaron cámara bioclimática y registraron una emergencia de 98% al utilizar bagazo de agave pulquero y 77% con oíote molido; que, aunado a los resultados obtenidos en la presente investigación, se reafirma el uso latente de estos residuos agroindustriales como sustratos dentro del ciclo productivo de agave en vivero.

Morfología de las Plantas

Los resultados mostraron diferencias significativas entre tratamientos en las variables de altura, largo de raíz y diámetro a la base de la planta. En el primer caso, la diferencia entre valores extremos fue 3.2 cm, donde la planta con la mezcla S5-BAE obtuvo la mejor altura, caso contrario se presentó al utilizar la mezcla S1-TVP. En largo de raíz la diferencia entre valores extremos fue 2.2 cm, el uso del sustrato S6-OAE favoreció más el desarrollo radical, mientras que en el S2-BOA se registró el menor valor. Respecto al diámetro a la base, los tratamientos S4-BOE y S5-BAE mostraron un cuello de raíz más robusto, caso contrario se presentó en el S1-TVP y S2-BOA (Cuadro 3).

Agave durangensis se caracteriza por no tolerar el anegamiento o exceso de humedad, de modo silvestre esta especie crece en suelos con ladera, pedregosos y con buen drenaje (García-Rodríguez et al., 2023). Por lo tanto, para su producción en vivero considerar la capacidad de retención de agua de los sustratos es preponderante para su desarrollo morfológico. En este caso, es posible que el sustrato S5-BAE, con menor capacidad de retención de agua favoreciera la altura de la planta, en comparación con el sustrato testigo, que presentó mayor retención (Cuadro 2).

El largo de raíz no forma parte de las variables que valora la norma mexicana NMX-AA-170-SCFI-2016 para considerar una planta de agave de calidad, solo refiere que las raíces deben ser color pardo-lechoso y contar con ≥ 4 raíces activas (SE, 2016). No obstante, el presente estudio demuestra la importancia de evaluarla, ya que los seis tratamientos cumplen con las características cualitativas estipuladas en la norma, pero la morfología de las plantas es disímil (Figura 4). Otro indicador de calidad en producción de planta en contenedor es el diámetro a

Cuadro 3. Valores medios de altura, largo de raíz y diámetro a la base de *Agave durangensis* a diez meses de su siembra, bajo diferentes mezclas de sustratos no convencionales.

Table 3. Average values of height, root length and base diameter at the *Agave durangensis* ten months after planting, under different mixtures of non-conventional substrates.

Tratamiento	Altura de planta	Largo de raíz	Diámetro a la base
- - - - - cm - - - - -			
S1-TVP	6.3 \pm 0.2 e [†]	8.5 \pm 0.2 ab	10.0 \pm 0.4 d
S2-BOA	7.4 \pm 0.1 d	6.8 \pm 0.1 c	9.1 \pm 0.3 d
S3-BOAE	9.0 \pm 0.2 ab	8.0 \pm 0.2 b	12.5 \pm 0.4 ab
S4-BOE	8.8 \pm 0.1 bc	8.3 \pm 0.2 b	13.1 \pm 0.3 a
S5-BAE	9.5 \pm 0.1 a	8.5 \pm 0.2 ab	13.5 \pm 0.4 a
S6-OAE	8.3 \pm 0.1 c	9.0 \pm 0.2 a	11.2 \pm 0.3 bc
Valor <i>p</i>	<i>p</i> < 0.0001	<i>p</i> < 0.0001	<i>p</i> < 0.0001

[†] Medias con letra diferente en la misma columna indican diferencia significativa de acuerdo con Tukey ($p \leq 0.05$). \pm error estándar de la media. donde= S1-TVP= turba, vermiculita y perlita (1:1:1); S2-BOA= bagazo de agave compostado, oíote de maíz triturado y aserrín fresco de pino (1:1:1); S3-BOAE= bagazo de agave compostado, oíote de maíz triturado, aserrín fresco de pino y tierra de enlame (1:1:1:1); S4-BOE= bagazo de agave compostado, oíote de maíz triturado y tierra de enlame (1:1:1); S5-BAE= bagazo de agave compostado, aserrín fresco de pino y tierra de enlame (1:1:1); S6-OAE= oíote de maíz triturado, aserrín fresco de pino y tierra de enlame (1:1:1).

[†] Means with different letters in the same column indicate a significant difference according to Tukey ($p \leq 0.05$). \pm standard error of the mean. where= S1-TVP= peat, vermiculite and perlite (1:1:1); S2-BOA= composted agave bagasse, crushed corn cob and fresh pine sawdust (1:1:1); S3-BOAE= composted agave bagasse, crushed corn cob, fresh pine sawdust and enlame soil (1:1:1:1); S4-BOE= composted agave bagasse, crushed corn cob and enlame soil (1:1:1); S5-BAE= composted agave bagasse, fresh pine sawdust and enlame soil (1:1:1); S6-OAE= crushed corn cob, fresh pine sawdust and enlame soil (1:1:1).

la base o cuello de raíz, debido a que está relacionado con la capacidad de transportar el agua a la parte aérea de la planta y a la resistencia en condiciones de temperaturas altas (Quiroz-Marchant, Chung, García, González y Soto, 2009). En el caso de especies de agave que se desarrollan en ambientes hostiles, esta variable representaría un indicador para predecir la supervivencia en campo, y en este ensayo se observó que los sustratos alternativos propuestos, ya sea el S4-BOE y el S5-BAE favorecen sustancialmente el desarrollo del diámetro a la base (Figura 4).

Diámetro de Tallo, Roseta y Hojas Expandidas de *Agave durangensis*

Estas variables integran la parte aérea de la planta de agave, los resultados mostraron diferencias significativas entre tratamientos. En diámetro de tallo la diferencia entre valores extremos fue 6.4 mm, donde el S3-BOAE, S4-BOE y S5-BAE fueron superiores. En diámetro de roseta el S5-BAE obtuvo el promedio más alto, la diferencia entre valores extremos fue 3 cm. Para la variable de número de hojas expandidas, la mayoría de los tratamientos se concentraron en el mejor grupo, excepto S2-BOA; tratamiento que obtuvo el menor desarrollo morfológico, al resultar inferior en las variables evaluadas (Cuadro 4).

Considerando la necesidad de establecer plantaciones comerciales o reforestaciones de *A. durangensis*, el diámetro de tallo puede ser un predictor de la capacidad de establecimiento y potencial de crecimiento inicial de la planta en campo; en este sentido, las mezclas de sustratos que contaban con bagazo de agave compostado y tierra de enlame entre un 25 a 33% de la mezcla, desarrollaron más esta variable, lo cual puede deberse a la estabilidad de estos dos materiales, mientras que el aserrín de pino y olate de maíz se utilizaron sin compostar. Tendencia similar obtuvo Crespo-González et al. (2013), al analizar el crecimiento de plántulas de *Agave tequilana* Weber con el uso de composta de bagazo de agave como sustrato, mostrando un incremento de diámetro de tallo cuando se incorporó un 30% de este componente en la mezcla. Además, los autores sugieren una relación positiva entre el diámetro de tallo y el número de hojas, las cuales funcionan como fábricas de fotoasimilados que se distribuyen hacia el tallo como reservorio y al crecimiento morfológico de la planta.



Figura 4. Aspecto final de *Agave durangensis* a diez meses de su siembra, bajo diferentes mezclas de sustratos no convencionales. S1-TVP=turba, vermiculita y perlita (1:1:1); S2-BOA=bagazo de agave compostado, olate de maíz triturado y aserrín fresco de pino (1:1:1); S3-BOAE= bagazo de agave compostado, olate de maíz triturado, aserrín fresco de pino y tierra de enlame (1:1:1:1); S4-BOE= bagazo de agave compostado, olate de maíz triturado y tierra de enlame (1:1:1); S5-BAE= bagazo de agave compostado, aserrín fresco de pino y tierra de enlame (1:1:1); S6-OAE= olate de maíz triturado, aserrín fresco de pino y tierra de enlame (1:1:1).

Figure 4. Final appearance of *Agave durangensis* ten months after planting, under different mixtures of non-conventional substrates. S1-TVP= peat, vermiculite and perlite (1:1:1); S2-BOA= composted agave bagasse, crushed corn cob and fresh pine sawdust (1:1:1); S3-BOAE= composted agave bagasse, crushed corn cob, fresh pine sawdust and enlame soil (1:1:1:1); S4-BOE= composted agave bagasse, crushed corn cob and enlame soil (1:1:1); S5-BAE= composted agave bagasse, fresh pine sawdust and enlame soil (1:1:1); S6-OAE= crushed corn cob, fresh pine sawdust and enlame soil (1:1:1).

Cuadro 4. Valores medios de diámetro de tallo, roseta y hojas expandidas de *Agave durangensis* a diez meses de su siembra, bajo diferentes mezclas de sustratos no convencionales.**Table 4. Average values of diameter of stem, rosette and expanded leaves of *Agave durangensis* ten months after planting, under different mixtures of non-conventional substrates.**

Tratamiento	Diámetro de tallo	Diámetro de roseta	Hojas expandidas
	mm	cm	
S1-TVP	17.5 ± 0.6 c [†]	5.4 ± 0.2 c	7.3 ± 0.2 a
S2-BOA	16.2 ± 0.3 c	4.3 ± 0.2 d	5.7 ± 0.1 b
S3-BOAE	22.2 ± 0.5 a	6.5 ± 0.2 b	6.9 ± 0.1 a
S4-BOE	22.5 ± 0.4 a	6.9 ± 0.2 ab	7.1 ± 0.1 a
S5-BAE	22.6 ± 0.4 a	7.3 ± 0.1 a	7.3 ± 0.2 a
S6-OAE	20 ± 0.5 b	6.2 ± 0.2 b	6.9 ± 0.2 a
Valor p	p < 0.0001	p < 0.0001	p < 0.0001

[†] Medias con letra diferente en la misma columna indican diferencia significativa de acuerdo con Tukey ($p \leq 0.05$). ± error estándar de la media. donde= S1-TVP= turba, vermiculita y perlita (1:1:1); S2-BOA= bagazo de agave compostado, olate de maíz triturado y aserrín fresco de pino (1:1:1); S3-BOAE= bagazo de agave compostado, olate de maíz triturado, aserrín fresco de pino y tierra de enlame (1:1:1:1); S4-BOE= bagazo de agave compostado, olate de maíz triturado y tierra de enlame (1:1:1); S5-BAE= bagazo de agave compostado, aserrín fresco de pino y tierra de enlame (1:1:1); S6-OAE= olate de maíz triturado, aserrín fresco de pino y tierra de enlame (1:1:1).

[†] Means with different letters in the same column indicate a significant difference according to Tukey ($p \leq 0.05$). ± standard error of the mean. where= S1-TVP= peat, vermiculite and perlite (1:1:1); S2-BOA= composted agave bagasse, crushed corn cob and fresh pine sawdust (1:1:1); S3-BOAE= composted agave bagasse, crushed corn cob, fresh pine sawdust and enlame soil (1:1:1:1); S4-BOE= composted agave bagasse, crushed corn cob and enlame soil (1:1:1); S5-BAE= composted agave bagasse, fresh pine sawdust and enlame soil (1:1:1); S6-OAE= crushed corn cob, fresh pine sawdust and enlame soil (1:1:1).

Por su parte, Zúñiga-Estrada, Rosales, Yáñez y Jacques (2018) refieren que el número de hojas está influenciado por la disponibilidad de nutrientes, ya que en su análisis de productividad en *Agave tequilana* bajo un sistema de fertiriego, descubrió que las plantas desarrolladas con solo fertirrigación, así como aquellas con fertilización base más fertirrigación, en promedio, superaron un 57% el número de hojas de plantas del tratamiento sin fertilización. Esto se asemeja a la tendencia mostrada en el presente ensayo, donde el tratamiento S2-BOA obtuvo menor número de hojas, a pesar de haber recibido la misma dosis de fertilizante que el resto de los tratamientos, lo cual puede deberse a que al estar compuesto en un 66% de sustratos sin compostar (olate y aserrín), en la descomposición natural de estos materiales intervienen microorganismos que requieren nitrógeno y carbono para su actividad (Camacho, Martínez, Ramírez, Valenzuela y Valdés 2014), por lo que el sistema radical del agave tuvo menos nitrógeno disponible.

Biomasa seca aérea y radical de *Agave durangensis*

Para ambas variables los resultados mostraron diferencias significativas entre tratamientos. En biomasa seca aérea la diferencia entre valores extremos fue 2.4 g (3.6-1.2 g), el tratamiento con mayor producción de biomasa fue S5-BAE, caso contrario se presentó en el S1-TVP y S2-BOA. En biomasa radical los tratamientos mejor representados fueron S4-BOE y S5-BAE, mientras que los de menor desarrollo radical fueron los mismos tratamientos mencionados en biomasa aérea, en este caso la diferencia entre valores extremos fue 0.9 g (1.3-0.4 g) (Figura 5).

Para el desarrollo de biomasa en la producción de plantas en contenedor se requiere la disponibilidad de nutrientes; pero, para la movilización de los mismos el agua y el oxígeno son imprescindibles, y en el caso de las plantas con metabolismo ácido crassuláceo, intolerantes al exceso de humedad, es necesario delimitar un óptimo de la capacidad de retención de agua que debe contener el sustrato, que en este caso fue 18% en la mezcla S5-BAE, valor muy bajo comparado con el rango idóneo de 25-55% que se establece para otro tipo de plantas (Landis, Tinus, McDonald y Barnett, 1990). La reducción en el porcentaje puede obedecer a las propiedades intrínsecas de los componentes de la mezcla, 66% de material de origen orgánico (bagazo de agave compostado y aserrín fresco de pino) y 33% de material de origen mineral (tierra de enlame), donde la textura arenosa del último facilitó el drenaje; caso contrario se observó en el S1-TVP, la composición se invierte (33% de origen orgánico por la turba y 66% de origen mineral), donde todos los materiales promueven la retención de humedad y se observó que el desarrollo del agave fue insatisfactorio.

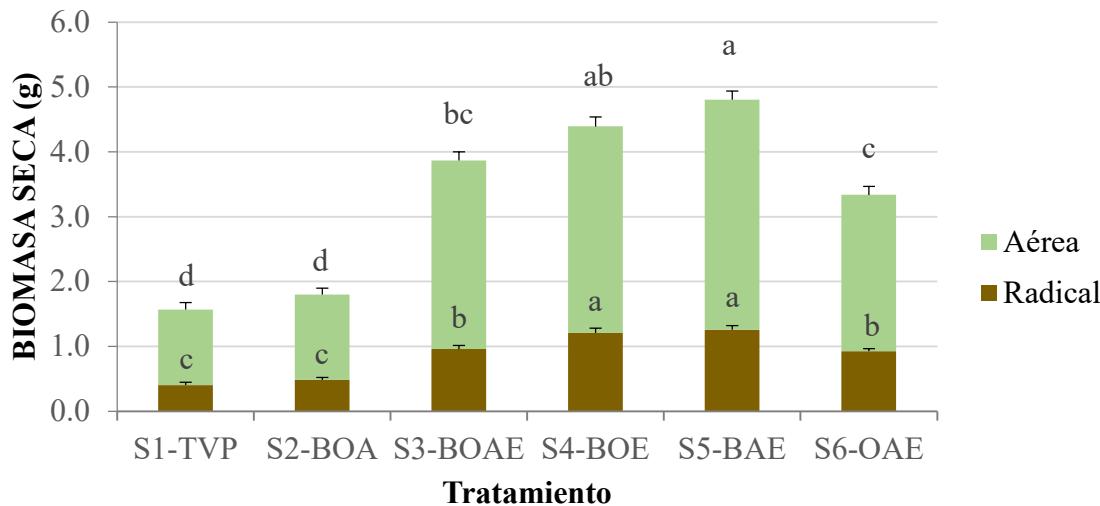


Figura 5. Biomasa seca promedio de *Agave durangensis* a diez meses de su siembra, bajo diferentes mezclas de sustratos no convencionales. S1-TVP = turba, vermiculita y perlita (1:1:1); S2-BOA = bagazo de agave compostado, oloote de maíz triturado y aserrín fresco de pino (1:1:1); S3-BOAE = bagazo de agave compostado, oloote de maíz triturado, aserrín fresco de pino y tierra de enlame (1:1:1:1); S4-BOE = bagazo de agave compostado, oloote de maíz triturado y tierra de enlame (1:1:1); S5-BAE = bagazo de agave compostado, aserrín fresco de pino y tierra de enlame (1:1:1); S6-OAE = oloote de maíz triturado, aserrín fresco de pino y tierra de enlame (1:1:1).

Figure 5. Average dry biomass of *Agave durangensis* ten months after planting, under different mixtures of non-conventional substrates. S1-TVP = peat, vermiculite and perlite (1:1:1); S2-BOA = composted agave bagasse, crushed corn cob and fresh pine sawdust (1:1:1); S3-BOAE = composted agave bagasse, crushed corn cob, fresh pine sawdust and enlame soil (1:1:1:1); S4-BOE = composted agave bagasse, crushed corn cob and enlame soil (1:1:1); S5-BAE = composted agave bagasse, fresh pine sawdust and enlame soil (1:1:1); S6-OAE = crushed corn cob, fresh pine sawdust and enlame soil (1:1:1).

Otro parámetro relacionado con las características físicas del sustrato es la porosidad de aireación, todas las mezclas estuvieron dentro del rango aceptable (20-35%), a excepción del S2-BOA que presentó un 44%, que aunado a una considerable proporción de partículas grandes (33% de granulometría ≥ 5 mm) promovió mayor abundancia de macroporos. Pineda-Pineda, Moreno, Colinas y Sahagún (2020), mencionan que, a mayor porosidad de aireación, la evaporación y lixiviación del agua también será mayor; además, la superoxia puede afectar la morfología, metabolismo y fisiología del sistema radical, causando un crecimiento lento en las plantas; esto puede explicar el menor desarrollo que tuvo dicho tratamiento y refleja que este nivel de porosidad de aireación resulta perjudicial en el crecimiento morfológico del agave, al ser producido en contenedor.

Altura del Cepellón

Esta variable se consideró como indicador de estabilidad de los sustratos, los resultados mostraron diferencia significativa entre tratamientos, donde el S1-TVP y S6-OAE mostraron mayor altura, caso contrario se observó en el S2-BOA, la diferencia entre valores extremos fue 1.2 cm (Cuadro 5). La altura inicial de 13 cm, corresponde al largo del envase y es la altura potencial para que la planta complete el cepellón; no obstante, la compactación del sustrato por el riego, el espacio libre de sustrato, de 1 cm, que se deja arriba para captar agua durante el riego, así como el proceso natural de descomposición de los sustratos sin compostar (olloote de maíz triturado y el aserrín de pino), repercutió en una disminución de la altura del cepellón, así como en la aparición de cuerpos fructíferos de hongos descomponedores durante la etapa inicial de desarrollo del agave, lo que provocó un movimiento interno del sustrato (Figura 6). Al respecto, Landis et al. (1990), mencionan que dentro de los aspectos operativos de los sustratos se encuentra la estabilidad dimensional y durabilidad, donde componentes orgánicos sin compostar tenderán a disminuir su volumen a través del tiempo, por lo que no se recomienda su uso; no obstante, en el presente ensayo se comprobó que la reducción en el volumen al utilizar los sustratos alternativos no afectó la calidad de planta en esta especie.

Cuadro 5. Valores medios de altura de cepellón de *Agave durangensis* a diez meses de su siembra, bajo diferentes mezclas de sustratos no convencionales.

Table 5. Average values of root ball height of *Agave durangensis* ten months after planting, under different mixtures of non-conventional substrates.

Tratamiento	Altura del cepellón (cm)
S1-TVP	10.4±0.1 a [†]
S2-BOA	9.3±0.1 c
S3-BOAE	9.9±0.1 b
S4-BOE	9.7±0.1 b
S5-BAE	9.8±0.1 b
S6-OAE	10.5±0.1 a
Valor <i>p</i>	<i>p</i> < 0.0001

[†] Medias con letra diferente en la misma columna indican diferencia significativa de acuerdo con Tukey (*p* ≤ 0.05). ± error estándar de la media. donde: S1-TVP = turba, vermiculita y perlita (1:1:1); S2-BOA = bagazo de agave compostado, oloote de maíz triturado y aserrín fresco de pino (1:1:1); S3-BOAE = bagazo de agave compostado, oloote de maíz triturado, aserrín fresco de pino y tierra de enlame (1:1:1:1); S4-BOE = bagazo de agave compostado, oloote de maíz triturado y tierra de enlame (1:1:1); S5-BAE = bagazo de agave compostado, aserrín fresco de pino y tierra de enlame (1:1:1); S6-OAE = oloote de maíz triturado, aserrín fresco de pino y tierra de enlame (1:1:1).

[†] Means with different letters in the same column indicate a significant difference according to Tukey (*p* ≤ 0.05). ± standard error of the mean. where: S1-TVP = peat, vermiculite and perlite (1:1:1); S2-BOA = composted agave bagasse, crushed corn cob and fresh pine sawdust (1:1:1); S3-BOAE = composted agave bagasse, crushed corn cob, fresh pine sawdust and enlame soil (1:1:1:1); S4-BOE = composted agave bagasse, crushed corn cob and enlame soil (1:1:1); S5-BAE = composted agave bagasse, fresh pine sawdust and enlame soil (1:1:1); S6-OAE = crushed corn cob, fresh pine sawdust and enlame soil (1:1:1).

Para finalizar, la inclusión de este tipo de materiales catalogados como residuos en algunos casos, al sistema de producción de planta de agave en vivero, promueve la economía circular y un mejor aprovechamiento de los recursos locales, además de que representa una alternativa viable y replicable para la producción de planta en viveros ya sea tecnificados o comunitarios donde utilizan el sistema tradicional de bolsa como envase.



(a)

(b)

Figura 6. Cuerpos fructíferos de hongos descomponedores. (a) Sobre el sustrato; (b) Remoción del sustrato durante la aparición.

Figure 6. Fruiting bodies of decomposing fungi. (a) On the substrate; (b) Substrate removal during emergence.

CONCLUSIONES

En la germinación final, la misma varió del 80 al 92.5%, con excepción del sustrato compuesto por bagazo de agave compostado, aserrín fresco de pino y tierra de enlace (1:1:1) que mostró la menor germinación (51.7%). El sustrato compuesto por bagazo de agave compostado, maíz triturado y aserrín fresco de pino en igual proporción, permitió obtener la mayor germinación acumulada (92.5%), por lo que se puede utilizar en camas germinativas o almácigos. La mezcla de bagazo de agave compostado, aserrín fresco de pino y tierra de enlace (1:1:1), permitió el desarrollo de plantas con características morfológicas superiores a la mezcla testigo compuesta por turba, vermiculita y perlita (1:1:1), por lo que estos sustratos no convencionales representan una alternativa viable para producir planta de calidad de *Agave durangensis* en vivero.

DECLARACIÓN DE ÉTICA

No aplicable.

CONSENTIMIENTO PARA PUBLICACIÓN

No aplicable.

DISPONIBILIDAD DE DATOS

Los conjuntos de datos utilizados o 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.

FINANCIAMIENTO

No aplicable.

CONTRIBUCIÓN DE LOS AUTORES

Conceptualización: S.S.R. y J.Á.P.R.; Metodología: S.S.R., J.Á.P.R. y A.A.; Análisis formal: R.E.M.A.; Investigación: S.S.R., E.S.A., J.Á.P.R. y R.E.M.A.; Recursos: S.S.R., J.Á.S.R. y E.S.A.; Curación de datos: S.S.R., E.S.A. y R.E.M.A.; Escritura - preparación del borrador original: S.S.R.; Escritura - revisión y edición: J.Á.P.R., A.A. y J.Á.S.R.; Supervisión: J.Á.P.R.; Administración del proyecto: S.S.R.

AGRADECIMIENTOS

A la SECIHTI, por el financiamiento otorgado a la Dra. Silvia Salcido Ruiz dentro del marco de una estancia posdoctoral en el Programa Institucional de Doctorado en Ciencias Agropecuarias y Forestales de la Universidad Juárez del Estado de Durango. Al Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias, Centro de Investigación Norte-Centro, Campo Experimental Valle del Guadiana, por el apoyo brindado para el análisis de sustratos.

LITERATURA CITADA

- Acosta-Durán, C. M., Gallardo, C. S., Normann-Kämpf, A., & Carvallo-Bezerra, F. (2008). Materiales regionales utilizados en Latinoamérica para la preparación de sustratos. *Investigación Agropecuaria*, 5(2), 93-106.
- Aguilera-Rodríguez, M., Aldrete, A., Sánchez-Velázquez, J. R., & Prieto-Ruiz J.A. (2023). Instalaciones e insumos para la producción. En: A. Aldrete, J. R. Sánchez-Velázquez, M. Aguilera-Rodríguez, D. Cibrián-Tovar & S. E. García-Díaz (Eds.). *Manual de buenas prácticas para el manejo de la salud de planta en viveros forestales* (pp. 41-90). Estado de México, México: Universidad Autónoma Chapingo. ISBN 978-607-12-0646-6

- Alvarado-Cepeda, Y. A., Vega-Chávez, J. L., Felipe-Victoriano, M., & Reyes-Arreozola, M. I. (2024). Evaluación de residuos agrícolas como sustratos en la emergencia y desarrollo de plántulas de *Agave salmiana* Otto ex Salm-Dyck. *Acta Universitaria*, 34, e4041. <https://doi.org/10.15174/au.2024.4041>
- Bernaola-Paucar, R. M., Zamora-Natera, J. F., Vargas-Radillo, J. J., Cetina-Alcalá, V. M., Rodríguez-Macías, R., & Salcedo-Pérez, E. (2016). Calidad de planta en etapa de vivero de dos especies de pino en sistema doble-trasplante. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*, 7(33), 74-93.
- Camacho, A. D., Martínez, L., Ramírez-Saad, H., Valenzuela, R., & Valdés, M. (2014). Potencial de algunos microorganismos en el compostaje de residuos sólidos. *Terra Latinoamericana*, 32(4), 291-300.
- Candia-Acosta, J. A. Díaz-Vasquez, M. A., Torres-Herrera, S. I., Quiroz-Arratia, J. A., & Domínguez-Calleros, P. A. (2019). Germinación de semillas de *Agave durangensis* bajo diferentes coberturas en Durango, México. *Revista Mexicana de Agroecosistemas*, 6(1), 18-27.
- Castillo-Reyes, F., Castillo-Quiroz, D., Sáenz-Ceja, J. E., Rueda-Sánchez, A., & Sáenz-Reyes, J. (2022). Efectos del pretratamiento con *Trichoderma* y *Bacillus* en la germinación de semillas de *Agave victoriae-reginae* T. Moore. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*, 13(69), 56-72. <https://doi.org/10.29298/rmcf.v13i69.844>
- CONAFOR (Comisión Nacional Forestal). (2021). Estado que guarda el sector forestal en México 2020. Consultado el 7 de marzo, 2025, desde <https://www.gob.mx/conafor/documentos/estado-que-guarda-el-sector-forestal-en-mexico-2020>
- CONAFOR (Comisión Nacional Forestal). (2023). Estado que guarda el sector forestal en México 2022. Consultado el 5 de marzo, 2025, desde <https://www.gob.mx/conafor/documentos/estado-que-guarda-el-sector-forestal-en-mexico-2022-349939>
- COMERCAM (Consejo Mexicano Regulador de la Calidad del Mezcal). (2024). Informe estadístico 2024. Consultado el 10 de mayo, 2025, desde https://comercam-dom.org.mx/wp-content/uploads/2024/04/PUBLICO_INFORME_2024.pdf
- CONEVAL (Consejo Nacional de Evaluación de la Política de Desarrollo Social). (2022). Evaluación de procesos del programa sembrando vida. Consultado el 11 de mayo, 2025, desde <https://www.coneval.org.mx/SalaPrensa/Comunicadosprensa/Paginas/Comunicados-2022.aspx>
- Crespo-González, M. R., González-Eguiarte, D. R., Rodríguez-Macías, R., Rendón-Salcido, L. A., del Real-Laborde, J. I., & Torres-Morán, J. P. (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.
- Chairez-Aquino, J., Enríquez-del-Valle, J. R., Ruiz-Luna, J., Campos-Ángeles, G. V., & Martínez-García, R. (2015). Uso del bagazo de *Agave* spp y hojas de maíz para cultivar el hongo *Pleurotus ostreatus*. *Revista Mexicana de Agroecosistemas*, 2(1), 23-28.
- Flores-Ríos, P. A., Celerino, R., & Castañeda-Hidalgo, E. (2020). Generación y caracterización básica de bagazos de la agroindustria del mezcal en Oaxaca. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 11(6), 1437-1445. <https://doi.org/10.29312/remexca.v11i6.2615>
- Fregoso-Madueño, J. N., Goche-Téllez, J. R., Rutiaga-Quiñones, J. G., González-Laredo, R. F., Bocanegra-Salazar, M., & Chávez-Simental, J. A. (2017). Usos alternativos de los desechos de la industria del aserrío. *Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente*, 23(2), 243-260. <https://doi.org/10.5154/r.rchscfa.2016.06.040>
- García-Rodríguez, J. L., Sarmiento-López, H., Sigala-Rodríguez, J. Á., & Monárrez-González, J. C. (2023). *Producción de planta y establecimiento de plantaciones comerciales de Agave durangensis* Gentry. Durango, Durango, México: Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias-Campo Experimental Valle del Guadiana. ISBN 978-607-37-1613-0
- González-Orozco, M. M., Prieto-Ruiz, J. A., Aldrete, A., Hernández-Díaz, J. C., Chávez-Simental, J. A., & Rodríguez-Laguna, R. (2018). Sustratos a base de aserrín crudo con fertilización y la calidad de planta de *Pinus cooperi* Blanco en vivero. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*, 9(48), 203-226. <https://doi.org/10.29298/rmcf.v8i48.125>
- González-Castillo, M. P., Quintos-Escalante, M., & Castaño-Meneses, G. (2011). Arthropods in natural communities in mescal agave (*Agave durangensis* Gentry) in an arid zone. *American Journal of Applied Sciences*, 8(10), 933-944.
- Landis, T. D., Tinus, R. W., McDonald, S. E., & Barnett, J. P. (1990). The container tree nursery manual. Volume 2: containers and growing media. Washington DC, USA: Department of Agriculture.
- Loera-Gallegos, H. M., Corral-Rivas, J. J., Montiel-Antuna, E., Solís-Moreno, R., Chávez-Simental, J. A., & González-Cervantes, G. (2018). Calidad de sitio para *Agave durangensis* Gentry en la Sierra de Registrido, Durango. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 9(6), 1171-1180.
- Martínez-Estrada, S. C., Narváez-Zapata, J. A., Rodríguez-Herrera, R., Grijalva-Ávila, J., Gurrula-Reyes, J. N., Larralde-Corona, C. P., & Chairez-Hernández, I. (2024). Diversity of culturable yeasts associated with the technification level in the process of mezcal production in the state of Durango. *Fermentation*, 10(3), 147. <https://doi.org/10.3390/fermentation10030147>
- Monsalve-Camacho, O. I., Henao-Toro, M. C., & Gutiérrez-Díaz, J. S. (2021). Caracterización de materiales con uso potencial como sustratos en sistemas de cultivo sin suelo. *Ciencia y Tecnología Agropecuaria*, 22(1), e1977. https://doi.org/10.21930/rcta.vol22_num1_art:1977
- Morales-Campos, B. K., Sánchez-Santillán, P., Torres-Salado, N., Saavedra-Jiménez, L. A., Herrera-Pérez, J., & Ayala-Monter, M. A. (2024). Actividad de celulasas y lacasas de *Pleurotus ostreatus* por fermentación en medios sólidos con subproductos del maíz (*Zea mays* L.). *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*, 40, 231-240. <https://doi.org/10.20937/RICA.54531>
- Orea-Lara, G., Cifuentes-Días de León, A., Gómez-Ortiz, S., & Hernández-Vargas, V. (2006). Germinación de semillas (*Agave durangensis*) a diferentes temperaturas y efecto de la fertilización en el desarrollo de las plántulas. *Vidsupra*, 1(2), 51-56.
- Pérez-García, F., & Pita-Villamil, J. M. (2001). *Viabilidad, vigor, longevidad y conservación de semillas*. Madrid, España: Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación, Secretaría General de Estructuras.
- Pineda-Pineda, J., Moreno-Roblero, M. de J., Colinas-León, M. T., & Sahagún-Castellanos, J. (2020). El oxígeno en la zona radical y su efecto en las plantas. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 11(4), 931-943. <https://doi.org/10.29312/remexca.v11i4.2128>
- Quiroz-Marchant, I., Chung-Guin-Po, P., García-Rivas, E., González-Ortega, M., & Soto-Guevara, H. (2009). *Vivero forestal: producción de plantas nativas a raíz cubierta*. Santiago, Chile: INFOR. <https://doi.org/10.52904/20.500.12220/17366>
- Roblero-Mejía, D. O., Aguilar-Marcelino, L., & Sánchez, J. E. (2021). Efecto de la variación del sustrato en la productividad de dos cepas de *Pleurotus* spp. *Scientia fungorum*, 52, (e1377), 1-11. <https://doi.org/10.33885/sf.2021.52.1377>
- Rodríguez-Martínez, N., Lucas-Ciriaco, D. J., Nogez-Estrada, J., & Sánchez-Herrera, S. G. (2016). Evaluación del sustrato de oloe en la retención de humedad en el suelo para el cultivo de tomate (*Lycopersicum esculentum* Mill). *Revista de Ciencias Naturales y Agropecuarias*, 3(7), 25-34.
- Rosales-Serna, R., Ríos-Saucedo, J. C., Rodríguez-Varga, J. H., Nava-Berumen, C. A., Sierra-Zurita, D., Santana-Espinoza, S., & Romo-Alanís, C. (2022). Ambientes de selección para obtener plantas de maguey cenizo con crecimiento acelerado en plantaciones comerciales. *Agrofaz*, 4(1), 20-28.
- Salas-Pérez, L., González-Fuentes, J. A., García-Carrillo, M., Sifuentes-Ibarra, E., Parra-Terrazas, S., & Preciado-Rangel, P. (2016). Calidad biofísica y nutracéutica de frutos de tomate producido con sustratos orgánicos. *Nova scientia*, 8(17), 310-325.

- Salinas-Sanhueza, J., Gaudig, G., Krebs, M., Moya-Navarro, I., & Silva-Labbé, F. (2024). Turberas y cosecha de *Sphagnum* en la región de Aysén, Chile. *Ciencia & Investigación Forestal*, 30(1), 43-63. <https://doi.org/10.52904/0718-4646.2024.606>
- SE (Secretaría de Economía). (2016). Norma Oficial Mexicana NMX-AA-170-SCFI-2016. Certificación de operación de viveros forestales. *Diario Oficial de la Federación*. D. F., México: SEGOB.
- SAS Institute. (2009). *Statistical Analysis System SAS/STAT User's Guide*. version 9.2. Cary, NC, USA: SAS Institute Inc.
- Torres-Morán, M. I., Hormaza, J. I., & Larranaga, N. (2024). DNA analyses reveal high heterozygosity values and low differentiation among populations of mezcal-producing *Agave durangensis*. *Genetic Resources and Crop Evolution*, 71(7), 3419-3431. <https://doi.org/10.1007/s10722-023-01850-y>
- Vazquez-Elorza, A., Rivera-Ramírez, J., Gutiérrez-Mora, A., Olvera-Vargas, L. A., Romero-Romero, Y., Rodríguez-Peralta, C. M., & García-Pérez, L. (2019). *Fundamentos del ecosistema agave mezcalero para los hacedores de políticas públicas*. Guadalajara, Jalisco, México: CIATEJ.
- Zúñiga-Estrada, L., Rosales-Roble, E., Yáñez-Morales M. de J., & Jacques-Hernández C. (2018). Características y productividad de una planta MAC, *Agave tequilana* desarrollada con fertigación en Tamaulipas, México. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 9(3), 553-564. <https://doi.org/10.29312/remexca.v9i3.1214>