

EFECTO DE LA FERTILIZACIÓN EN LA PRODUCCIÓN DE PLANTA DE *Pinus engelmannii* Carr. EN VIVERO

José Ángel Prieto Ruíz¹, Pedro Antonio Domínguez Calleros², Eladio H. Cornejo Oviedo³, José de Jesús Návar Chaidez⁴, Javier Jiménez Pérez⁴, José G. Marmolejo Moncivais⁴

RESUMEN

El objetivo del presente estudio fue evaluar el efecto de siete rutinas de fertilización y un testigo en la supervivencia, crecimiento y asimilación de nutrimentos en planta de *Pinus engelmannii* en vivero. Las rutinas de fertilización se aplicaron en cada fase de crecimiento de las plantas: establecimiento, crecimiento rápido y preacondicionamiento. El efecto del testigo y de las rutinas de fertilización se evaluó con un control y con los fertilizantes comerciales Multicote™ y Peters Professional™, empleados en forma separada y combinada. El Multicote™ se utilizó en dosis fija de 5 kg m⁻³ de sustrato. Peters Professional™ se aplicó en tres rutinas de fertilización con diferentes proporciones de nitrógeno (N), fósforo (P) y potasio (K), con dosis que variaron en cada fase de crecimiento. Después de cinco meses y medio de crecimiento de las plantas, los resultados más sobresalientes se obtuvieron cuando se fertilizó con Peters Professional™ en la rutina con las dosis 50:125:101, 100:15-79 y 40:109:290 ppm de N-P-K, respectivamente, aplicadas en las tres fases de crecimiento; así como la combinación de Multicote™ y Peters Professional™ en las tres rutinas de fertilización evaluadas. El testigo produjo la planta de menor calidad. La asimilación de nutrimentos fue apropiada para la mayoría de los tratamientos, excepto para el testigo y el Multicote™ adicionado solo. Con base en los resultados de este estudio, se recomienda utilizar Peters Professional™ en la rutina señalada anteriormente debido a que implica aplicar menos fertilizante.

Palabras clave: Fases de crecimiento, nutrimentos, *Pinus engelmannii*, planta objetivo, rutinas de fertilización, vivero.

Fecha de recepción: 03 de junio de 2004.

Fecha de aceptación: 19 de noviembre de 2004.

¹ Campo Experimental Valle del Guadiana. C.I.R. Norte Centro, INIFAP. Durango, Dgo. Correo-e: jprietoviv@yahoo.com

² Instituto de Ecología, A.C. Unidad Durango. Durango, Dgo.

³ Departamento Forestal. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Saltillo, Coah.

⁴ Facultad de Ciencias Forestales. Universidad Autónoma de Nuevo León, Linares, N. L.

ABSTRACT

The objective of this study was to assess the effect of seven fertilizer combinations and one control on the survival, growth and nutrient assimilation of seedlings of *Pinus engelmannii* Carr., grown in nursery conditions. The seven fertilizer combinations were applied at each seedling growth phase: establishment, fast growth and preconditioning. A control and two commercial fertilizers were used to test for fertilization effect. Multicote™ and Peters Professional™, single and combined, were applied. Multicote™ was used at doses of 5 kg m⁻³. Peters Professional™ was applied at three fertilization routines with different nitrogen (N), phosphorus (P) and potassium (K) doses accordingly to each seedling growth phase. After five and half months, it was found that the best results corresponded to the Peters Professional™ at doses of 50:125:101, 100:15:79 and 40:109:290 N-P-K ppm, respectively, applied at each seedling growth phases and the combination of Multicote™ and Peters Professional™ applied at three fertilization routines. The control had the poorest seedling quality. Nutrient assimilation was appropriate for most of the treatments except for the control and Multicote™ applied separated. Base on the results Peters Professional™ is recommended, because less fertilization is applied.

Key words: Growth phases, nutrients, *Pinus engelmannii*, target seedling, fertilization routines, nursery.

INTRODUCCIÓN

La calidad de la planta es importante debido a que tiene relación directa con su capacidad para adaptarse, sobrevivir y desarrollarse en el sitio de plantación (Johnson y Cline, 1991). Para producir planta en vivero con los atributos morfológicos y fisiológicos apropiados, es necesario que en las prácticas de manejo se consideren las características de la planta que se desea a producir y las condiciones del sitio de plantación. Un adecuado tratamiento en vivero requiere de la aplicación integrada y eficiente de un conjunto de técnicas relacionadas con sustratos, envases, fertilizantes, micorrizas, riego, control de plagas y enfermedades y control de las condiciones ambientales.

La fertilización es, después del riego, la práctica que más influye en el crecimiento de las plantas al incidir en los procesos fisiológicos, como la regulación del crecimiento, el flujo de energía y la síntesis de complejos orgánicos moleculares (Landis *et al.*, 1989). Las demandas de nutrimentos varían entre especies y conforme se desarrollan; esto crea la necesidad de formular programas de fertilización en función de análisis foliares, de manera que puedan ser fijados rangos por fase de crecimiento de las plantas y se consideren dosis-respuesta para determinar la eficiencia del programa (Birchler *et al.*, 1998).

La concentración de cada nutrimento es el aspecto más importante de la fertilización. El elemento que más influye en el crecimiento de las plantas es el nitrógeno y las formulaciones usadas en los programas de fertilización se realizan con base en este elemento, o en las relaciones entre los macronutrientes principales (Landis *et al.*, 1989). Debido al escaso conocimiento de los requerimientos nutritivos de las plantas, la aplicación de fertilizantes en muchos casos es empírica o se generaliza para todas las especies con base en recomendaciones provenientes de otras regiones o de los proveedores de fertilizantes.

Debido a lo anterior, este estudio tuvo como objetivos: a) evaluar el efecto de siete rutinas de fertilización y un testigo, en la supervivencia y crecimiento de plantas de *Pinus engelmannii* Carr. durante su desarrollo en vivero, b) analizar el efecto que tiene el suministro de fertilizantes en cada fase de crecimiento, y c) determinar la cantidad de N-P-K absorbido por las plantas.

MATERIALES Y MÉTODOS

Características del área de estudio

El estudio se realizó en el Campo Experimental Valle del Guadiana del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP), localizado en Durango, Dgo., a 24° 01' N y 104° 44' W, a 1830 m de altitud. La planta se produjo en un invernadero cubierto con plástico y malla sombra de 35%. Durante la fase de preacondicionamiento se eliminó el efecto de invernadero y se dejó a las plantas en condiciones ambientales de intemperie. Las temperaturas promedio mínima y máxima durante el desarrollo del experimento fueron de 13.2 y 36.6°C, mientras que la humedad relativa promedio mínima fue de 22.5 y máxima de 91.2%.

Condiciones de producción y siembra

El sustrato utilizado consistió en una mezcla compuesta por turba al 55%, vermiculita al 24% y agrolita al 21%. Los envases fueron charolas de poliestireno de 77 cavidades y 170 cm³ de volumen por cavidad. La semilla se recolectó en noviembre de 2002, de rodales naturales localizados en el ejido San Isidro, Durango, Dgo., a 23° 40' 23'' N y 105° 02' 14'' W, a 2483 m de altitud. La siembra se realizó el 31 de marzo de 2003, después de que la semilla se remojó en agua durante 24 h y se desinfectó por 10 min en una solución compuesta por nueve partes de agua y una de cloro comercial al 6%.

Diseño experimental y tratamientos utilizados

Los tratamientos se distribuyeron en un diseño experimental de bloques

completamente al azar, con cuatro repeticiones por tratamiento. Las charolas de cada bloque se rotaron cada diez días para evitar efectos ambientales. Cada unidad experimental estuvo compuesta por 77 plantas, de las cuales sólo se evaluaron las 45 centrales (Martínez, 1988).

Se evaluaron siete rutinas de fertilización basadas en Multicote™ y/o Peters Professional™, con a un testigo (Cuadro 1). La selección de dichos fertilizantes obedeció a que en México son ampliamente utilizados en la producción de planta forestal, por lo que es conveniente evaluarlos para determinar las dosis más eficientes. Multicote™ es un fertilizante granulado que tarda en liberarse de 9 a 11 meses, cuya formulación N-P-K (porcentaje de nitrógeno-porcentaje de P₂O₅-porcentaje de K₂O) fue de 15:07:15 y se añadió a las rutinas de fertilización que les correspondía durante el mezclado del sustrato en dosis fija de 5 kg m⁻³. En cambio, Peters Professional™ es soluble en agua y con diferentes proporciones de N-P-K en cada fase de crecimiento que caracterizan a las plantas en vivero: a) fase de establecimiento: Peters iniciador™ (7:40:17 N-P-K), b) fase de crecimiento rápido: Peters desarrollo™ (20:7:19 N-P-K), y c) fase de precondicionamiento: Peters finalizador™ (4:25:35 N-P-K). Peters Professional™ se aplicó cada 48 h. Las proporciones anteriores de N-P-K sirvieron de base para calcular las dosis que se deben aplicar en cada fase de crecimiento de las plantas mediante la fórmula de Landis *et al.* (1989):

$$\text{Cantidad de fertilizante (g L}^{-1}\text{)} = \frac{\text{partes por millón deseadas}}{\text{contenido del nutriente (\%)}} \times 0.1$$

De acuerdo con Landis *et al.* (1989), las características que definen a cada fase de crecimiento de las plantas son: a) establecimiento, se considera desde la germinación hasta su estadio cotiledonar, desarrollada del 8 de mayo al 11 de junio de 2003; b) crecimiento rápido, ocurre a partir de que las plantas presentan la yema en crecimiento hasta que se logra la altura objetivo, período que duró del 13 de junio al 13 de agosto de 2003; y c) precondicionamiento, comprende desde que cesa el crecimiento en altura hasta que la planta sale del vivero, realizada del 15 de agosto al 19 de septiembre de 2003.

Variables evaluadas

Al final de cada una de las fases anteriores se extrajeron en forma aleatoria ocho plantas por unidad experimental, evaluándose: a) altura de la parte aérea, b) diámetro del cuello, c) biomasa seca de la parte aérea, del sistema radical y total, y d) asimilación de nutrientes, mediante análisis foliares; esta variable se registró sólo al finalizar las fases de crecimiento rápido y de precondicionamiento. Además, al final se determinó la supervivencia y con el fin de normalizar los datos, se les transformó a la función arco seno.

Cuadro 1. Dosis de fertilización de N-P-K, en partes por millón (ppm), utilizadas por fase de crecimiento de las plantas.

Rutina de fertilización	Establecimiento	Crecimiento rápido	Preacondicionamiento
T	Testigo (T)	Testigo (T)	Testigo (T)
R1	Multicote* (M)	Multicote (M)	Multicote (M)
R2	50:125:101** (P50)	100:15:79 (P100)	40:109:290 (P40)
R3	100:250:202 (P100)	200:30:158 (P200)	70:191:508 (P70)
R4	150:375:303 (P150)	300:45:237 (P300)	100:273:726 (P100)
R5	Multicote + 50:125:101 (M+P50)	Multicote + 100:15:79 (M+P100)	Multicote + 40:109:290 (M+P40)
R6	Multicote + 100:250:202 (M+P100)	Multicote + 200:30:158 (M+P200)	Multicote + 70:191:508 (M+P70)
R7	Multicote + 150:375:303 (M+P150)	Multicote + 300:45:237 (M+P300)	Multicote + 100:273:726 (M+P100)

* Se aplicó en dosis de 5 kg m⁻³ de sustrato. **Peters professional™

Modelo experimental y análisis estadístico

El modelo experimental utilizado para el análisis estadístico fue (Martínez, 1988):

$$Y_{ij} = \mu + \beta_j + \tau_i + \varepsilon_{ij}$$

Donde:

Y_{ij} = variable respuesta

μ = promedio general que contempla a las diferentes fuentes de variación

β_j = efecto j-ésimo bloque

τ_i = efecto del i-ésimo tratamiento

ε_{ij} = error experimental ij.

El análisis estadístico de los datos consistió en análisis de varianza realizados con apoyo del paquete de cómputo Statistical Analysis System (SAS), utilizándose el procedimiento PROC GLM. Cuando se encontraron diferencias significativas entre tratamientos ($p < 0.05$) se aplicaron pruebas de comparación de medias de Tukey.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Fase de establecimiento

Las variables respuesta, con excepción de la altura que varió de 4.3 a 5.1 cm, tuvieron diferencias significativas ($p < 0.05$) debido al efecto de las rutinas de fertilización aplicadas. Sin embargo, salvo la rutina de fertilización donde sólo se aplicó Multicote™ (R1), la cual fue superior al tratamiento R4 en cuatro variables, en los demás tratamientos no existieron tendencias claras de predominio de las dosis aplicadas, ya que la mayoría de las variables quedaron ubicadas en el grupo estadístico superior (Cuadro 2).

Pese a que la planta tenía siete semanas de edad al finalizar la fase de establecimiento y a que los tratamientos se aplicaron durante cinco semanas, el efecto de los nutrimentos aplicados en los tratamientos evaluados con relación al testigo fue mínimo (Cuadro 2). Debe destacarse que el tratamiento compuesto sólo por Multicote™ fue el más consistente en las variables evaluadas, al mantenerse siempre en el grupo estadístico superior, sin estar ligado a otros grupos estadísticos, tal como sucedió en los demás tratamientos.

Actualmente existe controversia sobre la necesidad de fertilizar durante la fase de establecimiento. Carlson (1983) señala que las plantas empiezan a utilizar los nutrimentos de 10 a 14 días posteriores a la germinación. En contraste, Van den Driessche (1984) indica que las plantas muestran poca respuesta a la adición de fertilizante durante las primeras seis semanas después de germinadas y asevera que el efecto se manifiesta después de la etapa cotiledonar. Mientras tanto, Barnett y Brissette (1986) indican que retardar la fertilización inicial afecta el crecimiento y que el suministro de nutrimentos debe ser bajo para evitar crecimientos iniciales excesivos. Por su parte, Landis *et al.* (1989) mencionan que algunos autores consideran innecesaria la fertilización temprana, debido a que el tejido de reserva contiene los nutrimentos suficientes para el crecimiento inicial de las plantas.

Landis *et al.* (1989) y Starkey (2002) recomiendan aplicar 50 ppm de nitrógeno. Aldana y Aguilera (2002) señalan que en el Vivero Militar de Sayula, Jalisco, las especies con hábito cespitoso son fertilizadas diariamente con 75 ppm de nitrógeno, mientras que en coníferas de rápido crecimiento incorporan de 50 a 75 ppm. Las dosis de Peters Professional™ utilizadas en este ensayo para

Cuadro 2. Valores medios de altura, diámetro del cuello y biomasa de la parte aérea, raíz y total por tratamiento, en plantas de *Pinus engelmannii* a siete semanas de edad en vivero.

Rutina de fertilización	Altura (cm)	Diámetro (mm)	Biomasa seca (g)		
			Parte aérea	Raíz	Total
T	4.5 a	1.4 ab	0.14 bc	0.04 ab	0.18 ab
R1: (M)	5.1 a	1.6 a	0.20 a	0.05 a	0.25 a
R2: (P50)	4.8 a	1.4 ab	0.16 abc	0.03 ab	0.19 ab
R3: (P100)	4.3 a	1.4 ab	0.15 abc	0.04 ab	0.19 ab
R4: (P150)	4.3 a	1.3 b	0.11 c	0.03 b	0.14 b
R5: (M+P50)	4.9 a	1.5 ab	0.19 ab	0.03 ab	0.22 a
R6: (M+P100)	4.9 a	1.5 a	0.19 ab	0.04 ab	0.23 a
R7: (M+P150)	4.9 a	1.4 a	0.19 ab	0.04 ab	0.23 a

Prueba de Tukey. Letras diferentes para la misma columna indican diferencias significativas ($p < 0.05$). Nota: La clave entre paréntesis de la primera columna corresponde al tratamiento aplicado en la fase de establecimiento (Cuadro 1).

la fase de establecimiento fueron: 50:125:101, 100:250:202 y 150:375:303 ppm de N-P-K (Cuadro 1). Aunque los niveles de los nutrimentos parecen altos, debe considerarse que se fertilizó cada 48 h, a diferencia de los señalados en la literatura y que corresponden a dosis diarias.

Debido a que la finalidad de la fase de establecimiento es lograr que el sistema radical de las plantas se establezca en el medio de crecimiento, las concentraciones de fósforo y potasio superaron en más del doble al nitrógeno, ya que el primero favorece el crecimiento de las raíces y la formación de la yema; mientras que el potasio contribuye al crecimiento de las raíces y ayuda a mejorar la resistencia de las plantas a posibles daños por plagas y/o enfermedades; en cambio, el nitrógeno influye en el crecimiento en altura (Dumroese *et al.*, 1998).

Fase de crecimiento rápido

Las variables evaluadas tuvieron diferencias significativas entre tratamientos ($p < 0.05$); aunque, en el caso de la producción de biomasa de la parte aérea y total sólo el testigo resultó inferior. En el resto de variables existieron resultados similares entre los tratamientos utilizados sin una tendencia definida, con excepción del testigo donde se produjo la planta con los atributos morfológicos menores (Cuadro 3).

La influencia de los tratamientos aplicados hasta la fase de crecimiento rápido considera también el efecto acumulado de la fase de establecimiento. En el testigo las plantas manifestaron efectos adversos a partir de la fase de crecimiento rápido. En cambio, la planta fertilizada con Multicote™ (R1) continuó su crecimiento en forma favorable, al mantenerse todas las variables evaluadas en el grupo estadístico superior, situación que también sucedió cuando se fertilizó con ambos fertilizantes (R5, R6 y R7), con excepción de R7 para la biomasa del sistema radical (Cuadro 3).

Cuadro 3. Valores medios de altura, diámetro del cuello y biomasa de la parte aérea, raíz y total por tratamiento, en plantas de *Pinus engelmannii* a 17 semanas de edad en vivero.

Rutina de fertilización	Altura (cm)	Diámetro (mm)	Biomasa seca (g)		
			Parte aérea	Raíz	Total
T	5.8 c	2.5 c	0.43 b	0.24 b	0.67 b
R1: (M)	11.1 ab	3.4 ab	1.15 a	0.39 a	1.54 a
R2: (P100)	12.0 ab	3.6 ab	1.28 a	0.31 ab	1.59 a
R3: (P200)	10.8 b	3.3 ab	1.12 a	0.26 b	1.38 a
R4: (P300)	11.2 ab	3.2 b	1.08 a	0.21 b	1.29 a
R5: (M+P100)	12.4 ab	3.5 ab	1.32 a	0.32 ab	1.64 a
R6: (M+P200)	12.8 a	3.7 a	1.32 a	0.32 ab	1.64 a
R7: (M+P300)	12.5 ab	3.3 ab	1.16 a	0.26 b	1.42 a

Prueba de Tukey. Letras diferentes para la misma columna indican diferencias significativas ($p < 0.05$). Nota: La clave entre paréntesis de la primera columna corresponde al tratamiento aplicado en la fase de crecimiento rápido (Cuadro 1).

La absorción de nutrimentos en el follaje de las plantas mostró diferencias significativas ($p < 0.05$) debido al efecto de los tratamientos. En el nitrógeno sobresalieron las rutinas de fertilización R4, R7, R6, R3 y R5 con valores de 2.6 a 2.8%; le siguieron los tratamientos R2 y R1 con 2.03 y 1.61%, respectivamente y el efecto menor ocurrió en el testigo con 0.86% (Figura 1). Las cantidades de nitrógeno asimilado en las plantas por tratamiento, con excepción del testigo, se ubicaron en el rango de 1.3 a 3.5%, recomendado por Landis (1985) y CEFORA (1994).

Respecto al fósforo, los tratamientos con mayor efecto fueron los mismos con los que sobresalió el nitrógeno, seguidos por R2, R1 y T (Figura 1). El rango apropiado para este nutrimento debe estar entre 0.2 y 0.6% (Landis, 1985), en el cual quedaron los tratamientos evaluados, con excepción del T y el R1 que asimilaron 0.10 y 0.18%, respectivamente. Con relación al potasio, las plantas asimilaron mejor el R4, ubicándose después los tratamientos R7, R5 y R6. T y R1 tuvieron los valores menores (Figura 1). El rango recomendado para este nutrimento es de 0.7 a 2.5% (CEFORA, 1994), en el cual quedaron todos los tratamientos evaluados.

En los tratamientos donde las plantas absorbieron mayor cantidad de nutrimentos, el crecimiento de las plantas, en general, fue favorable. Aunque el efecto de la fertilización con Multicote™ propició buen crecimiento de las plantas, los nutrimentos asimilados estuvieron en el rango mínimo recomendado para que las plantas crezcan adecuadamente. En cambio, el testigo produjo la planta de menor calidad debido a que los nutrimentos absorbidos fueron insuficientes por la falta de fertilización.

Landis *et al.* (1989) indican que los viveristas forestales de Estados Unidos aplican en la fase de crecimiento rápido de 55 a 260 ppm de nitrógeno, pero el nivel ideal debe fluctuar entre 100 y 150 ppm; dosis mayores a 250 ppm promueven un crecimiento suculento de la parte aérea y genera desequilibrio de la relación parte aérea-raíz. Esta situación no sucedió en este ensayo a pesar de que la dosis mayor fue de 300 ppm, con fertilizaciones cada 48 h. Por su parte, Starkey (2002) recomienda incorporar 200 ppm de nitrógeno durante un periodo de 14 a 16 semanas. Aldana y Aguilera (2002) señalan que en el Vivero Militar de Sayula, Jalisco, aplican diariamente de 100 a 120 ppm de nitrógeno durante 10 semanas.

Fase de precondicionamiento

Con excepción de la supervivencia que fue superior al 98% en todos los tratamientos, sobresalieron los valores en forma más consistente en: R2, R6, R5 y R7, al ubicarse en el nivel estadístico superior en todas las variables. Posteriormente, se ubicó el tratamiento R3 y finalmente, los efectos menores

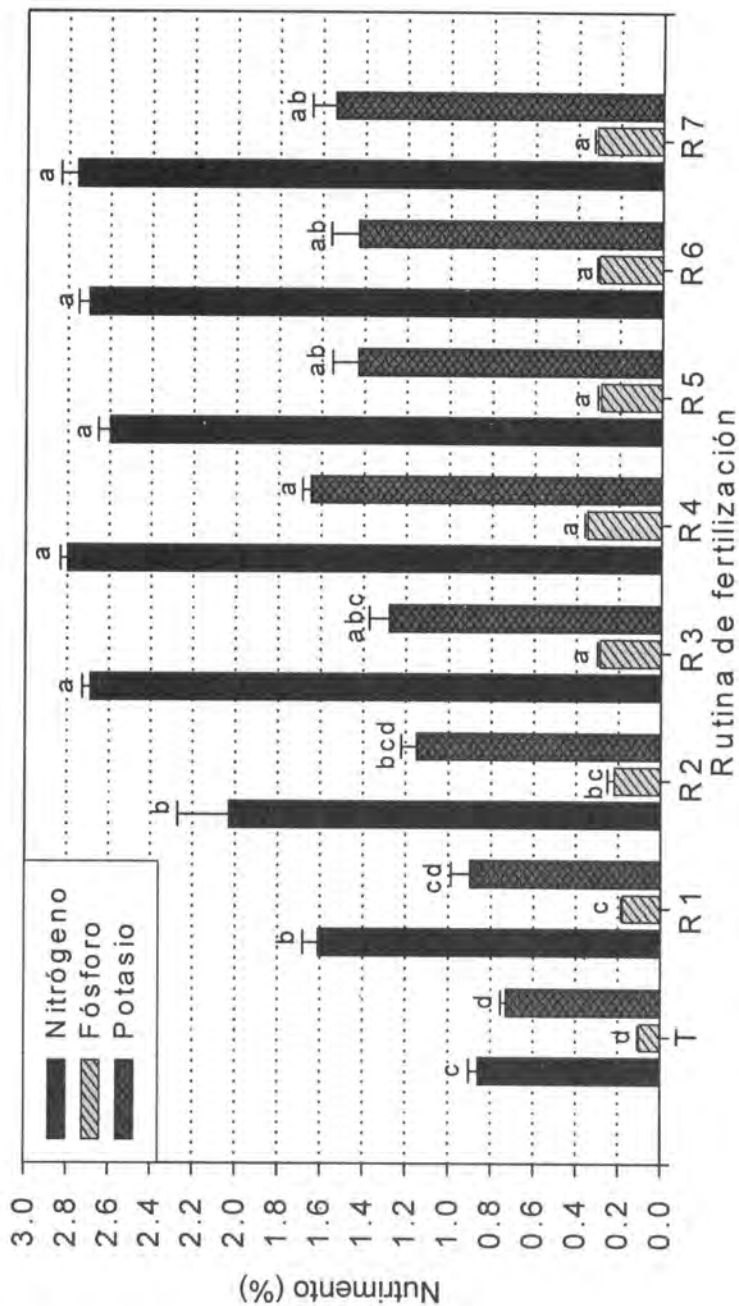


Figura 1. Valores medios de N-P-K asimilado por el follaje de plantas de *Pinus engelmannii* a 17 semanas de edad en vivero. Letras diferentes para el mismo nutrimento indican diferencias significativas (Tukey: $p < 0.05$).

sucedieron en R1, R4 y el testigo; este último tuvo deficiencias morfológicas debido a que no se aplicó fertilizante (Cuadro 4).

Cuadro 4 Valores medios de altura, diámetro del cuello y biomasa de la parte aérea, raíz y total por tratamiento, en plantas de *Pinus engelmannii* a 22 semanas de edad en vivero.

Rutina de fertilización	Altura (cm)	Diámetro (mm)	Biomasa seca (g)		
			Parte aérea	Raíz	Total
T	6.9 c	3.0 d	0.57 e	0.34 c	0.91 d
R1: (M)	14.0 b	5.0 bc	2.23 d	0.86 a	3.09 b
R2: (P40)	17.2 a	5.4 ab	2.89 a	0.80 a	3.69 a
R3: (P70)	16.8 a	5.1 abc	2.30 bcd	0.76 a	3.06 b
R4: (P100)	17.2 a	4.8 c	1.97 d	0.55 b	2.52 c
R5: (M+P40)	18.3 a	5.7 a	2.53 abc	0.77 a	3.30 ab
R6: (M+P70)	16.8 a	5.6 a	2.77 a	0.76 a	3.53 ab
R7: (M+P100)	18.3 a	5.4 ab	2.68 ab	0.75 a	3.43 ab

Prueba de Tukey. Letras diferentes para la misma columna indican diferencias significativas ($p < 0.05$). Nota: La clave entre paréntesis de la primera columna corresponde al tratamiento aplicado en la fase de preacondicionamiento (Cuadro 1).

En estos resultados destacó el tratamiento donde sólo se aplicó Peters Professional™ en la dosis más baja (R2), lo que contrasta con las rutinas R3 y R4 donde se produjo planta con atributos morfológicos de menor calidad, a pesar de haber aplicado dosis mayores. Cuando se utilizaron ambos fertilizantes los resultados fueron similares entre sí, con una ligera superioridad de la rutina R6 en la mayoría de las variables evaluadas, lo que indica que el aumento de la dosis de nitrógeno no favoreció el crecimiento de las plantas.

Con relación a la asimilación de N-P-K en el follaje, se encontró que los valores mayores ocurrieron en los tres casos en las rutinas de fertilización R7 y R4, aunque el potasio también incluye al tratamiento R3 en el grupo superior; sin embargo, el tratamiento R7 destacó al no estar ligado a los grupos estadísticos

inferiores, como sucedió en los otros tratamientos. Posteriormente sobresalieron las rutinas de fertilización R6 y R3, seguidas por R5 y R2. La menor absorción de nutrimentos ocurrió en los tratamientos R1 y T (Figura 2).

Los nutrimentos N-P-K asimilados por el follaje de las plantas, con excepción del nitrógeno y el fósforo para los tratamientos T y R1, quedaron en los rangos recomendados por Landis (1985) y CEFORA (1994), los cuales son de 1.3 a 3.5% para el nitrógeno total, de 0.2 a 0.6% para el fósforo y de 0.7 a 2.5% para el potasio. El nitrógeno asimilado en las plantas en la fase de preacondicionamiento, con relación a la de crecimiento rápido, fue menor debido a que las dosis se redujeron a menos de la mitad, mientras que las de fósforo y potasio se incrementaron en más de tres veces para favorecer la lignificación.

En general, los resultados de los análisis foliares de los nutrimentos asimilados en el follaje de las plantas tienen coincidencia con las variables respuesta de las plantas en las rutinas de fertilización basadas en ambos fertilizantes (Multicote™ + Peters Professional™), al ser las que mejor asimilaron los nutrimentos y producir la planta de mejor calidad. En cambio, en los tratamientos R3 y R4, no obstante que también asimilaron los nutrimentos en altas proporciones, el crecimiento de las plantas fue menor. En estos resultados destaca el tratamiento R2, a pesar de que estuvo basado solamente en la adición de Peters Professional™ en la dosis menor. Finalmente, en los tratamientos R1 y T, se obtuvieron los más bajos niveles de nutrimentos y produjeron planta de menor calidad.

Aunque al nitrógeno se le ha dado mucha importancia en el crecimiento en altura de las plantas, éste debe estar presente en la proporción adecuada con el fósforo y el potasio. Cantidades deficientes de potasio limitan el uso apropiado del nitrógeno (Van Steenis, 1999). El potasio mejora la lignificación, mientras que excesos de fósforo la desfavorecen en algunas especies (Ritchie, 1984); además, se retrasa el inicio del letargo (Van den Driessche, 1984). Por ello, es conveniente mantener altas dosis de potasio durante la producción de planta (Alarcón, 1999).

Actualmente existe controversia con respecto a las cantidades de nitrógeno que deben suministrarse durante el preacondicionamiento. La literatura de hace más de una década recomienda utilizar concentraciones menores a 100 ppm (Barnett y Brissette, 1986; Landis *et al.*, 1989; Bigg y Schalau, 1990; CEFORA, 1994), para que disminuya su crecimiento y favorezca su lignificación. En cambio, investigaciones recientes de Boivin *et al.* (2002), Salifu y Timmer (2003), Dumroese (2003) y Murphy (2004) sugieren la aplicación de altos niveles de nitrógeno para que las plantas acumulen reservas, que servirán en el sitio de plantación para la formación de nuevos tejidos, incrementar la producción de raíces y propiciar el rompimiento temprano de la yema.

Debido a que en los resultados finales sobresalieron los tratamientos donde

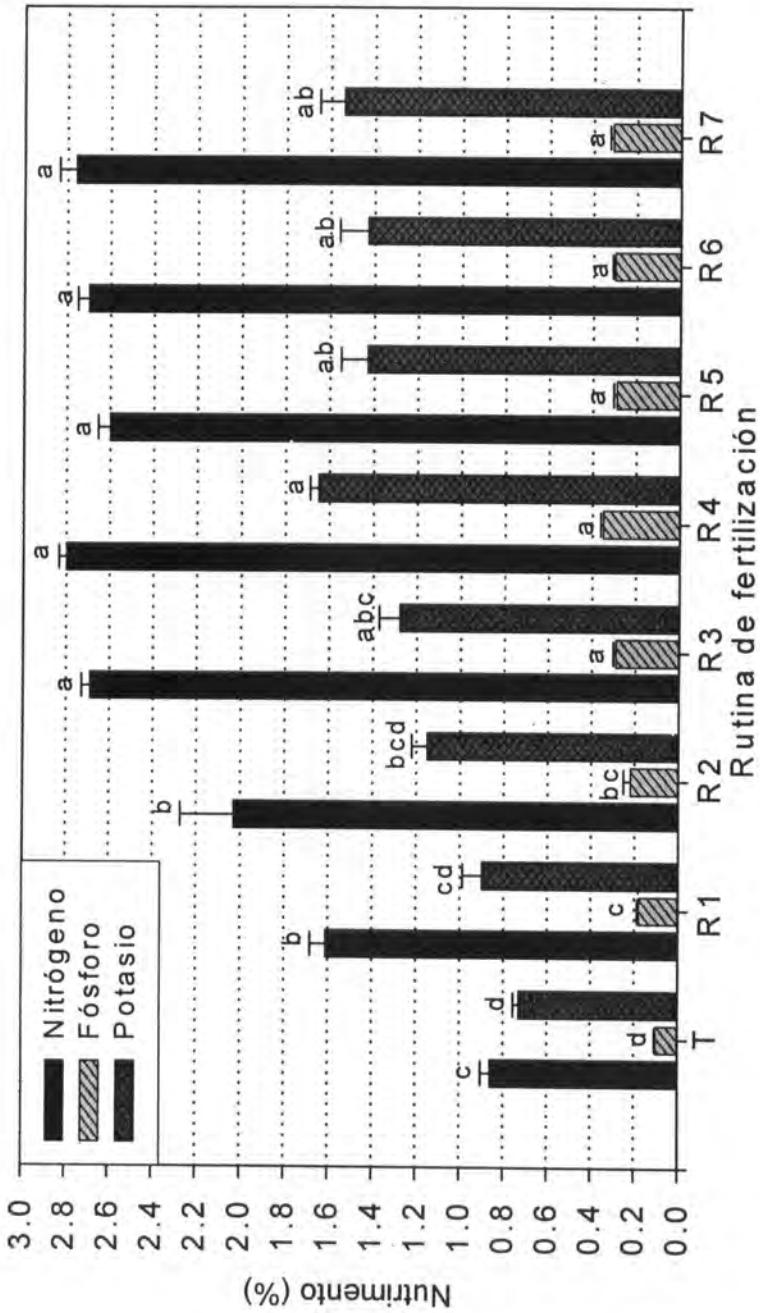


Figura 2. Valores medios de N-P-K asimilado por el follaje de plantas de *Pinus engelmannii* a 22 semanas de edad en vivero. Letras diferentes para el mismo nutrimento indican diferencias significativas (Tukey: $p < 0.05$).

se utilizó Peters Professional™ en la rutina con las dosis más bajas (50:125:101, 100:15-79 y 40:109:290 ppm de N-P-K, respectivamente, aplicadas en las tres fases de crecimiento); así como la combinación de Multicote™ y Peters Professional™ en las tres rutinas de fertilización (R5, R6 y R7), la selección del tratamiento requiere considerar criterios que permitan minimizar costos y reduzcan el uso de agroquímicos; esto determina que el tratamiento donde sólo se aplicó Peters Professional™ sea el que mejor cumple con estos aspectos al corresponder a la dosis menor de dicho fertilizante, lo que implica utilizar menos fertilizante y disminuir costos.

CONCLUSIONES

Se recomienda utilizar la rutina de fertilización compuesta por Peters Professional™ con las dosis 50:125:101, 100:15-79 y 40:109:290 ppm de N-P-K, aplicadas en las respectivas fases de crecimiento de las plantas, debido a que permitió producir planta de buena calidad e implica aplicar menos fertilizante. La falta de fertilización limitó el crecimiento de las plantas.

Los nutrientes N-P-K asimilados por las plantas en la fase de crecimiento rápido y de preacondicionamiento, con excepción del testigo y del Multicote™ en la última fase, fueron adecuados en los tratamientos evaluados y permitieron un apropiado crecimiento de las plantas.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen al INIFAP y al CONACyT, por la beca otorgada al primero para realizar sus estudios de Doctorado. A la Fundación Produce Durango, A. C., por el financiamiento otorgado por medio del Proyecto Bosque Modelo Durango. A los técnicos de campo del INIFAP: C. Francisco J. Falcón F. y Francisco J. Chávez O., por su valioso apoyo en el seguimiento del ensayo. A los revisores anónimos por su acertada contribución para mejorar este documento.

REFERENCIAS

- Alarcón B., M. 1999. Crecimiento inicial y calidad de planta de *Pinus greggii* Engelm. bajo diferentes condiciones de fertilidad en invernadero. Tesis de Maestría en Ciencias. Colegio de Postgraduados. Montecillo, México. 107 p.
- Aldana B., R. y M. Aguilera R. 2002. Procedimientos y cálculos básicos útiles en la operación de viveros que producen en contenedor. CONAFOR-PRONARE. Guadalajara, Jal. 44 p.
- Barnett, J. P. and J. C. Brissette, 1986. Producing southern seedlings in containers. USDA, Forest Service, Gen. Tech. Rep. So-59, 71 p.
- Birchler, T., R. W. Rose, A. Royo y M. Pardos, 1998. La planta ideal: revisión del concepto, parámetros definitorios e implementación práctica. Invest. Agr. Sist. Recur. For. 7(1 y 2):110-121.

- Bigg, W. L. and J. W. Schalaus. 1990. Mineral nutrition and target seedling. *In*: Proceedings of the Target Seedling Symposium. Aug. 13-17. 1990. USDA, Forest Service. Gen. Tech. Rep. RM-200. pp. 139-160.
- Boivin, J. R., B. D. Miller and V. R. Timmer. 2002. Late-season fertilization of *Picea mariana* seedlings under greenhouse culture: Biomass and nutrient dynamics. *Ann. For. Sci.* 59:255-264.
- Carlson, L. W. 1983. Guidelines for rearing containerized conifer seedlings in the Praire Provinces. Canadian Forest Service. Inf. Rep. NOR-X-214E. 64 p.
- Centro de Forestación de las Américas (CEFORA). 1994. Viveros y reforestación en México. *In*: Curso internacional de entrenamiento, 4 al 22 de junio de 1994. Universidad Estatal de Nuevo México. Servicio Forestal de los Estados Unidos. Subsecretaría Forestal y de Fauna Silvestre en México. México. 120 p.
- Dumroese, R. K., T. D. Landis and D. L. Wenny. 1998. Raising forest tree seedlings at home: simple methods for growing conifers of the Pacific Northwest from seeds. University of Idaho. Forest, Wildlife and Range Experiment Station. Contribution Number 860. 56 p.
- Dumroese, R. K. 2003. Hardening fertilization and nutrient loading of conifer seedlings. *In*: Riley, L. E., Dumroese, R. K., Landis, T. D., Tech. Coords. National Proceedings of the Forest and Conservation Nursery Associations. 2002. Odgen, UT. USDA, Forest Service, RMRS-P-28. pp. 31-36.
- Johnson, J. D. and M. L. Cline. 1991. Seedling quality of southern pines. *In*: Duryea, M. L. and Dougherty, P. M. (eds.) Forest Regeneration Manual. Lluver Academic Pub. Netherlands. pp. 143-159.
- Landis, T. D. 1985. Mineral nutrition as an index of seedling quality. *In*: Duryea, M. L. (ed.) Proceedings of the Evaluating seedling quality: principles, procedures and predictive habiliteis of major tests. Oct. 16-18, 1984, Forest Research Laboratory, Oregon State University. Corvallis, OR. pp. 29-48.
- Landis, T. D., R. W. Tinus, S. E. McDonald and J. P. Barnett. 1989. Seedling Nutrition and Irrigation. The Container Tree Nursery Manual. Vol. 4. Agric. Handbook 674. USDA, Forest Service, Washington, D. C. 119 p.
- Martinez G., A. 1988. Diseños Experimentales. Ed. Trillas. México. pp. 118-160.
- Murphy, R. 2004. Fertilization exponential vs nutrient loading. <http://www.lustr.ca/articles/59>. (23 de enero de 2004).
- Ritchie, G. A. 1984. Assessing seedling quality. *In*: Duryea, M. L. and Landis, T. D. (eds.) Forest nursery manual: Production of bareroot seedlings. Martinus Nijhoff / Dr. W. Junk Publishers, Forest Research Laboratory, Oregon State University. Corvallis, OR. pp. 243-259.
- Salifu, K. F. and V. R. Timmer. 2003. Nitrogen retranslocation response of young *Picea mariana* to nitrogen-15 supply. *Soil Sci. Am. J.* 67:309-317.

- Starkey, T. E. 2002. Irrigation and fertilization type, rate and frequency of application. *In*: Barnett, J. P.; Dumroese, R. K.; Moorhead, D. J. (eds.). Proceedings of the growing longleaf pine in containers-1999 and 2001 workshops. USDA, Forest Service, Gen. Tech. Rep. SRS-20. pp. 30-34.
- Van den Driessche, R. 1984. Soil fertility in forest nurseries. *In*: Duryea, M. L. and Landis, T. D. (eds). Forestry Nursery Manual: Production of bareroot seedlings. Martinus Nijhoff / Dr. W. Junk Publishers. Forest Research Laboratory, Oregon State University. Corvallis, OR. pp. 63-74.
- Van Steenis, E. 1999. Forest seedling nutrition trends. *In*: Landis, T. D. and Barnett, J. P., (Tech. Cords.) National Proceedings of the Forest and Conservation Nursery Associations-1998. USDA, Forest Service, Gen. Tech. Rep. SRS-25. pp. 104-107.