



DOI: <https://doi.org/10.29298/rmcf.v9i49.175>

Artículo

Alternativas de fertilización para producir *Prosopis laevigata* (Humb. & Bonpl. ex Willd.) M. C. Johnst en vivero

Fertilization alternatives to produce *Prosopis laevigata* (Humb. & Bonpl. ex Willd.) M. C. Johnst at the nursery

Gardenia De Jesús Reyes¹, José Ángel Prieto Ruíz¹, Isaac Vázquez Cisneros^{2*}, Miguel Ángel López López³, José Ciro Hernández Díaz⁴ y Jorge Armando Chávez Simental⁴

Abstract:

At present, little is known about the different options that involve the use of water-soluble and controlled release fertilizers, as well as the application doses in the production of *Prosopis laevigata* at the nursery. The aim of the present study was to assess the efficiency of the water soluble fertilizers Triple 16 (T16), Triple 19 (T19) and Poly-feed® (Pf), in 100 mg L⁻¹ doses, combined with 3 and 6 g L⁻¹ of controlled release fertilizer (Multicote® = M) in substrate, as well as the costs involved in its application. The assessed treatments were: 1 (0 g M + water), 2 (3 g M + water), 3 (3 g M + T19), 4 (3 g M + Pf), 5 (3 g M + T16), 6 (6 g M + Water), 7 (6 g M + T19), 8 (6 g M + Pf) and 9 (6 g M + T16) arranged in a completely randomized experimental design with factorial arrangement and four replications. The variables of interest were height, diameter, total dry biomass and the robustness index. The water-soluble and controlled release fertilizers, as well as the combination of both had a significant effect on the addressed variables ($p < 0.001$). Heights of 27.49 to 30.37 cm were obtained and the most outstanding diameters varied from 3.37 to 3.59 mm. The robustness index in treatments 1, 2, 5, 6 and 8 were less than 8. It is concluded that most of the variables responded better to treatment 7, which was more expensive than 5, and had similar results.

Key words: Costs, growth, controlled release fertilizer, water-soluble fertilizers, mesquite, restoration.

Resumen:

Actualmente se conoce poco sobre las diferentes opciones que involucran el uso de fertilizantes hidrosolubles y de liberación controlada, así como las dosis de aplicación en la producción de *Prosopis laevigata* en vivero. El objetivo del presente estudio consistió en evaluar la eficiencia de los fertilizantes hidrosolubles Triple 16 (T16), Triple 19 (T19) y Poly-feed® (Pf), en dosis de 100 mg L⁻¹, combinados con 3 y 6 g L⁻¹ de fertilizante de liberación controlada (Multicote® = M) en sustrato, así como los costos implicados en su aplicación. Los tratamientos evaluados fueron: 1 (0 g M + agua), 2 (3 g M + agua), 3 (3 g M + T19), 4 (3 g M + Pf), 5 (3 g M + T16), 6 (6 g M + agua), 7 (6 g M + T19), 8 (6 g M + Pf) y 9 (6 g M + T16) dispuestos en un diseño experimental completamente al azar con arreglo factorial y cuatro repeticiones. Las variables de interés fueron la altura, el diámetro, la biomasa seca total y el índice de robustez. Los fertilizantes hidrosolubles, de liberación controlada y la combinación de ambos tuvieron un efecto significativo en las variables evaluadas ($p < 0.001$). Se obtuvieron alturas de 27.49 a 30.37 cm y los diámetros más destacados variaron de 3.37 a 3.59 mm. El índice de robustez en los tratamientos 1, 2, 5, 6 y 8 fueron menores a 8. Se concluye que la mayoría de las variables respondieron mejor al tratamiento 7, pero fue más costoso que el 5, que produjo resultados similares.

Palabras clave: Costos, crecimiento, fertilizante de liberación controlada, fertilizantes hidrosolubles, mezquite, restauración.

Fecha de recepción/Reception date: 13 de diciembre de 2017

Fecha de aceptación/Acceptance date: 16 de julio de 2018

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

² Programa Institucional de Doctorado en Ciencias Agropecuarias y Forestales, Universidad Juárez del Estado de Durango. México. correo-e: i_vazquez@ujed.mx

³Colegio de Postgraduados, Campus Montecillo. México.

⁴Instituto de Silvicultura e Industria de la Madera, Universidad Juárez del Estado de Durango. México.

Introducción

El mezquite, *Prosopis laevis* (Humb. & Bonpl. ex Willd.) M. C. Johnston, habita principalmente en zonas áridas y semiáridas. Es importante debido a que puede fijar nitrógeno, favorece el enriquecimiento de suelo a su alrededor, promueve el crecimiento de matorrales asociados al sitio, y, por lo tanto, contribuye a disminuir la erosión del suelo; así mismo, actúa como planta nodriza de numerosas especies de aves y roedores (García *et al.*, 2012; Ríos *et al.*, 2012); además, tiene usos diversos. Algunas comunidades marginadas subsisten con productos derivados del mezquite como la madera, que es utilizada en la elaboración de muebles; las flores atraen a las abejas para la producción de miel; el exudado del tronco que emite la goma de mezquite (Rodríguez *et al.*, 2014) que es un producto de gran aprovechamiento industrial (López *et al.*, 2006) y vainas en alimentación humana o animal (Barba *et al.*, 2006; Andrade *et al.*, 2011).

Debido a que la especie es considerada planta invasora en algunas áreas de pastizal y terrenos abandonados por la agricultura (Trucios *et al.*, 2012), se ha propiciado su deforestación y ha existido una pérdida irreversible de su diversidad genética (Buendía *et al.*, 2007). De los 633 876 km² de superficie que inicialmente existían de mezquite y matorral en México, de 1976 a 2007 se perdieron 66 793 km² (Rosete *et al.*, 2014); esto propició la erosión y la dispersión de nutrientes almacenados bajo las plantas y afectó la supervivencia de las mismas (Gutiérrez y Squeo, 2004).

En los últimos años ha crecido el interés por producir mezquite con fines de restauración de ecosistemas perturbados (Prieto *et al.*, 2013; Cervantes *et al.*, 2018). En el período 2000-2007 se advirtió una desaceleración de la pérdida de este tipo de vegetación (Rosete *et al.*, 2014). Los principales factores limitantes para la reforestación de mezquite en Durango son el reducido tamaño de la plántula producida en el vivero (< 20 cm), la poca disponibilidad de agua y el ataque de roedores como las liebres (*Lepus californicus* Gray, 1837) (Ríos *et al.*, 2012).

Otro factor importante es la calidad de planta, la cual a través de los atributos morfológicos y fisiológicos puede correlacionarse cuantitativamente con su desempeño (Wilson y Jacobs, 2006), pues se ha demostrado que son características esenciales para el éxito de las plantaciones de *Quercus ilex* L. (Palacios et al., 2009); sin embargo, es escaso el conocimiento sobre las diferentes técnicas que involucran la generación o adaptación de tecnologías en los viveros forestales en los que se produce mezquite (Prieto et al., 2013; Salto et al., 2013).

Para mejorar la calidad de la planta se han buscado alternativas entre las cuales, la fertilización es una práctica de cultivo sustancial (Rueda et al., 2012), porque consiste en aplicar al sustrato y al follaje (Fageria et al., 2009) los nutrimentos esenciales que las plantas requieren para su desarrollo óptimo; los de liberación controlada al sustrato y los hidrosolubles son los dos métodos de fertilización más comunes en los viveros (Bi et al., 2010). Los de liberación controlada han ganado reconocimiento en la producción forestal (Rose et al., 2004), y son una opción para las plantas durante su desarrollo, y se pueden suministrar en una sola aplicación (Aguilera et al., 2016). La fertilización soluble suele complementarse con la fertilización del medio de crecimiento (Soria, 2008), y puede ajustarse con precisión en cada etapa de desarrollo de las plántulas (Rincón et al., 2007).

Por la trascendencia de mejorar la calidad de planta, en este trabajo se evaluaron opciones de fertilización, mediante el uso de materiales de liberación controlada, complementados con fertilizantes hidrosolubles de tipo agrícola, que aportan nitrógeno (N), fósforo (P) y potasio (K) a un costo bajo, y que tienen potencial para mejorar la producción de planta de mezquite en vivero; además, se evaluó el costo de las diferentes formas de fertilización utilizadas. Para ello, se partió de la hipótesis de que al menos una combinación de fertilizantes de liberación controlada y fertilizantes de uso agrícola hidrosolubles en agua, favorecen el crecimiento de la planta en vivero y permite reducir costos, en comparación con las prácticas típicas de fertilización que se utilizan en la actualidad en los viveros forestales.

Con base en lo anterior, el objetivo de esta investigación consistió en cuantificar el efecto de dos dosis de fertilizantes de liberación controlada y tres tipos de

fertilizantes agrícolas hidrosolubles en agua, en el crecimiento en altura de la parte aérea y en el diámetro al cuello de la raíz, así como en biomasa e índice de robustez de *Prosopis laevigata* en vivero; y, determinar los costos de producción de planta para compararlos entre las diferentes opciones de fertilización empleadas.

Materiales y Métodos

Condiciones de producción

El estudio se realizó en el vivero de la Facultad de Ciencias Forestales de la Universidad Juárez del Estado de Durango, ubicado en la ciudad de Durango, Durango, a 24°00'49"N y 104°40'58" O, a una altitud de 1 860 m. El experimento duró cinco meses y los primeros cuatro estuvo en condiciones de invernadero (cubierta con plástico de polietileno calibre 720 tratado contra rayos ultravioleta; sobre el plástico de polietileno se colocó una malla sombra a 60 %); durante el quinto mes la planta estuvo a la intemperie. La temperatura media registrada en condiciones de invernadero fue de 27.9 °C y la de intemperie de 29.0 °C.

La planta se produjo en charolas de poliestireno de 77 cavidades, de 35 cm de ancho, 60 cm de largo, 15 cm de altura y 170 mL por cavidad. Como sustrato se utilizó una mezcla compuesta por 50 % de turba (*peat moss*) y 50 % de corteza de pino. Previo a la siembra, la semilla se sometió a un tratamiento pregerminativo con remojo, durante 60 segundos en agua a 94 °C; para prevenir el desarrollo de hongos se aplicaron 2.5 g L⁻¹ de Benomilo durante la siembra.



Tratamientos evaluados

Se evaluaron nueve tratamientos compuestos por dos dosis de fertilizante de liberación controlada y tres tipos de fertilizantes hidrosolubles, así como el testigo en el que solo se aplicó agua (Cuadro 1). El fertilizante de liberación controlada (8-9 meses de liberación) *Multicote*[®] 18N - 6P₂O₅ - 12K₂O + 2MgO + micro nutrientes (*Haifa Chemicals* Ltd.) se incorporó en el sustrato en dosis de 3 y 6 g L⁻¹. Los fertilizantes hidrosolubles se aplicaron cada 48 h en una dosis constante de 100 mg L⁻¹. El proceso de fertilización comenzó a los 20 días de la siembra (DDS) y duró tres meses, con fecha de término 10 de julio de 2015.

Cuadro 1. Composición y dosis de los tratamientos evaluados.

Tratamiento	Fertilizante de liberación controlada (g L ⁻¹)	Fertilizante hidrosoluble (N-P-K)
1	0	Agua
2	3	Agua
3	3	Triple 19 (19 N - 19 P ₂ O ₅ - 19 K ₂ O)
4	3	<i>Poly-feed</i> [®] (20 N - 9 P ₂ O ₅ - 20 K ₂ O)
5	3	Triple 16 (16 N - 16 P ₂ O ₅ - 16 K ₂ O)
6	6	Agua
7	6	Triple 19 (19 N - 19 P ₂ O ₅ - 19 K ₂ O)
8	6	<i>Poly-feed</i> [®] (20 N - 9 P ₂ O ₅ - 20 K ₂ O)
9	6	Triple 16 (16 N - 16 P ₂ O ₅ - 16 K ₂ O)

Evaluación

A los 116 DDS se evaluaron ocho plantas por unidad experimental. Las variables respuesta consideradas fueron: la altura de la parte aérea (cm), que se registró con una regla graduada de 30 cm (*Trupper*[®] 14387) y la medida se tomó con aproximación hasta décimas de centímetro; el diámetro del tallo (mm), tomado a la altura del cuello de la planta con un vernier digital con precisión de centésimas de milímetro (*SURTEK*[®] 122204). Para la biomasa seca de la parte aérea y del sistema radical (g) se utilizó una estufa de secado *FELISA*[®] FE-291D a 70 °C durante 72 h, después se pesaron en una balanza analítica *Ohaus*[®] PA214. Cada sección fue previamente empacada en bolsas de papel con su respectivo registro (tratamiento, repetición y número de planta). Con las variables anteriores se determinó el índice de robustez, que es un indicador de la calidad de la planta.

El costo del fertilizante utilizado durante el experimento se calculó en función de la proporción aplicada de cada tipo de fertilizante hidrosoluble por tratamiento. Adicionalmente, se incorporó el costo del fertilizante de liberación controlada con base en los tratamientos definidos, con precios promedio cotizados en 2017.

Diseño experimental y análisis estadístico

Los tratamientos se distribuyeron en un diseño experimental completamente al azar con arreglo factorial, con cuatro repeticiones por tratamiento. Como los datos no cumplían el supuesto de normalidad, para todas las variables evaluadas se utilizó la prueba estadística no paramétrica de *Kruskal-Wallis* (Kruskal y Wallis, 1952), además de la prueba de separación de medias de *Bonferroni-Dunn* ($p < 0.05$) (Pohlert, 2014). El análisis estadístico se realizó con el *software* estadístico R 3.2.3 (R Core Team, 2015). El modelo estadístico utilizado fue el siguiente:

$$Y_{ij} = \mu + A_i + B_j + (AB)_{ij} + e_{ijk}$$

Donde:

Y_{ij} = Variable respuesta

μ = Efecto medio general

A_i = Efecto atribuido al i -ésimo nivel del factor fertilizante hidrosoluble

B_j = Efecto atribuido al j -ésimo nivel del factor fertilizante de liberación controlada

$(AB)_{ij}$ = Efecto atribuido a la interacción entre el i -ésimo nivel del factor A y el j -ésimo nivel del factor B

e_{ijk} = Error aleatorio

Resultados y Discusión

Fertilizantes de liberación controlada

La aplicación del fertilizante de liberación controlada *Multicote*[®] tuvo efectos significativos en las variables evaluadas ($p < 0.001$); en la altura de la parte aérea y el diámetro al cuello de la raíz, la dosis de 3 g mostró igualdad estadística con respecto a los ejemplares que recibieron la dosis de 6 g; sin embargo, en la biomasa seca total la dosis mayor se ubicó en el grupo estadístico superior (Cuadro 2). Es evidente que la falta de suministro de la opción de liberación controlada provocó un menor crecimiento en las plantas.



Cuadro 2. Efecto del fertilizante de liberación controlada e hidrosoluble en el sustrato a los 116 días de siembra.

Tipo de fertilizante	Altura de la parte aérea (cm)	Diámetro al cuello de la raíz (mm)	Biomasa seca total (g)	Índice de robustez
Fertilizante de liberación controlada				
0 g	10.13 ± 0.65 b	2.14 ± 0.12 b	0.43 ± 0.03 c	4.51 ± 0.28
3 g	26.88 ± 0.54 a	3.45 ± 0.03 a	2.29 ± 0.05 b	7.80 ± 0.15
6 g	28.73 ± 0.56 a	3.55 ± 0.03 a	2.60 ± 0.04 a	8.09 ± 0.15
Fertilizante hidrosoluble				
Agua	20.49 ± 1.12 b	3.02 ± 0.09 b	1.58 ± 0.12 b	6.44 ± 0.24
Triple 19	28.93 ± 0.79 a	3.49 ± 0.04 a	2.50 ± 0.08 a	8.30 ± 0.21
<i>Poly-feed</i> [®]	28.23 ± 0.70 a	3.52 ± 0.04 a	2.53 ± 0.06 a	8.03 ± 0.19
Triple 16	28.39 ± 0.74 a	3.54 ± 0.04 a	2.60 ± 0.05 a	8.04 ± 0.23

Letras distintas en la misma columna indican diferencias significativas, según la prueba de *Bonferroni-Dunn* ($p < 0.05$).

Estos resultados coinciden con los de Bustos *et al.* (2008), quienes evaluaron el crecimiento de tres especies arbóreas (*Nothofagus dombeyi* (Mirb.) Oerst., *Nothofagus nervosa* (Mirb.) Oerst. y *Eucryphia cordifolia* Cav.) al aplicar tres dosis del fertilizante de liberación controlada *Osmocote*[®] (de 2.5 a 7.5 g L⁻¹); concluyeron que las dosis más altas fueron las más favorables.

Por su parte, Aguilera *et al.* (2016) también observaron que en plántulas de *Pinus montezumae* Lamb. producidas con tres dosis (4, 6 y 8 g L⁻¹) de *Basacote*[®] Plus, *Multicote*[®] y *Osmocote*[®] Plus en dos sustratos, las dosis de 6 y 8 g L⁻¹ estimularon aún más su crecimiento.

Fertilizantes hidrosolubles

El uso de los fertilizantes hidrosolubles durante el riego sólo registró diferencias en las variables de respuesta ($p < 0.001$) con respecto al testigo; es decir, en las que se regó sin fertilizante hidrosoluble. En los tratamientos en los que se aplicaron los diversos fertilizantes hidrosolubles en agua, los resultados de las variables evaluadas ($p < 0.001$) fueron similares entre sí (Cuadro 2).

Fertilizantes de liberación controlada e hidrosolubles

La aplicación del fertilizante de liberación controlada y los hidrosolubles, generaron diferencias significativas en la altura de la parte aérea, diámetro del cuello de la raíz y biomasa seca total ($p < 0.001$); además, evidenciaron un índice de robustez ligeramente superior al indicado por Prieto *et al.* (2012) (< 8), pero que puede ser satisfactorio (Cuadro 3).

Cuadro 3. Resultados de las variables evaluadas y costos por fertilizantes a los 116 días de siembra.

Tratamiento	Altura de la parte aérea (cm)	Diámetro al cuello de la raíz (mm)	Biomasa seca total (g)	Índice de robustez	Costo del fertilizante por planta (MXN)
1	10.13 ± 0.65 c	2.14 ± 0.12 b	0.43 ± 0.03 c	4.51 ± 0.28	0
2	23.40 ± 1.03 bc	3.37 ± 0.08 a	1.81 ± 0.09 bc	6.96 ± 0.30	0.026
3	27.49 ± 1.06 ab	3.38 ± 0.05 a	2.25 ± 0.11 ab	8.12 ± 0.28	0.048
4	28.52 ± 1.00 ab	3.48 ± 0.06 a	2.50 ± 0.09 a	8.21 ± 0.30	0.064
5	28.14 ± 0.90 ab	3.58 ± 0.07 a	2.59 ± 0.07 a	7.90 ± 0.29	0.050
6	27.95 ± 1.16 ab	3.56 ± 0.08 a	2.50 ± 0.11 a	7.84 ± 0.26	0.053
7	30.37 ± 1.11 a	3.59 ± 0.07 a	2.74 ± 0.10 a	8.49 ± 0.32	0.075
8	27.95 ± 1.00 ab	3.55 ± 0.06 a	2.56 ± 0.08 a	7.86 ± 0.26	0.091
9	28.64 ± 1.20 ab	3.51 ± 0.05 a	2.61 ± 0.08 a	8.18 ± 0.36	0.077

Letras distintas en la misma columna indican diferencias significativas, según la prueba de *Bonferroni-Dunn* ($p < 0.05$).

La altura de la parte aérea sobresalió con el tratamiento 7, que consistió en la mayor dosis del producto de liberación controlada y con el fertilizante hidrosoluble Triple 19. En cuanto al diámetro del cuello de la raíz, todos los tratamientos fertilizados, ya sea con el de liberación controlada, el hidrosoluble o combinados, quedaron en el grupo estadístico superior y registraron diferencias mayores a 1.0 mm con respecto al testigo. Los valores de los tratamientos más destacados variaron de 3.4 a 3.6 mm, con una diferencia máxima de 0.2 mm entre ellos. Los valores de biomasa seca total tuvieron una fluctuación promedio entre tratamientos de 0.48 y 2.74 g, con los mejores resultados en los tratamientos 4 al 9 (Cuadro 3).

La Norma Mexicana NMX-AA-170-SCFI-2016 "Certificación de viveros forestales", establece que *Prosopis laevigata* debe tener un intervalo de altura entre 25 y 30 cm y un diámetro al cuello de la raíz mínimo de 4 mm a los cinco meses de edad (SCFI, 2016). En este estudio las alturas se alcanzaron en cuatro meses aproximadamente, excepto en los tratamientos 1 y 2; en lo que respecta al diámetro del cuello de la raíz, no se logró el mínimo recomendado, pero los valores fueron muy cercanos; por lo tanto, todos los tratamientos donde se fertilizó fueron eficaces. El diámetro del cuello de la raíz es considerado como una de las variables más importantes para definir la calidad de planta (Sáenz *et al.*, 2010; Tsakalidimi *et al.*, 2013), y tiene relación con la altura, así como con el desarrollo radical de la planta (Jacobs *et al.*, 2009). Por su parte, Prieto *et al.* (2009) y Sáenz *et al.* (2010) argumentaron que las plantas con diámetros grandes soportan doblamiento y resisten más el daño causado por insectos y animales, por lo cual este criterio es considerado importante en el desempeño temprano de una plantación.

Prieto *et al.* (2013) evaluaron seis mezclas de sustratos en la producción de *Prosopis laevigata*, y aplicaron 7 kg m^{-3} de fertilizante de liberación controlada 15-07-15 de N-P-K, complementado dos veces por semana con el fertilizante hidrosoluble Peters® Professional (PP), crecimiento (20-09-19 de N-P-K) en 100 ppm, y PP finalizador (4-25-35 de N-P-K), en dosis de 100 ppm. A las 21 semanas de crecimiento de la planta, concluyeron que el diámetro promedio de la planta fluctuó entre 2.91 y 3.05 mm, mientras que la altura, de 19.7 a 25.7 cm. En el

presente estudio se observó un mayor incremento en las dos variables en menor tiempo (30 días menos), con lo que se corrobora la influencia de N P y K.

Prieto *et al.* (2012) establecieron que el índice de robustez para esta especie debe ser < 8 lo cual define un buen balance entre la altura y el diámetro, y permite a la planta sobrevivir ante condiciones de poca humedad y desecación por viento, debido a la resistencia que opone el tejido leñoso, además de contener reservas de agua y fotosintatos; un valor superior describe una planta desproporcionada y susceptible a daños por viento, sequía y heladas (Rodríguez, 2008). Derivado de lo anterior, los tratamientos que recibieron alguna fuente nutrimental revelaron índices de robustez adecuados, lo cual manifiesta que las rutinas de fertilización usadas son correctas (Cuadro 3).

Con base en los resultados obtenidos en el presente estudio se aprecia que el factor que marcó diferencias entre tratamientos fue el fertilizante de liberación controlada aplicado en dos dosis, y con los mejores resultados en la dosis mayor (6 g L^{-1}); Rose *et al.* (2004) señalaron que la característica más destacada de este tipo de fertilizantes es su capacidad para que los nutrimentos se apliquen por única vez y que se liberen en forma gradual y por tiempo prolongado, lo que a su vez evita la pérdida de nutrimentos por lixiviación. Por otro lado, los mismos autores indican que es conveniente evaluar mezclas de fertilizantes de liberación controlada y productos hidrosolubles, de manera que se pueda determinar la forma óptima de nutrición en las plantas.

Análisis de costos de los fertilizantes en la producción de planta

El costo generado por la aplicación de los fertilizantes de liberación controlada y los hidrosolubles, fue mayor en el tratamiento 7 con MXN 0.077 por planta producida; y, en contraste, el menor costo fue el del tratamiento 2 con MXN 0.026 por planta, al invertir sólo en el fertilizante de liberación controlada en una dosis de 3 g L^{-1} de agua (Cuadro 3).

Así, para producir un millón de plantas con el tratamiento 7, el costo debido al uso del fertilizante sería de MXN 77 000.00 mientras que con el tratamiento 2 solo se requeriría MXN 26 000.00. Sin embargo, la respuesta de las variables morfológicas que definen la calidad de planta, muestran que el tratamiento 5 es el mejor, dado que en la mayoría de las variables evaluadas no presentó diferencias estadísticas con respecto al tratamiento 7 y su costo debido a la fertilización, para la producción de un millón de plantas en este tratamiento asciende a MXN 50 000.00 lo que representa un ahorro de 35 %; es decir, MXN 27 000.00 (Figura 1).

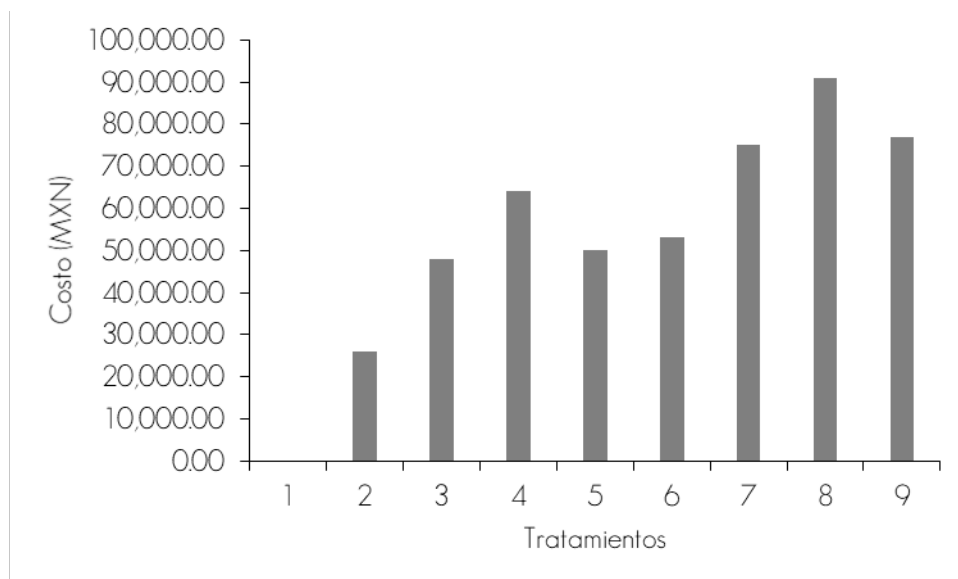


Figura 1. Costo de fertilizantes por tratamiento para la producción de un millón de plantas.

Aguilera *et al.* (2016) hacen referencia a los costos del fertilizante, y determinaron que el fertilizante de liberación controlada 18-6-12 de N-P-K es el más económico para hacer plantaciones de *Pinus montezumae* con fines de restauración; este mismo producto se probó en el presente estudio, y de igual manera se encontró diferencia significativa en el peso seco total. Además, es más barato fertilizar con 3 g que con la dosis mayor (6 g), pero la dosis mayor aumenta las características morfológicas de la planta. Finalmente, es factible obtener las tallas mínimas recomendadas para la especie con cualquiera de las dos dosis de fertilizante.

Conclusiones

Los fertilizantes hidrosolubles Triple 16 y Triple 19, en conjunto con el fertilizante de liberación controlada, propician una buena respuesta en la mayoría de las variables morfológicas de la planta. Por lo tanto, resulta ser un respaldo a la fertilización aplicada en el sustrato para optimizar el crecimiento inicial en plántulas de esta especie en campo.

El fertilizante Triple 19 junto con la dosis de 6 g de fertilizante de liberación controlada presenta los mejores resultados en las variables morfológicas; sin embargo, es el tercero más costoso.

Con base a un balance entre las mejores respuestas de las plantas en las variables morfológicas y los menores costos debido a la fertilización, se recomienda utilizar el tratamiento 5.

Agradecimientos

A la Facultad de Ciencias Forestales de la Universidad Juárez del Estado de Durango, por las facilidades otorgadas para el desarrollo del ensayo en las instalaciones del vivero.

Conflicto de intereses

Los autores declaran no tener conflicto de intereses.

Contribución por Autor

Gardenia De Jesús Reyes: establecimiento del experimento, toma y captura de datos, revisión de literatura y redacción del documento; José Ángel Prieto Ruíz: diseño y establecimiento del ensayo, edición del documento; Isaac Vázquez Cisneros: diseño y establecimiento del experimento, revisión y edición del documento; Miguel Ángel López López: interpretación de los resultados sobre fertilización y revisión del documento; José Ciro Hernández Díaz: asesoría sobre los resultados de análisis de costos y revisión del documento; Jorge Armando Chávez Simental: revisión del documento.

Referencias

- Aguilera R., M., A. Aldrete, T. Martínez T. y V. M. Ordaz C. 2016. Producción de *Pinus montezumae* Lamb. con diferentes sustratos y fertilizantes de liberación controlada. *Agrociencia* 50 (1): 117-118.
- Andrade M., H. M., A. V. Córdova T., T. García G. and J. R. Kawas. 2011. Alternative foods for small ruminants in semiarid zones, the case of mesquite (*Prosopis laevigata* spp.) and nopal (*Opuntia* spp.). *Small Ruminant Research* 98: 83–92. doi: 10.1016/j.smallrumres.2011.03.023.
- Barba R., A. P., J. T Frías-Hernández, V. Olalde-Portugal and J. González C. 2006. Processing, nutritional evaluation, and utilization of whole mesquite flour (*Prosopis laevigata*). *Journal of Food Science* 71 (4): 315-320. doi: 10.1111/j.1750-3841.2006.00001.x.
- Bi, G., W. B. Evans, J. M. Spiers and A. L. Witcher. 2010. Effects of organic and inorganic fertilizers on marigold growth and flowering. *HortScience* 45 (9): 1373-1377.

- Buendía G., L., J. Orozco V., F. Cruz S., V. M. Chávez Á. and E. Vernono C. 2007. Clonal propagation of mesquite tree (*Prosopis laevigata* Humb. & Bonpl. ex Willd. M.C. Johnston). I. Via cotyledonary nodes. *In Vitro Cellular and Developmental Biology - Plant* 43: 260-266. doi: 10.1007/s11627-007-9027-8.
- Bustos, F., M. González E., P. Donoso, V. Gerding, C. Donoso y B. Escobar. 2008. Efectos de distintas dosis de fertilizante de liberación controlada (Osmocote®) en el desarrollo de plantas de coigüe, raulí y ulmo. *Bosque* 29 (2): 155-161.
- Cervantes R., N., J. Á. Prieto R., S. Rosales M. y J. A. Félix H. 2018. Crecimiento de mezquite bajo diferentes condiciones de sustrato, riego y retenedores de humedad. *Revista Chapingo. Serie Ciencias Forestales y del Ambiente* 24 (1):17-31. doi: 10.5154/r.rchscfa.2016.10.56.
- Fageria, N. K., M. P. Barbosa F., A. Moreira and C. M. Guimaraes. 2009. Foliar fertilization of crop plants. *Journal of Plant Nutrition* 32 (6): 1044-1064. doi: 10.1080/01904160902872826.
- García S., R., S. L. Camargo R., E. García M., M. Luna C., A. Romero M. and N. M. Montaña. 2012. *Prosopis laevigata* and *Mimosa biuncifera* (Leguminosae) jointly influence plant diversity and soil fertility of a Mexican semiarid ecosystem. *Revista de Biología Tropical* 60 (1): 87-103.
- Gutiérrez, J. R. y F. A. Squeo. 2004. Importancia de los arbustos en los ecosistemas semiáridos de Chile. *Ecosistemas* 13 (1): 36-45.
- Jacobs, D. F., K. F. Salifu and A. S. Davis. 2009. Drought susceptibility and recovery of transplanted *Quercus rubra* seedlings in relation to root system morphology. *Annals of Forest Science* 66 (5): 1-12.
- Kruskal, W. H. and W. A. Wallis. 1952. Use of ranks in one-criterion variance analysis. *Journal of the American Statistical Association* 47 (260): 583-621. doi: 10.1080/01621459.1952.10483441.
- López F., Y., F. M. Goycoolea, M. A. Valdez y A. M. Calderón de la B. 2006. Goma de mezquite: una alternativa de uso industrial. *Inverciencia* 31(3): 182-189.

- Palacios, G., R., M. Navarro-Cerrillo, A. Del Campo and M. Toral. 2009. Site preparation, stock quality and planting date effect on early establishment of Holm oak (*Quercus ilex* L.) seedlings. *Ecological Engineering* 35: 38–46. doi: 10.1016/j.ecoleng.2008.09.006.
- Pohlert, T. 2014. The pairwise multiple comparison of mean ranks package (PMCMR). R package. <http://CRAN.R-project.org/package=PMCMR> (10 de agosto de 2017).
- Prieto R., J. A., J. C. Ríos S., J. C. Monárrez G., J. L. García R., J. M. Mejía B. y V. Bustamante G. 2012. Recomendaciones para la producción de planta de mezquite en condiciones de vivero. Campo Experimental Valle del Guadiana. INIFAP. Folleto Técnico Núm. 56. Durango, Dgo. México. 32 p.
- Prieto R., J. A., S. Rosales M., J. A. Sigala R., R. E. Madrid A. y J. M. Mejía B. 2013. Producción de *Prosopis laevigata* (Humb. et Bonpl. ex Willd.) M. C. Johnst. con diferentes mezclas de sustrato. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales* 4 (20): 50-57.
- Prieto R., J. A., J. A. Sigala R., S. Pinedo L., J. L. García R., R. E. Madrid A., J. L. García P. y J. M. Mejía B. 2009. Calidad de planta en los viveros forestales del estado de Durango. Campo Experimental Valle del Guadiana. INIFAP. Publicación Especial Núm. 30. Durango, Dgo. México. 81 p.
- R Core Team 2015. R: a language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing. 452. Vienna, Austria. n/p.
- Rincón, A., J. Parladé and J. Pera. 2007. Influence of the fertilization method in controlled ectomycorrhizal inoculation of two Mediterranean pines. *Annals of Forest Science* 64: 577-583. doi: 10.1051/forest:2007035.
- Ríos S., J. C., M. Rivera G., L. M. Valenzuela N., R. Trucios C. y R. Rosales S. 2012. Diagnóstico de las reforestaciones de mezquite y métodos para incrementar su supervivencia en Durango, México. *Revista Chapingo Serie Zonas Áridas* 6 (2): 63-67.
- Rodríguez T., D. A. 2008. Indicadores de calidad de planta forestal. Universidad Autónoma Chapingo. Mundi Prensa. México, D. F., México. 156 p.

- Rodríguez S., E. N., G. E. Rojo M., B. Ramírez V., R. Martínez R., M. C. Cong H., S. M. Medina T. y H. H. Piña R. 2014. Análisis técnico del árbol de mezquite (*Prosopis laevigata* Humb. & Bonpl. ex Willd.) en México. *Ra Ximhai* 10 (3): 173-193.
- Rose, R., D. L. Haase y E. Arellano E. 2004. Fertilizantes de entrega controlada: potencial para mejorar la productividad de la reforestación. *Bosque* 25 (2): 89-100. doi: 10.4067/S0717-92002004000200009.
- Rosete V., F. A., J. L. Pérez D., M. Villalobos D., E. N. Navarro S., E. Salinas Ch. y R. Remond N. 2014. El avance de la deforestación en México en 1976-2007. *Madera y Bosques* 20 (1): 21-35.
- Rueda S., A., J. D. Benavides S., J. A. Prieto R., T. Sáenz R, G. Orozco G. y A. Molina C. 2012. Calidad de planta producida en los viveros de Jalisco. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales* 3 (14): 70-82.
- Sáenz R., J. T., F. J. Villaseñor R., H. J. Muñoz F., A. Rueda S. y J. A. Prieto R. 2010. Calidad de planta en viveros forestales de clima templado en Michoacán. Centro de Investigación Regional Pacífico Centro Campo Experimental Uruapan. INIFAP. Folleto Técnico Núm. 17. Uruapan, Mich., México. 43 p.
- Salto, C. S., M. A. García y L. Harran. 2013. Influencia de diferentes sustratos y contenedores sobre variables morfológicas de plantines de dos especies de *Prosopis*. *Quebracho* 2 (1-2): 90-102.
- Secretaría de Comercio y Fomento Industrial (SCFI). 2016. Norma Mexicana NMX-AA-170-SCFI-2016, Certificación de la operación de viveros forestales. Secretaría de Economía. 176 p.
- Soria, I., N. 2008. Nutrición foliar y defensa natural. *In*: Soria I., N. (ed.). XI Congreso Ecuatoriano de la Ciencia del suelo. Sociedad Ecuatoriana de la Ciencia del Suelo. Quito, Ecuador. 11 p. <http://www.secsuelo.org/wp-content/uploads/2015/06/5.-Ing.-Norman-Soria.-Nutricion-foliar.pdf> (3 de octubre de 2015).

Trucios, C., R., L. M. Valenzuela N., J C. Ríos S., M. Rivera G. y J. Estrada Á. 2012. Cambio de uso de Suelo en Coahuila y Durango. Revista Chapingo, Serie Zonas Áridas 6 (2): 68-74.

Tsakaldimi, M., P. Ganatsas and D. F. Jacobs. 2013. Prediction of planted seedling survival of five Mediterranean species based on initial seedling morphology. New Forest 44: 327-339. doi: 10.1007/s11056-012-9339-3.

Wilson, B. C. and D. F. Jacobs. 2006. Quality assessment of temperate zone deciduous hardwood seedlings. New Forest 31: 417-433. doi: 10.1007/s11056-005-0878-8.