



COLEGIO DE POSTGRADUADOS

INSTITUCION DE ENSEÑANZA E INVESTIGACION EN CIENCIAS
AGRÍCOLAS

CAMPUS MONTECILLO

POSTGRADO EN CIENCIAS FORESTALES

**SUSTRATOS Y TASAS DE ADICIÓN NUTRIMENTAL EN VIVERO
AFECTAN LA CALIDAD DE PLÁNTULA Y SU DESARROLLO INICIAL
EN CAMPO**

MAYRA VELÉN BUENDIA VELAZQUEZ

T E S I S

PRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL

PARA OBTENER EL GRADO DE:

MAESTRA EN CIENCIAS

MONTECILLO, TEXCOCO, EDO. DE MEXICO

2016

La presente tesis titulada **“SUSTRATOS Y TASAS DE ADICIÓN NUTRIMENTAL EN VIVERO, AFECTAN LA CALIDAD DE PLÁNTULA Y SU DESARROLLO INICIAL EN CAMPO”** realizada por la **ING. MAYRA VELÉN BUENDÍA VELÁZQUEZ**, bajo la dirección del Consejo Particular indicado, ha sido aprobada por el mismo y aceptada como requisito parcial para obtener el grado de:

MAESTRA EN CIENCIAS FORESTALES

CONSEJO PARTICULAR

CONSEJERO



DR. MIGUEL ÁNGEL LÓPEZ LÓPEZ

ASESOR



DR. VÍCTOR MANUEL CETINA ALCALÁ

ASESOR



DR. LAMINE DIAKITE

Montecillo, Texcoco, Estado de México, Enero de 2016.

RESUMEN

La tecnología para la producción de planta forestal de vivero en México es costosa en parte debido al uso de peat moss y fertilizantes. Además la planta con bajas reservas nutrimentales destinada a reforestación no es congruente con la frecuentemente baja sobrevivencia que se obtiene en campo, especialmente en sitios de baja fertilidad. Es necesario adoptar las técnicas de vivero en función a las características del sitio de plantación.

En el presente trabajo se establecieron dos experimentos para estudiar los efectos de dos factores sobre plántulas de *Pinus leiophylla* en vivero y campo. Como primer factor “Sustrato”, se usó aserrín crudo alternativamente al peat moss, que es el sustrato “tradición al”. El segundo factor “Tasas de adición nutrimental”, consistió en aplicación de fertilizantes en función de una tasa exponencial en contraposición a la tasa constante. El estudio se dividió en dos etapas: vivero y campo (desarrollo inicial), ambas examinadas mediante un diseño experimental completamente al azar con arreglo factorial 2x2.

La primera etapa se desarrolló a partir de la siembra de *Pinus leiophylla* en un vivero del Colegio de Postgraduados, Campus Montecillo, donde se evaluó diámetro al cuello de raíz, altura, pesos secos (aéreo, radical, total y de 100 acículas), índice de calidad de Dickson, esbeltez y concentraciones foliares de N, P y K. La segunda etapa se desarrolló a partir del trasplante de los individuos a un sitio degradado del ejido de Coatlinchan, Texcoco, México. Durante la etapa de campo se evaluó diámetro, altura, incrementos de ambas variables, peso seco de 100 acículas y sobrevivencia, así como concentraciones foliares de N, P y K.

En vivero la interacción PM*TC dio como resultado individuos con buenas características morfológicas y la interacción AS*TE individuos con altas reservas nutrimentales de N y P. A un año del trasplante a campo los efectos que el sustrato tuvo sobre la morfología de las plantas, se siguieron manifestando en términos de diámetro y altura. La tasa de fertilización exponencial indujo durante la etapa de vivero, mayores concentraciones de N, P y K, las cuales permitieron mayores incrementos de altura y peso seco de 100 acículas en campo.

El uso de aserrín crudo como sustrato produce planta pequeña con altas concentraciones de nutrimentos, la cual presenta adecuada sobrevivencia y crecimiento inicial en campo, sobre

suelos delgados de baja fertilidad. La fertilización exponencial incrementa las reservas nutrimentales en vivero, mejorando el crecimiento inicial en campo.

Palabras clave: *Pinus*, aserrín, tasa de adición nutrimental exponencial, reforestación, sobrevivencia, fertilidad de suelo.

ABSTRACT

Technology for the production of forest seedlings in Mexico is expensive in part because of the use of peat moss and fertilizer. Furthermore, seedlings with low nutritional reserves aimed at reforestation is not consistent with the low survival rate often registered in the field, especially in low fertility sites. It is necessary to adopt the appropriate nursery techniques according to the characteristics of the planting site.

Two experiments to study the effects of two factors on *Pinus leiophylla* seedlings were established under nursery and field conditions. As the first factor, “substrate”, raw sawdust was used as an alternative substrate to the “traditional” one (peat moss). The second factor “nutrient addition rate”, consisted of the application of fertilizers based on an exponential rate, as opposed to the constant rate. The study was divided into two stages: nursery and field (early development), both examined using a complete randomized experimental design with a 2X2 factorial arrangement.

The first stage was developed from planting *Pinus leiophylla* in a nursery at COLPOS Colegio de Postgraduados, Campus Montecillo, where root collar diameter, height, dry weights (aboveground, belowground, total, and 100-needle), Dickson quality index, slenderness, and foliar concentrations of N, P and K were registered. The second stage was developed from the transplantation of individuals from the first stage, to a degraded site at Coatlinchan, Texcoco, Mexico. During the field stage, diameter, height, increments of both variables, dry weight of 100 needles, survival and foliar concentrations of N, P and K were evaluated.

In the nursery, the interaction PM*TC resulted in individuals with good morphological features, while AS*TE generated individuals with high reserves of N and P. One year after transplantation, the effects substrates exerted on seedling morphology continued to express in terms of diameter and height. The exponential fertilization rate gave rise, during the nursery stage, to higher foliar concentrations of N, P, and K, which allowed greater increases in height and dry weight of 100 needles in the field.

The use of raw sawdust as a substrate produces small seedlings with high concentrations of nutrients, which present adequate survival and early growth in thin-low-fertility soils.

Exponential fertilization increases the nutritional reserves during the nursery stage, improving early growth in the field.

Key words: *Pinus*, sawdust, exponential nutrient addition rate, reforestation, survival, soil fertility.

Gracias al apoyo del Colegio de Postgraduados, CONACYT, a la Delegación y Ejido de Coatlinchan. En especial al Dr. Miguel Ángel López López y al Dr. Víctor Manuel Cetina Alcalá.

¿Con qué he de irme?

¿Nada dejaré en pos de mi sobre la tierra?

¿Cómo ha de actuar mi corazón?

¿Acaso en vano venimos a vivir, a brotar sobre la tierra?

Dejemos al menos flores

Dejemos al menos cantos

A Elsa, Angélica, Jared, Bernardo y José Luis

Índice

RESUMEN	3
ABSTRACT	5
CAPÍTULO I	10
Introducción	10
REFERENCIAS	13
CAPÍTULO II	15
SUSTRATOS Y TASAS DE ADICIÓN NUTRIMENTAL AFECTAN MORFOLOGÍA Y FISIOLOGÍA DE <i>PINUS LEIOPHYLLA</i> EN VIVERO	15
Resumen	15
Introducción	16
Materiales y métodos	17
Resultados	20
Variables morfológicas	20
Discusión	26
Conclusiones	29
Referencias	31
CAPÍTULO III	34
EL SISTEMA DE PRODUCCIÓN DE <i>PINUS LEIOPHYLLA</i> EN VIVERO AFECTA LA MORFOLOGÍA Y FISIOLOGÍA EN CAMPO	34
Resumen	34
Introducción	35
Materiales y métodos	36
Etapa de vivero	36
Etapa de campo	38
Diseño del experimento de campo	39
Variables evaluadas	39
Resultados	41
Características del suelo del área experimental	41
Características de la planta utilizada en la plantación	42
Efectos del manejo en vivero sobre desarrollo de la planta en campo	43

Discusión	48
Conclusiones	50
Referencias.....	52
CAPÍTULO IV	55
Conclusiones	55

Índice de cuadros

CAPÍTULO II

Cuadro 1. Análisis de varianza y pruebas de Tukey ($\alpha = 0.05$) para variables morfológicas.	21
Cuadro 2. Análisis de varianza y pruebas de Tukey ($\alpha = 0.05$) para variables fisiológicas.	24

CAPÍTULO III

Cuadro 1. Análisis químico del suelo del predio “Los tecomates” Coatlinchan, Texcoco, Estado de México.....	41
Cuadro 2. Características de la planta al momento del trasplante a campo.....	42
Cuadro 3. Análisis de varianza y pruebas de Tukey ($\alpha = 0.05$) para variables morfológicas de <i>Pinus leiophylla</i> en campo (Coatlinchan, Texcoco, Estado de México).....	43
Cuadro 4. Análisis de varianza y pruebas de Tukey ($\alpha = 0.05$) para variables fisiológicas de <i>Pinus leiophylla</i> en campo (Coatlinchan Texcoco Estado de México).....	46

Índice de figuras

CAPÍTULO II

Figura 1. Interacción de los factores probados en variables morfológicas	22
Figura 2. Nomogramas de Timmer para a) N, b) P y c) K en <i>Pinus leiophylla</i>	25

CAPÍTULO III

Figura 1. Variables en <i>Pinus leiophylla</i> tomado al final de la etapa de vivero 2014 (v) y a un año de la plantación 2015 (c.).	44
Figura 2. Nomogramas de Timmer para a) N, b) P y c) K en <i>Pinus leiophylla</i> en campo	47

CAPÍTULO I

Introducción

El deterioro ambiental en términos de disponibilidad de agua, vegetación y suelo, actualmente es bien conocido por la sociedad. Se estima que entre 2005 y 2010 México registró una deforestación de alrededor de 155,000 hectáreas por año. En 2012 se registró un total de 7,170 incendios forestales en el país afectando 347,225.53 hectáreas, lo que equivale a una disminución de 41% con respecto al 2011. Según la FAO (2010), de 2000 a 2010, a nivel mundial se perdieron 13 millones de hectáreas anuales de selvas, bosques y otros ecosistemas de arbolado, en tanto se recuperaron poco más de 5 millones de hectáreas en forma de acahuales, zonas reforestadas y plantaciones forestales.

Se han implementado medidas para mitigar la afectación de los ecosistemas naturales. La reforestación es una de ellas, sin embargo no se han obtenido los resultados deseables. La Campaña de Reforestación 2015 tuvo como meta restaurar un millón de hectáreas durante el periodo 2013-2018, con un promedio de reforestación de 170 mil hectáreas anuales en las que se plantará un promedio de 180 millones de plantas (CONAFOR 2015), de las cuales sólo sobrevivirá de 57.5 al 40.28 %, incluyendo bosque templado, selva y zonas áridas, con causas de mortandad por sequía y mala calidad de planta (UACH – CEC 2011).

La vegetación forestal juega papeles muy importantes como reciclado de nutrimentos, fijación de nitrógeno, captura de carbono así como hábitat de fauna. No obstante se debe tener claro el objetivo de la plantación, porque de ello parten muchos elementos importantes. La plantación puede tener fines ecológicos, para rehabilitación de sitios o ecosistemas, conservación de suelo, producción de agua, hasta fines de producción como madera o resina entre otros.

Para un buen comienzo es importante conocer varios aspectos del sitio que se pretende reforestar: clima, flora, fauna, y suelo. Posteriormente, se debe decidir qué especie se reestablecerá procurando que sea una especie de la región y así, producir la planta en vivero, preparándola para las condiciones que enfrentará cuando sea llevada a campo.

Algunos autores han propuesto la producción de “planta meta”, que consiste en la definición de características de la planta por producir, acordes con las condiciones del sitio de destino de la planta. Mexal y Landis (1990) sugieren por ejemplo, que en sitios con competencia por malezas, la planta de grandes dimensiones puede presentar ventajas competitivas, mientras que de sitios de baja fertilidad y poca disponibilidad de agua, probablemente la planta pequeña muestre mejor desempeño. Autores como Peyton (1990) mencionan que en la literatura existen pocas pruebas que demuestren que la “planta meta” despliegue mejor desempeño en campo. Es probable que la controversia surja de la falta de estudios detallados al respecto.

En el presente estudio se produjo *Pinus leiophylla* en vivero para reforestar el área de influencia del ejido de Coatlinchán, Texcoco Estado de México, que es un sitio con alto grado de degradación ocasionado por explosión demográfica. El sitio ha sufrido cambio de uso de suelo, deforestación, pérdida y contaminación de suelo y agua. El 58.5 % de la vegetación del municipio de Texcoco, originalmente estaba compuesto por especies de pino, sin embargo actualmente solamente se conserva cerca del 10% (Adame y Martínez 1999). Desde 1970 ha habido intentos por restaurar los suelos de estas áreas con resultados poco favorables. En 2015 el ejido de Coatlinchan, realizó en coordinación con CONAFOR e INYDES una reforestación de dos millones de plantas entre las cuales destacó como principal especie *Pinus montezumae*, la cual tiene una meta de sobrevivencia del 80% muy por encima a las cifras reportadas por UACH – CEC (2011).

Existen pocos estudios de seguimiento de producción de planta forestal desde vivero hasta su posterior trasplante a campo (Malik and Timmer 1996, Way et al. 2007). Por lo general se parte del supuesto de que una vez trasplantados los individuos a campo, continuará la tendencia de vivero para las variables morfológicas y fisiológicas, y que éstas se verán reflejadas en la sobrevivencia. Sin embargo, esto no siempre es así. El periodo inicial es especialmente crítico, en el cual la planta debe recuperarse del posible estrés sufrido durante su manejo y establecer contacto entre sus raíces y el suelo, a fin de retomar las funciones vitales de absorción de agua y nutrimentos en el nuevo ambiente (Margolis y Brand, 1990) especialmente bajo una dinámica con factores abióticos impredecibles; fertilidad del suelo, clima, manejo y características de la planta (morfológicas, fisiológicas y genéticas), siendo las propiedades físicas e hídricas del

suelo, las que normalmente presentan mayor variabilidad, sin que las condiciones de luz y nutrientes dejen de ser determinantes (Setterfield, 2001).

El presente estudio busca ayudar en la definición del sistema óptimo de producción de planta forestal en vivero que permita lograr una alta sobrevivencia y una real restauración de los sitios degradados de la zona de plantación. El estudio abarcó desde la producción en vivero de una especie típicamente pionera; *Pinus leiophylla*, hasta un año después del trasplante en campo. En el vivero se probó la factibilidad biológica del uso de aserrín como sustrato alternativo al comúnmente utilizado peat moss, y de la adición exponencial de fertilizante, en contraposición con la adición constante. El uso de aserrín tuvo por objeto contribuir a generar conocimiento que a la sazón permita sustituir el peat moss, que es un sustrato caro de importación, por el sustrato estudiado, que es un subproducto barato de los aserraderos. El estudio de la fertilización exponencial pretendió analizar la capacidad de esta técnica para lograr la recarga de nutrientes en la planta, que eventualmente permita mayor sobrevivencia y crecimiento inicial de la misma una vez en campo.

REFERENCIAS

1. Adame M. R., Martínez M. M. (1999). Efecto del manejo integral de la Cuenca del río Texcoco, sobre la producción de agua y sedimentos. *Investigaciones Geográficas Boletín* 39, 1999.
2. Comisión Nacional Forestal (2015) Reforestación dejando huella. Recuperado de: <http://www.conafor.gob.mx:8080/documentos/docs/7/6426Incrementa%20la%20calidad%20de%20la%20producci%C3%B3n%20de%20planta.pdf>
3. Malik, V. & Timmer, V.R. 1996. Growth, nutrient dynamics, and interspecific competition of nutrientloaded black spruce seedlings on a boreal mixedwood site. *Canadian Journal of Forest Research* 26: 1651–1659.
4. Margolis, H.A, y Brand, D.G. 1990. An ecophysiological basis for understanding plantation establishment. *Can. J. For. Res.* 20:375–390.
5. Mexal J.G., Landis T.D. (1990). Target seedling concepts: Height and Diameter. Target seedling symposium. Chapter 3. Recuperado de: http://www.fs.fed.us/rm/pubs_rm/rm_gtr200/rm_gtr200_017_036.pdf
6. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (2010). La deforestación disminuye en el mundo, pero continúa a ritmo alarmante en muchos países. Recuperado de: <http://www.fao.org/news/story/es/item/40952/icode/>
7. Owston Peyton W. (1990). Target seedling sepecifications: Are stocktype designations useful?. In: Rose R.; Campbell, S.J.; Landis, T.D., eds. *Proceedings, Western Forest Nursery Association*; 1990 August 13-17; Roseburg, OR. General Technical Report RM-200. Fort Collins, CO: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Rocky Mountain Forest and Range Experiment Station: 9-16. Available at: <http://www.fcanet.org/proceedings/1990/owston.pdf>
8. Setterfield, S.A. (2001). Seedling establishment in an Australian tropical savanna: effects of seed supply, soil disturbance and fire. *Journal of Applied Ecology*, 39: 949–959.

9. Universidad Autónoma Chapingo-Centro de Educación Continua. (2011): “Evaluación de apoyos de reforestación del PROCOREF 2009-2011”. México Recuperado de: http://www.semarnat.gob.mx/archivosanteriores/programas/evaluaciones/2013/Documentos/complementarias/Evaluacion_Complementaria_PROCOREF_S122.pdf

CAPÍTULO II

SUSTRATOS Y TASAS DE ADICIÓN NUTRIMENTAL AFECTAN MORFOLOGÍA Y FISIOLOGÍA DE *PINUS LEIOPHYLLA* EN VIVERO

Resumen

La producción de planta forestal en México es costosa en parte debido al uso de peat moss y fertilizantes. La sobrevivencia que se obtiene en campo frecuentemente es baja, especialmente en sitios de baja fertilidad por planta con bajas reservas nutrimentales. En el presente trabajo se probó el uso de aserrín crudo como sustrato alternativo y fertilización exponencial en contraposición a la constante. El experimento se realizó en condiciones de invernadero con un diseño experimental completamente al azar con arreglo factorial 2x2. Se probaron 2 sustratos; peat moss (PM) y aserrín(AS). Y dos tasas de adición nutrimental; constante (TC) y exponencial (TE). Se evaluó diámetro al cuello de raíz, altura, pesos secos (aéreo, radical, total y de 100 acículas), índice de calidad de Dickson (ICD) y esbeltez (IE). Así como concentraciones nutrimentales foliares. Los análisis de varianza indicaron que las tasas de adición nutrimental no afectaron significativamente pesos secos; aéreo, radical, total y de 100 acículas. En cambio el sustrato afectó significativamente dichas variables siendo PM el que produjo mayores biomásas. El ICD e IE fueron afectados por el sustrato pero no por la tasa de adición nutrimental, siendo PM el que produjo el mejor ICD y mayor IE. La tasa de adición nutrimental y sustrato tuvieron efectos significativos en la concentración de N, P, y K del follaje de las plántulas. Al final del ciclo de producción TE produjo concentraciones foliares de N, P y K, significativamente mayores que TC, (2.65 Vs 2.26 %), (2303 Vs 2011 ppm) y (4235 Vs 3949 ppm), respectivamente. De acuerdo con estos resultados es probable que TE produzca planta de mejor calidad que TC nutrimentalmente, para reforestación en sitios de baja fertilidad. El AS promovió mayores concentraciones foliares de N y P por efecto de concentración, pero no de K. Esto sugiere que el K limitó el crecimiento de las plantas en aserrín, probablemente debido a una baja capacidad de adsorción de K por parte de este sustrato.

Palabras clave: *Pinus*, peat moss, aserrín, tasa constante y exponencial.

Introducción

La producción de planta forestal en vivero en México data de 1907 (SEMARNAT 2007). Hoy día se tiene una larga experiencia en producción de brinzales de “Calidad” en vivero, manteniendo altos costos por insumos de importación como el peat moss y fertilizantes químicos. Por lo anterior es importante buscar sustratos de producción nacional, dentro de los cuales, el aserrín es reportado con bajo costo (Davis et al. 2009).

Al final de la etapa de vivero, la planta destinada a reforestaciones, frecuentemente registra baja sobrevivencia en campo. UACH – CEC, en 2011 reportan un descenso de la sobrevivencia en campo a nivel nacional, de 57.5 a 40.28 %, incluyendo bosque templado, selva y zonas áridas, con causas de mortandad por sequía y mala “calidad de planta” morfológicamente hablando. Cabe remarcar que la planta generalmente es llevada a suelos degradados, que presentan deficiencia de nutrimentos. Por tanto es importante construir reservas nutrimentales en las plantas, mediante una fertilización con tasa de adición exponencial (Timmer 1997).

UACH – CEC (2011), reporta a *Cedrela odorata* como la especie más plantada y producida en vivero a nivel nacional. Para el caso de especies de clima frío, *Pinus leiophylla* es conocido por poseer muchas características de los pinos suaves y algunas cualidades de los pinos duros y tener amplia distribución en varios estados del país, incluyendo Estado de México (Echenique 1969, citado por Musalem y Martínez 2003). Es reconocido por su resistencia a condiciones adversas, típicamente pionera que crece incluso en suelos pobres, y en superficies cubiertas por lava volcánica (Santillán 1991). Estudios recientes lo respaldan con una resistencia a estrés hídrico de hasta -3.5 MPa (Castelán 2014).

En el presente estudio se evaluaron dos distintos sustratos y tasas de adición nutrimental, a través de variables morfológicas y fisiológicas en plántulas de *Pinus leiophylla* Schiede ex Schlechtendal & Chamisso, en el vivero forestal del Colegio de Postgraduados, Campus Montecillo, Texcoco Estado de México.

Como hipótesis nula (H_{01}) se plantea que los niveles del factor “sustrato”; mezcla de peat moss, agrolita y vermiculita (PM) y mezcla de aserrín, agrolita y vermiculita (AS) no presentan diferencias significativas sobre las variables de calidad morfológica ni fisiológica de la planta en vivero. La segunda Hipótesis nula (H_{02}) postula que los niveles del factor “Tasa de adición nutrimental”; exponencial (TE) y constante (TC) no presentan diferencias significativas sobre las variables morfológicas ni fisiológicas de calidad de planta en vivero. La tercera Hipótesis nula (H_{03}) plantea que no existe interacción entre los factores “Tasa de adición nutrimental” y “Sustrato”.

Materiales y métodos

La etapa de vivero se desarrolló de noviembre de 2013 a agosto de 2014, en el vivero del Colegio de Postgraduados, Campus Montecillo, Texcoco Estado de México. En el sitio prevalece un clima templado subhúmedo con lluvias en verano, temperatura media de 15.5 °C, precipitación media anual de 750 mm, un fotoperiodo de 16 h y una humedad relativa de 70 a 85 %.

La semilla utilizada fue de *Pinus Leiophylla*, misma que fue donada por el vivero San Luis Tlaxialtemalco, D.F. de la Comisión de Recursos Naturales del Distrito Federal (CORENA), reportando como fuente de origen el municipio de Tlahuapan, Puebla. Se seleccionaron 500 semillas que fueron puestas en remojo 24 horas antes de la siembra directa, como tratamiento de pre germinación. Las semillas fueron sembradas en tubetes de 346 mililitros de volumen que contenían una mezcla dominante de peat moss y otros materiales (PM) o aserrín (AS) como sustratos, previamente pasteurizados.

El experimento se estableció bajo un diseño experimental completamente al azar (DCA), con arreglo factorial 2 x 2, y unidad experimental de 25 individuos, con 4 repeticiones por tratamiento. El primer factor fue “Sustrato” con dos niveles: PM (peat moss 60 %, agrolita 20 %, vermiculita 20 %) y AS (aserrín crudo de pino 60 %, agrolita 20 %, vermiculita 20 %). El segundo factor, la “Tasa de adición nutrimental”, con dos niveles: constante (TC) y exponencial (TE).

La tasa de fertilización constante consistió en la aplicación de similar cantidad de nitrógeno en todas las fechas de fertilización. Aldana y Aguilera (2003) recomiendan aplicar para especies como *P. leiophylla*, 0.6 gramos de fertilizante Peters (20-10-20) por litro de agua. De acuerdo con lo anterior, se utilizó 0.395 g de N por planta durante todo el ciclo, cantidad utilizada para ambas tasas de adición. Para el caso de la tasa exponencial, el cálculo se realizó con base en la función exponencial descrita por (Miller y Timmer 1994).

Con este sistema de adición exponencial de fertilizantes se utilizó igual cantidad de material fertilizante (Peters 20-10-20) que en la fertilización constante (0.395 g de N por planta) a lo largo del ciclo de producción. Sin embargo, en este caso, al inicio se aplicó una dosis baja del material fertilizante comenzando con 0.00011 g aumentando en cada fecha de aplicación en forma exponencial hasta completar 0.395 g. La dosis incrementó a la par con el crecimiento de las plantas, ambos de manera exponencial en esta etapa de vivero.

El procedimiento para calcular la dosis de PETERS 20-10-20 a aplicar en cada fecha fue el siguiente: A partir de la fórmula del modelo exponencial descrita por Miller y Timmer (1994, ecuación (1), y considerando los contenidos medios de nitrógeno en tres plántulas de *Pinus leiophylla* de igual edad que las utilizadas en el experimento (biomasa=0.2 mg), y el de tres plántulas de tamaño comercial con 25 cm de altura (biomasa = 40 mg) de la misma especie, se calculó la tasa relativa de adición (r).

$$N_T = N_S (e^{rt} - 1) \dots\dots\dots 1$$

Dónde:

N_T = Aumento deseado en el contenido del nutrimento en la plántula durante t aplicaciones (mg).

N_S = Contenido inicial del nutrimento en la plántula (mg).

r =Tasa de adición nutrimental (% día⁻¹).

t= Número de aplicación en la secuencia de aplicaciones de material fertilizante.

Una vez conocida la tasa relativa de adición, se aplicó ésta para distribuir la cantidad de material fertilizante previamente determinada de acuerdo con la recomendación de Aldana y Aguilera (2003; 0.395 g de N por planta) durante el ciclo del cultivo, en términos de número de aplicaciones del material fertilizante. El uso de una tasa única de adición de nutrimentos, igual que la tasa de crecimiento aseguró el estado de equilibrio de la concentración interna de nutrimentos. Este procedimiento también permitió comparar la efectividad de las tasas de adición probadas en el presente trabajo, dado que la cantidad total de material fertilizante utilizado al final del ciclo fue la misma para ambas tasas de adición.

En enero de 2014 se estableció totalmente la germinación, y así se formaron las unidades experimentales de 25 plántulas con cuatro repeticiones, resultando cuatro tratamientos con 100 individuos cada uno (400 individuos en total). En abril de 2014 comenzó la aplicación de las tasas de adición nutrimental, a cinco meses de la siembra, considerando la etapa suculenta concluida, procurando la ausencia de Damping off. Ambas tasas de adición nutrimental fueron aplicadas con el fertilizante Peters 20-10-20, con un total de 36 aplicaciones, 2 semanales durante 4 meses y medio. El fertilizante fue la única fuente de nutrimentos; el resto de los riegos consistieron en la aplicación de agua destilada únicamente.

Durante el período experimental se evaluó el efecto de los tratamientos a través de variables morfológicas como: 1) diámetro al cuello de la raíz (D; mm); variable medida con Vernier Digital Truper ® 2) altura total (H; cm) medida mensualmente con una regla graduada, para todos los individuos (400). Con los datos anteriores se calculó 3) el Índice de Esbeltez (IE), que es el cociente de la altura de la parte aérea, entre el diámetro a cuello de la raíz (Johnson y Cline 1991). También se evaluaron tasas de crecimiento relativo de 4) diámetro (TCRD) y 5) altura (TCRH) con base en la siguiente ecuación (Pallardy, 2008): $TCR = (\ln(X_2) - \ln(X_1)) / \Delta t$ donde: X_1 y X_2 son las variables medidas en el tiempo de la primera y última evaluación, respectivamente, y Δt es el intervalo de tiempo entre las dos mediciones.

En julio de 2014 se cosecharon 10 individuos por unidad experimental. Los cuales fueron lavados con agua destilada y separados en sobres de papel en su parte aérea y radicular. Posteriormente colocados en estufa de secado Felisa® para secado por 48 horas a 70 grados

centígrados, y pesados en una balanza de precisión Adventurer TM Pro OHAUS, para la obtención de peso seco (gramos), 6) biomasa de tallo, 7) biomasa de raíz, 8) biomasa de 100 acículas, y 9) Índice de Dickson, (Dickson et al. 1960). $ICD = \text{Biomasa total seca (g)} / ((\text{Altura(cm)}/\text{Diámetro (mm)}) + (\text{Peso seco (g)}/\text{Peso seco radical (g)}))$. Al final se elaboraron 16 muestras compuestas de acículas, una por unidad experimental, cuatro por tratamiento, para la determinación de 10) Concentración en tejido vegetal de nitrógeno (N) mediante el método Kjeldahl, fósforo (P) y potasio (K) por digestión húmeda con ácido nítrico perclórico. Con los datos obtenidos (biomasa total y concentraciones nutrimentales foliares se determinó el 11) Contenido de nitrógeno (N), fósforo (P) y potasio (K).

El procesamiento y análisis de datos se realizó comparando los efectos de los factores y sus interacciones sobre las variables morfológicas y fisiológicas mediante análisis de varianza (ANAVA), utilizando el paquete estadístico SAS. Se consideró que los efectos fueron estadísticamente significativos cuando el valor de $p > F$ fue inferior a 0.05 (confiabilidad superior a 95%). Cuando los efectos resultaron significativos, las diferencias estadísticas entre medias se identificaron mediante la prueba Tukey ($\alpha = 0.05$). Para la concentración y contenido de N, P y K se utilizó el método gráfico de vectores desarrollado por Timmer y Stone (1978), haciéndose la interpretación de los nomogramas conforme lo sugieren López y Alvarado (2010) y Haase y Rose (1995).

Resultados

Variables morfológicas

El Cuadro 1 indica los análisis de varianza y pruebas de Tukey ($\alpha = 0.05$) para las variables de crecimiento y de calidad de planta. Las variables Diámetro (D) y Altura (H) tuvieron diferencias significativas con ambos factores probados: Sustrato y tasa de adición. El factor sustrato resultó ser significativo ($\alpha = 0.05$) para todas las variables excepto TCRD ($p\text{-value} = 0.1404$). Además, la prueba de Tukey encontró diferencias entre los sustratos AS y PM, obteniéndose medias mayores con PM (CUADRO 1). En cuanto a la tasa de adición nutrimental, afectó significativamente las variables Peso seco de 100 acículas (PS100) y Tasa de crecimiento relativo (TCRD). Sin embargo no tuvo efectos significativos en los pesos secos (PSR, PSA, PTOT) ni en TCRH, ICD,

IE (CUADRO 1). El agrupamiento de Tukey indica que con TC se obtiene una mayor media para D, H, PS100 y TCRD.

Cuadro 1. Análisis de varianza y pruebas de Tukey ($\alpha = 0.05$) para variables morfológicas.

Variables	Fuente de variación		Pr>F	Valor de F	Media de Tukey	Agrupamiento de Tukey
Diámetro D (mm)	Modelo		<.0001	106.88		
	Sustratos	AS	<.0001	233.4	2.298	B
		PM			4.576	A
	Tasa de adición nutrimental	TC	<.0001	53.17	3.98	A
TE		2.893			B	
Altura H (cm)	Modelo		<.0001	167.73		
	Sustratos	AS	<.0001	422.08	5.044	B
		PM			14.4	A
	Tasa de adición nutrimental	TC	0.0001	53.75	11.391	A
TE		8.052			B	
Peso seco de raíz PSR (g)	Modelo		0.005	7.21		
	Sustratos	AS	0.001	18.71	0.134	B
		PM			0.457	A
	Tasa de adición nutrimental	TC	0.2364	1.55	0.342	A
TE		0.249			A	
Peso seco aéreo PSA (g)	Modelo		0.0036	7.87		
	Sustratos	AS	0.0007	20.8	0.274	B
		PM			1.674	A
	Tasa de adición nutrimental	TC	0.2206	1.67	1.173	A
TE		0.776			A	
Peso seco de 100 acículas (g)	Modelo		<.0001	46.29		
	Sustratos	AS	<.0001	121.36	1.27	B
		PM			3.191	A
	Tasa de adición nutrimental	TC	0.051	11.68	2.529	A
TE		1.933			B	
Peso seco total PST (g)	Modelo		0.0038	7.75		
	Sustratos	AS	0.0007	233.4	0.409	B
		PM			2.131	A
	Tasa de adición nutrimental	TC	0.223	53.17	1.515	A
TE		1.025			A	
Tasa de crecimiento relativo diámetro (TCRD)	Modelo		0.0002	15.92		
	Sustratos	AS	0.1404	2.49	0.008	A
		PM			0.009	A
	Tasa de adición nutrimental	TC	0.0011	18.36	0.01	A
TE		0.008			B	
Tasa de crecimiento relativo altura (TCRH)	Modelo		0.0028	8.43		
	Sustratos	AS	0.003	24.81	2.461	A
		PM			1.564	B
	Tasa de adición nutrimental	TC	0.5306	0.42	2.071	A
TE		1.954			A	
Índice de calidad de Dickson (ICD)	Modelo		0.0052	7.17		
	Sustratos	AS	0.0013	17.5	0.097	B
		PM			0.316	A
	Tasa de adición nutrimental	TC	0.177	2.06	0.244	A
TE		0.169			A	
Índice de esbeltez (IE)	Modelo		0.0009	11.02		
	Sustratos	AS	0.0002	27.52	21.922	B
		PM			30.919	A
	Tasa de adición nutrimental	TC	0.3585	0.91	27.239	A
TE		25.602			A	

*Dentro de una fuente de variación, letras diferentes indican medias estadísticamente diferentes.

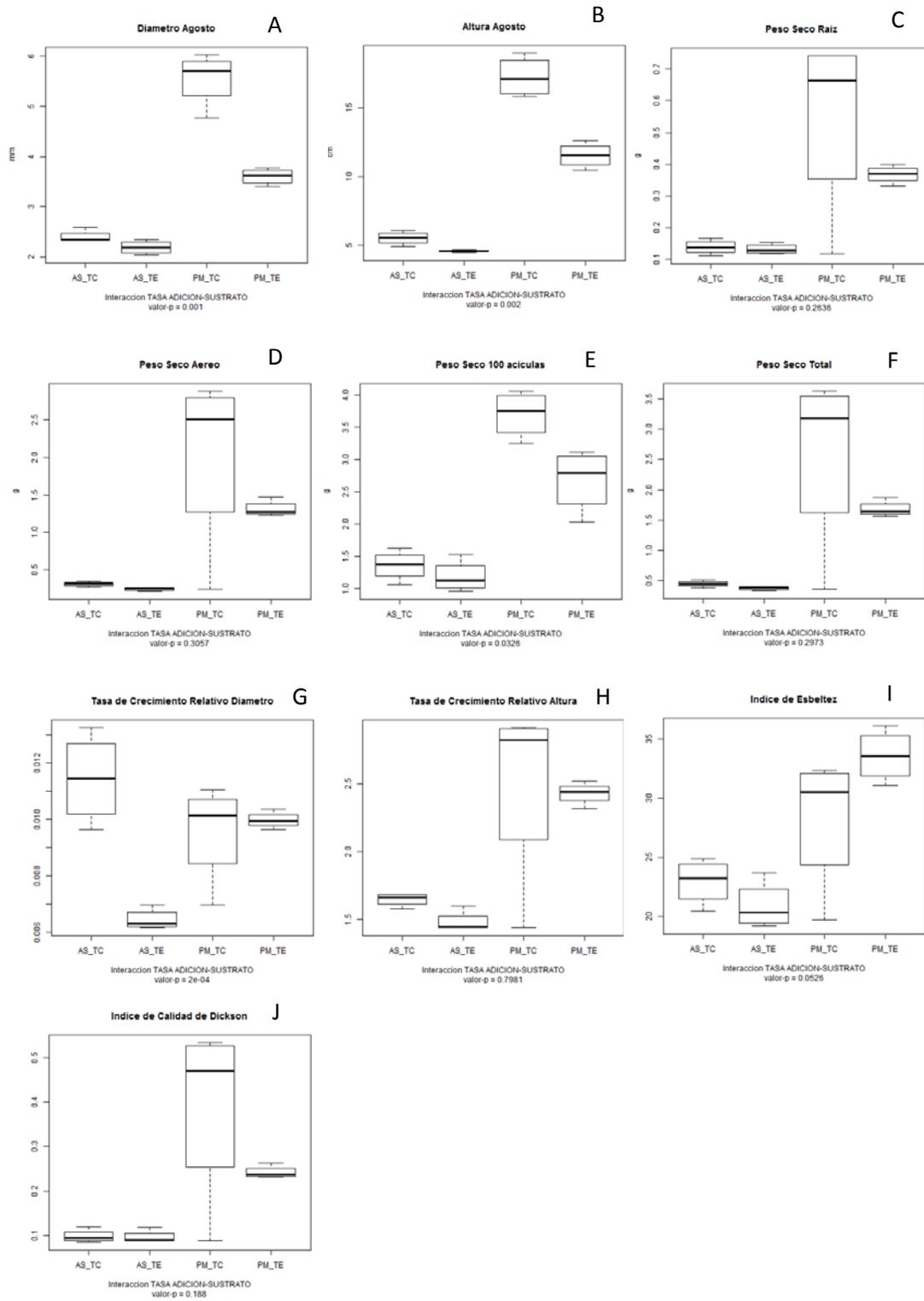


Figura 1. Interacción de los factores probados en variables morfológicas.

En la Figura 1 se aprecia la interacción de factores TC y PM. Las cuales dieron como resultado las mayores medias, para las variables morfológicas D, H (Figura2 A y B), pesos secos PSR (Figura2 C), PSA (Figura2 D), ps100 (Figura2 E), PSTOT (Figura2 F), e ICD (Figura2 J).

La mayor media para D (Figura2 A) fue de 4.57 mm con la mayoría de los individuos por debajo. Para CONAFOR 4 mm de Diámetro es un valor óptimo para una buena calidad de planta. Para la variable altura, la mayor media fue de 14.4 cm (Figura2 B), quedando por debajo de los 15 a 25 cm recomendados por CONAFOR.

Variables fisiológicas

Cuadro 2. Análisis de varianza y pruebas de Tukey ($\alpha = 0.05$) para variables fisiológicas.

Variables	Fuente de variación		Pr>F	F value	Media Tukey	Agrupamiento de Tukey
Concentración de N (%)	Modelo		0.0064	6.76		
	Sustratos	AS	0.0285	6.2	2.323	B
		PM			2.598	A
	Tasa de adición nutrimental	TC	0.0042	12.37	2.655	A
		TE			2.266	B
Interacción		0.2167	1.7			
Concentración de P (ppm)	Modelo		<.0001	45.45		
	Sustratos	AS	<.0001	114.85	1819.14	B
		PM			2495.36	A
	Tasa de adición nutrimental	TC	0.0006	21.47	2303.42	A
		TE			2011.08	B
Interacción		0.8741	0.03			
Concentración de K (ppm)	Modelo		<.0001	21.89		
	Sustratos	AS	<.0001	45.27	4513.7	A
		PM			3670.7	B
	Tasa de adición nutrimental	TC	0.0415	5.21	4235.2	A
		TE			3949.2	B
Interacción		0.0021	15.19			
Contenido de N (g)	Modelo		<.0001	25.1		
	Sustratos	AS	<.0001	74.47	0.072	A
		PM			0.033	B
	Tasa de adición nutrimental	TC	0.4737	0.55	0.054	A
		TE			0.051	A
Interacción		0.6122	0.27			
Contenido de P (g)	Modelo		0.0002	15.16		
	Sustratos	AS	<.0001	43.32	0.003	B
		PM			0.005	A
	Tasa de adición nutrimental	TC	0.3192	1.08	0.0046	A
		TE			0.0042	A
Interacción		0.3192	1.08			
Contenido de K (g)	Modelo		<.0001	31.01		
	Sustratos	AS	<.0001	90.36	0.014	A
		PM			0.004	B
	Tasa de adición nutrimental	TC	0.3192	2.14	0.01	A
		TE			0.008	A
Interacción		0.3192	0.53			

*Dentro de una fuente de variación, letras diferentes indican medias estadísticamente diferentes.

El Cuadro 2 muestra el análisis de varianza y pruebas de Tukey ($\alpha=0.05$) para las variables de nutrición. El sustrato tuvo mayores diferencias significativas en la concentración de N, P, y K en el follaje de las plántulas, siendo AS el sustrato con mayor media para N y P. El PM produjo mayor media para K, según la prueba de Tukey ($\alpha=0.05$). El contenido de N, P y K sólo se vio afectado por los sustratos, siendo PM el sustrato con mayor media.

La tasa de adición nutrimental tuvo efectos significativos en la concentración foliar de N, P y K, las mayores concentraciones tuvieron lugar con TE (prueba de Tukey ($\alpha=0.05$)).

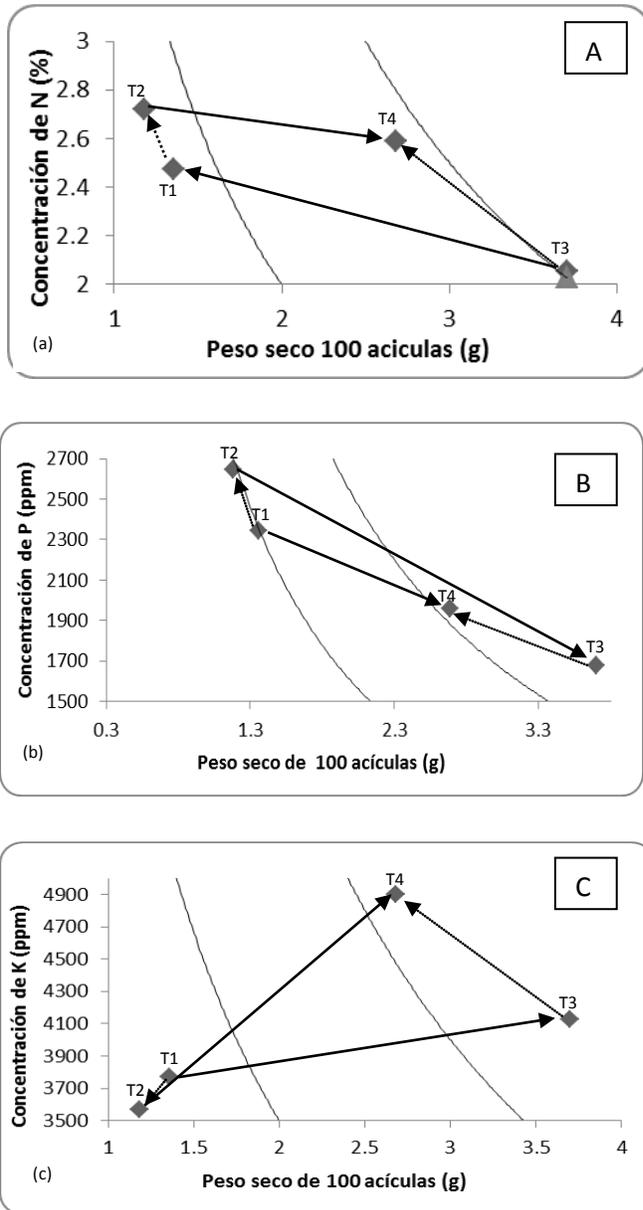


Figura 2. Nomogramas de Timmer para a) N, b) P y c) K en *Pinus leiophylla*. T1: Aserrín y tasa de adición nutrimental constante, T2: Aserrín y tasa de adición nutrimental exponencial, T3: Peat moss y tasa de adición nutrimental constante, T4: Peat moss y tasa de adición nutrimental exponencial.

En la Figura 2 los vectores con líneas continuas indican los efectos del sustrato y con líneas punteadas los efectos de la tasa de adición.

El PM dio como resultado mayor acumulación de biomasa de 100 acículas cuando se trató con ambas tasas de adición (Figura 2A, T3 y T4) siendo mayor el T3. En cambio el AS (Figura 2A, T1 y T2) resultó en mayores concentraciones de N, con ambas tasas de adición. La tasa de adición TE (Figura 2A, T2 y T4) produjo mayores concentraciones de N en ambos sustratos.

En el caso del fósforo, el PM (Figura 2B, T3 y T4) resultó en mayor peso seco de 100 acículas y contenido nutrimental, comparado con el de las plántulas que crecieron en aserrín. Ya que el AS (Figura 2B, T1 y T2) resultó en mayores concentraciones de P en ambas tasas de adición, siendo superior TE que TC.

La tasa de adición TC dio como resultado mayor peso seco de 100 acículas en comparación con la TE (T1 Vs, T2 y T3 Vs. T4); sin embargo, la TE (T2 Y T4) presenta mayores concentraciones de P en ambos sustratos, siendo éstas muy superiores en el caso del aserrín (T1 y T2, Figura 2B).

De acuerdo con la Figura 2C, T3 y T4, el PM aumentó tanto la biomasa de 100 acículas como la concentración y el contenido de K. La TE hizo disminuir la biomasa de 100 acículas cuando las plántulas crecieron en aserrín (T2); sin embargo, cuando se mantuvieron en PM, la TE (T4) aumentó la concentración de K.

La disminución de la concentración y contenido de K en las plantas desarrolladas en aserrín AS*TE (T2) indica que este tratamiento indujo a una reducción de la disponibilidad de K probablemente relacionada con el menor abasto de K y demás nutrimentos durante la primera etapa del experimento, en comparación con TC. El AS disminuyó la concentración de K en las plántulas abastecidas por cualquiera de las tasas de adición probadas (Figura 2C), al tiempo que aumentó las de N y P.

Discusión

Las variables morfológicas D y H se vieron favorecidas por PM*TC (T3). En PM las plantas tuvieron diámetro medio de 4.57 mm. Para CONAFOR 4 mm de diámetro es un valor óptimo que indica buena calidad de planta (CONAFOR 2010). El mismo sustrato también presentó la

mayor media para la variable altura (14.4 cm), aunque es inferior al rango de 15 a 25 cm recomendado por CONAFOR (2010).

De acuerdo con lo anterior, los individuos desarrollados en PM son, teóricamente de mejor calidad y por lo tanto aptos para competencia con vegetación secundaria. Los mejores valores de ICD, que son calculados en función de PSR, PSA, PSTOT, H y D también se obtuvieron con PM*TC (T3) (Figura 1). En teoría, esta planta producida en PM con adición nutrimental constante puede tener alta capacidad fotosintética, resistencia a daños por insectos, y buena eficiencia fisiológica (Thompson 1985). Sin embargo el IE dio mejor resultado con la interacción AS*TE (T2) (Figura 1).

Debido a que no hay estudios relativos a las concentraciones nutrimentales foliares en *Pinus leiophylla*, como niveles críticos. Los resultados del presente estudio se compararon con trabajos en otras especies de coníferas.

La concentración foliar que resultó de la Tasa de adición exponencial (TE) para N fue de 2.65 % en las plántulas de *Pinus Leiophylla*, la cual está por encima del rango superior de 1.4 % - 2.2 % en coníferas (Landis 1989), y a 1.8 % *Pinus monticola* en vivero (Kasen et al. 2005) (Cuadro 2).

El aserrín produjo plantas con 0.249 % de P foliar; valor que es similar al encontrado por Landis (1989) y Kasen et al. (2005), excepto en el caso de *Pinus montezumae*, en el que la concentración de P fue de 0.15 % (Hernández y Torres 2009).

La concentración foliar de K 0.451 % en PM se ubicó en el límite inferior del rango de 0.4 – 1.5 % sugerido por Landis (1989) y al 0.52 % encontrado en *Pinus montezumae* (Hernández y Torres 2009).

La diferencia marcada entre las tasas de adición nutrimental, es atribuida al efecto de dilución nutrimental presente en los individuos con altas biomásas que produjo TC y al efecto de concentración nutrimental en TE (Cuadro 2). Teóricamente la planta sujeta a esta última tasa de abastecimiento nutrimental es de mejor calidad desde el punto de vista nutrimental. Además es adecuada para reforestación en sitios de baja fertilidad, ya que la sobrecarga de nutrientes que contienen esas plantas puede ser utilizada para sostener el crecimiento.

Los individuos con mayores concentraciones en N y P fueron resultado de la interacción AS*TE (T2); sin embargo, este tratamiento redujo la concentración de K. Esta reducción de la concentración y contenido de K se explica por la lixiviación de este nutrimento en el aserrín, similarmente a lo que sucede en el perfil de suelo, fenómeno muy importante en suelos arenosos altamente permeables (Alcántar et al. 2012). Este fenómeno de lixiviación pudo corroborarse mediante lecturas de K con ionómetro, a partir de los sustratos utilizados en el experimento. La extracción de los iones del sustrato fue hecha mediante agua destilada, acidulada y acetato de amonio. Este último reactivo se utilizó por tratarse de aserrín crudo. De lo cual resultó baja concentración de K⁺ en AS y alta en PM lo que da evidencia de la baja disponibilidad de dicho catión en AS. Por tanto si K es uno de los cationes más absorbidos por las plantas (Moraes y Bendetti 2000) y éste se lixivió, entonces se promovió una severa limitación en las raíces para la absorción de este nutrimento.

También pudo haber un efecto antagónico (Figura 2C), al que López y Alvarado (2010) se refieren como un antagonismo entre el nutrimento bajo análisis (K) y probablemente los otros nutrimentos aplicados (N y P). No obstante, el efecto antagónico es más probable que se relacione con una importante competencia por K entre las plantas y los microorganismos del sustrato. En general las altas concentraciones de N aseguran la presencia de microorganismos. La descomposición a cargo de estos genera competencia en este caso probablemente para K cuyas concentraciones se encontraban relativamente bajas limitando la disponibilidad del mismo.

La concentración nutrimental en los tejidos de las plantas obedece a la teoría de dilución y concentración antes mencionada, que dice que la concentración de nutrimentos en los tejidos vegetales está en función tanto de su disponibilidad en el suelo (en este caso sustrato), como de las tasas de crecimiento del vegetal (López y Estañol 2007). Así bien los individuos que resultaron con menores concentraciones de N, P y K bajo los factores TC*PM (T3) tienen las tasas de crecimiento más altas en TCRD y TCRH (Figura 1, G, H) y los mayores pesos secos (Figura 1 F), lo que indica que se trata de un efecto de dilución dentro de los tejidos (López y Estañol 2007).

En cambio las tasas de crecimiento más bajas TCRD y TCRH (Figura 1, G, H) ocurrieron en individuos con mayores concentraciones de N y P en TE*AS (T2) y menores pesos secos (Figura

1 F). A tasas de crecimiento bajas, los nutrimentos se encuentran en los tejidos en concentraciones que pueden ser superiores al nivel crítico, aun cuando el nutrimento se encuentre disponible en bajas concentraciones en el suelo (López y Estañol, 2007).

Para fines del método gráfico basta hacer referencia a las concentraciones nutrimentales. No obstante el contenido indica lo que la planta absorbió. La interacción PM*TC (T3) dio como resultado individuos con los mayores contenidos de N, P y K (Figura 2), y PM*TE en orden descendente (Figura 2). Indicando a PM como el sustrato que promovió la mayor disponibilidad de los nutrimentos estudiados.

El AS, por su parte, tuvo un efecto contrario; es decir, disminuyó la disponibilidad de N, P y K. Como se mencionó anteriormente, esta disminución pudo deberse a una baja capacidad de este sustrato para retener los iones, a una elevada tasa de descomposición o a una combinación de ambas. Al respecto, Wieder (1990) determinó que, en comparación con el sphagnum peat, el AS tuvo menor capacidad de intercambio catiónico (1320 Vs. 813 $\mu\text{eq g}^{-1}$), siendo el K, entre 10 cationes probados, el que presentó la menor adsorción al aserrín. Sánchez et al. (2008) reportan un CIC de 43.6 a 89.4 meq/100 g en una mezcla compuesta de corteza y aserrín. Este comportamiento del aserrín indica que la fuerte deficiencia de K en este sustrato estuvo definida, probablemente en buena medida, por la baja capacidad del sustrato para adsorber el K, permitiendo su lixiviación.

Se presume que para reforestación de sitios de baja fertilidad, la TE puede producir planta con mayores reservas nutrimentales y mayor capacidad para un mejor desempeño, mientras que el uso de PM como sustrato produce planta de mejor calidad morfológica.

Conclusiones

Se rechazan las H_{01} , H_{02} y H_{03} con una confiabilidad de $P=0.05$. Ya que los niveles del factor “Sustrato”; AS y PM, y los del factor “Tasa de adición nutrimental” TE y TC, así como las interacciones de los mismos, presentaron efectos significativos sobre los grupos de variables de calidad de planta morfológica y fisiológica en vivero.

Las variables morfológicas y el Índice de calidad de Dickson, a excepción de la TCRD, fueron afectadas significativamente por los sustratos. El peat moss promovió los mejores valores para variables morfológicas y calidad de planta.

Las concentraciones foliares de N, P, y K fueron afectadas significativamente por las tasas de adición nutrimental y sustratos. Las concentraciones foliares más altas de N y P fueron encontradas cuando la tasa de adición exponencial (TE) fue usada, especialmente cuando se combinó con aserrín AS*TE (T2). Para el caso de K la TE incrementó su concentración sólo cuando se utilizó PM. La interacción entre la tasa de adición y sustrato fue significativa sólo para K.

El peat moss (PM) produjo las plántulas más grandes, y el aserrín (AS) las mejores concentraciones de N y P en plántulas. El aserrín disminuye considerablemente la disponibilidad de K.

Referencias

1. Alcántar G., Trejo T. (2012): “Nutrición de cultivos”, Colegio de Postgraduados, México. 454 pp.
2. Aldana B. R.; Aguilera R. M. (2003): Procedimientos y cálculos básicos, útiles en la operación de viveros que producen plantas en contenedor. CONAFOR. Programa Nacional de Reforestación. 45 p.
3. Castelán, N. (2014): Estrés hídrico en *Pinus leiophylla*. Tesis de maestría en ciencias, Colegio de Postgraduados, Campus Montecillo. http://colposdigital.colpos.mx:8080/jspui/bitstream/10521/2429/1/Castelan_Munoz_N_M_C_Forestal_2014.pdf
4. CONAFOR (2010): “Prácticas de reforestación”. Manual básico. Primera edición. México. 64 pp.
5. Davis, S., Eggleston K., Pinto R. and Dumroese R. (2009): Evaluation of three growing media substrates for western larch seedling production at the USDA Forest Service Coeur d’Alene Nursery. US2DA Forest Service Proceedings RMRS-P-58.
6. Dickson A., A. L. Leaf, and J.F. Hosnerm. (1960): Quality appraisal of white spruce and white pine seedling stock in nurseries. *The Forestry Chronicle*. 36(1): 10-13, 10.5558/tfc36010-1
7. Haase D.L., y Rose R. (1995): Vector analysis and its use for interpreting plant nutrient shifts in response to silvicultural treatments. *Forest Science*. 41 (1): 54-66.
8. Hernández P. F., Torres L.S. (2009): “Niveles críticos nutrimentales preliminares para especies forestales de México a nivel de vivero”. Tesis de licenciatura. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, México. 151 p.
9. Johnson, J. D., and M. L. Cline. (1991): Seedling quality of Southern Pines. M. L. Duryea, and P. M. Dougherty (eds). *Forest Regeneration Manual*. Kluwer Academic Publishers. Netherlands, 159 p.
10. Kasen, D. R., Page-Dumroese, D. S., Salifu, K. F., and Douglass F. J. (2005): Exponential fertilization of *Pinus monticola* seedlings: nutrient uptake efficiency,

- leaching fractions, and early outplanting performance. *Can. J. For. Res.* 35: 2961–2967 (2005) doi: 10.1139/X05-226.
11. Landis, T. (1989): Manual de viveros para la producción de especies forestales en contenedor. Volumen cuatro, capítulo 1, “Nutrimentos minerales y fertilización”. Departamento de Agricultura de los Estados Unidos, Dasonomía Estatal y Privada, Portland, Oregon, E.U.A: PP. 7, 8 y 60.
 12. López L., M.A. y Estañol B., E. (2007): Detección de deficiencias de hierro en *Pinus leiophylla* a partir de los efectos de dilución y concentración nutrimental. *Terra Latinoamericana*. 25(1): 9-15
 13. López L., M.A. y J. Alvarado L. (2010): Interpretación de nomogramas de análisis de vectores para diagnóstico nutrimental de especies forestales. *Madera y Bosques* 16(1):99-108.
 14. Miller B. D., Timmer V. R. (1994): Steady-state nutrition of *Pinus resinosa* seedlings: response to nutrient loading, irrigation and hardening regimes. *Tree Physiology* 14: 1327 - 1338.
 15. Moraes G., Benedetti V., (2000): "Nutrição e fertilização florestal". Instituto de pesquisas e Estudos Florestais, Piracicaba/SP, 427 pp.
 16. Musalem, M., Martinez G. (2003): Monografía de *Pinus leiophylla* Schl. et Cham. INIFAP, Octubre 2003, Chapingo México, 85 p.
 17. Pallardy, S.G. 2008. *Physiology of woody plants*. 3rd ed. Academic Press. Ma, USA. 37 – 41pp. Recuperado de http://www.fs.fed.us/rm/pubs/rmrs_p058/rmrs_p058_037_041.pdf
 18. Sánchez-Córdova, T., A. Aldrete, V. M. Cetina-Alcalá y J. López-Upton. (2008): Caracterización de medios de crecimiento compuestos por corteza de pino y aserrín. *Madera y Bosques* 14(2):41-49.
 19. Santillán, P. J. (1991): *Silvicultura de las coníferas de la región central*. (Tesis de Maestría). Universidad Autónoma Chapingo, División de Ciencias Forestales, México. 305p.

20. SEMARNAT (2007): Fundación vivero de Coyoacán. México.
http://www.viveroscoyoacan.gob.mx/index.php?option=com_content&view=article&id=121&Itemid=123
21. Thompson, B.E. (1985): Seedling morphological evaluation: What you can tell by looking. In: Evaluating seedling quality; Principles, Procedures, and Predictive Abilities of Major Test. M. L. Duryea (ed.). Forest Res. Lab., Oregon State University, Corvallis, Or. USA. pp: 59-71.
22. Timmer, V.R. and Stone, E.L. (1978): Comparative foliar analysis of young balsam fir fertilized with nitrogen, phosphorus, potassium and lime. Soil Science Society and American Journal , 42: 125 – 130.
23. Universidad Autónoma Chapingo-Centro de Educación Continua. (2011): “Evaluación de apoyos de reforestación del PROCOREF 2009-2011”. México Recuperado de:
<http://www.semarnat.gob.mx/archivosanteriores/programas/evaluaciones/2013/Documents/complementarias/Evaluacion Complementaria PROCOREF S122.pdf>
24. Wieder, R. K. (1990): Metal cation binding to sphagnum peat and sawdust: relation to wetland treatment of metal-polluted waters. water, air, and soil pollution. 53: 391-400.

CAPÍTULO III

EL SISTEMA DE PRODUCCIÓN DE *PINUS LEIOPHYLLA* EN VIVERO AFECTA LA MORFOLOGÍA Y FISIOLOGÍA EN CAMPO

Resumen

La producción de planta forestal en México no es congruente con la sobrevivencia que se obtiene en campo frecuentemente baja, especialmente en sitios de baja fertilidad. Es necesario adoptar las técnicas de vivero en función a las características del sitio de plantación. Se estableció un experimento para estudiar los efectos de dos factores de manejo en vivero, sobre el desempeño inicial de la planta en campo. Los factores manipulados en vivero fueron 1) Sustrato y 2) Tasa de adición nutrimental. Cada factor tuvo dos niveles, siendo los del factor sustrato, a) Peat moss (PM) y b) Aserrín crudo de pino (AS); mientras que los del factor tasa de adición fueron a) Tasa constante (TC) y b) Tasa exponencial (TE). En el vivero se usó un diseño experimental completamente al azar con arreglo factorial con cuatro tratamientos, cada uno de los cuales se replicó cuatro veces. La planta producida a partir de cada uno de los tratamientos se trasplantó a campo, estableciéndose bajo un experimento completamente al azar con 60 repeticiones por tratamiento. La unidad experimental estuvo constituida por una planta.

A un año de la plantación a campo, los efectos que el sustrato tuvo sobre la morfología de las plantas se siguieron manifestando en términos de diámetro (Dc) y altura (Hc). La planta de mayores dimensiones se produjo en PM y la de menor tamaño en AS (25.4 Vs. 15.3 mm y 30.5 Vs. 28.0 cm de diámetro y altura, respectivamente). La planta producida en AS sufrió un efecto de concentración nutrimental por reducción de crecimiento. Esas mayores concentraciones nutrimentales le permitieron exhibir mayores incrementos de altura durante la etapa de campo (IHc) y mayor incremento en el peso seco de 100 acículas (PS100ac), en comparación con la planta cultivada en PM. La tasa de fertilización exponencial induce, durante la etapa de vivero, mayores concentraciones de N, P y K, las cuales se igualan, por efecto de dilución al año del trasplante, con las de la planta abastecida mediante adición constante de fertilizante. Se concluye que el uso de aserrín crudo como sustrato produce planta pequeña con altas concentraciones de

nutrimentos, pero presenta adecuada sobrevivencia y crecimiento inicial en campo, en suelos delgados de baja fertilidad. La fertilización exponencial incrementa las reservas nutrimentales, mejorando el crecimiento inicial en campo.

Palabras clave: Reforestación, carga nutrimental, sobrevivencia, fertilidad de suelo.

Introducción

El cambio de uso de suelo para ganadería y urbanización ha sido una de las principales presiones antropogénicas sobre los recursos forestales a nivel nacional. Actualmente se llevan a cabo reforestaciones como principal medida de mitigación, establecidas en sitios degradados con severos problemas de fertilidad principalmente, que da como resultado baja sobrevivencia en las reforestaciones.

En el presente estudio se estableció una reforestación de protección y restauración (CONAFOR 2010), en el ejido de San Miguel Coatlinchan, municipio de Texcoco, Estado de México. Se seleccionó un sitio degradado que en pasadas reforestaciones ha presentado una sobrevivencia de tres a cinco individuos de *Cupressus* sp. por hectárea. El 58.5 % de la vegetación del municipio de Texcoco originalmente estaba compuesta por especies de pino, sin embargo actualmente solamente se conserva cerca del 10% (Adame y Martínez 1999). Desde 1970 ha habido intentos por restaurar los suelos de estas áreas. Sin embargo, aún está desprovista de vegetación una amplia superficie o se encuentra con poblaciones enfermas o con baja densidad.

La reforestación de áreas en suelos pobres precisa del uso de planta de elevada calidad, de ser posible, planta con características acordes con las condiciones del sitio a reforestar. El enriquecimiento de las plántulas con nutrimentos para el trasplante podría promover el establecimiento y crecimiento exitoso de las plantas en campo (Van den Driessche, 1988). El periodo inicial de un trasplante es la fase más crítica, dentro de la cual el brinzal debe recuperarse del estrés sufrido durante el transporte y establecer contacto entre sus raíces y el suelo, a fin de retomar las funciones vitales de absorción de agua y nutrientes en el nuevo ambiente (Margolis y Brand, 1990).

En el presente estudio se probaron los efectos de algunos factores del proceso de producción de planta de *Pinus leiophylla* en vivero, sobre el desarrollo de la planta durante el primer año de establecimiento en campo.

Materiales y métodos

Etapa de vivero

La etapa de vivero se desarrolló de noviembre de 2013 a agosto de 2014, en el vivero del Colegio de Postgraduados, Campus Montecillo, Texcoco Estado de México. En el sitio prevalece un clima templado subhúmedo con lluvias en verano, temperatura media de 15.5 °C, precipitación media anual de 750 mm.

La semilla de *Pinus leiophylla* fue donada por el vivero San Luis Tlaxialtemalco, D.F., perteneciente a la Comisión de Recursos Naturales del Distrito Federal (CORENA). La fuente de origen de la semilla es el municipio de Tlahuapan, Puebla.

Se seleccionaron 500 semillas que se remojaron por 24 horas antes de la siembra directa, como tratamiento de pre-germinación. Las semillas fueron sembradas en tubetes de 346 mililitros de volumen, conteniendo las mezclas de sustratos correspondientes de acuerdo con los tratamientos en estudio.

El experimento en el vivero se estableció bajo un diseño experimental completamente al azar (DCA), con arreglo factorial 2 x 2, y unidad experimental de 25 individuos, con 4 repeticiones por tratamiento. El primer factor fue “Sustrato” con dos niveles: PM (peat moss 60 %, agrolita 20 %, vermiculita 20 %) y AS (aserrín crudo de pino 60 %, agrolita 20 %, vermiculita 20 %). El segundo factor, la “Tasa de adición nutrimental”, también tuvo dos niveles: tasa constante (TC) y tasa exponencial (TE).

La tasa de fertilización constante consistió en la aplicación de similar cantidad de nitrógeno en todas las fechas de fertilización. Aldana y Aguilera (2003) recomiendan aplicar para especies como *P. leiophylla*, 0.6 gramos de fertilizante Peters (20-10-20) por litro de agua. De acuerdo con lo anterior, se utilizó 0.395 g de N por planta durante todo el ciclo, cantidad utilizada para

ambas tasas de adición. Para el caso de la tasa exponencial, el cálculo se realizó con base en la función exponencial descrita por (Miller y Timmer 1994).

Con este sistema de adición exponencial de fertilizantes se utilizó igual cantidad de material fertilizante (Peters 20-10-20) que en la fertilización constante (0.395 g de N por planta) a lo largo del ciclo de producción. Sin embargo, en este caso, al inicio se aplicó una dosis baja del material fertilizante comenzando con 0.00011 g aumentando en cada fecha de aplicación en forma exponencial hasta completar 0.395 g. La dosis incrementó a la par con el crecimiento de las plantas, ambos de manera exponencial en esta etapa de vivero.

El procedimiento para calcular la dosis de PETERS 20-10-20 a aplicar en cada fecha fue el siguiente: A partir de la fórmula del modelo exponencial descrita por Miller y Timmer (1994, ecuación 1), y considerando los contenidos medios de nitrógeno en tres plántulas de *Pinus leiophylla* de igual edad que las utilizadas en el experimento (biomasa = 0.2 mg), y el de tres plántulas de tamaño comercial con 25 cm de altura (biomasa = 40 mg) de la misma especie, se calculó la tasa relativa de adición (r).

$$N_T = N_s (e^{rt} - 1) \dots\dots\dots 1$$

Dónde:

N_T = Aumento deseado en el contenido del nutrimento en la plántula durante t aplicaciones (mg).

N_s = Contenido inicial del nutrimento en la plántula (mg).

r = Tasa de adición nutrimental (% día⁻¹).

t = Número de aplicación en la secuencia de aplicaciones de material fertilizante.

Una vez conocida la tasa relativa de adición, se aplicó ésta para distribuir la cantidad de material fertilizante previamente determinada de acuerdo con la recomendación de Aldana y Aguilera (2003) de 0.395 g de N por planta, durante el ciclo del cultivo, en términos de número de aplicaciones del material fertilizante. El uso de una tasa única de adición de nutrimentos, igual

que la tasa de crecimiento aseguró el estado de equilibrio de la concentración interna de nutrimentos. Este procedimiento también permitió comparar la efectividad de las tasas de adición probadas en el presente trabajo, dado que la cantidad total de material fertilizante utilizado al final del ciclo fue la misma para ambas tasas de adición.

El 15 de enero de 2014 se estableció totalmente la germinación, y así se formaron las unidades experimentales de 25 plántulas con cuatro repeticiones, resultando cuatro tratamientos con 100 individuos cada uno (400 individuos en total). En abril de 2014 comenzó la aplicación de las tasas de adición nutrimental, a cinco meses de la siembra, considerando la etapa suculenta concluida, procurando la ausencia de Damping off. Ambas tasas de adición nutrimental fueron aplicadas con el fertilizante Peters 20-10-20, con un total de 36 aplicaciones, 2 semanales durante 4 meses y medio. El fertilizante fue la única fuente de nutrimentos. Los riegos adicionales consistieron en la aplicación de agua destilada únicamente.

En julio 2014 se cosecharon 10 individuos por unidad experimental. Los cuales fueron procesados para la determinación de Concentración en tejido vegetal de nitrógeno (N) mediante el método Kjeldahl, fósforo (P) y potasio (K) por digestión húmeda con ácido nítrico perclórico. Al mismo tiempo posterior a la aplicación número 36 de material fertilizante, los individuos restantes destinados a trasplante en campo (60 individuos por tratamiento), se sometieron a una etapa de endurecimiento o lignificación durante un mes. A estos individuos se les aplicó agua destilada únicamente, aplicando inicialmente riego cada tres días, posteriormente cada cuatro días, ambos durante una semana y finalmente cada siete días durante dos semanas.

Etapas de campo

La selección del sitio de reforestación fue definida a partir de una serie de recorridos de campo, dentro de una zona prioritaria del ejido de Coatlinchan, el cual está localizado en el Municipio de Texcoco Estado de México, entre 19° 26' 30", latitud N y 90° 50' longitud Oeste, a una elevación de 2,455 metros. La superficie total del sitio tiene 10% de pendiente, exposición Este. El suelo es delgado con profundidad inferior a 40 cm y afloramientos de roca calcárea. La cubierta vegetal se compone de matorral básicamente, *Agavaceae sp.* (Agave salmiana o pulquero), *Opuntia sp.* (Nopal) y *Acacia sp.* (Huizache). La textura del suelo es variable,

dominando la textura arcillosa, pero se localizan algunas porciones de suelo con textura arenosa debido a la existencia de pequeños escurrimientos temporales.

Diseño del experimento de campo

En campo se utilizó un diseño completamente al azar con arreglo factorial de las unidades experimentales para probar el efecto de los tratamientos aplicados en vivero. Los factores probados fueron los mismos que en vivero: factor sustrato con dos niveles (aserrín (AS) y peat moss (PM)) y factor tasa de adición nutrimental (tasa convencional (TC) y tasa exponencial (TE)). La combinación de los niveles de ambos factores resultó en cuatro tratamientos: T1 (AS*TC), T2 (AS*TE), T3 (PM*TC) Y T4 (PM*TE).

Cada uno de los tratamientos se replicó 60 veces, siendo una planta la unidad experimental; es decir, se seleccionaron 60 plantas completamente al azar de cada uno de los cuatro tratamientos probados en vivero. Las plantas correspondientes a cada tratamiento fueron distribuidas en forma completamente aleatoria en el área experimental, en la que previamente se hicieron las cepas de 40 x 40 x 40 cm bajo un esquema de marco real, con un espaciamiento de 3 m entre cepas. El establecimiento del experimento se realizó en el mes de agosto del 2014.

Variables evaluadas

Una vez establecida la plantación en campo, se evaluó el desarrollo y sobrevivencia de la misma, mediante variables morfológicas y fisiológicas. Periódicamente se midió 1) Diámetro en milímetros (Dc), 2) Altura en centímetros (Hc), y 3) Sobrevivencia (porcentaje). Con base en las mediciones iniciales (inmediatamente después de la plantación en campo) y finales (después de un año en campo), se estimaron los incrementos en diámetro y altura 4) IDc e 5) IHc. A un año la plantación se tomaron muestras foliares para estimar 6) Concentraciones foliares de nitrógeno (concNc, %) mediante el método micro-kjeldahl, fósforo (concPc, ppm) y potasio (concKc, ppm) por digestión húmeda con ácido nítrico y perclórico. Se elaboraron 16 muestras compuestas de acículas colectadas en campo; es decir, cuatro muestras compuestas por tratamiento. Además de las variables mencionadas, se realizó un muestreo de suelo mediante la recolecta de tres muestras compuestas en la parte baja del área experimental, tres en la parte

media y tres en la parte alta. Las muestras simples fueron extraídas de los 30 cm superiores del suelo.

El procesamiento y análisis de datos se realizó comparando los efectos de los factores y sus interacciones sobre las variables morfológicas y fisiológicas mediante un análisis de varianza (ANAVA), utilizando el paquete estadístico SAS. Se consideró que los efectos fueron estadísticamente significativos cuando el valor de $p > F$ fue inferior a 0.05 (confiabilidad superior a 95%). Cuando los efectos resultaron significativos, las diferencias estadísticas entre medias se identificaron mediante la prueba Tukey ($\alpha = 0.05$). Para la concentración y contenido de N, P y K se utilizó el método gráfico de vectores desarrollado por Timmer y Stone (1978), haciéndose la interpretación de los nomogramas conforme lo sugieren López y Alvarado (2010) y Haase y Rose (1995).

Resultados

Características del suelo del área experimental

Según los análisis de suelos del sitio experimental (Cuadro 1), el N, aunque en concentraciones bajas, se encuentra en cantidades mucho más elevadas que las reportadas por Etchevers et al. (1992) para tepetates de la zona de estudio (0.2 a 0.4 % de N total).

Cuadro 1. Análisis químico del suelo del predio “Los tecomates” Coatlinchan, Texcoco, Estado de México.

Variables	Ubicación de la muestra		
	Parte baja	Parte media	Parte alta
N (%)	0.130	0.161	0.154
P (ppm)	5.263	7.895	3.684
K (ppm)	138.06	118.56	134.16
Ca (ppm)	1100	1020	900
Mg (ppm)	435.6	363	369.05
B (ppm)	0.122	0.077	Nd
Cu (ppm)	0.906	0.622	0.713
Fe (ppm)	48.777	47.854	54.397
Mn (ppm)	21.051	14.823	10.381
Zn (ppm)	1.836	1.651	1.552
pH	5.660	5.590	5.450
M.O. (%)	2.681	2.681	3.083
CIC (cmol(+)/ kg)	8.160	8.400	8.320

Las concentraciones de P en el suelo (Cuadro 1) corresponden al nivel de deficiencia de acuerdo con Horneck et al. (2011). El contenido de K en el sitio de estudio (118.56 a 134.1 ppm K) es alto si se compara con los valores reportados por Etchevers et al. (1992) para suelos de tepetate de una zona cercana al sitio experimental (46.8 a 93.6 ppm K). Así mismo, los contenidos de Ca y Mg parecen estar ligeramente por debajo de los encontrados en tepetates de la Sierra Nevada por Etchevers et al. (1992).

El pH del suelo en el sitio de estudio es adecuado para el desarrollo de *P. Leiophylla* u otras coníferas (Pritchett 1986). El contenido de M.O. es relativamente alto comparado con el encontrado en otros tepetates de México por Gavi et. al. (1992). La CIC en el sitio de estudio es

muy baja comparada incluso con otros tepetates de la región de San Jerónimo Amanalco y San Dieguito, Texcoco Estado de México donde Cruz et. al. (1992) encontraron valores desde 16 hasta 62 cmol(+)/ kg.

Características de la planta utilizada en la plantación

Cuadro 2. Características de la planta al momento del trasplante a campo (Al final de etapa de vivero). Tratamiento 1. AS*TC, Tratamiento 2. AS*TE, Tratamiento 3. PM*TC, Tratamiento 4. PM*TE., Diámetro (mm; Dv), Altura en centímetros (cm; Hv), Índice de calidad de Dickson (ICDv), Índice de esbeltez (IEv), Concentraciones foliares (%; concNv), fósforo (ppm; concPv) y potasio (ppm; concKv).

Tratamiento	Dv (mm)	Hv (cm)	ICDv	IEv	concNv (%)	concPv (ppm)	concKv (ppm)
AS*TC	2.40	5.52	0.098	22.94	2.47	2344	3771
AS*TE	2.18	4.56	0.096	20.89	2.72	2646	3569
PM*TC	5.55	17.26	0.389	28.25	2.05	1678	4126
PM*TE	3.59	11.54	0.242	33.58	2.59	1960	4900

El Cuadro 2 muestra las características morfológicas y nutrimentales de los individuos al final de la etapa de vivero, al momento de ser plantados en campo. Los individuos que cumplieron con los estándares de calidad morfológica de planta según CONAFOR (2010); 4 mm de diámetro como mínimo, y altura de 15 a 25 cm, sólo fueron aquellos que resultaron de la interacción de los factores PM*TC (Cuadro 2). Considerando que cuanto mayor es el valor de ICD mayor es la calidad de individuos, los mejores individuos fueron los producidos en PM*TC (Cuadro 2). En cuanto al IEv por el contrario, menor valor indica mejor calidad de planta. En este sentido el mejor resultado se obtuvo de la interacción AS*TE (Cuadro 2). Nutrimentalmente los individuos con mayores concentraciones en N y P fueron resultado de la interacción AS*TE, aunque a su vez éste resultó bajo en la concentración de K (Cuadro 2). Por lo tanto sólo 25 % de la población total resultó como planta de buena calidad según CONAFOR (2010) y esta correspondió a la interacción PM*TC. Otro 25 % de la población resultó con las mayores concentraciones nutrimentales correspondiendo a la interacción AS*TE (Cuadro 2).

Efectos del manejo en vivero sobre desarrollo de la planta en campo

VARIABLES MORFOLÓGICAS

El Cuadro 3 sintetiza el análisis de varianza y pruebas de Tukey ($\alpha=0.05$) para las variables morfológicas. El factor sustrato tuvo efectos significativos sobre las variables Dc, Hc, IDc, e IHc. El agrupamiento de Tukey indica que PM presentó mayor media para todas las variables excepto IHc, en cuyo caso, el AS dio lugar a la mayor media y PS100ac, variable en que no existieron diferencias significativas. La tasa de adición nutrimental tuvo efectos significativos sobre las variables Dc e IHc (Cuadro 3). Los mayores diámetros y alturas fueron promovidos por la tasa constante (TC); es decir, un año después de la plantación, aún se manifestaron los efectos de las tasas de adición nutrimental generados durante la etapa de vivero sobre el Dc y Hc. Sin embargo, en el caso del incremento de altura (IHc), éste fue promovido en campo por la tasa exponencial (TE) más que por la tasa constante (TC).

Cuadro 3. Análisis de varianza y pruebas de Tukey ($\alpha = 0.05$) para variables morfológicas de *Pinus leiophylla* en campo (Coatlinchan, Texcoco, Estado de México).

Variables	Fuente de variación		Pr>F	Valor de F	Media de Tukey	Agrupamiento de Tukey
Diámetro (Dc; mm)	Modelo		<.0001	79.64		
	Sustratos	AS	<.0001	231.65	15.298	B
		PM			25.427	A
	Tasa de adición nutrimental	TC	0.0365	5.54	3.980	A
		TE			2.893	B
Interacción		0.2125	1.73			
Altura (Hc; cm)	Modelo		0.0015	9.76		
	Sustratos	AS	0.0002	28.15	28.002	B
		PM			30.521	A
	Tasa de adición nutrimental	TC	0.3095	1.13	11.391	A
		TE			8.052	B
Interacción		0.9322	0.01			
Peso seco 100 acículas (PS100ac; g)	Modelo		0.4663	0.91		
	Sustratos	AS	0.5046	0.47	6.888	A
		PM			6.538	A
	Tasa de adición nutrimental	TC	0.5046	0.47	6.538	A
		TE			6.888	A
Interacción		0.2075	1.77			
Incremento en diámetro (IDc; mm)	Modelo		<.0001	40.56		
	Sustratos	AS	<.0001	115.53	13.00	B
		PM			20.851	A
	Tasa de adición nutrimental	TC	0.5246	0.43	17.165	A
		TE			16.686	A
Interacción		0.0341	5.72			
Incremento en altura (IHc; cm)	Modelo		<.0001	39.55		
	Sustratos	AS	<.0001	91.45	22.958	A
		PM			16.121	B
	Tasa de adición nutrimental	TC	0.0019	15.72	18.122	A
		TE			20.957	B
Interacción		0.0054	11.48			

*Dentro de una fuente de variación, letras diferentes indican medias estadísticamente diferentes.

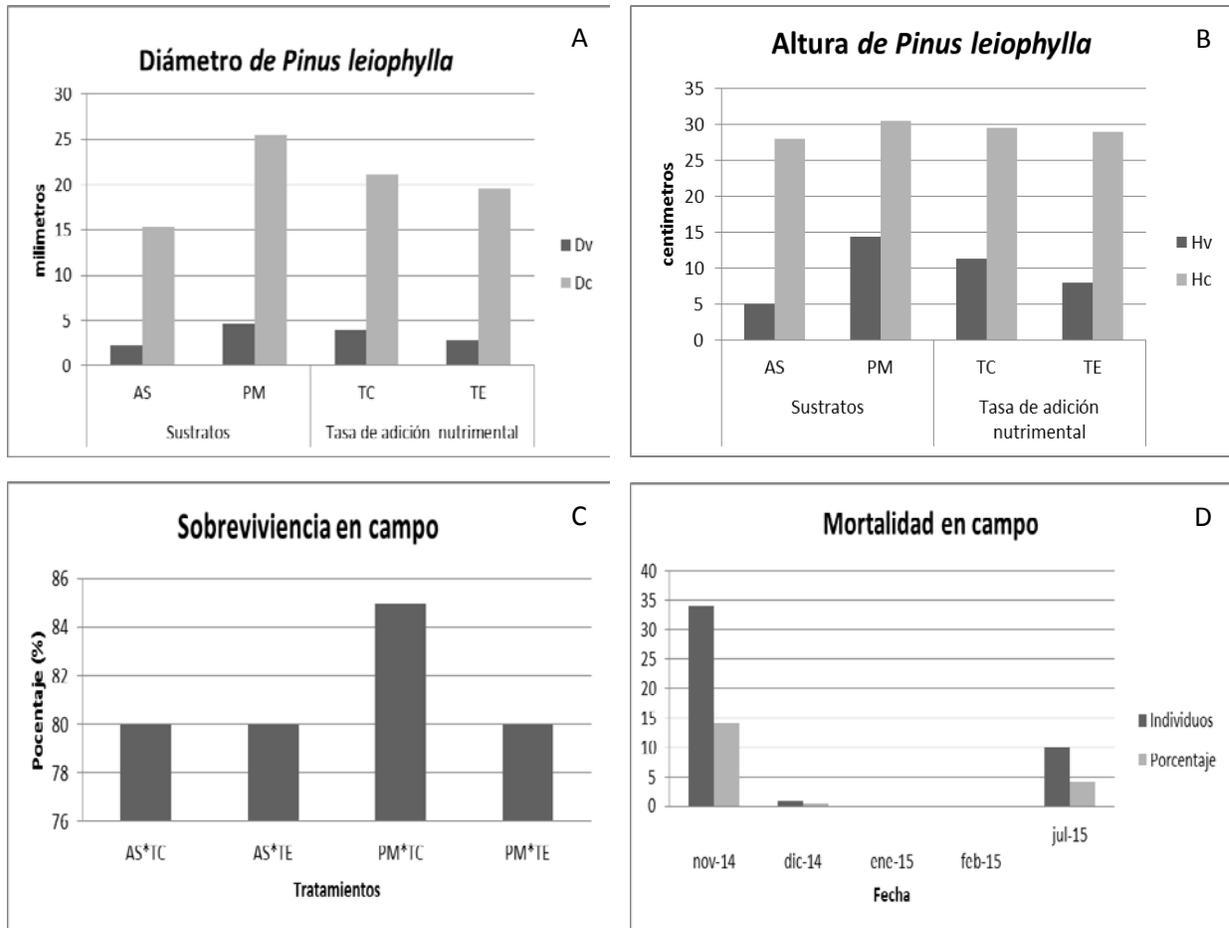


Figura 1. Variables en *Pinus leiophylla* tomado al final de la etapa de vivero 2014 (v) y a un año de la plantación 2015 (c). A) Diámetro (Dv) y (Dc). B) Altura (Hv) y (Hc). C) Censo total de sobrevivencia de *Pinus leiophylla* por tratamiento en campo (2014-2015) D) Censo total de mortalidad de *Pinus leiophylla* en campo (2014-2015).

En la Figura 1 (A y B) se aprecia el mayor Dc y Hc que dieron como resultado los factores PM*TC para ambas variables, un año después de la plantación. Sin embargo para Hc los mayores incrementos durante la etapa de campo fueron dados por AS*TE (Figura 1A, Cuadro 3).

La mayor mortalidad (Figura 1C) fue presentada al final del periodo de lluvias del primer ciclo en campo (nov-14), es decir tres meses después del trasplante. En orden descendente se presentó nuevamente en el siguiente verano (2015) a un año del trasplante.

Al observar los resultados por tratamiento (Figura 1D) la mortalidad se mantuvo en 13 individuos o 20 % para todos los tratamientos a excepción de PM*TC (T3c) el cual presentó una mortalidad de solo nueve individuos o 15 %. Las principales causas detectadas de mortalidad fueron plantación inadecuada (deficiente apisonamiento del suelo al trasplantar), pastoreo y vandalismo.

VARIABLES FISIOLÓGICAS

En el Cuadro 4 se observa que no hay diferencias significativas en ninguna de las variables de nutrición. Las mayores diluciones en campo sucedieron en los tratamientos que exhibieron las mayores concentraciones en vivero AS*TE (T2c) para ConcNc, ConcPc y PM*TE (T4c) para ConcKc. En cuanto a los contenidos nutrimentales no existen diferencias significativas entre los niveles de los factores probados.

Cuadro 4. Análisis de varianza y pruebas de Tukey ($\alpha = 0.05$) para variables fisiológicas de *Pinus leiophylla* en campo (Coatlinchan Texcoco Estado de México).

Variables	Fuente de variación	Pr>F	F value	Media Tukey	Agrupamiento de Tukey	
Concentración de N (ConcNc; %)	Modelo		0.7523	0.4		
	Sustratos	AS	0.3025	1.16	1.725	A
		PM			1.592	A
	Tasa de adición nutrimental	TC	0.9524	0	1.6625	A
		TE			1.655	A
Interacción		0.8268	0.05			
Concentración de P (ConcPc; ppm)	Modelo		0.9976	0.01		
	Sustratos	AS	0.9005	0.02	1455.6	A
		PM			1469.5	A
	Tasa de adición nutrimental	TC	0.8935	0.02	1455.1	A
		TE			1469.9	A
Interacción		0.9344	0.01			
Concentración de K (ConcKc; ppm)	Modelo		0.8628	0.25		
	Sustratos	AS	0.9382	0.01	2146.6	A
		PM			2136.8	A
	Tasa de adición nutrimental	TC	0.6954	0.16	2166.5	A
		TE			2116.9	A
Interacción		0.4647	0.57			
Contenido de N (ContNc; g)	Modelo		0.3863	1.1		
	Sustratos	AS	0.207	1.78	0.1193	A
		PM			0.1037	A
	Tasa de adición nutrimental	TC	0.6846	0.17	0.10913	A
		TE			0.114	A
Interacción		0.2674	1.35			
Contenido de P (ContPc; g)	Modelo		0.7647	0.39		
	Sustratos	AS	0.6996	0.16	0.01	A
		PM			0.0096	A
	Tasa de adición nutrimental	TC	0.7164	0.14	0.0096	A
		TE			0.01003	A
Interacción		0.3707	0.86			
Contenido de K (ContKc; g)	Modelo		0.8219	0.3		
	Sustratos	AS	0.4943	0.5	0.014	A
		PM			0.0138	A
	Tasa de adición nutrimental	TC	0.8375	0.04	0.0142	A
		TE			0.0144	A
Interacción		0.5535	0.37			

*Dentro de una fuente de variación, letras diferentes indican medias estadísticamente diferentes.

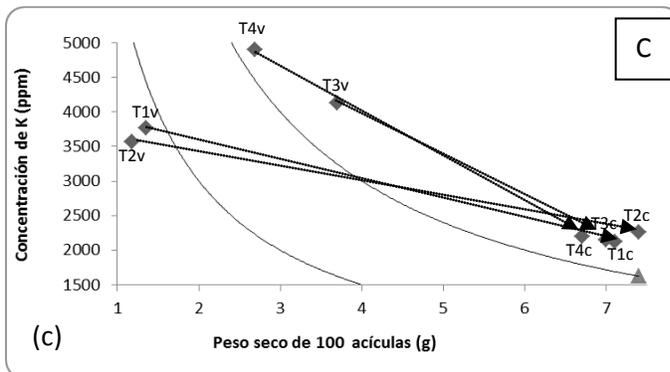
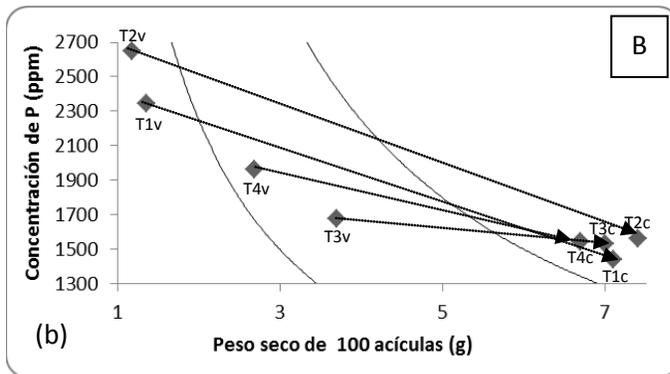
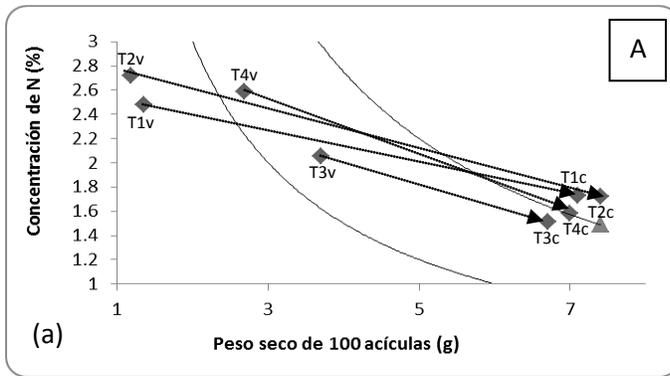


Figura 2. Nomogramas de Timmer para a) N, b) P y c) K en *Pinus leiophylla* en campo. T1v: Aserrín y tasa de adición nutrimental constante en vivero, T2v: Aserrín y tasa de adición nutrimental exponencial en vivero, T3v: Peat moss y tasa de adición nutrimental constante en vivero, T4v: Peat moss y tasa de adición nutrimental exponencial en vivero. T1c: Aserrín y tasa de adición nutrimental constante en campo, T2c: Aserrín y tasa de adición nutrimental exponencial en campo, T3c: Peat moss y tasa de adición nutrimental constante en campo, T4c: Peat moss y tasa de adición nutrimental exponencial en campo.

Los nomogramas (Figura 2) muestran el peso seco de 100 acículas, concentración y contenido nutrimental de las plántulas al final de la etapa de vivero (9 meses de edad) y de los mismos individuos a un año de la plantación a campo (22 meses de edad). Las pendientes negativas en los nomogramas hacen claro el efecto de dilución para todos los tratamientos.

Todos los tratamientos incrementaron la biomasa de 100 acículas y el contenido nutrimental durante el primer año en campo, con excepción de T3v y T4v los cuales no incrementaron el contenido de K (Figura 2 C). Los tratamientos con aserrín (AS) tuvieron mayores ganancias en biomasa de 100 acículas (PS100ac), comparados con los tratamientos de peat moss (PM). Similarmente, las plantas abastecidas mediante la tasa exponencial (TE) mostraron la mayor ganancia en PS100ac.

Discusión

El estudio se llevó a cabo en un suelo degradado con afloramientos de tepetate, típico de la zona poniente de la Sierra Nevada en Texcoco, Estado de México. Estos suelos son descritos por Etchevers et al. (1992) como suelos extremadamente pobres en N, P y M.O. además de tener baja CIC (Gavi et al. 1992). En coincidencia con estos autores el sitio de estudio resultó muy pobre en P, pero presentó niveles de N y M.O., superiores a los registrados para otros tepetates de la zona. En el sitio de estudio existe una capa delgada de suelo que soporta vegetación secundaria nativa especialmente pastos. Es probable que esta vegetación coadyuve a mantener los ciclos biogeoquímicos, mejorando las concentraciones de algunos nutrimentos a excepción de la de P, nutrimento que requiere ser introducido al ecosistema a partir de fertilización química u orgánica.

Del total de la planta producida en vivero el 25 % de la población total resultó como planta de buena calidad según CONAFOR (2010) y ésta correspondió a la interacción PM*TC (T3c). Otro 25 % de la población resultó con las mayores concentraciones nutrimentales correspondiendo a la interacción AS*TE (T2c) (Cuadro 2). Una vez trasplantados los individuos a campo se esperaba que continuaran las tendencias resultantes de la etapa de vivero, en cuanto a las variables de crecimiento y sobrevivencia.

Ante esta expectativa, morfológicamente si tuvo mejor desempeño en campo el tratamiento PM*TC (T3c) para D15, H15 e IDc. Sin embargo el mayor incremento en altura (IHc), fue resultado de la combinación AS*TE (T2c) (Cuadro 3), tratamiento con altas concentraciones de N y P desde vivero. Este hecho indica que el disparo en crecimiento probablemente es causado por las elevadas reservas nutrimentales que presentó la planta de ese tratamiento. Salifu et al. (2009) encontró que la recarga de nutrimentos en la planta durante la etapa de vivero, propicia mayores tasas de crecimiento inicial en campo.

Este hallazgo en el presente estudio indica que la recarga de nutrimentos en las plantas, efectivamente aumenta el crecimiento inicial en campo, mejorando la capacidad competitiva de la planta recién establecida, en relación a las malezas del sitio (Timmer y Aidelbaum 1996).

La literatura reporta que mayores índices de calidad de Dickson corresponden a planta de mayor calidad. De acuerdo con ello (Cuadro 2), la planta procedente de los tratamientos con AS es de menor calidad que la planta crecida en PM y se esperaría que su desempeño en campo fuera subóptimo, lo cual no sucedió, dado que al menos el IHc y PS100ac fueron superiores en las plantas cultivadas en aserrín. La falla en la predicción del ICD en cuanto al comportamiento de la planta en campo probablemente se debió a las elevadas reservas de nutrimentos en la planta producida en aserrín. En este estudio, el IE resultó ser un mejor predictor del comportamiento de la planta en campo, ya que la planta con menores IE (procedente de AS) exhibió los mayores IHc (Cuadro 2 y 3).

De acuerdo con CONAFOR (2010) y Sáenz et al. (2010), sólo planta mayor de 15 cm debe usarse para los programas de reforestación en México; sin embargo, el presente estudio demuestra que la planta pequeña (4.5 a 5.5 cm de altura) puede tener éxito en la sobrevivencia y crecimiento en terrenos difíciles, lo cual coincide con lo descubierto por Cortina et al. (1997), quienes encontraron una mayor sobrevivencia de plántulas pequeñas de *Pinus halepensis* que de plántulas de mayores dimensiones, cuando el sitio de plantación fue semiárido. Es altamente probable que el aspecto clave para la sobrevivencia y crecimiento inicial de la planta pequeña en el presente estudio, haya sido la elevada cantidad de reservas nutrimentales. En efecto, la planta producida en aserrín en vivero, una vez establecida en campo dio como resultado mayores concentraciones nutrimentales con ambas tasas de adición (TC y TE).

De acuerdo con la Figura 2, es claro el efecto de dilución experimentado principalmente por las plantas que exhibieron las mayores concentraciones de nutrientes en vivero por efecto de concentración (López y Estañol 2007). La mencionada figura indica que las plantas con mayores reservas nutrimentales son las que mayores incrementos de biomasa de 100 acículas (PS100ac) mostraron. Esto puntualiza la relación que existe entre el nivel de las reservas nutrimentales y los incrementos en campo.

La recarga de nutrientes en la planta de vivero pudiera considerarse como un procedimiento de fertilización en el que los nutrientes van incluidos en la propia planta. De acuerdo con los resultados del presente estudio (Cuadro 3 y Figura 1B), este sistema mejora el crecimiento inmediato de las plantas, lo cual puede ser fundamental para que la planta domine a muchas malezas en un plazo corto, incrementando teóricamente, la sobrevivencia de la plantación. Por otro lado, este sistema de fertilización es en teoría, el más eficiente, dado que las malezas no pueden hacer uso de los nutrientes de la planta recién establecida (Salifu et al. 2009, Timmer y Aidelbaum 1996). En el presente estudio, esto se hace evidente porque las plantas con mayores reservas nutrimentales (AS*TE, AS*TC y PM*TE) superaron por 93.8, 84.4 y 43.8 %, respectivamente, la biomasa de acículas (PS100ac) de las plantas producidas en PM*TC, mismas que son representativas del sistema comúnmente utilizado en los viveros tecnificados de México.

Salifu and Timmer (2003) reportaron que en un trasplante a campo de *Picea sp.* las cargas nutrimentales compensaron el efecto de baja fertilidad del suelo en el crecimiento de las plántulas. En el presente estudio es claro que hubo una buena respuesta de los individuos hacia las pobres condiciones del sitio (Cuadro 1) ya que finalmente, en sobrevivencia sólo hubo una diferencia de 5 % entre tratamientos. En efecto, la mayor sobrevivencia fue de 85% y correspondió al tratamiento T3c (PM*TC). Para los otros tres tratamientos (AS*TC, AS*TE y PM*TE) la sobrevivencia fue de 80 %. Estos valores superan el rango de 40.28 a 57.5 % de sobrevivencia registrada en las reforestaciones a nivel nacional por UACH – CEC (2011).

Conclusiones

El nutriente más deficiente en el suelo del sitio de estudio es el P, pero Ca y Mg también se encuentran en bajas concentraciones. En lo relativo a la calidad de planta para reforestación, al

parecer, la recarga de nutrientes en vivero altera la capacidad predictiva del ICD, al mejorar la calidad de la planta aun cuando ésta presenta bajos valores del ICD.

La planta de mayor tamaño (producida en PM) continúa exhibiendo mayor diámetro, y altura un año después del trasplante en campo. La planta de menor tamaño (producida en AS crudo) genera mayores tasas de crecimiento en altura y peso seco de 100 acículas (PS100ac).

El uso de aserrín crudo como sustrato propicia el efecto de concentración de N y P en los tejidos vegetales por reducción del crecimiento. Concentración que mejora el desempeño de la misma en campo.

Para suelos degradados o poco profundos, a un año del trasplante, tanto la planta cultivada en aserrín (AS) como en peat moss (PM) durante la etapa de vivero desarrolló adecuadamente en términos de sobrevivencia y de crecimiento inicial.

La tasa de fertilización exponencial (TE) que produjo la planta llevada a campo con mayores concentraciones de N, P y K, se igualaron por efecto de dilución al año del trasplante, con las de la planta abastecida mediante tasa constante (TC).

La tasa de fertilización constante (TC) se manifiesta en un mayor tamaño de la planta en términos de diámetro y altura a un año del trasplante, pero la TE propicia mayores incrementos del crecimiento en campo.

Referencias

1. Adame M. R., Martínez M. M. (1999). Efecto del manejo integral de la Cuenca del río Texcoco, sobre la producción de agua y sedimentos. *Investigaciones Geográficas Boletín* 39, 1999.
2. Aldana B. R.; Aguilera R. M. (2003). Procedimientos y cálculos básicos, útiles en la operación de viveros que producen plantas en contenedor. CONAFOR. Programa Nacional de Reforestación. 45 p.
3. CONAFOR (2010). “Prácticas de reforestación”. Manual básico. Primera edición. México. 64 pp.
4. Cortina, J.; Valdecantos A.; Seva J. P. Vilagrosa A.; Bellot J.; Valleji V.R. 1997. Relación tamaño-supervivencia en plantones de especies arbustivas y arbóreas mediterráneas producidos en vivero. In: *Actas II Congreso Forestal Español*. Pp. 159-164.
5. Cruz D.J., Cajuste L.J., y Carrillo G.R. (1992) Disponibilidad de potasio nativo, factores Q/I y potenciales químicos en tepetates de México. *TERRA* 10 (Número especial) : 398-407.
6. Etchevers B. J. D., R. M. López R., C. Zebrowski y D. Peña H. 1992. Características químicas de tepetates de referencia de los estados de México y Tlaxcala, México. *Terra* 10:171-177.
7. Gavi R.F., Núñez E.R., y Mares A.J. (1992). Evaluación de dos rocas fosfóricas como fuente de fósforo para dos especies cultivadas en un tepetate. *TERRA* 10 (Número especial) : 392-397
8. Horneck D.A., Sullivan D.M., Owen J.S., and Hart J.M. (2011). *Soil Test Interpretation Guide*. Oregon State University. 12 p.

9. López L., M.A. y Estañol B., E. (2007): Detección de deficiencias de hierro en *Pinus leiophylla* a partir de los efectos de dilución y concentración nutrimental. *Terra Latinoamericana*. 25(1): 9-15
10. López L., M.A. y J. Alvarado L. (2010): Interpretación de nomogramas de análisis de vectores para diagnóstico nutrimental de especies forestales. *Madera y Bosques* 16(1):99-108.
11. Malik, V. & Timmer, V.R. 1996. Growth, nutrient dynamics, and interspecific competition of nutrientloaded black spruce seedlings on a boreal mixedwood site. *Canadian Journal of Forest Research* 26: 1651–1659.
12. Malik, V. 1998. Growth and nutrient dynamics of nutrient-loaded black spruce seedlings in relation to neighbouring vegetation on boreal mixedwood sites. P.hD. Thesis. University of Toronto, Canada. 135 p.
13. Margolis, H.A, y Brand, D.G. 1990. An ecophysiological basis for understanding plantation establishment. *Can. J. For. Res.* 20:375–390.
14. Miller B. D., Timmer V. R. (1994). Steady-state nutrition of *Pinus resinosa* seedlings: response to nutrient loading, irrigation and hardening regimes. *Tree Physiology* 14: 1327 – 1338.
15. Pritchett, W.L. 1986. Suelos forestales: propiedades, conservación y mejoramiento. Traducción del inglés por Jose Hurtado Vega. Limusa. México. 634 p.
16. Sáenz R, J. T., Villaseñor R. F.J., Muñoz F. H. J., Rueda S. A. y Prieto R. J. A. 2010. Calidad de planta en viveros forestales de clima templado en Michoacán. INIFAP. Centro de Investigación Regional Pacífico Centro. Uruapan, Mich. 52 p.
17. Salifu K.F., Jacobs D.F., Birge Z. (2005). Maximizing nutrient storage in nursery culture to promote retranslocation and growth of outplanted seedlings. *Hardwood Tree Improvement and Regeneration Center, Department of Forestry and Natural Resources, Purdue University, West Lafayette, IN 47907 USA.*
18. Salifu K.F., Timmer V.R. (2003) Optimizing nitrogen loading of *Picea mariana* seedlings during nursery culture. *Can J For Res* 33:1287–1294.

19. Salifu, K. F., Jacobs D. F., y Birge Z. K. (2009). Nursery nitrogen loading improves field performance of bareroot oak seedlings planted on abandoned mine lands. *Restoration Ecology* 17(3): 339-349.
20. Salifu, K.F. & Timmer, V.R. (2001). Nitrogen retranslocation response of *Picea mariana* seedling to nitrogen supply. *Soil Science Society of America Journal* 65: 905–913.
21. Setterfield, S.A. (2001). Seedling establishment in an Australian tropical savanna: effects of seed supply, soil disturbance and fire. *Journal of Applied Ecology*, 39: 949–959.
22. Timmer, V.R. y A.S. Aidelbaum. 1996. Manual for exponential nutrient loading of seedlings to improve outplanting performance on competitive forest soils. Nat. Res. Can., Canadian Forest Service-Sault Ste. Marie; Sault Ste., Marie, ON. NODA/NFP Technical Report TR-25. 21 p.
23. Universidad Autónoma Chapingo-Centro de Educación Continua. (2011): “Evaluación de apoyos de reforestación del PROCOREF 2009-2011”. México Recuperado de: http://www.semarnat.gob.mx/archivosanteriores/programas/evaluaciones/2013/Documentos/complementarias/Evaluacion_Complementaria_PROCOREF_S122.pdf
24. Van den Driessche, R., 1988. Nursery growth of conifer seedlings using fertilizers of different solubilities and application time, and their forest growth. *Can. J. For. Res.* 18, 172–180.

CAPÍTULO IV

Conclusiones

Se rechazan las Ho1, Ho2 y Ho3 en ambas etapas con una confiabilidad de $P=0.05$, ya que los niveles del factor “Sustrato” (AS y PM), y los del factor “Tasa de adición nutrimental” (TC y TE), así como las interacciones de los mismos, presentaron efectos significativos sobre algunas de las variables de calidad morfológica y fisiológica de planta en ambas etapas del experimento (vivero y campo).

En la etapa de vivero el peat moss (PM) produjo las plántulas más grandes en combinación con la tasa constante (PM*TC), y el aserrín (AS) las de mayores concentraciones foliares de N y P en plántulas, especialmente cuando se combinó con la tasa de adición exponencial (AS*TE).

En la etapa de campo los individuos de mayor tamaño antes mencionados, producidos en PM*TC, continúan exhibiendo mayor diámetro y altura, un año después del trasplante. La planta de menor tamaño (producida en AS crudo) pero con las mayores concentraciones nutrimentales producidos en AS*TE, genera mayores incrementos en altura y peso seco de 100 acículas (PS100c). Sin embargo en campo las concentraciones foliares de N, P y K en la planta de todos los tratamientos, se igualaron por efecto de dilución al año de su trasplante, sin dejar de remarcar el efecto importante que tuvo TE en campo sobre el incremento en altura y peso seco en los individuos más pequeños.

El nutrimento más deficiente en el suelo del sitio de estudio es el P, pero Ca y Mg también se encuentran en bajas concentraciones. Para suelos degradados o poco profundos, a un año del trasplante, tanto la planta cultivada en aserrín (AS) como en peat moss (PM) durante la etapa de vivero lograron un buen crecimiento inicial, y una sobrevivencia mínima de 80%.

La fertilización exponencial de *Pinus leiophylla* en vivero se recomienda especialmente si la planta será establecida en suelos delgados y de baja fertilidad.