



DOI: <https://doi.org/10.29298/rmcf.v9i49.171>

Artículo

Crecimiento de *Pinus greggii* Engelm. bajo diferentes rutinas de fertilización en vivero

Growth of *Pinus greggii* Engelm. under different routines of fertilization at the nursery

Georgina Irasema Bautista Ojeda¹, José Ángel Prieto Ruíz^{1*}, José Ciro Hernández Díaz², Erickson Basave Villalobos³, José Rodolfo Goche Télles¹ y Eusebio Montiel Antuna¹

Abstract

Fertilizing the plant at the nursery favors its physiological and morphological condition, which contributes to improve its quality, a basic aspect to favor the survival and initial growth after planting. This research evaluated the effect of a controlled delivery fertilizer (Osmocote®), combined with three soluble fertilizers (Triple 19, Poly-feed® and Peters professional®) in fixed dose (200 ppm) and exponential (100, 200 y 300 ppm) in the growth and production costs of *Pinus greggii* at the nursery. Seven treatments were applied under an experimental randomized block design. At 134 days (4.5 months) of the fertilization trial started, the plant was 7.5 months old; at that time the height, diameter, biomass production of the root, aerial and total part, the Dickson quality index, the nutritional status and assimilation of N-P-K in the foliage of the plants and the costs of fertilization by treatment. Results indicate that treatments 1, 3 and 7 reacted better to the application of fertilizers in the assessed morphological variables; however, only treatments 3 and 7 had a better response to physiological variables, and of these, number 3 had the lowest cost due to the applied fertilization.

Key words: Plant quality, costs, soluble fertilizers, nutrition, *Pinus greggii* Engelm., physiological variables, morphological variables.

Resumen

Fertilizar la planta en vivero favorece su condición fisiológica y morfológica, lo que contribuye a mejorar su calidad, aspecto fundamental para favorecer la supervivencia y crecimiento inicial después del plantado. En esta investigación se evaluó el efecto de un fertilizante de entrega controlada (Osmocote®), combinado con tres fertilizantes solubles (Triple 19, Poly-feed® y Peters professional®) en dosis fija (200 ppm) y exponencial (100, 200 y 300 ppm) en el crecimiento y los costos de producción de *Pinus greggii* en vivero. Se aplicaron siete tratamientos bajo un diseño experimental de bloques al azar. A los 134 días (4.5 meses) de inició el ensayo de fertilización la planta tenía 7.5 meses de edad; en ese momento se tomaron la altura, el diámetro, la producción de biomasa de la raíz, de la parte aérea y total, el índice de calidad de Dickson, el estado nutrimental y la asimilación de N-P-K en el follaje de las plantas, así como los costos de fertilización por tratamiento. Los resultados indican que los tratamientos 1, 3 y 7 respondieron mejor a la aplicación de fertilizantes en las variables morfológicas evaluadas; sin embargo, solo los tratamientos 3 y 7 tuvieron mejor respuesta a las variables fisiológicas, y de ellos, el 3 fue el de menor costo debido a la fertilización aplicada.

Palabras clave: Calidad de planta, costos, fertilizantes solubles, nutrición, *Pinus greggii* Engelm., variables fisiológicas, variables morfológicas.

Fecha de recepción/Reception date: 15 de diciembre de 2017

Fecha de aceptación/Acceptance date: 05 de julio de 2018

¹Facultad de Ciencias Forestales. Universidad Juárez del Estado de Durango. México. correo-e: jprieto@ujed.mx

²Instituto de Silvicultura e Industria de la Madera. Universidad Juárez del Estado de Durango. México.

³Campo Experimental Valle del Guadiana. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. México.

Introducción

Para que las plantaciones sobrevivan y crezcan de modo satisfactorio es necesario usar planta de calidad, que depende de su origen genético, así como de las características de los atributos morfológicos y fisiológicos desarrollados durante su producción en el vivero (Landis *et al.*, 2010). Los primeros incluyen la altura de la parte aérea, el diámetro del cuello de la raíz, el tamaño y la forma del sistema radical y las relaciones entre dichas variables (Prieto *et al.*, 2009); los fisiológicos se refieren al contenido de lignina y de carbohidratos, así como la asimilación de nutrimentos, definida por su concentración y proporción de macro y micronutrimentos (Landis *et al.*, 1989).

La aplicación de fertilizantes en los viveros es una práctica cultural común, que contribuye a obtener planta vigorosa en menor tiempo y, además, a minimizar costos (Landis *et al.*, 2010). La absorción nutrimental es dinámica y depende del balance entre los nutrimentos y los patrones de crecimiento, y no necesariamente tiene una relación directa respecto a la concentración de las soluciones (Román *et al.*, 2001).

Cuando los fertilizantes son aplicados de forma soluble, la asimilación de nutrimentos es rápida, lo que permite un mejor manejo de la nutrición, ya que es más acorde a las necesidades específicas de la planta en cada fase de cultivo (Peñuelas y Ocaña, 2000); en cambio, la adición de fertilizantes de liberación controlada tarda más tiempo en reflejarse y una vez aplicados no pueden ajustarse (Rose *et al.*, 2004). La eficiencia de la fertilización para evitar pérdidas se logra al fraccionar los nutrimentos aplicados, principalmente nitrógeno y potasio (Carpenedo *et al.*, 2016).

La fertilización debe hacerse con base en el desarrollo de la planta en vivero, ya que las proporciones requeridas de los tres principales macronutrimentos (N-P-K) varían en función de la fase de crecimiento, que son: fase de establecimiento, que comprende desde la germinación hasta la aparición de las primeras acículas verdaderas; le sigue la fase de crecimiento rápido, cuando la plántula crece a una tasa exponencial y el tallo se aproxima a la altura objetivo; finalmente, la fase de endurecimiento que comienza

cuando la planta termina el crecimiento de su parte aérea y la energía es redirigida al crecimiento en diámetro y raíz (Dumroese *et al.*, 2012).

Debido a que cada especie puede tener diferente respuesta a la aplicación de nutrimentos, particularmente en especies que demandan altas concentraciones, es necesario conocer sus necesidades particulares (Bustos *et al.*, 2008; Soriano, 2011). En el Valle del Guadiana, estado de Durango, México, *Pinus greggii* Engelm. logra crecimientos rápidos, en comparación con otras especies y es utilizada en programas de plantaciones forestales comerciales, ya que además muestra alta tolerancia a condiciones adversas de suelo y clima (Prieto *et al.*, 2006), por lo que surge la necesidad de estudiar diversos aspectos que favorezcan su buen manejo.

Además de los aspectos técnicos ya descritos, es importante evaluar los costos de producción de la planta en vivero, pues con frecuencia este concepto representa uno de los principales factores que inciden en la viabilidad financiera de las plantaciones y reforestaciones (Hernández *et al.*, 2015a). Por tal motivo y para contribuir a la estimación de dicha viabilidad, Hernández *et al.* (2015b) desarrollaron un simulador que facilita calcular en forma detallada los costos unitarios de producción de planta en viveros forestales.

En este ensayo se evaluó la respuesta en el crecimiento de *Pinus greggii* en vivero, ante la aplicación de un fertilizante de entrega controlada, combinado con tres tipos de fertilizantes solubles en agua, en dos dosis. El objetivo fue identificar una dosis que mejore la producción e incremente la calidad de las plantas al menor costo posible de fertilización. Se partió de la hipótesis de que al combinar un fertilizante de liberación controlada, con al menos una dosis de fertilizante soluble en agua, es posible favorecer el crecimiento de las plantas y reducir los costos de producción debido a este insumo.



Materiales y Métodos

Área de estudio

El trabajo se realizó en el vivero de la Facultad de Ciencias Forestales de la Universidad Juárez del Estado de Durango, ubicado en las coordenadas 24°00'48.38" N y 104°41'03.64" O, a una altitud de 1 860 m.

Producción de la planta evaluada

La siembra se realizó la última semana de noviembre de 2015, en charolas de poliestireno expandido de 77 cavidades con 170 mL de capacidad cada una; como sustrato se usó una mezcla compuesta por 44 % de mezcla base (54 % turba, 24.5 % vermiculita y 21.5 % perlita) y 56 % de corteza de pino composteada.

Para conocer la condición morfológica de la planta al inicio de la etapa experimental, se realizó una valoración previa a la aplicación de los tratamientos a los tres meses de edad, para lo cual se utilizó una muestra de 56 plantas extraídas aleatoriamente del lote experimental; las características iniciales promedio, de los individuos bajo evaluación, fueron las siguientes: 5.2 cm de altura de la parte aérea, 0.82 mm de diámetro al cuello y 0.175 g de peso seco.

Los materiales vegetales permanecieron en un invernadero durante las primeras ocho semanas, con una cubierta de plástico de polietileno calibre 720, protegido contra rayos ultravioleta; las siguientes cuatro semanas crecieron en un ambiente de malla sombra a 60 %, y finalmente, las últimas tres semanas estuvieron a la intemperie. En el Cuadro 1 se muestran las condiciones específicas de temperatura, humedad relativa y luminosidad, que prevalecieron en las tres condiciones donde se desarrolló el ensayo. El registro de las variables de referencia se hizo con un *data logger* Hobo® U12-012.

Cuadro 1. Condiciones ambientales prevalecientes durante el desarrollo del ensayo de fertilización de *Pinus greggii* Engelm.

Condición ambiental	Duración (semanas)	Temperatura (°C)	Humedad relativa (%)	Intensidad lumínica (lum/ft ²)
Invernadero	8	17.1	32.3	272.8
Malla sombra al 60 %	4	24.2	42.4	286.2
Intemperie	3	24.2	44.4	646.5

Tratamientos evaluados y diseño experimental

Durante la preparación del sustrato se evaluaron siete tratamientos, todos basados en la incorporación de 6 kg m⁻³ del fertilizante de liberación controlada (de 8 a 9 meses) Multicote[®] 18N - 6P₂O₅ - 12K₂O + 2MgO + micro nutrientes (*Haifa Chemicals* Ltd.). A excepción del tratamiento 1 (testigo), que solo recibió el agua del riego sin fertilizar, los otros seis tratamientos se complementaron con los fertilizantes solubles en agua: Triple 19 (19 N -19 P₂O₅ -19 K₂O), *Poly-feed*[®] (20 N - 10 P₂O₅ -20 K₂O) y *Peters professional*[®] (20 N -7 P₂O₅ -19 K₂O), aplicados en dosis fija (200 ppm) y exponencial (100, 200 y 300 ppm) (Cuadro 2).



Cuadro 2. Tratamientos de fertilización evaluados durante el experimento.

Tratamiento	Fertilizante	Dosis N-P-K	Dosis N-P-K	Dosis N-P-K	Dosis N-P-K	Dosis N-P-K	Dosis N-P-K
		(ppm) Semana 1-4	(ppm) Semana 5-8	(ppm) Semana 9-12	(ppm) Semana 13	(ppm) Semana 14	(ppm) Semana 15
1	FEC+Agua	0-0-0	0-0-0	0-0-0	0-0-0	0-0-0	0-0-0
2	FEC+Triple 19	200-88-166	200-88-166	200-88-166	200-88-166	200-88-166	200-88-166
3	FEC+Triple 19	100-44-83	200-88-166	300-132-249	300-132-249	200-88-166	100-44-83
4	FEC+Poly- feed®	200-44-166	200-44-166	200-44-166	200-44-166	200-44-166	200-44-166
5	FEC+Poly- feed®	100-22-83	200-44-166	300-66-249	300-66-249	200-44-166	100-22-83
6	FEC+Peters Professional®	200-30-158	200-30-158	200-30-158	200-30-158	200-30-158	200-30-158
7	FEC+Peters Professional®	100-15-79	200-30-158	300-45-237	300-45-237	200-30-158	100-15-79

FEC = Fertilizante de entrega controlada (*Multicote*® 18N - 6P₂O₅ - 12K₂O + 2MgO + micro nutrientes, adicionado al sustrato en dosis fija de 6 kg m⁻³ para todos los tratamientos). Los fertilizantes solubles en agua se aplicaron en dosis fijas y variables.

Debido a la variación en la recepción de luminosidad, por la posición del invernadero, el ensayo se estableció bajo un diseño experimental de bloques al azar. Cada tratamiento tuvo cuatro bloques y la unidad experimental estuvo conformada por una charola de 77 cavidades de 170 mL; las plantas seleccionadas fueron las 45 centrales.

Los fertilizantes solubles en agua se aplicaron durante 15 semanas y sus cantidades se calcularon con base en la concentración de nitrógeno de cada uno: 1) Dosis fija (200 ppm), de forma permanente durante 15 semanas; 2) Dosis exponencial, 100 ppm las primeras cuatro semanas; las siguientes cuatro, se incrementó a 200 ppm. Por cuatro semanas más se aumentó a 300 ppm; las últimas tres semanas del experimento, las dosis se disminuyeron en los tratamientos exponenciales, se

agregó 300, 200 y 100 ppm por semana (Cuadro 2). Lo anterior permitió que las dosis fueran iguales en la parte fija y exponencial. Entre cada cambio de dosis, para drenar posibles excesos de sales derivados de las fertilizaciones aplicadas, la planta se regó a saturación y no se fertilizó.

El fertilizante hidrosoluble se incorporó dos veces por semana con regadera manual; en cada unidad experimental (charola) se agregaron 3.5 litros de agua con la solución de fertilizante que le correspondía. El pH del agua se mantuvo entre 5 y 6, y cuando fue superior a ese intervalo se ajustó con ácido clorhídrico diluido en el agua de riego; el pH se midió semanalmente con un potenciómetro *Ohaus* ST10.

Variables de respuesta

A los 134 días (4.5 meses) de iniciar la fertilización, cuando las plantas tenían 7.5 meses de edad, se seleccionaron al azar diez plantas de cada unidad experimental. De cada una se registró la altura de la parte aérea (cm) con una regla graduada (cm); el diámetro al cuello de la raíz (mm), con un vernier marca *Trupper*[®] 14388 *SURTEK*[®] 122204; el peso seco total, de la parte aérea y raíz se cuantificó con una balanza *Ohaus*[®] PA214 a partir de las muestras secadas en una estufa *FELISA*[®] FE-291D por 72 horas a 70 °C. Con las variables anteriores se calculó el índice de calidad de *Dickson* (ICD) y se estimó la concentración y el contenido de N-P-K en el follaje de las plantas con tres muestras compuestas de 5 g de acículas por tratamiento.

El análisis químico del tejido vegetal se hizo en el Laboratorio de Fertilidad de Suelos y Química Ambiental del Colegio de Postgraduados, Campus Montecillo, Texcoco, Estado de México. El contenido de nitrógeno se obtuvo mediante el método de *micro-Kjeldahl* (digestión con H₂SO₄), el de fósforo a través de determinación colorimétrica con complejo amarillo vanadomolibdato y el de potasio con espectrofotometría de emisión de flama, con un *SprectrAA Atomic Absorption Spectrometer* 220 Fast Sequential (Chapman y Pratt, 1979).

Para establecer si existían diferencias significativas ($p \leq 0.05$) en las variables morfológicas y hacer los análisis de varianza (ANOVA) se usó el paquete estadístico SAS[®] (*Statistical Analysis System*) versión 9.0 (SAS, 2002) y cuando se confirmaron tales diferencias, se realizó la prueba de medias de *Tukey* ($\alpha = 0.05$) (SAS, 2002).

El efecto de los tratamientos de fertilización sobre el estado nutrimental de las plantas se evaluó mediante un ANOVA. Adicionalmente, con el método gráfico de vectores se ilustraron dichos resultados. La construcción e interpretación de los nomogramas de vectores se elaboró con base en la metodología descrita por Haase y Rose (1995).

Para evaluar las diferencias entre los costos que implica el uso de cada combinación de fertilizantes durante el crecimiento de la planta, se consideró el costo del fertilizante de entrega controlada incorporado a cada tratamiento, así como la cantidad y costo del fertilizante soluble en agua, aplicado durante cada riego.

Resultados y Discusión

Variables morfológicas

La altura de las plantas mostró una dispersión de datos en un intervalo de 29.1 a 31.6 cm con el tratamiento 2, ubicado en el grupo estadístico superior ($p < 0.05$) (Cuadro 3). Rodríguez (2008) indica que una planta con altura del tallo mayor a 25 cm y diámetro al cuello menor a 4 mm es más susceptible a sufrir daños por viento; sin embargo, la Norma Mexicana NMX-AA-170-SCFI-2016 (Secretaría de Economía, 2016) establece que *Pinus greggii*, de seis a ocho meses de edad, debe tener una altura de 25 a 30 cm, lo cual coincide con los resultados obtenidos en la presente investigación.

Cuadro 3. Crecimiento en altura, diámetro e índice de calidad de *Dickson* en *Pinus greggii* Engelm. a los 134 días de haber iniciado la fertilización.

Tratamiento	Altura (cm)	Diámetro (mm)	Índice calidad <i>Dickson</i>
1	31.3 ± 0.57 ab	3.3 ± 0.04 b	0.26 ± 0.0 a
2	31.6 ± 0.53 a	3.4 ± 0.05 ab	0.24 ± 0.0 a
3	31.1 ± 0.73 ab	3.5 ± 0.05 a	0.25 ± 0.0 a
4	29.1 ± 0.55 b	3.3 ± 0.03 b	0.23 ± 0.0 a
5	30.4 ± 0.64 ab	3.4 ± 0.05 ab	0.24 ± 0.0 a
6	30.0 ± 0.49 ab	3.2 ± 0.04 b	0.22 ± 0.0 a
7	30.2 ± 0.05 ab	3.3 ± 0.05 b	0.24 ± 0.0 a

1 = FEC (Fertilizante de entrega controlada) + agua; 2 = FEC + Triple 19, dosis fija; 3 = FEC + Triple 19, dosis exponencial; 4 = FEC + *Poly-feed*[®], dosis fija; 5 = FEC + *Poly-feed*[®], dosis exponencial; 6 = FEC + *Peters professional*[®], dosis fija; 7 = FEC + *Peters professional*[®], dosis exponencial. Valores con letras distintas para la misma variable, indican diferencias estadísticas significativas ($p < 0.05$), según *Tukey*.

Para el diámetro al cuello, la dispersión de datos fue de 3.2 a 3.5 mm, -con diferencias significativas ($p < 0.05$) entre tratamientos- con el tratamiento 3, que se ubica en el grupo estadístico superior y el único en alcanzar los estándares establecidos en la NMX-AA-170-SCFI-2016 para *Pinus greggii* (Secretaría de Economía, 2016), que señala que las plantas en el vivero deben alcanzar un diámetro mínimo de 3.5 mm para asegurar un desempeño satisfactorio en campo (Cuadro 3). En diversas especies se ha constatado que el diámetro al cuello de la raíz es una de las principales características morfológicas que determina la adaptación de las plantas en el sitio de plantación (Tsakalimi et

al., 2013). Los valores del Índice de Calidad de Dickson variaron entre 0.22 y 0.26, sin diferencias significativas entre tratamientos ($p < 0.05$) (Cuadro 3).

En la producción de biomasa de la raíz, la planta testigo fue la mejor, a pesar de que solo se le nutrió con el fertilizante de entrega controlada, con 26.8 % más de biomasa con respecto al valor promedio de los demás tratamientos (Cuadro 4); al parecer, las plantas al tener insuficiente suministro de nutrimentos desarrollaron más raíz en su búsqueda, lo cual también consignó Soriano (2011), quien describió que la mayor dosis de fertilización en *Pinus patula* Schiede ex Schltdl. & Cham y *P. devoniana* Lindl. desfavoreció el crecimiento del sistema radical. Según Berendse et al. (2007), así como Camargo y Rodríguez (2006), en condiciones de escasa fertilidad, las plantas asignan mayor biomasa a la raíz para favorecer su crecimiento.

Cuadro 4. Producción de biomasa de la raíz, la parte aérea y total en *Pinus greggii* Engelm. a los 134 días de haber iniciado la fertilización.

Tratamiento	Peso seco raíz (g)	Peso seco parte aérea (g)	Peso seco total (g)
1	0.79 ± 0.02 a	2.51 ± 0.07 b	3.30 ± 0.08 ab
2	0.59 ± 0.02 b	2.85 ± 0.10 ab	3.44 ± 0.12 ab
3	0.58 ± 0.01 b	3.04 ± 0.10 a	3.62 ± 0.11 a
4	0.58 ± 0.01 b	2.60 ± 0.08 b	3.18 ± 0.09 b
5	0.58 ± 0.02 b	2.75 ± 0.09 ab	3.33 ± 0.10 ab
6	0.56 ± 0.02 b	2.63 ± 0.07 b	3.19 ± 0.09 b
7	0.58 ± 0.01 b	2.82 ± 0.08 ab	3.40 ± 0.09 ab

1 = FEC (Fertilizante de entrega controlada) + agua; 2 = FEC + Triple 19, dosis fija; 3 = FEC + Triple 19, dosis exponencial; 4 = FEC + *Poly-feed*[®], dosis fija; 5 = FEC + *Poly-feed*[®], dosis exponencial; 6 = FEC + *Peters professional*[®], dosis fija; 7 = FEC + *Peters professional*[®], dosis exponencial. Valores con letras distintas para la misma variable, indican diferencias estadísticas significativas ($p < 0.05$), según Tukey.

El tratamiento 3 también destacó en la biomasa del tallo y las acículas; Rendón *et al.* (2001) indican que la biomasa generada en esta parte de la planta está relacionada con su crecimiento, ya que el tallo funciona como órgano de soporte y conducción, mientras que las acículas ayudan a la actividad metabólica. Dado que la biomasa de la parte aérea generalmente es mayor que la de la raíz, el mismo tratamiento produjo la mayor biomasa total (Cuadro 4).

Jacobs *et al.* (2009) evaluaron en *Quercus ilex* Lour la respuesta a la aplicación de nitrógeno en dosis de 0 a 200 mg por planta y concluyeron que una dosis de 150 mg puede ser suficiente para el crecimiento de las plantas; sin embargo, la dosis mayor puede representar el valor óptimo, el cual permite un mejor manejo de su nutrición, sin que exista toxicidad. Por su parte, Prehn *et al.* (2013) observaron que en *Guindilla trinveris* Gillies ex Hook. & Arn. al aplicar nitrógeno en dosis crecientes, la biomasa aérea se incrementó hasta 2 g planta⁻¹ y a partir de ahí decreció hasta ocasionar su muerte. En el caso de este ensayo, ninguna de las dosis tuvo efecto tóxico.

Variables fisiológicas

Las plántulas con mayor cantidad de reservas nutrimentales fueron las del tratamiento 3 y el testigo se ubicó con el valor más bajo (Cuadro 5).



Cuadro 5. Valores absolutos y relativos del estado nutrimental de nitrógeno, fósforo y potasio de *Pinus greggii* Engelm. en respuesta a las rutinas de fertilización.

Tratamiento	Peso seco (mg planta ⁻¹)	Concentración (%)			Contenido (mg planta ⁻¹)		
		N	P	K	N	P	K
1	0.59 (100)	1.202 (100)	0.167 (100)	0.846 (100)	7.081 (100)	0.984 (100)	4.980 (100)
2	0.83 (141)	2.369 (197)	0.247 (148)	1.053 (124)	19.770 (279)	2.060 (209)	8.788 (176)
3	0.84 (142)	2.423 (202)	0.254 (152)	1.191 (140)	20.302 (287)	2.130 (216)	9.979 (200)
4	0.72 (121)	2.463 (205)	0.224 (134)	0.976 (115)	17.629 (249)	1.604 (163)	6.987 (140)
5	0.78 (132)	2.459 (204)	0.222 (133)	1.150 (136)	19.092 (270)	1.724 (175)	8.930 (179)
6	0.73 (124)	2.383 (198)	0.226 (135)	1.058 (125)	17.446 (247)	1.652 (168)	7.742 (155)
7	0.76 (129)	2.499 (208)	0.226 (135)	1.226 (145)	19.050 (269)	1.720 (175)	9.346 (188)

1 = FEC (Fertilizante de entrega controlada) + agua; 2 = FEC + Triple 19, dosis fija; 3 = FEC + Triple 19, dosis exponencial; 4 = FEC + *Poly-feed*[®], dosis fija; 5 = FEC + *Poly-feed*[®], dosis exponencial; 6 = FEC + *Peters professional*[®], dosis fija; 7 = FEC + *Peters professional*[®], dosis exponencial. Los valores expresados en paréntesis se calcularon como: $(VR/VT) \times 100$. VR = Valor de referencia del tratamiento 1; VT = Valor de cada tratamiento.

Al tomar como referencia el estado nutrimental del tratamiento 1, los nomogramas de vectores demuestran que los seis tratamientos con adición de fertilizante soluble en agua tuvieron un alto consumo en nitrógeno, fósforo y potasio, lo cual es una

condición que deben propiciar las rutinas de fertilización, ya que esto se traduce en plantas con mayores reservas nutrimentales (Uscola *et al.*, 2015). Los tratamientos 3 y 7 muestran la mejor relación contenido-concentración-biomasa seca total (Figura 1).

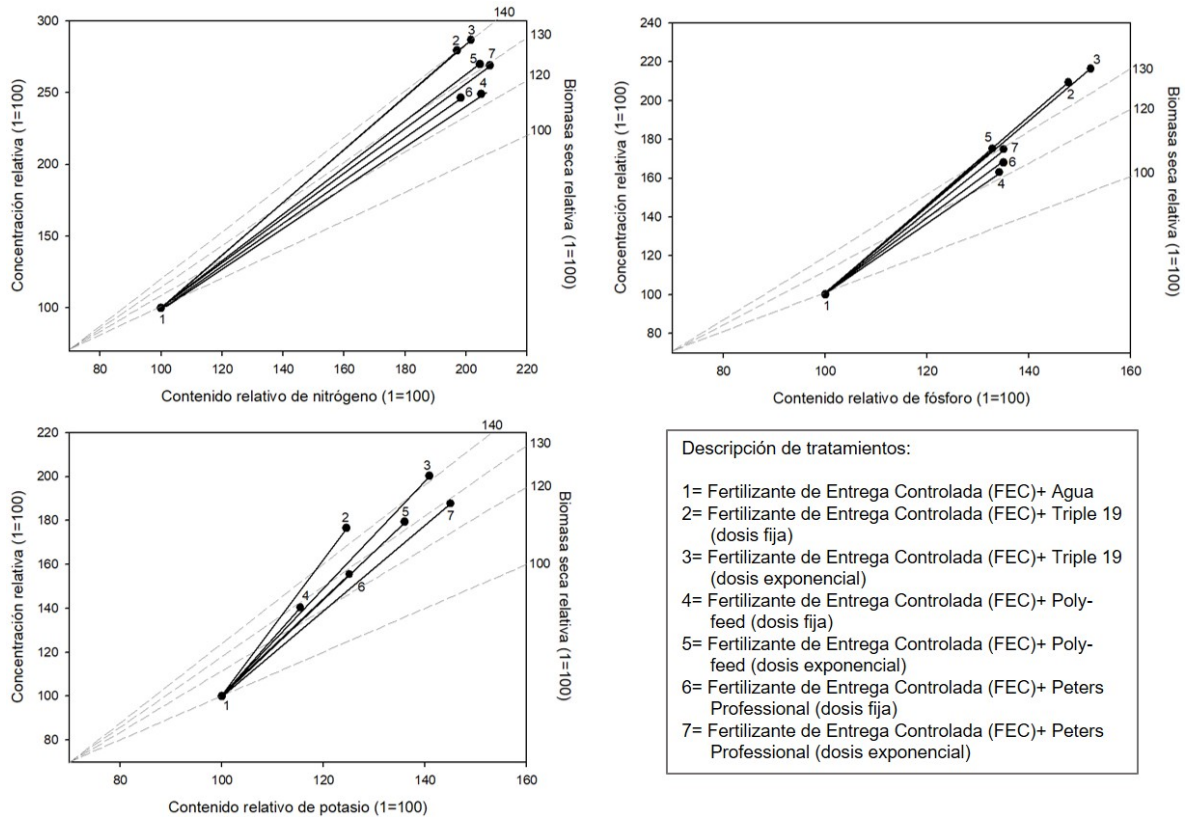


Figura 1. Nomogramas de vectores del estado nutrimental de nitrógeno, fósforo y potasio de *Pinus greggii* Engelm. a los 134 días de haber iniciado la fertilización.

Un elevado contenido de reservas nutrimentales, en especial de nitrógeno, en *Abies religiosa* (Kunth) Schldl. & Cham. se ha relacionado con una ventaja competitiva de las plantas en sitios con escasa fertilidad (Navarro *et al.*, 2013). Lo mismo manifestaron Sánchez *et al.* (2017) y Buendía *et al.* (2017) al trabajar con *Pinus greggii* y *Pinus leiophylla* Schl. & Deppe, respectivamente.

Ante condiciones de escasa fertilidad, inducir altos contenidos de reservas nutrimentales para favorecer un mejor desempeño en campo es la premisa del régimen de fertilización exponencial propuesto por Timmer (1996), misma que se avala con base en los resultados de vivero; sin embargo, en estudios posteriores, es

conveniente evaluar si en efecto las plantas con mejor estado nutrimental tienen un desempeño favorable en campo, puesto que a pesar de la existencia de trabajos de esta naturaleza que muestran resultados positivos con el régimen de fertilización exponencial, como por ejemplo los de Salifu y Timmer (2003) y Duan *et al.* (2013), existen otros como el de Everett *et al.* (2007) que indican lo contrario. Tal controversia podría tener su fundamento en lo indicado por Burgess (1991), quien señaló que en algunas especies la adición de fertilizante en forma exponencial no siempre satisface las necesidades de las plantas, principalmente durante las etapas iniciales de crecimiento cuando las demandas de nutrimentos son altas y el suministro es escaso.

Análisis de costos por fertilización

Se utilizaron 2.587 kg del fertilizante de entrega controlada en los 2 156 individuos bajo evaluación (28 charolas con 77 plantas cada una); el precio promedio por kilogramo fue de \$50.00 pesos mexicanos. Por otro lado, el fertilizante hidrosoluble total utilizado durante el ensayo fue de 1.638 kg de Triple 19 (19 N -19 P₂O₅ -19 K₂O), 1.560 kg de *Poly-feed*[®] (20 N -10 P₂O₅ -20 K₂O) y 1.560 kg de *Peters professional*[®] (20 N -7 P₂O₅ -19 K₂O), cada uno aplicado en ocho charolas de 77 plantas (equivalente a dos tratamientos por tipo de fertilizante), con un costo promedio por kilogramo de 21.59, 36.80 y 86.36 pesos mexicanos, respectivamente. En el Cuadro 6 se muestra el costo promedio por planta debido a la fertilización alternativa utilizada en cada tratamiento durante los 4.5 meses que duró el ensayo; asimismo, se expone un ejemplo del costo de fertilización para 100 000 plantas.



Cuadro 6. Costo del fertilizante de entrega controlada y del fertilizante hidrosoluble aplicado, por planta y para 100 000 plantas, en los tratamientos evaluados.

Tratamiento	Costo del FEC utilizado por planta (Mx\$)	Costo del FH utilizado por planta (Mx\$)	Costo del FEC y del FH utilizado por planta (Mx\$)	Costo total del FEC+FH para 100 000 plantas (Mx\$)
1	0.051	0.00	0.051	5 100
2	0.051	0.057	0.108	10 800
3	0.051	0.057	0.108	10 800
4	0.051	0.093	0.144	14 400
5	0.051	0.093	0.144	14 400
6	0.051	0.218	0.269	26 900
7	0.051	0.218	0.269	26 900

1 = FEC (Fertilizante de entrega controlada) + agua; 2 = FEC + Triple 19, dosis fija; 3 = FEC + Triple 19, dosis exponencial; 4 = FEC + *Poly-feed*[®], dosis fija; 5 = FEC + *Poly-feed*[®], dosis exponencial; 6 = FEC + *Peters professional*[®], dosis fija; 7 = FEC + *Peters professional*[®], dosis exponencial. Los valores expresados en paréntesis se calcularon como: $(VR/VT) \times 100$. VR = Valor de referencia del tratamiento 1; VT = Valor de cada tratamiento. Los costos se basan en cotizaciones promedio al año 2017.

Los tratamientos con mayor costo debido a fertilización fueron el número 6 y el 7, con \$ 0.269 pesos mexicanos por planta. Por otro lado, el tratamiento 1 fue el de menor costo, al carecer de fertilizante hidrosoluble, con \$ 0.051 por planta, seguidos por los tratamientos 2 y 3 con \$ 0.108. Si se extrapolan estos costos a una producción de 100 000 plantas claramente existirían diferencias estadísticas significativas; pues el tratamiento 1 tendría un costo de 5 100 pesos mexicanos, mientras que los tratamientos 2 y 3 tendrían un costo de 10 800 pesos mexicanos y así aumentaría en los demás tratamientos, hasta llegar a los tratamientos más costosos (6 y 7), con 26 900 pesos mexicanos (Cuadro 6), en un periodo de fertilización de 4.5 meses.

Desde el punto de vista técnico, los tratamientos 3 y 7 quedaron dentro del mismo grupo estadístico y son los dos tratamientos que respondieron mejor a la aplicación del fertilizante de entrega controlada con la complementación de fertilizantes hidrosolubles en cuanto a las variables morfológicas y fisiológicas evaluadas. Sin embargo, desde el punto de vista financiero, la fertilización en el tratamiento 3 cuesta menos de la mitad respecto al costo del tratamiento 7, por lo cual, si se consideran ambos aspectos, el tratamiento 3 se considera el más recomendable.

Conclusiones

La nutrición de las plantas se favorece con la aplicación del fertilizante de entrega controlada *Multicote*[®], y con una complementación con los fertilizantes hidrosolubles Triple 19 en dosis exponencial (tratamiento 3) o con *Peters professional*[®] en dosis exponencial (tratamiento 7); sin embargo, destaca el tratamiento 3, ya que su uso implica menos de la mitad del costo con respecto al tratamiento 7.

El tratamiento 1 solo a base de fertilizante de entrega controlada produce valores altos en las variables morfológicas; pero, los resultados en los valores fisiológicos muestran deficiencias en la asimilación de nutrimentos.

Agradecimientos

Los autores desean expresar 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

Georgina Irasema Bautista Ojeda: establecimiento del experimento, toma y captura de datos, revisión de literatura y redacción del manuscrito; José Ángel Prieto Ruíz: diseño y establecimiento del experimento, revisión y edición del documento; José Ciro Hernández Díaz: asesoría sobre los resultados de análisis de costos y revisión del escrito; Erickson Basave Villalobos: interpretación de resultados sobre fertilización y revisión del documento; José Rodolfo Goche Télles: revisión de literatura y del documento; Eusebio Montiel Antuna: revisión del manuscrito.

Referencias

- Berendse, F., H. de Kroon and W. G. Braakhekke. 2007. Acquisition, use and loss of nutrients. *In* Pugnaire, F. I and F. Valladares (eds.): Functional plant ecology. CRC Press. Boca Raton, FL USA. pp. 259-283.
- Buendía V., M. V., M. A. López L., V. M. Cetina A. and L. Diakite. 2017. Substrates and nutrient addition rates affect morphology and physiology of *Pinus leiophylla* seedlings in the nursery stage. *iForest*. 10: 115-120. doi: 10.3832/ifor1982-009.
- Burgess, D. 1991. Western hemlock and Douglas-fir seedling development with exponential rates of nutrient addition. *Forest Science* 37: 54-57.
- Bustos, F., M. González, P. Donoso, V. Gerding, C. Donoso y B. Escobar. 2008. Efecto de distintas dosis de fertilización de liberación controlada (Osmocote®) en el desarrollo de plantas de coigue, raulí y ulmo. *Revista Bosque* 29(2):155-161.

Camargo R., I. D. y N. Rodríguez L. 2006. Nuevas perspectivas para el estudio de la asignación de biomasa y su relación con el funcionamiento de plantas en ecosistemas tropicales. *Acta Biológica Colombiana* 11(Supl.1): 75-87.

http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0120-548X2006000300006
(20 de enero 2018).

Carpenedo A, S., M. Machado A., E. Benítez L., G. Gómez-de O. y F. Da Silva C. 2016. Volumen de contenedores y dosis de fertilizante de liberación controlada en el crecimiento de plantas de *Cabralea canjerena* producidas en vivero. *Revista Bosque* 37(2):401-407.

Chapman, H. D. y P. F. Pratt.1979. Métodos de análisis para suelos, plantas y aguas. Editorial Trillas. México, D.F., México. 195 p.

Duan, J., C. Xu, D. F. Jacobs, L. Ma, H. Wei, L. Jiang and J. Ren. 2013. Exponential nutrient loading shortens the cultural period of *Larix olgensis* seedlings. *Scandinavian Journal of Forest Research* 28(5): 409-418.

Dumroese, R. K., R. Jacobs y D. F. Wilkinson. 2012. Fases de cultivo: Establecimiento y crecimiento rápido. *In*: Contardi, L.; Gonda, H. (coords.). Producción de plantas en viveros forestales. Consejo Federal de Inversiones, Universidad Nacional de la Patagonia San Juan Bosco, Centro de Investigación y Extensión Forestal Andino Patagónico. Buenos Aires, Argentina. pp. 133-142.

Everett, K. T., B. J. Hawkins and S. Kiiskila. 2007. Growth and nutrient dynamics of Douglas-fir seedlings raised with exponential or conventional fertilization and planted with or without fertilizer. *Canadian Journal of Forest Research* 37: 2552-2562.

Haase, D. L. and R. Rose. 1995. Vector analysis and its use for interpreting plant nutrient shifts in response to silvicultural treatments. *Forest Science* 41:54-66.

- Hernández D., J. C., J. A. Prieto R., G. Pérez V., Ch. Wehenkel, M. Pompa G., R. Lara V. y M. J. González G. 2015a. Manual del usuario del simulador para estimar costos en plantaciones forestales y reforestaciones (SIMCOPLAN) (versión v.1). Instituto de Silvicultura e Industria de la Madera. Universidad Juárez del Estado de Durango. Durango, Dgo., México. 49 p.
- Hernández D., J. C., J. A. Prieto R., G. Pérez V., Ch. Wehenkel, M. Pompa G., R. Lara V., C. Luján Á. y J. M. Olivas G. 2015. Manual del usuario del simulador de costos de producción de planta en viveros (SIMCOVIV) (Versión v.1). Instituto de Silvicultura e Industria de la Madera. Universidad Juárez del Estado de Durango. Durango, Dgo., México. 17 p.
- Jacobs, D. F., K. F. Salifu y J. A. Oliet. 2009. Sobrecarga exponencial de nutrientes para la optimización de la fertilización en vivero de plantas de *Quercus ilex* L. In: Memorias del 5º. Congreso Forestal Español. Sociedad Española de Ciencias Forestales. Madrid, España. pp. 1-11.
- Landis, T. D., R. W. Tinus, S. E. McDonald and J. P. Barnett. 1989. Seedling nutrition and irrigation. Vol 4. The container tree nursery manual. Agricultural Handbook 674. USDA Forest Service Washington, DC USA. 132 p.
- Landis, T. D., R. K. Dumroese and D. L. Haase. 2010. Seedling processing, storage, and outplanting. Vol 7. The container tree nursery manual. Agricultural Handbook 674. USDA Forest Service. Washington, DC USA. 200 p.
- Navarro S., J.L., J.J. Vargas H., A. Gómez G., L.M. Ruíz P. y P. Sánchez G. 2013. Morfología, biomasa y contenido nutrimental en *Abies religiosa* con regímenes diferentes de fertilización en vivero. *Agrociencia* 47(7):707-721.
- Peñuelas R., J.L. y L. Ocaña B. 2000. Cultivo de plantas forestales en contenedor. Mundi-Prensa. Madrid, España. 190 p.
- Prehn, D., C., C. Bonomelli R. y R. San Martín. 2013. Efecto de la fertilización en *Guindilla trinervis* en su hábitat natural y en invernadero. *Revista Bosque*. 34(2):243-252.

- Prieto R., J. A., E. Merlín B. y M. A. Perales de la C. 2006. Establecimiento de plantaciones para el cultivo de árboles de navidad en clima semiárido. Desplegable Técnica No. 7. Campo Experimental Valle del Guadiana. INIFAP. Durango, Dgo., México. 6 p.
- Prieto R., J. A., J. L. García R., J. M. Mejía B., S. Huchín A. y J. L. Aguilar V. 2009. Producción de planta del género *Pinus* en vivero en clima templado frío. Campo Experimental Valle del Guadiana INIFAP. Publicación Especial Núm. 28. Durango, Dgo., México. 49 p.
- Rendón A., B., S. Rebollar D., J. Caballero N. y M. A. Martínez A. 2001. Plantas, cultura y sociedad. Estudios sobre la relación entre seres humanos y plantas en los albores del siglo XXI. <http://investigacion.izt.uam.mx/maph/plantas1.pdf> (15 de febrero 2017).
- Rodríguez T., D. A. 2008. Indicadores de calidad de planta forestal. Mundi-Prensa. México, D. F., México. 156 p.
- Román J., A. R., J. Vargas H., G. A. Baca C., A. Trinidad S. y M. P. Alarcón B. 2001. Crecimiento de plántulas de *Pinus greggii* Engelm. en respuesta a la fertilización. *Ciencia Forestal en México* 26(89):19-43.
- Rose, R., D. L. Haase y E. Arellano. 2004. Fertilizantes de entrega controlada: potencial para mejorar la productividad de la reforestación. *Revista Bosque* 25 (2): 89-100. doi: 10.4067/S0717-92002004000200009.
- Salifu, K. F. and V. R. Timmer. 2003. Optimizing nitrogen loading of *Picea mariana* seedlings during nursery culture. *Canadian Journal of Forest Research* 33: 1287-1294.
- Sánchez V., O., V. M. Cetina A., M. A. López L. y L. I. Trejo T. 2017. Efecto del sistema de producción de *Pinus greggii* Engelm. var. *australis* en vivero sobre su desarrollo morfofisiológico en campo. *Agroproductividad* 10(8):59-64.
- Statistical Analysis System. (SAS) 2002. SAS/STAT Computer Software. Release 9.0. SAS Institute Inc. Cary, NC USA. 5121 p.

- Secretaría de Economía. 2016. Certificación de la operación de viveros forestales. NMX-AA-170-SCFI-2016. Diario Oficial de la Federación. 3 de noviembre de 2016. Ciudad de México, México. 190 p.
- Soriano E., G. B. 2011. Efecto de fertilizaciones de N, P y K en la calidad de planta de *P. patula* y *P. devoniana* en vivero. Tesis de Maestría en Ciencias. Colegio de Posgraduados. Montecillo, Texcoco, Edo. de Méx., México. 78 p.
- Timmer, V. R. 1996. Exponential nutrient loading: a new fertilization technique to improve seedling performance on competitive sites. *New Forests* 13:275-295.
- Tsakalimi, M., P. Ganatsas, and D. F. Jacobs. 2013. Prediction of planted seedlings survive of five Mediterranean species based on initial seedling morphology. *New Forests* 44: 327-339.
- Uscola, M., K. F. Salifu, J. A. Oliet, and D. F. Jacobs. 2015. An exponential fertilization dose-response model to promote restoration of the Mediterranean oak *Quercus ilex*. *New Forests* 46: 795-812.