



DOI: [10.29298/rmcf.v16i91.1567](https://doi.org/10.29298/rmcf.v16i91.1567)

Artículo de investigación

Maguey cenizo: incidencia del medio de crecimiento sobre la calidad de planta en vivero

Ash *maguey*: incidence of the growth medium on the quality of the plant in nursery

Alejandra Medina García¹, Silvia Salcido Ruiz^{1*}, José Ángel Prieto Ruíz¹,
Enrique Santana Aispuro², Rosa Elvira Madrid Aispuro³

Fecha de recepción/Reception date: 4 de abril de 2025.

Fecha de aceptación/Acceptance date: 6 de agosto de 2025.

¹Universidad Juárez del Estado de Durango, Facultad de Ciencias Forestales y Ambientales. México.

²Universidad Juárez del Estado de Durango, Programa Institucional de Doctorado en Ciencias Agropecuarias y Forestales. México.

³Colegio de Postgraduados, Campus Montecillo. México.

*Autor para correspondencia; correo-e: silesad@gmail.com

*Corresponding author; e-mail: silesad@gmail.com

Resumen

Agave durangensis es ampliamente usado en la producción de mezcal en el estado de Durango. A pesar de la gran importancia económica y ecológica que tiene, con el paso del tiempo sus poblaciones naturales han disminuido, requiriéndose su propagación en vivero para programas de plantación, ya sea con fines de restauración o comerciales. El objetivo de este estudio fue determinar la mezcla de sustratos más apropiada para el crecimiento morfológico de *A. durangensis* en etapa de vivero. Durante nueve meses se evaluó el crecimiento de la planta producida en charola tipo bloque de 54 cavidades con 200 mL de volumen; se utilizaron siete mezclas de sustratos con diferentes proporciones de turba, corteza de pino compostada, vermiculita y perlita. Respecto a las variables morfológicas, la respuesta más favorable la obtuvo el tratamiento con la mezcla de turba, corteza y vermiculita en partes iguales (33.3 %), mientras que la planta con calidad menor, con la mezcla de turba, corteza y perlita en partes iguales (33.3 %). La respuesta diferenciada del desarrollo de la especie a las mezclas de sustratos evaluadas crea la necesidad de ajustar los tipos de sustrato y sus proporciones a los requerimientos de la especie que se desea producir.

Palabras clave: *Agave durangensis* Gentry, corteza de pino compostada, desarrollo morfológico, mezcal, sustrato, turba.

Abstract

Agave durangensis is widely used in the production of mescal in the state of Durango. Despite its great economic and ecological importance, over time its natural populations have decreased, requiring its propagation in nursery for plantation programs, either for restoration or commercial purposes. The objective of this study was to determine the most appropriate mixture of substrates for the morphological growth of *A. durangensis* in the nursery stage. During nine months, the growth of plants produced in seven mixtures of substrates were evaluated, with different proportions of peat, composted pine bark, vermiculite and perlite. Regarding the morphological

variables, the most favorable response was obtained by treatment with mixture of peat, composted pine bark and vermiculite in equal parts (33.3 %), while the plant with lower quality was produced in treatment with mixture of peat, composted pine bark and perlite in equal parts (33.3 %). The differentiated response of the development of the species to the mixtures of evaluated substrates, create the need to adjust the types of substrates and their proportions to the requirements of the species to be produced.

Keywords: *Agave durangensis* Gentry, composted pine bark, morphological development, mescal, substrate, peat.

Introducción

En México, la producción de planta de agave en vivero con fines de restauración o de plantaciones comerciales se regula por la norma NMX-AA-SCFI-170-2016 (Certificación de operación de viveros forestales), que establece para 139 especies, criterios mínimos de calidad que la planta debe reunir previo a su establecimiento en campo (Secretaría de Economía [SE], 2016). Aunque el objetivo de producir la planta con calidad es prioritario para los más de 150 viveros que existen en el país (Comisión Nacional Forestal [Conafor], 2020), el camino que toma cada viverista es disímil, lo que propicia que las formas de producir planta sean diferentes (Aldrete et al., 2023).

Agave durangensis Gentry (maguey cenizo) es un recurso natural no maderable que destaca por su importancia económica, debido a que se utiliza en la elaboración de destilado de agave. En 1997, el estado de Durango obtuvo la "Denominación de Origen del Mezcal", y esto marcó el inicio de un auge en su aprovechamiento, que repercutió en la disminución de las poblaciones silvestres (Loera-Gallegos et al., 2018). La especie se reproduce de manera asexual por medio de hijuelos y bulbillos; sin embargo, esto conduce a la pérdida de diversidad genética (Figueredo-Urbina et al., 2021). Otra alternativa de propagación es la forma sexual, García-Rodríguez et al. (2023) mencionan que cuando la semilla tiene un buen manejo, la tasa de germinación supera 90 %; no obstante, en el ambiente natural, la depredación y la limitante de condiciones óptimas de temperatura y humedad afectan su

establecimiento, lo que pone en riesgo su preservación (Ramírez-Tobías *et al.*, 2012).

Como alternativa para contrarrestar los efectos adversos del aprovechamiento de las poblaciones silvestres de *A. durangensis*, su cultivo desde la semilla en vivero es una opción factible, lo que involucra el manejo de diversos factores que inciden en el desarrollo de la planta, comprendidos desde la germinación hasta su plantación en campo: insumos, condiciones ambientales, así como monitoreo de plagas y enfermedades, entre otros aspectos (Rosales-Serna *et al.*, 2020). Dentro de los insumos destaca el sustrato que se va a emplear para conformar el medio de crecimiento correcto para la planta (Aldrete *et al.*, 2023), la norma indicada anteriormente reconoce que la función de un sustrato es servir como soporte para el crecimiento de la planta y generalmente está compuesto por una mezcla de materiales de origen orgánico e inorgánico (SE, 2016).

La turba es de los primeros materiales que se utilizaron como parte del sustrato en la producción en contenedores, lo cual ocurrió a partir del año 1930 en Inglaterra (Landis *et al.*, 1990); a la fecha su uso se ha generalizado a nivel mundial, lo que ha conducido a problemas de sobreexplotación del material (Gayosso-Rodríguez *et al.*, 2016; United Nations Environment Programme [UNEP], 2022). En los años 60 del siglo pasado, el uso combinado de turba (50-60 %), vermiculita (20-30 %) y perlita (20-30 %) se popularizó en Estados Unidos; en México el empleo de estos sustratos en viveros forestales inició hasta 1990 (Aldrete & Aguilera-Rodríguez, 2019). De hecho, la mayoría de los viveros forestales actualmente contemplan estos componentes como parte de la mezcla, lo que puede ser la respuesta a lo establecido en la norma mexicana, que promueve tres opciones de mezclas, formadas con diferentes proporciones de turba, vermiculita y perlita; en tanto otras tres opciones incluyen la corteza de pino para producir planta en el sistema de contenedores (SE, 2016), esto sin considerar la especie de interés.

Conforme ha pasado el tiempo, los cambios en los componentes del sustrato han variado. Así, Prieto-Ruíz et al. (2009) indican que solo en dos de 11 viveros del estado de Durango, el sustrato que se usaba incluía corteza de pino; el resto utilizaban mezclas con turba, en proporción de 50 a 60 %, vermiculita en 20 a 25 % y perlita de 15 a 25 %; esto a pesar de que, según Aguilera-Rodríguez et al. (2021) y Madrid-Aispuro et al. (2020), ya se había comprobado científicamente que el uso de la corteza compostada de pino, así como el aserrín fresco de pino, representan alternativas viables.

Además, el uso de la mezcla compuesta por turba, vermiculita y perlita (3:1:1; vol.) se ha generalizado, y se caracteriza por una densidad aparente baja y una alta porosidad de aireación y de retención de humedad, tanto para producción de pino (Aldrete et al., 2023) como de agave (García-Rodríguez et al., 2023; Rosales-Mata et al., 2013); sin embargo, los requerimientos intrínsecos de cada tipo de planta son diferentes. El agave, al tener un metabolismo ácido crasuláceo, posee la capacidad de regular la apertura de sus estomas para una menor pérdida de agua (Cruz-Vasconcelos et al., 2020); por ello, en la producción en vivero se debe optar por componentes del sustrato que aporten a la mezcla buen drenaje, ya que este tipo de plantas son intolerantes al anegamiento o excesos de humedad en el sustrato.

Aunado a lo anterior, la turba aporta retención de humedad (Aldrete et al., 2023) y en la proporción que se maneja en una mezcla base para planta de pino suele ser favorecedor, pero habría que evaluar su respuesta en el agave. De ahí que el objetivo del presente estudio fue determinar la mezcla de sustrato más apropiada para el desarrollo de *A. durangensis* en etapa de vivero, con base en los sustratos que la mayoría de los viveristas utiliza (turba, vermiculita, perlita y corteza de pino compostada). Se parte de la hipótesis que el sustrato utilizado debe formularse a partir de las necesidades de la especie por producir, más que al sistema de producción, por lo que al menos una mezcla de sustrato debe favorecer su

crecimiento. La finalidad del proyecto fue la de aportar conocimiento al manejo técnico de *A. durangensis* en el sistema de producción en vivero.

Materiales y Métodos

Área de estudio

El estudio se realizó en el vivero forestal Praxedis Guerrero, de la Secretaría de Recursos Naturales y Medio Ambiente del gobierno del estado de Durango, México, localizado en el kilómetro 12.5 de la carretera Durango-Mezquital, en las coordenadas 23°56'58.3" N y 104°34'07.4" O, a 1 890 msnm.

Condiciones de producción

La semilla se recolectó de un rodal natural donde la vegetación predominante está compuesta por *A. durangensis*, *Dasyllirion* spp. y *Neltuma* spp., ubicado en la localidad de Nombre de Dios, Durango, México (23°58'59" N y 104°19'29" O, a 1 846 msnm).

Previo a la siembra, como tratamiento pregerminativo, la semilla se remojó en agua a temperatura ambiente durante 8 h y, al término de este proceso, la testa se impregnó con fungicida *Tecto*®60 (*Syngenta*®, México). La siembra se realizó en almácigo, en un invernadero de estructura metálica protegida con película de polietileno blanco calibre 720, cubierta a su vez por malla sombra al 50 % y con cortinas laterales; la temperatura máxima y mínima promedio fue de 38 y 5 °C, respectivamente.

A los 60 días de la siembra, la planta se trasplantó a charola tipo bloque de polietileno negro, rígido, de 54 cavidades, con guías de raíces internas (200 mL de volumen, diámetro superior de 4.8 cm e inferior de 2.83 cm, y longitud de 15 cm). A los cinco meses de la siembra, el material vegetal se cambió a un área con condiciones de malla sombra al 50 %, con temperatura máxima promedio de 37 °C y mínima de 13 °C durante cuatro meses. La planta creció en vivero durante nueve meses, del 17 de diciembre de 2019 al 18 de septiembre de 2020.

Tratamientos y diseño experimental

Se evaluaron siete mezclas de sustratos a base de turba, corteza de pino compostada, vermiculita y perlita (Cuadro 1). Durante la preparación de cada mezcla se agregaron 4 g L⁻¹ de fertilizante granulado *Multicote 8*[®] (Haifa Chemicals Ltd., Israel) de lenta liberación (ocho meses de duración) con la composición 12N-25P-12K+ME. Además, una vez por semana durante la etapa de establecimiento (de los dos a los cinco meses a partir de la siembra) en el riego se aplicó 50 ppm de fertilizante soluble *Peters*[®] (ICL, EE. UU.) con la composición de 9N-45P-15K, y del quinto al noveno mes después de la siembra, etapa de crecimiento rápido, se regó con la adición de 100 ppm de fertilizante soluble *Peters*[®] (ICL, EE. UU.) compuesto por 20N-10P-20K.

Cuadro 1. Mezclas de sustrato evaluadas.

Tratamiento	Composición
1	Turba, corteza compostada, vermiculita y perlita (50:20:15:15)
2	Turba, corteza compostada, vermiculita y perlita (30:40:15:15)
3	Corteza compostada, vermiculita y perlita (50:25:25)

4	Turba, vermiculita y perlita (50:25:25)
5	Turba, corteza compostada y perlita (33.3:33.3:33.3)
6	Turba, corteza compostada y vermiculita (33.3:33.3:33.3)
7	Turba y corteza compostada (50:50)

Los tratamientos se distribuyeron en un diseño experimental de bloques completos al azar. Cada tratamiento estuvo compuesto de cuatro repeticiones con 54 plantas cada una. A los sustratos evaluados se les determinó porosidad total, porosidad de aireación y capacidad de retención de agua, con la metodología descrita en la norma mexicana NMX-AA-170-SCFI-2016 (SE, 2016) (Cuadro 2).

Cuadro 2. Porosidad de las mezclas de sustrato evaluadas.

Tratamiento	Porosidad total (%)	Porosidad de aireación (%)	Capacidad de retención de agua (%)
1	48	27	21
2	58	35	23
3	63	37	26
4	55	37	18
5	58	35	23
6	58	35	23
7	61	38	23
Valor de referencia	60-80*	20-35**	25-55*

1 = Turba, corteza compostada, vermiculita y perlita (50:20:15:15); 2 = Turba, corteza compostada, vermiculita y perlita (30:40:15:15); 3 = Corteza compostada, vermiculita y perlita (50:25:25); 4 = Turba, vermiculita y perlita (50:25:25); 5 = Turba, corteza compostada y perlita (33.3:33.3:33.3); 6 = Turba, corteza compostada y vermiculita (33.3:33.3:33.3); 7 = Turba y corteza compostada (50:50). *Landis et al. (1990); **SE (2016).

Variables morfológicas evaluadas

La planta fue evaluada a nueve meses de la siembra. De cada repetición (charola de 54 cavidades) se extrajeron diez plantas centrales a fin de evitar efecto de borde (40 plantas en total por tratamiento). Se retiró el sustrato de la raíz con agua para no dañarla; después se determinó la altura (cm), el largo de raíz (cm) y diámetro de roseta (cm) con regla graduada marca *PILOT*[®] modelo RAS-30, diámetro de base radical (mm) y tallo (mm) con vernier digital *Truper*[®] modelo CAL-6MP; así como biomasa seca de la parte aérea y radical (g) (Figura 1).

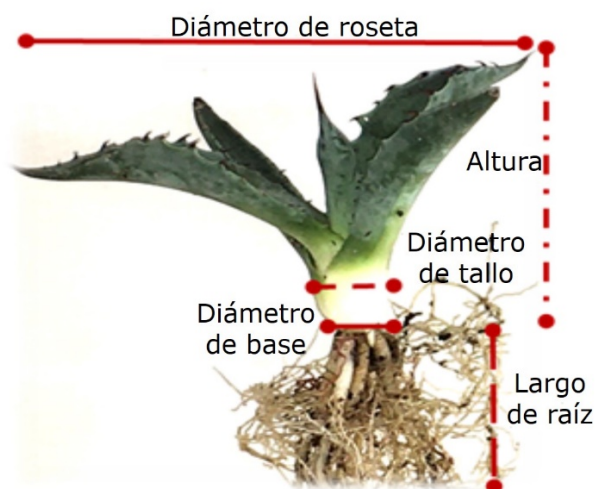


Figura 1. Esquematización de las variables evaluadas.

Para estimar la biomasa seca, a cada planta se le hizo un corte transversal para separar la parte radical de la aérea; posteriormente, la parte aérea fue segmentada a fin de retirar las hojas del tallo, y cada hoja fue rayada por ambas caras para facilitar la desecación. La biomasa fresca radical y aérea segmentada se colocó dentro de una

bolsa de papel *Kraft* y se deshidrataron en un horno de ventilación forzada (*Ecoshel*® modelo 9024A) a 65 °C durante 72 h (Ramírez-Tobías *et al.*, 2014); una vez que las plantas tuvieron peso constante, se determinó el peso seco utilizando una balanza analítica (*Ohaus*® Pionner PA512). Los datos se sometieron a un análisis de varianza con el procedimiento *PROC GLM* de *SAS 9.2*® (SAS Institute Inc., 2009); cuando existieron diferencias significativas, se realizaron pruebas de separación de medias de *Tukey* ($p \leq 0.05$). En todos los casos se comprobó el supuesto de normalidad, así como la homogeneidad de varianzas por medio de la prueba *Shapiro-Wilk* y *Levene*, respectivamente (Contreras-Cruz, 2023).

Resultados y Discusión

En la variable altura sobresalieron estadísticamente ($p \leq 0.05$) los tratamientos 1, 2, 4 y 6. La diferencia entre los valores extremos fue 1.8 cm. Para el largo de la raíz, los resultados mostraron diferencias significativas ($p \leq 0.05$) entre tratamientos, con el valor más alto en el T2 y el más bajo en el T5 y T7; la diferencia entre los valores extremos fue 1.2 cm (Cuadro 3 y Figura 2).

Cuadro 3. Altura y largo de raíz en *Agave durangensis* Gentry con diversas mezclas de sustratos, a nueve meses de la siembra.

Tratamiento	Altura (cm)	Largo de raíz (cm)
1	6.1±0.1 a	12.0±0.3 ab
2	6.1±0.2 a	12.4±0.2 a
3	5.6±0.1 ab	11.8±0.1 ab
4	5.8±0.1 a	11.9±0.2 ab
5	4.3±0.1 c	11.2±0.3 b

6	6.1±0.2 a	11.8±0.1 ab
7	5.1±0.1 b	11.4±0.3 b
Valor <i>p</i>	<0.0001	<0.0028

1 = Turba, corteza compostada, vermiculita y perlita (50:20:15:15); 2 = Turba, corteza compostada, vermiculita y perlita (30:40:15:15); 3 = Corteza compostada, vermiculita y perlita (50:25:25); 4 = Turba, vermiculita y perlita (50:25:25); 5 = Turba, corteza compostada y perlita (33.3:33.3:33.3); 6 = Turba, corteza compostada y vermiculita (33.3:33.3:33.3); 7 = Turba y corteza compostada (50:50). Letras diferentes en la misma columna indican diferencias ($p \leq 0.05$).



Figura 2. Aspecto morfológico de la planta, por tratamiento, a nueve meses de su siembra.

Hernández-Vargas et al. (2006) evaluaron la respuesta del trasplante de plántula de *A. durangensis* a suelo sin acolchado, suelo con acolchado y maceta. A siete meses del trasplante registraron una altura promedio de 7.4 cm, y el crecimiento más alto lo obtuvo el trasplante a suelo con acolchado, valor superior al obtenido en la presente investigación, en la cual el medio de crecimiento fue acotado por el volumen del envase. Además, este ensayo se inició durante la estación invernal, lo que pudo influir en la altura final alcanzada, ya que se ha registrado que temperaturas inferiores a

cero grados y las heladas afectan directamente el desarrollo en agave (Arreola-Tostado *et al.*, 2020), y se logran recuperar una vez que la temperatura aumenta.

Sandoval-Ramírez (2019) refirió en plántulas de *A. angustifolia* Haw. un valor promedio de largo de raíz de 10.9 cm al evaluar el efecto de dos tipos de sustrato (fibra de coco y perlita) y la mezcla de ambos con una concentración de solución nutritiva sobre el crecimiento y concentración de N y P, valor menor al de la presente investigación; sin embargo, esto puede explicarse por las características fenotípicas diferentes en el crecimiento de ambas especies.

Cabe destacar que los tratamientos con menor altura y largo de raíz (T5 y T7) comparten la característica de la omisión del sustrato de vermiculita en la composición de la mezcla, lo cual pudo restar Capacidad de Intercambio Catiónico (CIC) y, por ende, afectar la asimilación de nutrientes, lo que repercute en el desarrollo morfológico de la planta; como mencionan Monsalve-Camacho *et al.* (2021), la vermiculita es un material de origen geológico con CIC elevada, que ayuda a la retención de nutrientes en el medio de crecimiento, y así, las plantas puedan aprovecharlos.

El valor promedio de las variables diámetro de base, diámetro de tallo y diámetro de roseta mostraron diferencias significativas ($p \leq 0.05$) entre tratamientos. Para el diámetro de base, la diferencia entre los valores extremos fue 2.9 mm; los mejores tratamientos fueron el T4 y T6, mientras que el T5 y T7 registraron los valores más bajos. En cuanto al diámetro de tallo, la diferencia entre los valores extremos fue 4.2 mm, entre los que sobresalió el T4, mientras que el valor inferior lo obtuvo el T5. Respecto al diámetro de roseta, la disimilitud entre valores extremos fue 2.3 cm, con el T6 en el grupo estadístico superior y el T5 en el extremo inferior (Cuadro 4).

Cuadro 4. Diámetro de base, tallo y roseta de *Agave durangensis* Gentry en diversas mezclas de sustratos a nueve meses de su siembra.

Tratamiento	Diámetro		
	Base (mm)	Tallo (mm)	Roseta (cm)

1	8.8±0.3 ab	13.6±0.3 bc	7.3±0.3 abc
2	8.6±0.3 ab	14.5±0.3 ab	7.2±0.3 abc
3	7.8±0.2 bc	13.1±0.3 cd	6.8±0.2 bcd
4	8.9±0.3 a	14.9±0.3 a	7.5±0.2 ab
5	6.8±0.2 c	10.7±0.2 e	5.8±0.2 d
6	9.7±0.3 a	14.0±0.4 abc	8.1±0.3 a
7	7.2±0.2 c	12.0±0.3 d	6.3±0.3 cd
Valor <i>p</i>	<0.0001	<0.0001	<0.0001

1 = Turba, corteza compostada, vermiculita y perlita (50:20:15:15); 2 = Turba, corteza compostada, vermiculita y perlita (30:40:15:15); 3 = Corteza compostada, vermiculita y perlita (50:25:25); 4 = Turba, vermiculita y perlita (50:25:25); 5 = Turba, corteza compostada y perlita (33.3:33.3:33.3); 6 = Turba, corteza compostada y vermiculita (33.3:33.3:33.3); 7 = Turba y corteza compostada (50:50). Letras diferentes en la misma columna indican diferencias ($p \leq 0.05$).

El diámetro de base no es una variable que se haya utilizado anteriormente en estudios de agave, pero se consideró un indicador apropiado de la robustez del sistema radical con respecto al diámetro de tallo. Enríquez-del Valle et al. (2013) llegaron a un resultado inferior; evaluaron el efecto de sustratos y dosis de fertirriego en la aclimatación y crecimiento de plántulas de *A. americana* L. var. *oaxacensis* Gentry obtenidas *in vitro*, y registraron un valor promedio de 13 mm. Sandoval-Ramírez (2019) estudió el efecto de los sustratos y la concentración de solución nutritiva sobre el crecimiento y concentración de N y P en plántulas de *A. angustifolia* y obtuvo un valor promedio de 9.71 mm, inferior al que se calculó en la presente investigación. La diferencia entre los valores puede deberse a la composición de la mezcla utilizada, que fue de fibra de coco y perlita en igual proporción; en este caso para esta variable, los mejores resultados se alcanzaron cuando las mezclas se integraban de 0 a 25 % por perlita.

Ramírez-Tobías *et al.* (2014) describieron que este tipo de plantas poseen hojas suculentas y cutículas gruesas que permiten el almacenamiento de agua; en el presente estudio se constató que el uso de turba, corteza de pino compostada y vermiculita permitieron un mejor desarrollo de la roseta, es decir, una mejor respuesta en ambientes con restricciones de humedad. Hernández-Vargas *et al.* (2006) establecieron un promedio de 10 cm en diámetro de roseta, siete meses después del trasplante de *A. durangensis* a bolsa; este valor es superior al registrado en esta investigación, diferencia que puede explicarse por la edad de la planta al momento de la evaluación.

El valor promedio de biomasa seca aérea mostró diferencia ($p \leq 0.05$) entre tratamientos; la diferencia entre valores extremos fue 0.8 g, en la que destacó el T6; lo contrario se observó en T5 y T7. En el caso de biomasa seca radical también existieron diferencias significativas entre tratamientos, con una diferencia de 0.23 g entre valores extremos; el T6 mostró mejor resultado, lo opuesto se verificó en el T5 (Cuadro 5).

Cuadro 5. Biomasa seca aérea y radical de *Agave durangensis* Gentry en tratamientos con diversas mezclas de sustratos a nueve meses de su siembra.

Tratamiento	Biomasa seca (g)	
	Aérea	Radical
1	1.1±0.07 b	0.28±0.02 cd
2	1.2±0.06 ab	0.33±0.02 abc
3	1.1±0.06 b	0.32±0.02 bc
4	1.2±0.05 ab	0.36±0.02 ab
5	0.6±0.04 c	0.17±0.01 e
6	1.4±0.10 a	0.41±0.03 a
7	0.8±0.06 c	0.23±0.02 de
Valor <i>p</i>	<0.0001	<0.0001

1 = Turba, corteza compostada, vermiculita y perlita (50:20:15:15); 2 = Turba, corteza compostada, vermiculita y perlita (30:40:15:15); 3 = Corteza compostada,

vermiculita y perlita (50:25:25); 4 = Turba, vermiculita y perlita (50:25:25); 5 = Turba, corteza compostada y perlita (33.3:33.3:33.3); 6 = Turba, corteza compostada y vermiculita (33.3:33.3:33.3); 7 = Turba y corteza compostada (50:50). Letras diferentes en la misma columna indican diferencias ($p \leq 0.05$).

Al evaluar el efecto de sustratos y dosis de fertirriego en la aclimatación y crecimiento de plántulas de *A. americana* obtenidas *in vitro*, Enríquez-del Valle et al. (2013) determinaron en biomasa seca aérea un valor promedio de 0.72 g, en tanto que para la radical fue de 0.30 g; valores inferiores a los obtenidos en este estudio. Rosales-Mata et al. (2013) analizaron la producción de agave en vivero, concluyeron que el mejor crecimiento de planta se logró con la combinación de turba, perlita y vermiculita, en proporción de 55:21:24, respectivamente; en este caso los resultados mostraron que la combinación de turba, corteza de pino compostada y vermiculita en igual proporción hicieron posible un mejor desarrollo de la planta; además, señalaron que las características intrínsecas de los sustratos tuvieron más efecto que las características de porosidad de las mezclas; por ello, a pesar de que todos los tratamientos recibieron la misma fertilización, la absorción de los nutrientes resultó favorecida en las mezclas con vermiculita que fueron las que registraron mayor producción de biomasa seca.

Conclusiones

El crecimiento de la planta fue mejor en la mezcla compuesta por turba, corteza de pino compostada y vermiculita, en partes iguales (33.3 %). La planta de menor calidad se obtuvo cuando se utilizó la mezcla de turba, corteza de pino compostada y perlita en partes iguales (33.3 %). La respuesta diferenciada del desarrollo de la

especie a las mezclas alude a la necesidad de ajustar los tipos de sustratos y sus proporciones a los requerimientos de la especie a producir.

Agradecimientos

A la Secretaría de Ciencia, Humanidades, Tecnología e Innovación (Secihti) por el apoyo otorgado al autor de correspondencia derivado de una estancia posdoctoral.

Conflicto de intereses

Los autores declaran no tener conflicto de intereses.

Contribución por autor

Alejandra Medina García: establecimiento, monitoreo, evaluación de ensayo experimental; Silvia Salcido Ruiz: diseño y supervisión de ensayo, así como redacción de manuscrito; José Ángel Prieto Ruíz: diseño, supervisión del experimento, y revisión del manuscrito; Enrique Santana Aispuro: establecimiento y monitoreo de ensayo experimental; Rosa Elvira Madrid Aispuro: análisis estadístico y revisión del manuscrito.

Referencias

Aguilera-Rodríguez, M., Aldrete, A., Trejo-Téllez, L. I., y Ordaz-Chaparro, V. M. (2021). Sustratos con aserrín de coníferas y latifoliadas para producir planta de *Pinus patula* Schiede ex Schltdl. et Cham. *Agrociencia*, 55(8), 719-732. <https://doi.org/10.47163/agrociencia.v55i8.2664>

- Aldrete, A., Sánchez-Velázquez, J. R., Aguilera-Rodríguez, M., Cibrián-Tovar, D., y García-Díaz, S. E. (Eds.). (2023). *Manual de buenas prácticas para el manejo de la salud de planta en viveros forestales*. Universidad Autónoma Chapingo. <https://es.scribd.com/document/829229770/ManualBuenasPrcticas-150-MEDIA1>
- Aldrete, A., y Aguilera-Rodríguez, M. (2019). Insumos para la producción. En S. E. García-Díaz (Ed.), *Fundamentos para el manejo de la salud de los viveros forestales* (pp. 31-35). Universidad Autónoma Chapingo. <https://sivicoff.cnf.gob.mx/ContenidoPublico/10%20Material%20de%20Consulta/ProyectosInvestigacion/P3/Producto%202.2%20Manual%20Fundamentos%20para%20el%20Manejo%20de%20la%20Salud%20de%20los%20Viveros%20Forestales%20.pdf>
- Arreola-Tostado, J. M., Montoya-Jasso, V. M., Arreola-Nava, J. M., Castillo-Valdez, X., Olivares-Arreola, E. A., y Báez-Pérez, A. (2020). Efecto de la aplicación de levasa (mosto de caña de azúcar) en la producción y calidad de *Agave tequilana* Weber. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 11(6), 1311-1324. <https://doi.org/10.29312/remexca.v11i6.2216>
- Comisión Nacional Forestal. (2020). *Estado que guarda el sector forestal en México. Bosques para el bienestar social y climático* [Libro blanco]. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. <http://www.conafor.gob.mx:8080/documentos/docs/1/7825El%20Estado%20que%20guarda%20el%20Sector%20Forestal%20en%20M%c3%a9xico%202020.pdf>
- Contreras-Cruz, L. F. (2023). *Diseños experimentales aplicados a la agronomía usando R y SAS*. Universidad Autónoma Chapingo. https://fitotecnia.chapingo.mx/wp-content/uploads/2023/03/Libro_Disenos_Experimentales-2023.pdf
- Cruz-Vasconcelos, S. T., Ruiz-Posadas, L. del M., García-Moya, E., Sandoval-Villa, M., y 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>

- Enríquez-del Valle, J. R., Estrada-Silias, A., Rodríguez-Ortíz, G., Velasco-Velasco, V. A., y Campos-Ángeles, G. V. (2013). Sustrato y dosis de fertirriego en la aclimatización de vitroplantas de *Agave americana* var. *oaxacensis*. *Revista de la Facultad de Ciencias Agrarias*, 45(2), 341-348. <https://www.redalyc.org/pdf/3828/382837655002.pdf>
- Figueredo-Urbina, C. J., Álvarez-Ríos, G. D., García-Montes, M. A., & Octavio-Aguilar, P. (2021). Morphological and genetic diversity of traditional varieties of agave in Hidalgo State, Mexico. *PLoS ONE*, 16(7), Article e0254376. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0254376>
- García-Rodríguez, J. L., Sarmiento-López, H., Sigala-Rodríguez, J. Á., y Monárrez-González, J. C. (2023). *Producción de planta y establecimiento de plantaciones comerciales de Agave durangensis Gentry* [Folleto Técnico Núm. 128]. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. https://www.researchgate.net/publication/378179556_PRODUCION_DE_PLANTA_Y_ESTABLECIMIENTO_DE_PLANTACIONES_COMERCIALES_DE_Agave_durangensis_Gentry
- Gayosso-Rodríguez, S., Borges-Gómez, L., Villanueva-Couoh, E., Estrada-Botello, M. A., y Garruña-Hernández, R. (2016). Sustratos para producción de flores. *Agrociencia*, 50(5), 617-631. <https://www.agrociencia-colpos.org/index.php/agrociencia/article/view/1237>
- Hernández-Vargas, V., Orea-Lara, G., Cifuentes-Díaz de León, A., y Gómez-Ortíz, S. (2006). Desarrollo de las plántulas de *Agave durangensis* en tres sistemas de enviverado. *VID SUPRA*, 1(2), 33-38. <https://www.ipn.mx/assets/files/ciidirdurango/docs/vidsupra/revistas/vs-v1n2.pdf>
- Landis, T. D., Tinus, R. W., McDonald, S. E., & Barnett, J. P. (1990). *The Container Tree Nursery Manual* (Vol. 2 Containers and growing media). United State Department of Agriculture. <https://rngr.net/publications/ctnm/volume-2>
- Loera-Gallegos, H. M., Corral-Rivas, J. J., Montiel-Antuna, E., Solis-Moreno, R., Chávez-Simental, J. A., y González-Cervantes, G. (2018). Calidad de sitio para *Agave*

- durangensis* Gentry en la Sierra de Registrillo, Durango. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 9(6), 1171-1180. <https://doi.org/10.29312/remexca.v9i6.1582>
- Madrid-Aispuro, R. E., Prieto-Ruíz, J. Á., Aldrete, A., Hernández-Díaz, J. C., Wehenkel, C., Chávez-Simental, J. A., & Mexal, J. G. (2020). Alternative substrates and fertilization doses in the production of *Pinus cembroides* Zucc. in nursery. *Forests*, 11(1), Article 71. <https://doi.org/10.3390/f11010071>
- Monsalve-Camacho, O. I., Henao-Toro, M. C., y 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), Artículo e1977. https://doi.org/10.21930/rcta.vol22_num1_art:1977
- Prieto-Ruíz, J. Á., Sigala-Rodríguez, J. Á., Pinedo-Lozano, S., García-Rodríguez, J. L., Madrid-Aispuro, R. E., García-Pérez, J. L., y Mejía-Bojórquez, J. M. (2009). *Calidad de planta en los viveros forestales del estado de Durango*. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias.
- Ramírez-Tobías, H. M., Peña-Valdivia, C. B., Aguirre R., J. R., Reyes-Agüero, J. A., Sánchez-Urdaneta, A. B., & Valle G., S. (2012). Seed germination temperatures of eight Mexican *Agave* species with economic importance. *Plant Species Biology*, 27(2), 124-137. <https://doi.org/10.1111/j.1442-1984.2011.00341.x>
- Ramírez-Tobías, H. M., Peña-Valdivia, C. B., y Aguirre, J. R. (2014). Respuestas bioquímico-fisiológicas de especies de *Agave* a la restricción de humedad. *Botanical Sciences*, 92(1), 131-139. <https://doi.org/10.17129/botsoci.156>
- Rosales-Mata, S., Sígala-Rodríguez, J. Á., y Bustamante-García, V. (2013). *Producción y trasplante de planta de agave en vivero* [Folleto Técnico Núm. 70]. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. https://www.researchgate.net/publication/273727453_Produccion_y_trasplante_de_planta_de_Agave_en_vivero
- Rosales-Serna, R., Ríos-Saucedo, J. C., Rosales-Mata, S., Santana-Espinoza, S., y Domínguez-Martínez, P. A. (2020). Fertilización química y crecimiento de

maguey cenizo y sotol en plantaciones comerciales establecidas en Durango. *Ciencia e Innovación*, 3(1), 43-52.

https://www.researchgate.net/publication/342393173_FERTILIZACION_QUIMICA_Y_CRECIMIENTO_DE_MAGUEY_CENIZO_Y_SOTOL_EN_PLANTACIONES_COMERCIALES_ESTABLECIDAS_EN_DURANGO

Sandoval-Ramírez, M. G. (2019). *Producción de plántulas de maguey sacatoro (Agave angustifolia Haw) y determinación de nitrógeno y fósforo total, con diferentes sustratos y concentración de solución nutritiva* [Tesis Maestría, Universidad Autónoma de Guerrero]. http://ri.uagro.mx/bitstream/handle/uagro/1382/TM_10241062_19.pdf?sequence=1&isAllowed=y

SAS Institute Inc. (2009). *Statistical Analysis System* (v.9.2) [Software]. SAS Institute Inc. <https://www.scirp.org/reference/referencespapers?referenceid=590544>

Secretaría de Economía. (2016). *Norma Mexicana NMX-AA-170-SCFI-2016. Certificación de operación de viveros forestales*. Diario Oficial de la Federación. <https://biblioteca.semarnat.gob.mx/janium/Documentos/Ciga/agenda/DOFs/NMX-AA-170-SCFI-2016.pdf>

United Nations Environment Programme. (2022). *Global Peatlands Assessment: The State of the World's Peatlands: Evidence for action toward the conservation, restoration, and sustainable management of peatlands* (Main Report: DEP/2489/NA).

United Nations Environment Programme. <https://www.unep.org/resources/global-peatlands-assessment-2022>



Todos los textos publicados por la **Revista Mexicana de Ciencias Forestales** –sin excepción– se distribuyen amparados bajo la licencia *Creative Commons 4.0 Atribución-No Comercial (CC BY-NC 4.0 Internacional)*, que permite a terceros utilizar lo publicado siempre que mencionen la autoría del trabajo y a la primera publicación en esta revista.