



COLEGIO DE POSTGRADUADOS

INSTITUCION DE ENSEÑANZA E INVESTIGACION EN CIENCIAS AGRÍCOLAS

CAMPUS MONTECILLO

POSTGRADO EN CIENCIAS FORESTALES

**EFFECTO DEL MANEJO NUTRIMENTAL, ENVASE Y
SISTRATOS EN LA PRODUCCIÓN EN VIVERO Y SU
DESARROLLO MORFOFISIOLÓGICO EN CAMPO DE *Pinus
greggii* Engelm. var. *australis***

ORALIA SÁNCHEZ VÁSQUEZ

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 “**EFFECTO DEL MANEJO NUTRIMENTAL, ENVASE Y SUSTRATOS EN LA PRODUCCIOÓN EN VIVERO Y SU DESARROLLO MORFOFICIOLOGÍCO EN CAMPO DE *Pinus greggii* Engelm. var. *australis***” realizada por la **ING. ORALIA SÁNCHEZ VÁSQUEZ**, 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

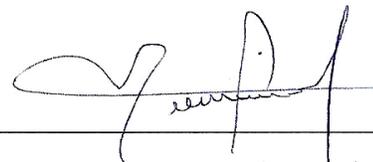
CONSEJO PARTICULAR

CONSEJERO



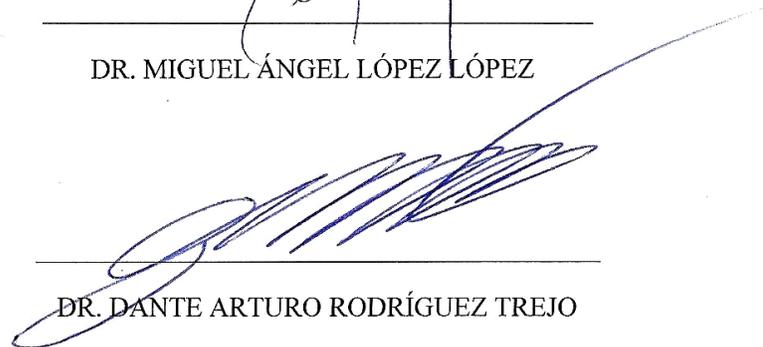
DR. VÍCTOR MANUEL CETINA ALCALÁ

ASESOR



DR. MIGUEL ÁNGEL LÓPEZ LÓPEZ

ASESOR



DR. DANTE ARTURO RODRÍGUEZ TREJO

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

AGRADECIMIENTOS

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACyT) por el apoyo económico brindado para obtener mis estudios de maestría y hacer posible la realización de este trabajo.

Al Postgrado en Ciencias Forestales del Colegio de Postgraduados y su personal académico y administrativo.

Al Dr. Víctor Manuel Cetina Alcalá por su atinada dirección y asesoría durante el desarrollo de esta tesis.

Al Dr. Miguel Ángel López López por su asesoría y valioso aporte en la realización de este documento.

Al Dr. Dante Arturo Rodríguez Trejo por su asesoría y correcciones emitidas al presente trabajo.

A la Dra. Libia Trejo Téllez por su asesoría en la parte de determinación de nutrimentos y concentración de clorofila, además de su valioso aporte en la realización de este documento.

Al laboratorista Roberto, del laboratorio de nutrición “Salvador Alcalde Blanco”, del Colegio de Postgraduados, por su valioso apoyo en la realización de los análisis de laboratorio.

Al municipio de San Cristóbal Amoltepec, Distrito de Tlaxiaco, estado de Oaxaca por permitir llevar a cabo la etapa de campo en terrenos comunales del mismo, en especial al comisariado de Bienes Comunales Profr. Gildardo Gonzalo Pérez Ortiz, por todo el apoyo brindado durante el establecimiento y evaluación de la plantación.

A la secretaria Lupita Sánchez, por todo su apoyo en el proceso administrativo para la realización de este trabajo.

A quienes me apoyaron a lo largo de este proceso Velen, Liliana, Margarita, Mijail, Gerardo, Sra. Amelia Espinosa, M. C. Eliut Sánchez, Ing. Gaddiel Sánchez, Profra. Teresa Vásquez, Profr. Adán Sánchez y Profr. Raúl Sánchez.

DEDICATORIA

A mis padres y hermanos.
A Hiroshi por su apoyo y complicidad.
A mis amigos.
Gracias a todos.

*Cuando el último árbol sea cortado,
El último río envenenado,
El último pez pescado,
Sólo entonces,
El hombre descubrirá
Que el dinero no se come.*

Proverbio indígena.

CONTENIDO

AGRADECIMIENTOS	i
DEDICATORIA	iii
CONTENIDO	iv
ÍNDICE DE TABLAS	vi
ÍNDICE DE FIGURAS.....	vii
RESUMEN GENERAL.....	viii
GENERAL SUMMARY	x
CAPITULO I. INTRODUCCIÓN GENERAL.	1
OBJETIVO GENERAL.	2
CAPÍTULO II. EL MANEJO NUTRIMENTAL, TIPO DE ENVASE Y MEZCLA DE SUSTRATOS AFECTAN LA PRODUCCIÓN DE <i>Pinus greggii</i> Engelm. Var. <i>Australis</i>	3
RESUMEN.....	3
INTRODUCCIÓN.	5
MATERIALES Y MÉTODOS.	7
Evaluación de criterios morfológicos.....	10
Evaluación de criterios fisiológicos.....	11
RESULTADOS.....	13
Indicadores morfológicos.	13
Indicadores morfológicos.	16
DISCUSIÓN.....	19
CONCLUSIONES.	22
REFERENCIAS.....	24
CAPÍTULO III. EFECTO DEL SISTEMA DE PRODUCCIÓN DE <i>Pinus greggii</i> Engelm. Var. <i>Australis</i> EN VIVERO SOBRE SU DESARROLLO MORFOFISIOLÓGICO EN CAMPO. ...	27
RESUMEN.....	27
INTRODUCCIÓN.	29
MATERIALES Y MÉTODOS.	32
Etapa de vivero.	32
Etapa de campo.....	34
Evaluación de criterios morfológicos.....	35
Evaluación de criterios fisiológicos.....	35

RESULTADOS.....	37
Indicadores morfológicos.....	37
Indicadores fisiológicos.....	39
Sobrevivencia.....	43
DISCUSIÓN.....	43
CONCLUSIONES.....	46
REFERENCIAS.....	47

ÍNDICE DE CUADROS

Página

CAPÍTULO II. EL MANEJO NUTRIMENTAL, TIPO DE ENVASE Y MEZCLA DE SUSTRATOS AFECTAN LA PRODUCCIÓN DE *Pinus greggii* Engelm. Var. *Australis*

- Cuadro 0-1.** Análisis de varianza para las variables evaluadas en los tratamientos de abasto nutricional, tipo de envase y mezcla de sustrato para *Pinus greggii* Engelm. var. *Australis* producido en vivero..... 13
- Cuadro 0-2.** Análisis de varianza para clorofila, diámetro y altura. 18

CAPÍTULO III. EFECTO DEL SISTEMA DE PRODUCCIÓN DE *Pinus greggii* Engelm. Var. *Australis* EN VIVERO SOBRE SU DESARROLLO MORFOFISIOLÓGICO EN CAMPO.

- Cuadro 1.** Análisis de varianza para las variables evaluadas en los tratamientos de abasto nutricional, tipo de envase y mezcla de sustrato para planta de *Pinus greggii* Engelm. var. *Australis* establecida en campo. 37
- Cuadro 2.** Análisis de varianza para clorofila, diámetro y altura para los tratamientos establecidos en campo..... 42

ÍNDICE DE FIGURAS

Página

CAPÍTULO II. EL MANEJO NUTRIMENTAL, TIPO DE ENVASE Y MEZCLA DE SUSTRATOS AFECTAN LA PRODUCCIÓN DE *Pinus greggii* Engelm. Var. *Australis*

- Figura 1.** Curva de la tasa de adición de N con Peters® 20-10-20 y contenido de N en plántulas por fecha de aplicación. 9
- Figura 2.** Nomograma de Timmer para Nitrógeno foliar en *Pinus greggii* Engelm. var. *Australis* producidas en vivero. 16
- Figura 3.** Nomograma de Timmer para Fósforo foliar en *Pinus greggii* Engelm. var. *Australis* producida en vivero. 16
- Figura 4.** Nomograma de Timmer para Potasio foliar en *Pinus greggii* Engelm. var. *Australis* producida en vivero. 17
- Figura 5.** Medias de clorofila total en los diferentes tratamientos en *Pinus greggii* Engelm. var. *Australis*. 18

CAPÍTULO III. EFECTO DEL SISTEMA DE PRODUCCIÓN DE *Pinus greggii* Engelm. Var. *Australis* EN VIVERO SOBRE SU DESARROLLO MORFOFISIOLÓGICO EN CAMPO²⁷

- Figura 1.** Diámetro tomado al final de la etapa de vivero 2014 y a un año del trasplante 2015 de *Pinus greggii* Engelm. var. *Australis*. 38
- Figura 2.** Altura tomada al final de la etapa de vivero 2014 y a un año del trasplante 2015 de *Pinus greggii* Engelm. var. *Australis*. 39
- Figura 3.** Nomograma de Timmer para Nitrógeno foliar en *Pinus greggii* Engelm. var. *Australis* establecida en campo. 40
- Figura 4.** Nomograma de Timmer para Fósforo foliar en *Pinus greggii* Engelm. var. *Australis* establecida en campo. 40
- Figura 5.** Nomograma de Timmer para Potasio foliar en *Pinus greggii* Engelm. var. *Australis* establecida en campo. 41
- Figura 6.** Medias de clorofila total en los diferentes tratamientos en *Pinus greggii* Engelm. var. *Australis* establecida en campo. 42
- Figura 7.** Medias sobrevivencia total en los diferentes tratamientos en *Pinus greggii* Engelm. var. *Australis* establecida en campo. 43

**EFFECTO DEL MANEJO NUTRIMENTAL, ENVASE Y SUSTRATOS EN LA
PRODUCCIÓN EN VIVERO Y SU DESARROLLO MORFOFISIOLÓGICO EN
CAMPO DE *Pinus greggii* Engelm. var. *australis***

Oralia Sánchez Vásquez, M.C.

Colegio de Postgraduados, 2016.

RESUMEN

El ritmo de pérdida de superficie de bosques templados ubica a México entre los países con mayor índice de deforestación. El estado de Oaxaca ha sido pionero en muchas actividades relacionadas con el manejo sustentable de los bosques y la silvicultura comunitaria. Sin embargo, para mejorar el éxito de los trabajos de conservación y restauración forestal el uso de planta de buena calidad es importante. En los viveros forestales de México es común aplicar fórmulas de fertilización, sin el pleno conocimiento de los requerimientos nutrimentales de cada especie, así como manejar tipos de envases y sustrato de manera generalizada para cualquier especie. En este sentido, comprender cómo afecta a las plántulas producidas en vivero estas prácticas es esencial para poder desarrollar y diseñar tratamientos óptimos que permitan incrementar la calidad de la planta. De acuerdo con lo anterior y bajo la suposición de que un régimen de nutrición correcto mejora la calidad de la planta en vivero y favorece su nivel de desempeño en condiciones de campo, en este estudio se evaluaron el efecto de dos estrategias de fertilización: exponencial (FE) y convencional (FC), cuatro tipos de envase: negro drenaje basal (NB), blanco drenaje basal (BB), negro drenaje lateral y basal (NL), blanco drenaje lateral y basal (BL) y tres mezclas de diferentes sustratos: *peat moss* (Pm), *peat moss*-corteza de pino (Pm-Cp) y corteza de pino (Cp) en la producción de planta de *Pinus greggii* Engelm. var. *australis* en vivero y su respuesta en campo. Las variables respuesta evaluadas en vivero fueron la altura (H), diámetro al cuello de la raíz (D), peso fresco total (PFT), peso seco de la parte aérea (PSA), peso seco de la parte radical (PSR), peso seco total (PST), relación parte aérea/raíz (RAR), índice de esbeltez (IE), índice de calidad de Dickson (ICD), índice de Lignificación (IL), concentraciones de nutrimentos (N, P y K) y contenido de clorofila total en acículas. En campo se evaluó H, D, IE, estado nutrimental (N, P y K) y contenido de clorofilas total en acículas. Los análisis de varianza indicaron que los tres factores afectaron significativamente las variables morfológicas evaluadas en vivero. El abastecimiento nutrimental, el tipo de envase y la mezcla de sustrato tuvieron efectos significativos en la concentración foliar

de N, P y K de la planta producida. De acuerdo con estos resultados, FE produce planta de mejor calidad con mayor carga nutrimental para reforestación en sitios degradados. El envase NL o BB y mezcla de sustrato Cp promovieron mayores concentraciones foliares de N y P por efecto de concentración, pero no de K para este mismo sustrato. En la etapa de campo el abastecimiento nutrimental, el tipo de envase y la mezcla de sustrato tuvieron efectos significativos en la concentración foliar de N, P y K al cabo de un año de establecida la planta. La mayor concentración de N, P y K se obtuvo con FE (0.180 %, 825.480 ppm y 1608.174 ppm) contra FC (0.171 %, 804.346 ppm y 1590.026 ppm, de N, P y K, respectivamente). Respecto al tipo de envase, NB y NL lograron igualmente mayores concentraciones de N (NB=0.183 %), P (NL= 863.260 ppm) y K (NL= 1672.379 ppm). De la misma manera la mezcla de sustrato Pm-Cp y Pm también alcanzaron mayores concentraciones de N (Pm-Cp= 0.188 %), P (Pm= 860.193 ppm) y K (Pm= 1721.741 ppm). En conjunto los envases NL y BB, y las mezclas de sustrato Pm y Pm-Cp tuvieron efectos significativos sobre las concentraciones foliares de N, P y K, al interactuar. Existieron diferencias significativas en cuanto al contenido de clorofila total, resultando más altos los tratamientos con interacciones FE, BB y Pm-Cp (BBPC-E=2.2303 mg/L), y FE, BL y Cp (BLC-E=2.229 mg/L). La sobrevivencia en campo fue de mayor al 90% en la mitad de los tratamientos. De acuerdo con estos resultados es posible deducir que FE produce planta de mejor calidad con mayor carga nutrimental para reforestación en sitios degradados. El envase NL o BB y mezcla de sustrato Pm-Cp promovieron mayores concentraciones foliares de N y P por efecto de concentración. Aunque en la etapa de vivero no hubo diferencias significativas en cuanto al contenido de clorofila total, en la etapa de campo estas se vieron reflejadas en los tratamientos, lo que permite usar esta variable como un indicador para evaluar el desarrollo óptimo para *Pinus greggii* Engelm. var. *australis*, pero no para el sistema de producción en vivero.

Palabras clave: Abastecimiento nutrimental, sustrato, envase, concentración, clorofila.

**EFFECT OF NUTRITIONAL MANAGEMENT, PACKAGING AND SUBSTRATES IN
THE NURSERY PRODUCTION MORPHOPHYSIOLOGICAL AND DEVELOPMENT
IN FIELD *Pinus greggii* Engelm. var. *australis***

Oralia Sánchez Vásquez, M.Sc.

Colegio de Postgraduados, 2016.

ABSTRACT

The loss rate of temperate forests places Mexico among the countries with the highest rates of deforestation. The state of Oaxaca has pioneered many activities related to sustainable forest management and community forestry. However, to improve the success of forest conservation and restoration programs, the use of high quality plant is important. In the Mexican forest nurseries it is a common practice to use fertilizer formulas without knowing the nutrient requirements of each species and also, to use containers and substrates indistinctly for any plant species. Nonetheless, it is essential to understand how such practices affect seedlings produced in the nurseries, in order to develop and design optimal treatments to improve the quality of the plant. Accordingly, and based on the assumption that a system of proper nutrition improves seedling quality and promotes plant performance in field conditions, in this study the effect of two fertilization strategies were evaluated: Exponential (FE) and conventional (FC); four types of container: Black basal drainage (NB) White basal drainage (BB), Black lateral and basal drainage (NL), and White lateral and basal drainage (BL). Also, the effects of three mixtures of different substrates were studied: Peat moss (pm), Peat moss-pine bark (pm-Cp) and pine bark (Cp), on the production of *Pinus greggii* seedlings in the nursery, and on field performance. The response variables evaluated in the nursery stage were: height (H), diameter at root collar (D), total fresh weight (PFT), aboveground dry weight (PSA), belowground dry weight (PSR), total dry weight (PST), aboveground biomass/belowground biomass ratio (RAR), slenderness index (IE), Dickson quality index (DCI) lignification index (IL), concentrations of nutrients (N, P, and K) and total chlorophyll content in needles. Response variables evaluated in the field were: H, D, IE, nutrient status (N, P, and K) and total chlorophyll content in needles. The analysis of variance indicated that all three factors significantly affected the morphological variables assessed in the nursery. The nutrient supply, the type of container and substrate mixture had significant effects on foliar concentrations of N, P and K. According to these results, FE produces better quality seedlings, with higher nutritional loads

for reforestation of degraded sites. Containers NL or BB and substrate mixture Cp, promoted higher foliar concentrations of N and P because of concentration effect, but not K concentrations. During the field stage, the nutrient supply rate, container type, and substrate mixture, showed significant effects on foliar concentrations of N, P, and K, one year after plant establishment. The highest concentrations of N, P, and K were obtained with FE (0.180% 825.480 and 1608.174 ppm, respectively), versus FC (0.171% 804.346 and 1590.026 ppm, for N, P, and K, respectively). Regarding the type of container, NB and NL also promoted higher concentrations for N (NB = 0.183%), P (NL = 863.260 ppm) and K (NL = 1672.379 ppm). Likewise the substrate mixture Pm-Cp and Pm also reached higher concentrations of N (Pm-Cp = 0.188%), P (Pm = 860.193 ppm) and K (Pm = 1721.741 ppm). On the whole, containers NL and BB, and substrate mixtures Pm and Pm-Cp, significantly affected foliar concentrations of N, P, and K when they interacted. There were significant differences in total chlorophyll content, so that the following treatment interactions resulted in the highest values: FE*BB*Pm-Cp (BBPC-E = 2.2303 mg/L), and FE*BL*Cp (BLC-E = 2.229 mg/L). Field survival was greater than 90% at half the treatments. According to these results, we can deduce that FE produces better quality seedlings, with higher nutrient loads for reforestation of degraded sites. Containers NL or BB, and substrate mixture Pm-Cp promoted higher concentrations of N and P due to concentration effects. Even though there were no significant differences in the nursery stage in terms of total chlorophyll content, in the field stage such differences were reflected in the treatments, allowing the use of this variable as an indicator to evaluate the optimal development of *Pinus greggii*. var. *australis* in the field, but not for the production system in the nursery.

Key words: Nutrient supply, substrate, container, concentration, chlorophyll

CAPITULO I. INTRODUCCIÓN GENERAL

México se considera la cuarta Nación a nivel mundial, en cuanto a diversidad biológica. Se encuentra entre los 10 países con mayor superficie de bosques primarios (especies nativas), debido a su compleja topografía y la variedad de climas con que cuenta el país. Los anteriores, son elementos que favorecen la existencia de una variabilidad genética de especies que sólo se distribuyen en este territorio (INEGI, 2013).

Se estima que entre el 2005 y el 2010, el país registró una deforestación de alrededor 155,000 ha por año (INEGI 2013). La celeridad de remoción del arbolado en los bosques, debida a extracción (legal e ilegal) o a cambios en el uso del suelo, excede la capacidad de repoblación natural en la mayoría de los terrenos forestales; por ello los programas de reforestación y las plantaciones forestales comerciales han surgido en respuesta a esta problemática, de modo que en la actualidad México cuenta con viveros en los que la cantidad y la calidad de plantas está determinada por las prácticas de producción, basadas en técnicas y procedimientos estandarizados. Es muy común en los viveros forestales aplicar fórmulas de fertilización, sin el pleno conocimiento de los requerimientos nutrimentales de cada especie, así como manejar tipos de envases de manera generalizada para cualquier especie, sin considerar el tipo de planta que se necesita para el sitio al que se destinará; teniendo como resultado que la calidad de planta no siempre es adecuada y consecuentemente los porcentajes de supervivencia en campo disminuyen de manera significativa. La selección de especies y las características morfológicas y fisiológicas de planta tienen impacto en el establecimiento de los individuos en campo. Entre las especies de pinos recomendadas para actividades de reforestación y restauración de ambientes degradados en el centro de México se encuentran *Pinus montezumae* Lamb., *Pinus hartwegii* Lindl., *Pinus patula* Schl. et Cham, *Pinus greggii* Engelm., *Pinus oaxacana* Mirov. y *Pinus rudis* Endl. (CONAFOR, 2008). *Pinus greggii* Engelm. ha sido utilizado en reforestaciones y plantaciones comerciales por su rápido crecimiento y su buena adaptación a suelos degradados, (INIFAP, 2011). En este sentido, comprender cómo afectan las prácticas de fertilización a las plántulas producidas en vivero y el tipo de envases utilizados es esencial, para poder desarrollar y diseñar tratamientos óptimos que permitan incrementar la calidad de la planta de *Pinus greggii* Engelm., garantizando alta supervivencia al establecerse en los sitios de plantación con individuos vigorosos, tolerantes al estrés asociado al trasplante y manteniendo un crecimiento adecuado.

La nutrición es el conjunto de procesos de alimentación que contribuyen al crecimiento y desarrollo de un ser viviente. Es la vía más directa y efectiva en la que se puede influir en cuanto a calidad de la planta (Morales M., A., S.F.). La fertilización es una herramienta de la nutrición vegetal, ya que es una práctica para nutrir a las plantas, aumentando la disponibilidad de los nutrimentos. Respecto a la producción de planta forestal en vivero, es frecuente el uso de fertilizantes en los sistemas de producción de manera indiscriminada, sin contar con parámetros particulares para cada especie, desconociendo su efecto en el crecimiento de las plántulas.

OBJETIVO GENERAL

Evaluar el efecto de tipo de envase, mezclas de sustratos y abasto nutrimental en la producción de planta de *Pinus greggii* Engelm. var. *australis* en vivero y su posterior establecimiento en campo.

Objetivos específicos

Evaluar el efecto del abasto nutrimental convencional y exponencial en la calidad de planta de *Pinus greggii* Engelm. var. *australis* producida en vivero y su respuesta en campo.

Evaluar el efecto del color y tipo de drenaje de contenedores en la calidad de planta de *Pinus greggii* Engelm. var. *australis* producida en vivero y su respuesta en campo.

Evaluar el efecto de las diferentes mezclas de sustratos en la calidad de planta de *Pinus greggii* Engelm. var. *australis* producida en vivero y su respuesta en campo.

Hipótesis

El sistema de abasto nutrimental exponencial en *Pinus greggii* Engelm. var. *australis* produce planta con características morfológicas y fisiológicas superiores que con el sistema de abasto nutrimental convencional.

La mejor calidad de planta de *Pinus greggii* Engelm. var. *australis*, en términos de características morfológicas y fisiológicas se produce mediante el uso de envases de color negro y drenaje lateral.

La mezcla de sustrato peatmoss-corteza de pino, agrolita y vermiculita en la producción de *Pinus greggii* Engelm. var. *australis* produce planta con características morfológicas y fisiológicas superiores que las mezclas de peatmoss agrolita y vermiculita, y corteza de pino, agrolita y vermiculita.

CAPÍTULO II. EL MANEJO NUTRIMENTAL, TIPO DE ENVASE Y MEZCLA DE SUSTRATOS AFECTAN LA PRODUCCIÓN DE *Pinus greggii* Engelm. var. *australis*

RESUMEN

Debido a la constante destrucción de los recursos forestales, se requiere de programas de reforestación y plantaciones forestales, utilizando plantas de buena calidad. En la producción de planta de alta calidad en vivero se emplean insumos comerciales de elevado costo, además de reducir los márgenes de utilidad del proceso, puede no proporcionar las condiciones necesarias para el buen desarrollo de la planta, morfológica y fisiológicamente. En ocasiones la planta es llevada a campo con una baja reserva de nutrimentos, por lo que el porcentaje de supervivencia es menor al esperado, sobre todo en suelos degradados, que tienen una baja fertilidad. En este trabajo se evaluó el efecto del manejo nutrimental, tipo de envase y mezcla de sustratos. El experimento se estableció bajo un diseño experimental completamente al azar (DCA), con arreglo factorial 2x4x3. Los tres factores de estudio fueron: tasa de adición nutrimental, convencional (FC) y exponencial (FE); tipo de envase, negro con drenaje en la base (NB), blanco con drenaje en la base (BB), negro con drenaje en la base y lateral (NL) y blanco con drenaje en la base y lateral (BL), y sustrato, peat moss (Pm), peat moss-corteza de pino (Pm-Cp) y corteza de pino (Cp). Las variables respuesta evaluadas fueron la altura (H), diámetro al cuello de la raíz (D), peso fresco total (PFT), peso seco de la parte aérea (PSA), peso seco de la parte radical (PSR), peso seco total (PST), relación parte aérea/raíz (RAR), índice de esbeltez (IE), índice de calidad de Dickson (ICD), índice de Lignificación (IL), concentraciones de nutrimentos (N, P y K) y contenido de clorofila total. Los análisis de varianza indicaron que los tres factores afectaron significativamente las variables morfológicas evaluadas excepto el peso seco de 180 acículas. El abastecimiento nutrimental, el tipo de envase y la mezcla de sustrato tuvieron efectos significativos en la concentración foliar de N, P y K de la planta producida. La mayor concentración de N, P y K se obtuvo con FE (2.19%, 1677.113 ppm y 4871.141 ppm) contra FC (2.106%, 1624.849 ppm y 4400.698 ppm, de N, P y K, respectivamente). Respecto al tipo de envase, en NL igualmente se observaron mayores concentraciones para N (2.256 %) y BB para P (1724.781 ppm) y K (4974.912 ppm). De la misma manera la mezcla de sustrato Cp también alcanzó mayores concentraciones de N (2.306 %) y P (1752.151 ppm) y Pm para K (5199.412 ppm). Se halló interacción significativa entre los envases NL y BB, y las mezclas de sustrato Cp y Pm- Cp tuvieron efectos sobre concentraciones foliares

de N, P y K. En cuanto a clorofila total no hubo diferencias significativas. De acuerdo con estos resultados es posible deducir que FE produce planta de mejor calidad con mayor carga nutrimental para reforestación en sitios degradados. El envase NL o BB y mezcla de sustrato Cp promovieron mayores concentraciones foliares de N y P por efecto de concentración, pero no de K.

Palabras clave: sustrato, adición nutrimental, clorofila, calidad de planta, vivero.

ABSTRACT

Because of the continuing destruction of forest resources requires programs of reforestation and forest plantations, using plants of good quality. In the production of high quality plants in nursery is used business inputs of high cost, in addition to reducing the profit margins of the process, may not provide the necessary conditions for the proper development of the plant, morphological and physiologically. Sometimes the plant is carried into the field with a low reserve of nutrients, so that the percentage of survival is lower than expected, especially in degraded soils, which have a low fertility. In this work we evaluated the effect of the nutrient management, type of packaging and mixture of substrates. The experiment was established under a completely randomized experimental design (DCA), with factorial arrangement 2x4x3. The three factors of study were: rate of nutrient addition, conventional (FC) and exponential (FE); type of packaging, black with drain at the base (NB), white with drain at the base (BB), black with drain at the base and side (NL) and white with drain at the base and side (BL), and substrate, peat moss (PM), peat moss-pine bark (Pm-Cp) and pine bark (CP). The response variables evaluated were the height (H), diameter at the neck of the root (D), total fresh weight (PFT), dry weight of the aerial part (PSA), dry weight of the Radical Party (PSR), total dry weight (PST), relationship aerial part/root (RAR), index of slenderness (IE), index of quality of Dickson (ICD), Lignificación index (IL), concentrations of nutrients (N, P and K) and content of total chlorophyll. The analysis of variance indicated that the three factors significantly affected morphological variables evaluated except the dry weight of 180 needles. The nutrient supply, the type of packaging and the mixture of substrate had significant effects on the foliar concentration of N, P and K of the plant produced. The largest concentration of N, P and K was obtained with faith (2.19%, 1677.113 ppm and 4871.141 ppm) against FC (2,106%, 1624.849 ppm and 4400.698 ppm, of N, P and K, respectively). With regard to the type of packaging, in NL equally higher concentrations were observed for N (2,256 %) and BB for P (1724.781 ppm) and K (4974. 912 ppm). In the same way the mixture of substrate Cop also reached greater concentrations of N (2,306 %) and P (1752.151 ppm) and PM for K (5199.412 ppm). It was found significant interaction between packages NL and BB, and mixtures of substrate Cp and pm- Cp had effects on foliar concentrations of N, P and K in regard to total chlorophyll there were no significant differences. In agreement with these results it is possible to deduce that faith produces better quality plant nutrient with the greatest burden for reforestation in degraded

sites. The packaging NL or BB and mixture of substrate Cp promoted higher foliar concentrations of N and P by effect of concentration, but not of K.

Key Words: Substrate, nutrient addition, chlorophyll, quality of plant nursery.

INTRODUCCIÓN

La creciente demanda de productos forestales ha originado un excesivo aprovechamiento de dichos recursos creando la necesidad de optimizar el uso de especies, sistemas de producción y el establecimiento de plantaciones forestales, comerciales o de reforestación, con el fin de cubrir la demanda. La adecuada solución a esta problemática requiere de investigación y experimentación en los puntos críticos que se presentan en la producción en vivero y establecimiento en campo, de manera que se obtengan plantas con óptimas características para el objetivo planteado.

La selección correcta de la especie y la calidad de la planta para el sitios de plantación influyen en la supervivencia de las reforestaciones (Villar *et al.*, 2012). *Pinus greggii* Engelm. var. *australis* es una especie endémica de México, constituida por su vasta plasticidad genética para crecer en suelos erosionados, constituyendo su importancia en el potencial que tiene para la protección y recuperación de cuencas y áreas degradadas.

Las técnicas de cultivo en vivero tienen como objetivo desarrollar planta con una serie de atributos morfológicos y fisiológicos que le den ventaja en el sitio de plantación, para asegurar su supervivencia o disminuir la mortalidad, ante factores ambientales limitantes como temperaturas extremas y sequías (Rodríguez, 2008). Para aumentar la supervivencia de una plantación ubicada en sitios con poca disponibilidad de agua en el suelo, es necesario producir plantas de adecuada calidad, capaces de sobrevivir, adaptarse y desarrollarse en el sitio (Dureya, 1985).

En el presente trabajo se evaluaron la influencia del tipo de abasto nutrimental, el tipo de sustrato y tipo envase en el crecimiento y calidad de la planta de *Pinus greggii* Engelm. var. *australis*, en vivero.

MATERIALES Y MÉTODOS

El experimento se realizó en los invernaderos del Postgrado en Ciencias Forestales, Campus Montecillo del Colegio de Postgraduados, Montecillo, Estado de México; 98° 54' 24'' O, 19° 27' 37'' N, con una altitud de 2241msnm. El clima de acuerdo con el sistema de clasificación de Köppen, es del tipo C (Wo) (w)b(1) g' que corresponde a templado subhúmedo con lluvias en verano, precipitación media anual de 645mm y temperatura media anual de 15°C.

Se utilizó semilla de *Pinus greggii* Engelm. var. *australis*, la fuente de la semilla fue la región de Huauchinango, Puebla, en donde Ramírez-Herrera *et al.* (2005) reportan una población de esta

especie. Las semillas fueron donadas por la Comisión de Recursos Naturales (CORENA) de la Secretaría de Medio Ambiente del Distrito Federal. Para llevar a cabo el experimento, se seleccionaron 1,656 semillas que se remojaron en agua a temperatura ambiente durante 24 horas antes de la siembra. Esta última fue realizada en forma directa al envase a una profundidad de 1 cm, depositando de una semilla por envase (INIFAP, 2003). Se usaron envases rígidos de 245 cm³ de volumen, de dos diferentes colores y drenajes, negro con drenaje en la base (NB), blanco con drenaje en la base (BB), negro con drenaje en la base y lateral (NL) y blanco con drenaje en la base y lateral (BL), con mezclas de sustrato a base de *peat moss* (Pm) y corteza de pino (Cp), esta última previamente desinfectada a base de calor húmedo con vapor de agua por 6 horas.

El experimento se estableció bajo un diseño experimental completamente al azar (DCA), con arreglo factorial 2x4x3, que consistió de un total de 24 tratamientos con cuatro repeticiones cada uno y una unidad experimental de 15 individuos, lo que requirió de un total de 1440 individuos, correspondientes a las combinaciones de los tres factores de estudio: tasa de adición nutrimental, dos niveles, convencional (FC) y exponencial (FE), tipo de envase, cuatro niveles, NB, BB, NL BL y sustrato, tres niveles, convencional (Pm): *peat moss*, agrolita y vermiculita (60:20:20), proporción 1 (Pm-Cp): *peat moss*, corteza de pino, agrolita y vermiculita (30:30:20:20) y proporción 2 (Cp): corteza de pino, agrolita y vermiculita (60:20:20).

Durante el desarrollo del experimento se ensayaron dos tasas de adición nutrimental, FC y FE, las cuales se aplicaron dos veces por semana en el riego con agua destilada, diseñados para un periodo de 18 semanas, considerando como base de cálculo las concentraciones de nitrógeno (N) en follaje de plántulas de la especie estudiada. La FC consistió en un abasto constante de nitrógeno a lo largo del ciclo de producción y se determinó a partir de la referencia del programa de fertilización para coníferas de crecimiento rápido utilizando fertilizantes Peters®, propuesto por CONARE-CONAFOR (Aldana y Aguilera, 2003). Así mismo, debido a que al sustrato no se le agregó fertilizante de lenta liberación, y de acuerdo con Vergara (2012), se calculó la cantidad de nitrógeno que se debía de aplicar a la planta de esta especie, sustituyéndolo con Peters® 20-10-20, de manera que se ajustó a formulaciones comerciales basadas en la fase de desarrollo. La FE se diseñó en base a un análisis de contenido inicial de N en tejidos, (plántula de 6 a 8 semanas, cuando ésta se establece y el riesgo de mortalidad es relativamente bajo) y un contenido final (planta de tamaño adecuado para trasplante). De esta manera se buscó abastecer nutrimentos de acuerdo con

un modelo exponencial (Miller y Timmer, 1994) por los que la dosis aumentó en cada aplicación, durante el periodo de producción en 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 24 plántulas de *Pinus greggii* var. *australis* de igual edad que las utilizadas en el experimento (biomasa=0.2 mg), y el de tres plántulas de tamaño comercial de 25-30 cm de altura (biomasa = 40 mg) de la misma especie, se calculó la tasa relativa de adición (r).

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

Donde:

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

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

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

e = Constante

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

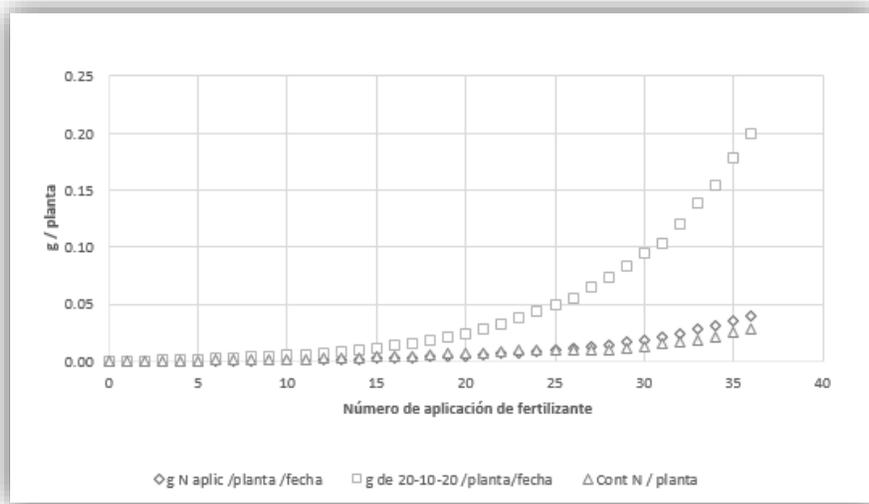


Figura 1. Curva de la tasa de adición de N con Peters® 20-10-20 y contenido de N en plántulas por fecha de aplicación.

Fijada la tasa relativa de adición (Figura 1), se aplicó ésta para distribuir la cantidad de material fertilizante previamente determinada de acuerdo con la recomendación de Aldana y Aguilera (2003) 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 (steady state). La fórmula de Timmer permite, establecer un programa de abastecimiento nutrimental de manera exponencial con en base al contenido de nitrógeno, y de acuerdo con el requerimiento de la planta con respecto a su etapa de crecimiento. 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.

Para la FC y la FE se determinó una frecuencia de aplicaciones de material fertilizante de dos veces por semana, dando como resultado 36 aplicaciones. La germinación del total de los individuos requeridos para el experimento se fijó a mediados de enero de 2014, para la última semana de marzo del mismo año se comenzó con la primera aplicación de Peters® 20-10-20 de acuerdo con las tasas de adición nutrimental determinadas para FC y FE, siendo este material fertilizante la única fuente de nutrimentos, la cual fue suministrada en el riego (fertilizante diluido en agua destilada). Los riegos restantes se realizaron con agua destilada durante el ciclo de producción.

Al término de la producción en vivero a finales de julio de 2014, se procedió a seleccionar completamente al azar, nueve individuos de cada unidad experimental para realizar las evaluaciones morfológicas y fisiológicas pertinentes.

Evaluación de criterios morfológicos

Iniciado el experimento se tomaron datos mensuales, hasta la conclusión del mismo, evaluando altura (H), medida en centímetros (cm), diámetro al cuello de la raíz (D) en milímetros (mm); con una regla graduada y un vernier digital marca Truper® respectivamente. Al final de la etapa de producción se tomaron muestras (plantas), de seis individuos por repetición (24 por tratamiento), para separar la raíz del sustrato (lavando con agua destilada) evitando lo mejor posible no perder raíz en el procedimiento. Se determinó el peso total de la muestra fresca (g) con una balanza digital marca AND® GR-120, posteriormente se separó la parte aérea y radical con un corte a la altura del cuello de la raíz. Ambos componentes de la planta se colocaron en bolsas de papel, debidamente identificadas para introducirse en un horno de secado, a una temperatura constante de 70 °C durante 48 horas. A partir de las muestras secas, con una balanza digital (AND® GR-

120), se obtuvieron: la biomasa de la parte aérea, la biomasa de la raíz y la biomasa de 100 acículas. Con estos datos se calcularon los siguientes índices de calidad: **a)** Relación parte aérea/raíz (RAR) (Birchler *et al.* 1998). $RAR = [(\text{peso seco aéreo (g)}) / \text{peso seco radical (g)}]$, **b)** Índice de esbeltez (IE) (Cano y Cenita, 2004). $IE = [(\text{Altura (cm)}) / (\text{Diámetro (mm)})]$, **c)** Índice de calidad de Dickson (ICD) (Dickson *et al.* 1960). $ICD = \{ \text{Peso seco total de la planta (g)} / \{ [\text{Altura(cm)}/\text{Diámetro al cuello de la raíz(mm)}] + [\text{Peso seco parte aérea(g)} / \text{Peso seco raíz(g)}] \} \}$, **d)** Índice de Lignificación (IL) (Soriano, 2011). $IL = (\text{Peso seco total(g)} / \text{Peso fresco total(g)}) * 100$.

Evaluación de criterios fisiológicos

Estado nutrimental

Para la evaluación de esta variable, de los cinco individuos elegidos completamente al azar que fueron llevados a la estufa de secado, se conformaron 24 muestras compuestas de acículas, referentes al número de tratamientos establecidos, con sus respectivas cuatro repeticiones. Posteriormente se llevaron al laboratorio “Salvador Alcalde Blanco”, del Colegio de Postgraduados, con el objetivo de determinar la concentración en el tejido vegetal de nitrógeno (N) mediante el método Kjeldahl, fósforo (P) y potasio (K) por digestión húmeda con ácido nítrico/perclórico. Una vez obtenidas las concentraciones de nutrimentos, se calcularon los contenidos de N, P y K, para cada tratamiento, en función de la biomasa total y las concentraciones foliares.

Determinación de clorofila a, b y total utilizando etanol.

Esta variable se determinó para los 24 tratamientos establecidos. Se utilizó el Método de triple extracción etanólica adaptado para coníferas. Se eligieron tres plantas completamente al azar, de las cuales se colectaron solamente las acículas de la parte media de la copa de la planta, ya que son las acículas en edad madura y que están a máxima capacidad fotosintética. A este material vegetal se le determinaron las concentraciones de clorofila a y b como se describe a continuación:

1. Las acículas se cortaron en pequeñas partes y se pesaron de cada muestra 20 mg por triplicado. El tejido se colocó en morteros fríos y se agregaron 500 μ L de etanol al 80 %, a continuación se procedió a macerar.
2. Se identificaron tubos Eppendorf de 2 mL y en cada uno de ellos se transfirió el macerado.

3. Los tubos Eppendorf se incubaron durante 20 min a 80 °C a baño maría, posteriormente se centrifugaron a 14000 rpm durante 5 minutos.
4. Se colectó la fase líquida en un nuevo tubo Eppendorf y se mantuvo en refrigeración.
5. Al pellet resultante se agregaron 300 µL de etanol al 80 %, se agitó en vortex, se incubó 20 min a 80 °C en baño maría y se centrifugo nuevamente a 14000 rpm durante 5 min.
6. La fase líquida se colectó nuevamente y se juntó con la primera, manteniéndose en refrigeración.
7. Al pellet resultante se le adicionaron 500 µL de etanol al 50 %, se agitó el vortex, se incubó 20 min a 80 °C a baño maría y se centrifugó nuevamente a 14000 rpm durante 5 min.
8. El sobrenadante se colectó y se juntó con la primera y segunda extracciones, manteniéndose en refrigeración.
9. De los tres sobrenadantes (resultados de la triple extracción etanólica) se toman 325 µL y se colocaron en nuevos tubos Eppendorf de 2 ml. posteriormente se adicionaron 850 µL de etanol al 98 %.
10. Las muestras se leyeron a 645 y 665 nm de absorbancia en un espectofotómetro. Los cálculos se realizaron utilizando las fórmulas siguientes:

$$\text{Clorofila } a \text{ (}\mu\text{g / mg peso fresco)} = (5.46 * \text{Abs}_{665}) - (2.16 * \text{Abs}_{645}).$$

$$\text{Clorofila } b \text{ (}\mu\text{g / mg peso fresco)} = (9.67 * \text{Abs}_{645}) - (3.04 * \text{Abs}_{665}).$$

Para el análisis estadístico los promedios de los datos obtenidos se organizaron en tablas de Microsoft Excel y el análisis estadístico se realizó a través de análisis de varianza (ANAVA) y correlación, además de comparaciones de medias con la prueba de Tukey ($p \leq 0.05$), para las variables de diámetro, altura, peso fresco total (PFT), peso seco parte aérea de la planta (PSA), peso seco parte radical de la planta (PSR), peso seco total (PST), peso seco de 180 acículas (PS180), relación parte aérea-raíz (RAR), índice de esbeltez (IE), índice de calidad de Dickson (ICD) e índice de lignificación (IL), utilizando el programa estadístico Statistical Analysis System (SAS).

El análisis de las concentraciones y contenidos de N, P y K, se realizó mediante el método gráfico de vectores desarrollado por Timmer y Stone (1978), y la interpretación se hizo conforme a lo sugerido por López y Alvarado (2010) y Haase y Rose (1995).

Para el análisis de contenido de clorofilas, se determinaran los tratamientos con valores mayores, los cuales ayudaron a definir los tratamientos con mayor tasa fotosintética y evaluar indirectamente el efecto de la fertilización convencional y exponencial en esta misma.

RESULTADOS

Indicadores morfológicos

En el Cuadro 1, el diámetro y altura presentan diferencias significativas estadísticamente. Tanto el factor abastecimiento nutrimental (AN) como tipo de envase y mezcla de sustrato fueron significativos para todas las variables excepto para PS180 ($P>0.1446$, $P>0.1845$ y $P>0.4635$, respectivamente), en la misma variable evaluada. En la prueba de medias, FC produjo medias con mayor valor, en la generalidad de las variables evaluadas. Para envases, BB generó medias más altas en la mayoría de las variables, sin embargo en la variable IL, NB dio como resultado la media más alta (33.4410). Por último, para el factor mezcla de sustrato Cp resultó en las medias más altas, excepto en IE donde Pm (7.0093) y en PS180 donde Pm-Cp (0.9613) presentan la media más alta.

Cuadro 0-1. Análisis de varianza para las variables evaluadas en los tratamientos de abasto nutrimental, tipo de envase y mezcla de sustrato para *Pinus greggii* Engelm. var. *australis* producido en vivero.

VARIABLES	Factores de variación		Media	R ²	C.V.	VALOR-F	P>F
Diámetro (mm)	AN	FC	3.43017 A	0.795	10.997	199.87	<.0001
		FE	2.57750 B				
	Env	NB	2.96200 B				
		BB	3.19800 A				
		NL	2.73233 C				
		BL	3.12300 AB				
	Sust	Pm	2.80725 B				
		Pm-Cp	2.88675 B				
		Cp	3.3175 A				
Altura (cm)	AN	FC	21.0523 A	0.748	8.155	157.08	<.0001
		FE	17.4592 B				
	Env	NB	18.2800 B				
		BB	21.3043 A				
		NL	18.2593 B				
		BL	19.1793 B				
	Sust	Pm	19.2328 AB				
		Pm-Cp	18.8243 B				
		Cp	19.7103 A				

Cuadro 1. Continuación...

Variables	Factores de variación		Media	R ²	C.V.	F-value	P>F
PFT (g)	AN	FC	8.6798 A	0.857	16.111	300.23	<.0001
		FE	5.1543 B				
		NB	5.6287 C				
	Env	BB	8.6707 A				
		NL	5.9097 C				
		BL	7.4593 B				
	Sust	Pm	5.9155 C				
		Pm-Cp	6.6973 B				
		Cp	8.1385 A				
PSA (g)	AN	FC	2.18850 A	0.845	17.807	334.56	<.0001
		FE	1.18533 B				
		NB	1.46267 C				
	Env	BB	2.03167 A				
		NL	1.48733 C				
		BL	1.76600 B				
	Sust	Pm	1.44725 C				
		Pm-Cp	1.61800 B				
		Cp	1.99550 A				
PSR (g)	AN	FC	0.65083 A	0.752	27.127	67.70	<.0001
		FE	0.43050 B				
		NB	0.41633 C				
	Env	BB	0.73533 A				
		NL	0.43900 C				
		BL	0.57200 B				
	Sust	Pm	0.42875 B				
		Pm-Cp	0.49175 B				
		Cp	0.70150 A				
PST (g)	AN	FC	2.83917 A	0.84	17.862	283.12	<.0001
		FE	1.61667 B				
		NB	1.8800 C				
	Env	BB	2.7670 A				
		NL	1.9263 C				
		BL	2.3383 B				
	Sust	Pm	1.87450 C				
		Pm-Cp	2.11100 B				
		Cp	2.69825 A				
PS180 (g)	AN	FC	0.9306 A	0.341	123.069	2.20	0.1446
		FE	0.6011 A				
		NB	0.5983 A				
	Env	BB	1.1928 A				
		NL	0.5900 A				
		BL	0.6822 A				
	Sust	Pm	0.6850 A				
		Pm-Cp	0.9613 A				
		Cp	0.6513 A				

Cuadro 1. Continuación...

Variables	Factores de variación		Media	R ²	C.V.	F-value	P>F
RAR	AN	FC	0.29450 B	0.561	27.182	14.59	0.0002
		FE	0.35617 A				
	Env	NB	0.28967 B				
		BB	0.38133 A				
		NL	0.29767 B				
		BL	0.33267 AB				
		Pm	0.30450 B				
	Sust	Pm-Cp	0.30475 B			6.58	0.0021
		Cp	0.36675 A				
IE	AN	FC	6.2300 B	0.431	13.560	18.34	<.0001
		FE	6.9275 A				
	Env	NB	6.3267 A				
		BB	6.8543 A				
		NL	6.8090 A				
		BL	6.3250 A				
		Pm	7.0093 A				
	Sust	Pm-Cp	6.6043 A			9.90	0.0001
		Cp	6.1227 B				
ICD	AN	FC	0.300167 A	0.875	17.911	319.88	<.0001
		FE	0.164333 B				
	Env	NB	0.19400 C				
		BB	0.28633 A				
		NL	0.19167 C				
		BL	0.25700 B				
		Pm	0.181750 C				
	Sust	Pm-Cp	0.214500 B			86.95	<.0001
		Cp	0.300500 A				
IL	AN	FC	32.9350 A	0.535	8.112	13.33	0.0004
		FE	31.2013 B				
	Env	NB	33.4410 A				
		BB	31.8507 AB				
		NL	32.3513 AB				
		BL	30.6297 B				
		Pm	31.9923 AB				
	Sust	Pm-Cp	31.1557 B			5.36	0.0062
		Cp	33.0565 A				

PFT= Peso fresco total; PSA= Peso seco aérea; PSR= Peso seco radical; PST= Peso seco total; PS180= Peso seco de 180 acículas; RAR= Índice relación parte aérea/raíz; IE= Índice de esbeltez; ICD= Índice de Dickson; IL= Índice de lignificación; AN= Abasto nutricional; ENV=Envase; SUST= Sustrato; FC= Tasa de adición nutricional convencional; FE= Tasa de adición nutricional exponencial; NB = negro con drenaje en la base; BB= blanco con drenaje en la base; NL= negro con drenaje en la base y lateral; BL= blanco con drenaje en la base y lateral; Pm= *peat moss*; Pm-Cp= *peat moss*-corteza de pino; Cp = corteza de pino.

Indicadores morfológicos

En las siguientes figuras se analizaron los cambios inducidos por cada uno de los factores estudiados, sobre la concentración y contenido nutrimentales, así como la biomasa de 180 acículas.

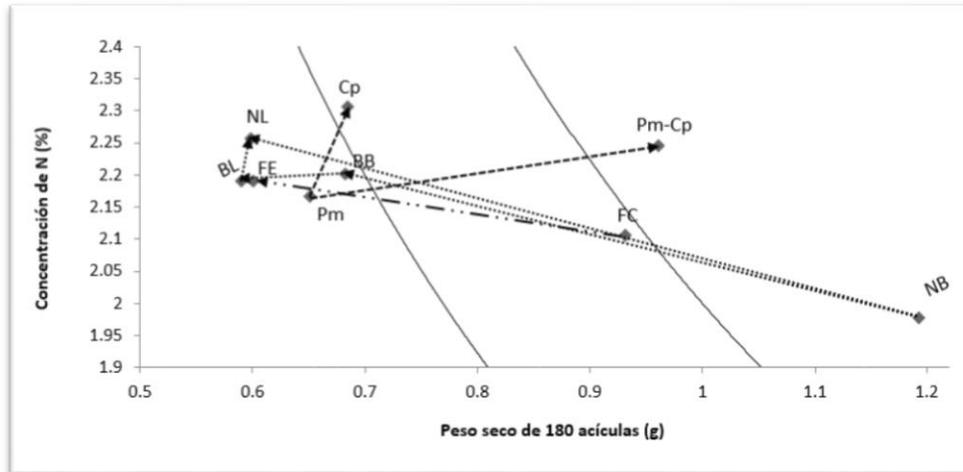


Figura 2. Nomograma de Timmer para Nitrógeno foliar en *Pinus greggii* Engelm. var. *australis* producidas en vivero.

En la Figura 2 se observa que la FE indujo mayor concentración foliar de N, aunque la FC dio como resultado mayor biomasa. De la misma manera los envases sobresalientes son NB y NL, el primero con una mayor acumulación de biomasa y el segundo, con una alta concentración de N. En las mezclas de sustrato, resalta en la gráfica Pm-Pc, pues tiene una alta concentración de N y mayor acumulación de biomasa.

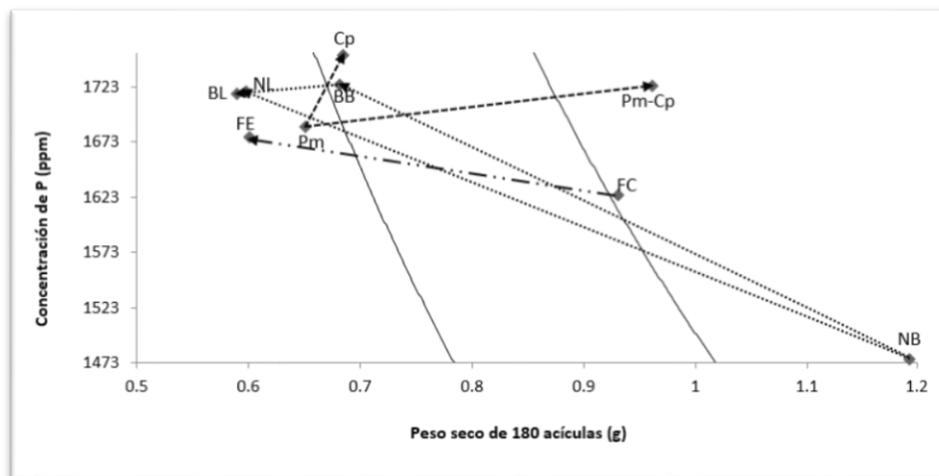


Figura 3. Nomograma de Timmer para Fósforo foliar en *Pinus greggii* Engelm. var. *australis* producida en vivero.

De acuerdo con la Figura 3 la FE promovió una mayor concentración de P mientras que FC generó una mayor acumulación de biomasa. En relación con los envases, destacan NB y BB, el primero con una mayor biomasa acumulada y el segundo mayor concentración de nutrientes, aunque el NL tuvo una concentración de P similar a la del BB. Referente a las mezclas de sustratos, como en el caso de N, Pm-Cp sobresalió de las tres mezclas con mayor biomasa y elevada concentración de P.

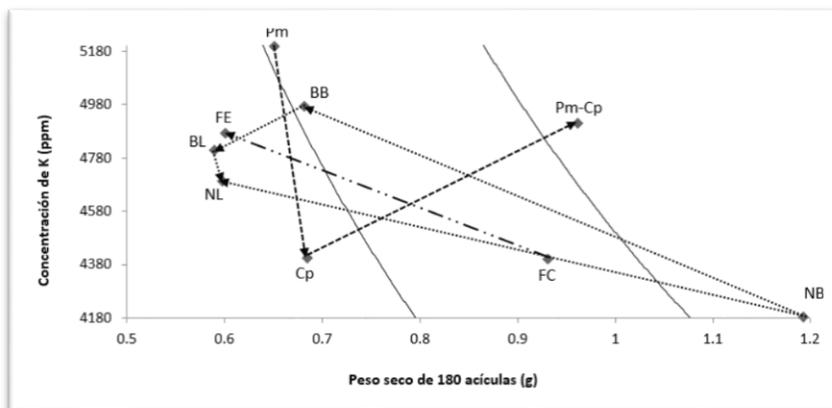


Figura 4. Nomograma de Timmer para Potasio foliar en *Pinus greggii* Engelm. var. *australis* producida en vivero.

La Figura 4 muestra que la FE indujo mayor concentración de K y la FC mayor biomasa, como sucedió los otros nutrientes estudiados. De los envases sobresalen NB y BB, el primero con una mayor acumulación de biomasa y el segundo, con una alta concentración de K. En las mezclas de sustrato, también resalta Pm-Pc, por resultar con una alta concentración de K y mayor acumulación de biomasa. Cabe mencionar que en las figuras anteriores Cp presentó una alta concentración de N y P, en comparación con Pm, sin embargo, en el caso de K (Figura 4) resalta que Pm está considerablemente por arriba comparado con Cp, en cuanto a la concentración del nutriente en cuestión.

Clorofila total

En la Figura 5, se muestra el comportamiento de las concentraciones de clorofila total en los diferentes tratamientos. El tratamiento con envase blanco, drenaje basal, *peat moss* y fertilización convencional (BBP-C; 1.1787) fue el que generó la mayor concentración de clorofila total y el tratamiento con envase negro, drenaje basal, *peat moss* y fertilización exponencial (NBP-E; 0.1080) la menor concentración.

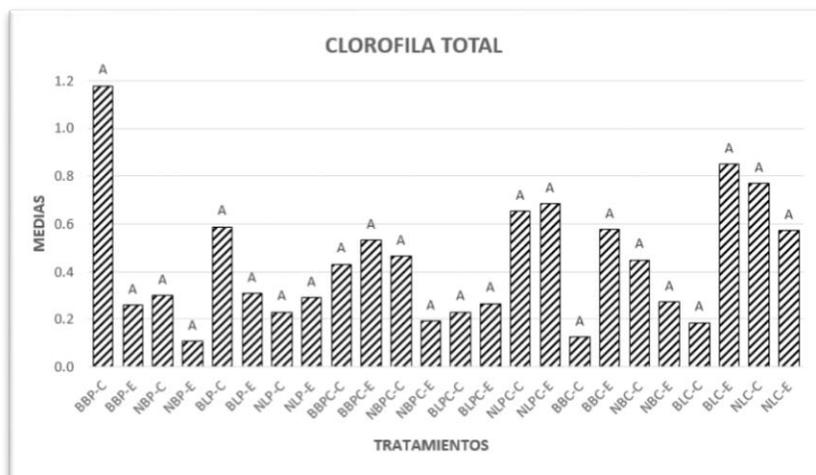


Figura 5. Medias de clorofila total en los diferentes tratamientos en *Pinus greggii* Engelm. var. *australis*.

En el Cuadro 2 se muestra como el contenido de clorofila total ($P > 0.3596$) no presentó diferencias significativas entre tratamientos.

Cuadro 0-2. Análisis de varianza para clorofila, diámetro y altura.

Variables	R ²	C.V.	VALOR-F	Pr>F
Clorofila	0.381494	91.35419	1.13	0.3596
Diámetro	0.805253	11.53294	8.63	<.0001
Altura	0.787948	8.178863	7.75	<.0001

DISCUSIÓN

De acuerdo con los resultados de este estudio las variables evaluadas tuvieron diferencias estadísticas significativas en diámetro y altura. La Comisión Nacional Forestal (CONAFOR), recomienda para coníferas no cespitosas, con finalidad de producción de planta para reforestación, un diámetro mínimo de 4 mm y una altura de entre 15 a 25 cm (CONAFOR, 2010). La variable diámetro presentó en el tratamiento con envase blanco, drenaje basal, corteza de pino y fertilización convencional (BBC-C) una media de 4.35 mm, valor que está por arriba del mínimo recomendado por CONAFOR (2010), sin embargo los demás tratamientos se mantuvieron por debajo de este mínimo recomendado. Al mismo tiempo la variable altura fue favorecida encontrándose dentro de este rango recomendado, excepto la media del tratamiento con envase blanco, drenaje lateral y basal, *peat moss* y fertilización exponencial (BLP-E; 14.504 cm). De acuerdo con lo anterior los individuos tuvieron una respuesta positiva en términos de altura, a la combinación de los tres factores de cambio.

Para los índices de calidad evaluados, los valores sobresalientes se encontraron en su mayoría con los tratamientos de combinación abastecimiento nutrimental FC, envases con drenaje en la base y mezcla de sustrato Cp. Respecto al índice RAR, los tratamientos NBC-E (1.89) y BBP-E (2.16) pueden ser tomados como los mejores de acuerdo con Thompson (1985) quien recomienda una relación no mayor a 2.5, particularmente en planta que se llevará a sitios con escasa precipitación. El IE permite estimar la resistencia física de las plantas durante las operaciones de plantación y su resistencia al efecto mecánico por el viento (Quiroz *et al.*, 2009). En coníferas su valor debe ser menor a seis (Cibrián y Bello, 2000); en este concepto, el tratamiento con envase blanco, drenaje basal, corteza de pino y fertilización convencional (BBC-C; 4.79) es el mejor. De acuerdo al concepto establecido por Dickson *et al.* (1960) la mejor calidad de planta es aquella que reciba un mayor valor en la evaluación. Así pues BBC-C (0.45) resulta alto en el ICD. Por último en cuanto al IL, el tratamiento con envase blanco, drenaje lateral, *peat moss* y fertilización convencional (BLP-C; 34.70) tiene el valor más alto. De acuerdo con Soriano (2011) esta medida expresa el endurecimiento de las planta.

La concentración foliar para N que resultó de la FC y FE fue de 2.106 % y 2.190 % respectivamente. NL (2.256 %) y Cp (2.306 %) promovieron la concentración más alta, en el extremo superior de las recomendaciones hechas por Landis (1989), quien recomienda un rango

de 1.40 % - 2.20 % para especies forestales de zonas templadas. Hernández y Torres (2009), por otro lado, recomiendan para *Pinus greggii* Engelm., un mínimo crítico de 0.5 %. De esta manera en teoría los tratamientos con envase negro, drenaje lateral, corteza de pino y fertilización convencional (NLC-C) y envase negro, drenaje lateral, corteza de pino y fertilización exponencial (NLC-E) alcanzaron la mayor concentración foliar de N.

En este mismo sentido Landis (1989), propone para concentraciones de P un rango de 0.20 % a 0.40%, lo que sugiere como los mejores tratamientos a BBC-C y BBPC-C, debido a la combinación de FC (0.1677 %), BB (0.1724 %) y Pc (0.1752 %) o Pm-Pc (0.1723 %). Sin embargo, de acuerdo con el rango propuesto por Landis, las concentraciones de P corresponden al rango de deficiencia. En el trabajo elaborado por Hernández y Torres (2009) en su evaluación de P para *Pinus greggii* Engelm., indican como de nivel crítico mínimo 0.12 % de P. Tomando como base este valor los tratamientos anteriormente mencionados, no presentan deficiencia de P.

La concentración de K en los tratamientos analizados sugiere que es mejor aquel con las características combinadas de FC (0.4871 %), BB (0.4974 %) y Pm (0.5199 %). Estas características las reúne el tratamiento con envase blanco, drenaje basal, *peat moss* y fertilización convencional (BBP-C), el cual presenta un valor similar al encontrado por Landis (1989) (0.40 % a 1.5 %). No obstante, Hernández y Torres (2009) sugieren que el rango crítico mínimo de K es de 0.61 % para *Pinus greggii* Engelm.

Existe una diferencia evidente entre los dos tipos de abastecimiento nutrimental (FE y FC), la cual puede ser atribuida al efecto de dilución presente en las plantas, en relación a la biomasa acumulada en cada uno de los tratamientos, pues referente a la FC las medias más bajas en cuanto a diámetro (mm) y altura (cm) fueron de 2.84 y 18.954 respectivamente; y en la FE fueron de 2.016 y 14.504 para las mismas variables, lo que sugiere en teoría mayor concentración de nutrimentos en general en los tratamientos donde haya menos dilución por efecto de biomasa acumulada (Figuras 2, 3 y 4). Por ello, los individuos con menores concentraciones de N, P y K tienen valores altos de medias en PFT, PSA, ICD e IL (Cuadro 1). Se identifica una especie de competencia entre crecimiento (acumulación de biomasa y concentración nutrimental). El viverista debe decidir el peso que debe dar a cada una de las variables indicadoras de calidad de planta. Si la planta será destinada a terrenos de baja fertilidad, probablemente deba priorizarse la alta concentración de nutrimentos en la planta. Por el contrario, si la planta se destinará a un terreno de buena fertilidad y alta

competencia por luz con malezas, probablemente la decisión deba privilegiar una mayor biomasa (plantas más grandes), como lo proponen Cortina *et al.* (1977).

Es evidente cómo la mezcla de sustrato Pm-Cp (Figuras 2, 3 y 4), en general propicia una acumulación de biomasa además de una buena concentración de N, P y K. En la Figura 4 se muestra claramente la reducción del contenido de K para la mezcla de sustrato Cp. De acuerdo a Alcántar *et al.* (2012) esto se manifiesta por la lixiviación de K en el sustrato Cp, fenómeno importante en suelos arenosos altamente permeables, lo que limitó su disponibilidad para las plantas en producción. La reducción del contenido de K en las plantas crecidas en Cp, coincide con lo encontrado por Buendía (2016), quien detectó una elevada lixiviación de K al utilizar aserrín crudo como sustrato de vivero en *Pinus leiophylla* Schl. & Cham.

Para el análisis general de los tres factores de cambio en interacción, se ubica a los tratamientos con envase negro, drenaje basal, corteza de pino y fertilización exponencial (NBC-E; N=2.456 %, P=1840.283 ppm y K=4476.377ppm) y envase negro, drenaje basal, *peat moss* y corteza de pino, y fertilización exponencial (NBPC-E; N=2.561 %, P=1884.507 % y K=5571.900 %) como las opciones que dan como resultado altas concentraciones de N, P y K y una acumulación de biomasa alta, siendo el abasto nutrimental FE, el tipo de envase NB y las mezclas de sustrato Pm-Cp y Cp, los que en combinación ayudan a la planta a obtener mayor concentración de nutrimentos y tener una acumulación de biomasa, por arriba del método convencional de producción de *Pinus greggii* Engelm. en vivero, el cual presentó concentraciones de N=2.083 %, P=1603.123 % y K=4836.82 %. De esta manera se considera que para un sitio de baja fertilidad la FE produce plantas con mayores reservas nutrimentales, lo que se traduce en un mejor desempeño en campo.

Aun cuando de acuerdo con Hernández y Torres, al menos las concentraciones de N y P en el presente estudio están por arriba de las concentraciones críticas (0.5, 0.12 y 0.61 % para N, P y K, respectivamente), se puede afirmar que en las condiciones en que se desarrolló el experimento, en FC, los tres nutrimentos resultaron limitantes del crecimiento, puesto que éstos mostraron dilución con respecto a la FE y el proceso de dilución ocurre cuando el abasto de nutrimentos es insuficiente para sostener la tasa de crecimiento (López y Estañol, 2007). Esto significa que debió haberse proporcionado concentraciones mayores en la solución nutritiva. A su vez, ello implica que la FE representa un método de abastecimiento más eficiente (mejor uso del fertilizante, con todo lo que esto implica en términos de costos y contaminación), comparado con la FC y a juzgar por los resultados de la etapa final del experimento, en la que se realizaron los análisis foliares, en la FE

ningún nutriente (N, P o K) limitó el crecimiento (puesto que las concentraciones son mayores que con FC). Es posible que durante la etapa inicial del experimento, la fertilización exponencial haya limitado el crecimiento, pues en esa etapa el abastecimiento nutrimental fue inferior con la FE que con la FC.

De acuerdo con el Análisis de varianza para clorofila total, ésta no es significativa ($P > 0.3596$) entre los tratamientos. Según Larcher (1995) el nitrógeno y el magnesio son componentes importantes de la clorofila; para el caso de BBP-C la concentración de N fue de 2.001 %, uno de los tratamientos con menor concentración de este nutriente, lo que conduce a suponer, que en este caso, debido a la interacción combinada de los diferentes factores, no existe una correlación proporcional entre la concentración de N y la de clorofila total.

CONCLUSIONES

Los factores abastecimiento nutrimental (FC y FE), tipo de envase (NB, BB, NL, BL) y mezcla de sustrato (Pm, Pm-Cp, Cp), así como las interacciones entre los mismos, presentaron efectos significativos sobre los grupos de variables de calidad morfológica y fisiológica de planta en vivero.

Las variables morfológicas evaluadas y los índices de calidad describen las principales características que tiene la planta, así como los factores que influyen en la calidad de la misma producida en vivero, presentando todos una afeción significativa en la producción. El abastecimiento nutrimental FC promovió los mejores valores para variables morfológicas y calidad de planta, esto por la alta acumulación de biomasa.

El conocer el estado nutrimental de los cultivos es una herramienta necesaria para elaborar un plan de manejo dentro del sistema de producción. La alta eficiencia del sistema de aplicación permite suministrar a las plantas los nutrientes en cantidades apropiadas y balanceadas en los momentos que éstas lo demandan. Así pues el análisis foliar para determinar contenido de nutrientes de la planta, está directamente relacionada con la calidad fisiológica de la misma. Las concentraciones foliares de N, P y K fueron afectadas significativamente por el abastecimiento nutrimental, los tipos de envase y la mezcla de sustrato. Las concentraciones de N, P y K más altas se encontraron en el abastecimiento nutrimental FE, en cambio para el tipo de envase, NL presentó niveles más

altos de concentración para N y BB para P y K. Referente a la mezcla de sustrato, Cp presentó la más alta concentración de N y P, para el caso de K la Pm incrementó su concentración.

La mezcla de sustrato Pm-Cp produjo plantas más equilibradas entre concentración de nutrientes y acumulación de biomasa, aunque el Cp disminuye la disponibilidad de K en todos los tratamientos que lo contienen.

No se observaron diferencias significativas en los contenidos de clorofila total en la interacción de los factores abastecimiento nutrimental, tipo de envase y mezcla de sustrato, lo que no permite usar esta variable como un indicador para evaluar el sistema de producción óptimo para *Pinus greggii* Engelm. var. *australis*.

En cuanto a clorofila los resultados obtenidos no tuvieron una tendencia clara, lo que sugiere evaluar con niveles de abastecimiento nutrimental más elevados en N, ya que este nutriente está directamente relacionado con la composición de la clorofila.

REFERENCIAS.

- Alcántar G., Trejo T. 2012. “Nutrición de cultivos”, Colegio de Postgraduados, México. 454 pp.
- 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.
- Birchler, T.; Rose, R.W.; Royo, A.; Pardos, M. 1998. La planta ideal: revisión del concepto, parámetros definitorios e implementación práctica. Invest. Agr.: Sis. Recur. For. 7(1 y 2).
- Buendía V., M. V. 2016. Sustratos y tasas de adición nutrimental en vivero afectan la calidad de plántula y su desarrollo inicial en campo. Tesis de Maestría. Colegio de Postgraduados. Montecillo, estado de México. 55 p.
- Cano P., A. y Cetina A., V. 2004. Calidad de planta en vivero y prácticas que influyen en su producción. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP) Folleto Técnico Núm. 12. Coahuila- México. 24 p.
- Cibrián, T. J., Bello, L. 2000. Calidad de planta. In: Memorias del primer congreso nacional de reforestación. SEMARNAP-COLPOS. Montecillo, México. 10p.
- Comisión Nacional Forestal (CONAFOR). 2010. “Prácticas de reforestación”. Manual básico. Primera edición. México. 64 pp.
- 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.
- Dikson A., A. L. Leaf, and J.F. Hosnerrm. 1960. Quality appraisal of white spruce and white pine seedling stock in nurseries. The Forestry Chronicle. 36(1): 10-13.
- Dureya, M.L. 1985. Evaluating seedling quality: importance to reforestation. In: M.L. Dureya (ed) Evaluating seedling quality: principles, procedures, and predictive abilities of major tests. Oregon State University, Forest Research Laboratory, Oregon State University, Corvallis. pp: 1-4
- 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.
- 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.

- Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP). 2003. Monografía de *Pinus greggii*. División Forestal. Libro técnico No. 9. 341 p.
- Landis, T. 1989. Manual de viveros para la producción de especies forestales en contenedor. Volumen cuatro, capítulo 1, “Nutrientes minerales y fertilización”. Departamento de Agricultura de los Estados Unidos, Dasonomía Estatal y Privada, Portland, Oregon, E.U.A: PP. 7, 8 y 60.
- Larcher, W. 1995. Physiological Plant Ecology. Springer, Berlin. 506 p.
- 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.
- 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
- 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.
- Quiroz, M. I., Gonzalez, O. M., García, R. E., Soto, R. H., Casanova, D. K. 2009. Evaluación de la germinación de semillas y crecimiento de *Pitavia punctata* Mol de la costa de la región del Maule. Instituto forestal – INFOR. Centro Tecnológico de la Planta Forestal. Chile.14p.
- Ramírez-Herrera C., Vargas-Hernández J. J. y López-Upton J. 2005. Distribución y conservación de las poblaciones naturales de *Pinus greggii*. Acta Botanica Mexicana 72: 1-16.
- Rodríguez T., D. A. 2008. Indicadores de calidad de planta forestal. Universidad Autónoma Chapingo. Ediciones Mundi-Prensa. México. 156 p.
- Soriano, G. 2011. Efecto de fertilización de N, P y K en la calidad de planta de *Pinus patula* y *P. devoniana* en vivero. Tesis M.Sc. Colegio de Postgraduados. Montecillo, estado de México. 72 p.
- 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.
- Timmer, V. R. 1996. Exponential nutrient loading: a new fertilization technique to improve seedling performance on competitive sites. New Forests 13:275-295.
- 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.
- Vergara G., J. R. 2012. Determinación del balance nutrimental N:P:K en plántulas de *Pinus greggii* y *Pinus patuta*. Tesis. Universidad Autónoma Chapingo, estado de México. 47 p.

Villar S., P., J. Puértolas, B. Cuesta, J. L. Peñuelas, M. Uscola, N. Heredia G., and J. M. R. Benayas. 2012. Increase in size and nitrogen concentration enhances seedling survival in Mediterranean plantations. Insights from an ecophysiological conceptual model of plant survival. *New Forests* 43: 755 -770.

CAPÍTULO III. EFECTO DEL SISTEMA DE PRODUCCIÓN DE *Pinus greggii* Engelm. var. *australis* EN VIVERO SOBRE SU DESARROLLO MORFOFISIOLÓGICO EN CAMPO.

RESUMEN

El ritmo de pérdida de superficie de bosques templados ubica a México entre los países con mayor índice de deforestación. El estado de Oaxaca ha sido una de las entidades sobresalientes en el sector forestal de México, pionero en muchas actividades relacionadas con el manejo sustentable de los bosques y la silvicultura comunitaria. En el municipio de San Cristóbal Amoltepec el aprovechamiento que se hace de los recursos naturales que se hace es de tipo: maderable, comestible, medicinal, construcción de viviendas y libre pastoreo. Para mejorar el éxito de los trabajos de conservación y restauración forestal se debe tomar en cuenta que una planta de calidad es necesaria para ser llevada a campo, esto implica características morfológicas y fisiológicas convenientes. En el presente trabajo se evaluaron los efectos del proceso de la producción de planta de *Pinus greggii* Engelm. var. *australis* en vivero, sobre su desarrollo en campo. El experimento se estableció bajo un diseño experimental completamente al azar (DCA), con arreglo factorial. Los tres factores de estudio fueron: tasa de adición nutrimental, convencional (FC) y exponencial (FE); tipo de envase, negro con drenaje en la base (NB), blanco con drenaje en la base (BB), negro con drenaje en la base y lateral (NL) y blanco con drenaje en la base y lateral (BL), y sustrato, *peat moss* (Pm), *peat moss*-corteza de pino (Pm-Cp) y corteza de pino (Cp). Las variables respuesta evaluadas fueron la altura (H), diámetro al cuello de la raíz (D), índice de esbeltez (IE), concentraciones de nutrimentos (N, P y K) y contenido de clorofila total. Los análisis de varianza indicaron que los tres factores afectaron significativamente las variables morfológicas evaluadas excepto el peso seco de 100 acículas. El abastecimiento nutrimental, el tipo de envase y la mezcla de sustrato tuvieron efectos significativos en la concentración foliar de N, P y K al cabo de un año de establecida la planta. La mayor concentración de N, P y K se obtuvo con FE (0.180 %, 825.480 ppm y 1608.174 ppm) contra FC (0.171 %, 804.346 ppm y 1590.026 ppm, de N, P y K, respectivamente). Respecto al tipo de envase, NB y NL lograron igualmente mayores concentraciones para N (NB=0.183 %), P (NL= 863.260 ppm) y K (NL= 1672.379 ppm). De la misma manera la mezcla de sustrato Pm-Cp y Pm también alcanzaron mayores concentraciones de N (Pm-Cp= 0.188 %), P (Pm= 860.193 ppm) y K (Pm= 1721.741 ppm). En conjunto los

envases NL y BB, y las mezclas de sustrato Pm y Pm-Cp tuvieron efectos significativos sobre concentraciones foliares de N, P y K, al interactuar. Existieron diferencias significativas en cuanto al contenido de clorofila total, resultando más altos los tratamientos con interacciones FE, BB y Pm-Cp (BBPC-E=2.2303), y FE, BL y Cp (BLC-E=2.229). La sobrevivencia fue de mayor al 90% en la mitad de los tratamientos. De acuerdo con estos resultados es posible deducir que FE produce planta de mejor calidad con mayor carga nutrimental para reforestación en sitios degradados. El envase NL o BB y mezcla de sustrato Pm-Cp promovieron mayores concentraciones foliares de N y P por efecto de concentración.

Palabras clave: restauración, técnicas de vivero, abasto nutrimental, clorofila, calidad de planta.

ABSTRACT

The rate of loss of surface of temperate forests located Mexico among the countries with the highest rates of deforestation. The state of Oaxaca has been one of the outstanding entities in the forest sector in Mexico, a pioneer in many activities related to the sustainable management of forests and community forestry. In the municipality of San Cristobal Amoltepec the use that is made of the natural resources is of type: timber, edible, medicinal, construction of housing and free grazing. To improve the success of the work of conservation and forest restoration should be taken into account that a plant of quality is needed to be taken to field, this implies morphological and physiological features convenient. In the present work we evaluated the effects of the process of the production of plant of *Pinus greggii* Engelm. var. *australis* in nursery, on their development in the field. The experiment was established under a completely randomized experimental design (DCA), with a factorial arrangement. The three factors of study were: rate of nutrient addition, conventional (FC) and exponential (FE); type of packaging, black with drain at the base (NB), white with drain at the base (BB), black with drain at the base and side (NL) and white with drain at the base and side (BL), and substrate, peat moss (PM), peat moss-pine bark (Pm-Cp) and pine bark (CP). The response variables evaluated were the height (H), diameter at the neck of the root (D), index of slenderness (IE), concentrations of nutrients (N, P and K) and content of total chlorophyll. The analysis of variance indicated that the three factors significantly affected morphological variables evaluated except the dry weight of 100 needles. The nutrient supply, the type of packaging and the mixture of substrate had significant effects on the foliar concentration of N, P and K after a year of established the plant. The largest concentration of N, P and K was obtained with faith (0.180 %, ppm and 1608.174 825.480 ppm) against FC (804.346 0.171 %, ppm and 1590.026 ppm, of N, P and K, respectively). With regard to the type of packaging, NB and NL achieved equally higher concentrations for N (NB=0.183 %), P (NL= 863.260 ppm) and K (NL= 1672.379 ppm). In the same way the mixture of substrate Pm-Cp and Pm also reached higher concentrations of N (Pm-Cp= 0.188 %), P (Pm= 860.193 ppm) and K (Pm= 1721.741 ppm). On the whole the packaging NL and BB, and mixtures of substrate Pm and Pm-Cp had significant effects on foliar concentrations of N, P and K to interact. There were significant differences in terms of the content of total chlorophyll, resulting highest treatments with interactions faith, BB and Pm-Cp (BBPC-E=2.2303), and Faith, BL and Cp (BLC-E=2,229). The survival was greater

than 90% in half of the treatments. In agreement with these results it is possible to deduce that faith produces better quality plant nutrient with the greatest burden for reforestation in degraded sites. The packaging NL or BB and mixture of substrate Pm-Cp promoted greater foliar concentration of N and P by concentration effect.

Key words: restoration, techniques of nursery, Abasto nutrimental, chlorophyll, quality of plant.

INTRODUCCIÓN

En México se encuentran representados prácticamente todos los tipos de vegetación terrestre natural conocidos, que se extienden sobre una extensión que equivale al 73% del territorio nacional. El ecosistema de bosques templados ocupa el 24%. El ritmo de pérdida de superficie de bosques templados ubica a México entre los países con mayor índice de deforestación. Solamente 44% de la superficie del país está cubierto por vegetación primaria o con poca perturbación. Los bosques templados son los que han sufrido una degradación más intensa. (CONAFOR, 2009). De esta manera lograr mejores resultados en la conservación y remediación de los recursos forestales, la restauración de bosques requiere de una planificación, una ejecución y un seguimiento cuidadosos, dado que ésta se lleva a cabo en lugares o en territorios en los que la pérdida de bosques ha provocado una disminución de la calidad de los servicios medioambientales. Su finalidad es fortalecer la resiliencia de zonas forestales y, por lo tanto, mantener abiertas las futuras opciones de ordenación y gestión territorial (FAO, 2016).

El estado de Oaxaca posee una extensión de 3.3 millones de bosques de clima templado. Se registran 12,000 especies de flora y fauna, de las cuales más de 800 son endémicas; (Biodiversidad de Oaxaca, 2004). Anualmente se reforestan alrededor de 8,000 ha para lo cual se producen del orden de los 11,000,000 de plantas (Grupo Mesófilo A. C., 2013). El estado ha sido una de las entidades sobresalientes en el sector forestal de México. Es pionero en muchas actividades relacionadas con el manejo sustentable de los bosques y la silvicultura comunitaria. Sin embargo, aún requiere de diversas acciones para alcanzar una situación de conservación y desarrollo forestal sustentables, de acuerdo con las potencialidades que tiene de generación de diversos bienes y servicios necesarios para la sociedad local y global (PEFO, 2008).

En el municipio de San Cristóbal Amoltepec el aprovechamiento de los recursos naturales que se hace es de tipo: maderable, comestible, medicinal, construcción de viviendas y libre pastoreo. Desafortunadamente, lo referente a conceptos como conservación, extinción y pérdida de la diversidad vegetal se encuentra muy poco desarrollado, evidente en la falta de un plan de manejo forestal. De esta manera surge el interés de la población, en los últimos años, por la preservación de sus recursos naturales a través de acciones como la propagación de material vegetativo forestal aprovechando campañas emitidas por la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales

(SEMARNAT), a través de la Comisión Nacional Forestal (CONAFOR), con trabajo de restauración forestal.

Para mejorar el éxito los diferentes trabajos de la planificación y ejecución de los programas de conservación y restauración forestal, se debe tomar en cuenta que una planta de calidad es necesaria para ser llevada a campo, de la misma manera en la que debe ser adecuada para el sitio al que será llevada, esto implica características morfológicas y fisiológicas convenientes. De acuerdo con Margolis y Brand (1990), 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 nutrimentos en el nuevo ambiente.

En el presente trabajo se evaluaron los efectos del proceso de la producción de planta de *Pinus greggii* Engelm. var. *australis* en vivero, sobre su desarrollo en campo.

MATERIALES Y MÉTODOS

Etapa de vivero

Se utilizaron plantas de *Pinus greggii* Engelm. var. *australis*, producida en los invernaderos del Postgrado en Ciencias Forestales, Campus Montecillo del Colegio de Postgraduados, Montecillo, Estado de México. La semilla, donada por la Comisión de Recursos Naturales (CORENA) de la Secretaría de Medio Ambiente del Distrito Federal, reportó como procedencia la región de Huauchinango, Puebla.

La planta se produjo durante el periodo, entre noviembre de 2013 y julio de 2014, se seleccionaron 1,656 semillas las cuales se sembraron en envases rígidos de 245 cm³ de volumen, de dos diferentes colores y drenajes, negro con drenaje en la base (NB), blanco con drenaje en la base (BB), negro con drenaje en la base y lateral (NL) y blanco con drenaje en la base y lateral (BL), con mezclas de sustrato a base de *peat moss* (Pm) y corteza de pino (Cp). El experimento en la etapa de vivero se estableció bajo un diseño experimental completamente al azar (DCA), con arreglo factorial 2x4x3, que consistió de un total de 24 tratamientos con cuatro repeticiones cada uno y una unidad experimental de 15 individuos, correspondientes a las combinaciones de los tres factores de estudio: tasa de adición nutrimental, dos niveles, convencional (FC) y exponencial (FE), tipo de envase, cuatro niveles, NB, BB, NL BL y sustrato, tres niveles, convencional (Pm): *peat moss*,

agrolita y vermiculita (60:20:20), proporción 1 (Pm-Cp): *peat moss*, corteza de pino, agrolita y vermiculita (30:30:20:20) y proporción 2 (Cp): corteza de pino, agrolita y vermiculita (60:20:20). Durante el desarrollo del experimento se ensayaron dos tasas de adición nutrimental, FC y FE, las cuales se aplicaron dos veces por semana en el riego con agua destilada, diseñados para un periodo de 18 semanas, considerando como base de cálculo las concentraciones de nitrógeno (N) en follaje de plántulas de la especie estudiada. La FC consistió en un abasto constante de nutrimentos a lo largo del ciclo de producción y se determinó a partir de la referencia del programa de fertilización para coníferas de crecimiento rápido utilizando fertilizantes Peters®, propuesto por CONARE-CONAFOR (Aldana y Aguilera, 2003). Así mismo, debido a que al sustrato no se le agregó fertilizante de lenta liberación, y de acuerdo con Vergara (2012), se calculó la cantidad de nitrógeno que se debía de aplicar a la planta de esta especie, sustituyéndolo con Peters® 20-10-20, de manera que se ajustó a formulaciones comerciales basadas en la fase de desarrollo. La FE se diseñó en base a un análisis de contenido inicial de N en tejidos, (plántula de 6 a 8 semanas, cuando ésta se establece y el riesgo de mortalidad es relativamente bajo) y un contenido final (planta de tamaño adecuado para trasplante).

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 24 plántulas de *Pinus greggii* var. *australis* de igual edad que las utilizadas en el experimento (biomasa=0.2 mg), y el de tres plántulas de tamaño comercial de 25-30 cm de altura (biomasa = 40 mg) de la misma especie, se calculó la tasa relativa de adición (r).

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

Donde:

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).

e= Constante

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

Una vez fijada 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) 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 (*steady state*). 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.

La germinación del total de los individuos se fijó a mediados de enero de 2014, Para la última semana de marzo del mismo año se comenzó con la primera aplicación de Peters® 20-10-20 de acuerdo a las tasas de adición nutrimental determinadas para FC y FE, siendo este material fertilizante la única fuente de nutrimentos, suministrado en el riego (diluido en agua destilada). Los riegos restantes se realizaron con agua destilada durante el ciclo de producción. Al término de la producción en vivero a finales de julio de 2014, se procedió a seleccionar completamente al azar nueve individuos por unidad experimental, los cuales se procesaron 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. Los seis individuos restantes de cada unidad experimental se prepararon para ser llevados a campo para su trasplante.

Etapas de campo

El experimento se realizó en terrenos comunales del municipio de San Cristobal Amoltepec, Distrito de Tlaxiaco, Oaxaca; 17° 17' N y 97° 34' O, a una altitud de 2,320 msnm. De acuerdo con sistema Köppen, el clima es del tipo C (Wo) (w)b(1) g que corresponde a templado subhúmedo con un régimen de lluvias en verano, precipitación media anual de 1215 mm y temperatura media anual de 15°C.

La superficie total de la plantación fue de 0.75 ha. El terreno cuenta con una pendiente del 15 %, exposición oeste, suelo profundo, superior a los 40 cm, textura es tepetatoso (arcillosa, Acevedo-Sandoval *et al.*, 2003), con algunas porciones de textura arenosa. La cubierta vegetal es secundaria, pasto y matorral de aile (*Alnus* sp.).

Planta proveniente de cada uno de los 24 tratamientos probados en la etapa de vivero, fue establecida en campo bajo un diseño experimental completamente al azar con tres réplicas

quedando la unidad experimental, constituida por seis plantas. Previo a la plantación se realizaron cepas de 40x40x40 cm bajo un esquema de tres bolillo con un espaciamiento de 2.5 m entre cepas. La plantación se estableció en agosto de 2014.

Evaluación de criterios morfológicos

Una vez establecida la plantación, se tomaron datos mensuales, hasta la conclusión del mismo, de: altura (H), medida en centímetros (cm), diámetro al cuello de la raíz (D), en milímetros (mm); con una regla graduada y un vernier digital marca Truper® respectivamente, además de la supervivencia de los individuos plantados. Con estos datos se calculó el índice de esbeltez (IE) (Cano y Cenita, 2004). $IE = [(\text{Altura (cm)})/(\text{Diámetro (mm)})]$. De la misma manera se evaluó la supervivencia de los individuos al año de la plantación.

Evaluación de criterios fisiológicos

A un año de la plantación se tomaron muestras foliares para estimar concentraciones de nitrógeno (N, %) mediante el método Kjeldahl, fósforo (P, ppm) y potasio (K, ppm) por digestión húmeda con ácido nítrico/perclórico. Se elaboraron 72 muestras compuestas de acículas colectadas en campo; es decir, tres muestras compuestas por tratamiento.

Para la determinación de clorofila total en los 24 tratamientos establecidos, se utilizó el Método de triple extracción etanólica adaptado para coníferas. Debido a que las plantas establecidas tenían suficiente cobertura foliar, se tomaron muestras de la parte media de la copa de la planta, ya que son las acículas en edad madura y que están a máxima capacidad fotosintética, y se elaboraron muestras compuestas por tratamiento con sus tres repeticiones. A este material vegetal se le determinaron las concentraciones de clorofila a y b como se describe a continuación:

1. Las acículas se cortaron en pequeñas partes y se pesaron de cada muestra 20 mg por triplicado. El tejido se colocó en morteros fríos y se agregaron 500 μ L de etanol al 80 %, a continuación se procedió a macerar.
2. Se identificaron tubos Eppendorf de 2 mL y en cada uno de ellos se transfirió en macerado.
3. Los tubos Eppendorf se incubaron durante 20 min a 80 °C a baño maría, posteriormente se centrifugaron a 14000 rpm durante 5 minutos.
4. Se colectó la fase líquida en un nuevo tubo Eppendorf y se mantuvo en refrigeración.

5. Al pellet resultante se agregaron 300 μ L de etanol al 80 %, se agitó en vortex, se incubó 20 min a 80 °C en baño maría y se centrifugó nuevamente a 14000 rpm durante 5 min.
6. La fase líquida se colectó nuevamente y se juntó con la primera, manteniéndose en refrigeración.
7. Al pellet resultante se le adicionaron 500 μ L de etanol al 50 %, se agitó el vortex, se incubó 20 min a 80 °C a baño maría y se centrifugó nuevamente a 14000 rpm durante 5 min.
8. El sobrenadante se colectó y se juntó con la primera y segunda extracciones, manteniéndose en refrigeración.
9. De los tres sobrenadantes (resultados de la triple extracción etanólica) se tomaron 325 μ L y se colocaron en nuevos tubos Eppendorf de 2 ml. posteriormente se adicionaron 850 μ L de etanol al 98 %.
10. Las muestras se leyeron a 645 y 665 nm de absorbancia en un espectrofotómetro. Y los cálculos se realizaron utilizando las fórmulas siguientes:
Clorofila *a* (μ g / mg peso fresco) = (5.46 * Abs₆₆₅) – (2.16 * Abs₆₄₅).
Clorofila *b* (μ g / mg peso fresco) = (9.67 * Abs₆₄₅) – (3.04 * Abs₆₆₅).

Para el análisis estadístico los promedios de los datos obtenidos se organizaron en tablas de Microsoft Excel y el análisis estadístico se realizó a través de análisis de varianza (ANAVA) y correlación, además de comparaciones de medias con la prueba de Tukey ($p \leq 0.05$), utilizando el programa estadístico Statistical Analysis System (SAS).

En relación a la concentración y contenido de N, P y K, se evaluó mediante el método gráfico de vectores desarrollado por Timmer y Stone (1978), interpretándose los monogramas conforme a lo sugerido por López y Alvarado (2010) y Haase y Rose (1995).

Para el análisis de contenido de clorofila total, se determinó que los tratamientos con valores mayores se definieron como los que tendrían mayor tasa fotosintética, lo que ayudaría a evaluar indirectamente el efecto de la fertilización convencional y exponencial en esta misma.

RESULTADOS

Indicadores morfológicos

En el Cuadro 1, las variables evaluadas de diámetro e IE presentan diferencias significativas estadísticamente en el factor sustrato ($P>0.0486$; $P>0.0131$ respectivamente). En la prueba de medias, FC obtuvo medias bajas en PS100 e IE, mientras que FE dio lugar a valores bajos en medias de diámetro y altura. Para envases, NB obtuvo medias más altas en la mayoría de las variables, sin embargo en la variable PS100, BB obtuvo la media más alta (0.76183). Por último, para el factor mezcla de sustrato Pm obtuvo las medias más altas en diámetro y altura, mientras que Cp obtuvo las medias más altas en PS100 e IE.

Cuadro 1. Análisis de varianza para las variables evaluadas en los tratamientos de abasto nutrimental, tipo de envase y mezcla de sustrato para planta de *Pinus greggii* Engelm. var. *australis* establecida en campo.

Variabes	Factores de variación		Media	R ²	C.V.	VALOR-F	P>F
Diámetro (mm)	AN	FC	5.3417 A	0.297	11.895	3.79	0.0538
		FE	5.1393 A				
	Env	NB	5.3931 A				
		BB	5.3119 AB				
		NL	4.9981 B				
		BL	5.2589 AB				
	Sust	Pm	5.3629 A				
		Pm-Cp	5.2408 A				
		Cp	5.1177 A				
Altura (cm)	AN	FC	45.333 A	0.223	15.550	1.00	0.3191
		FE	44.173 A				
	Env	NB	47.073 A				
		BB	43.932 A				
		NL	44.906 A				
		BL	43.102 A				
	Sust	Pm	44.949 A				
		Pm-Cp	44.623 A				
		Cp	44.687 A				
PS100 (g)	AN	FC	0.71325 A	0.338	24.242	0.10	0.7573
		FE	0.72603 A				
	Env	NB	0.71017 A				
		BB	0.76183 A				
		NL	0.67456 A				
		BL	0.73200 A				
	Sust	Pm	0.69600 A				
		Pm-Cp	0.72725 A				
		Cp	0.73567 A				

Cuadro 1. Continuación...

Variabes	Factores de variación		Media	R ²	C.V.	VALOR-F	P>F
IE	AN	FC	8.5463 A	0.246	13.359	0.18	0.6754
		FE	8.6266 A				
	Env	NB	8.7687 AB				
		BB	8.3099 B				
		NL	9.0179 A				
		BL	8.2492 B				
	Sust	Pm	8.4140 A				
		Pm-Cp	8.5613 A				
		Cp	8.7840 A				

PS100= Peso seco de 100 acículas; IE= Índice de esbeltez; AN= Abasto nutrimental; ENV=Envase; SUST= Sustrato; FC= Tasa de adición nutrimental convencional; FE= Tasa de adición nutrimental exponencial; NB = Negro con drenaje en la base; BB= Blanco con drenaje en la base; NL= Negro con drenaje en la base y lateral; BL= Blanco con drenaje en la base y lateral; Pm= *peat moss*; Pm-Cp= *peat moss*-Corteza de pino; Cp = Corteza de pino.

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

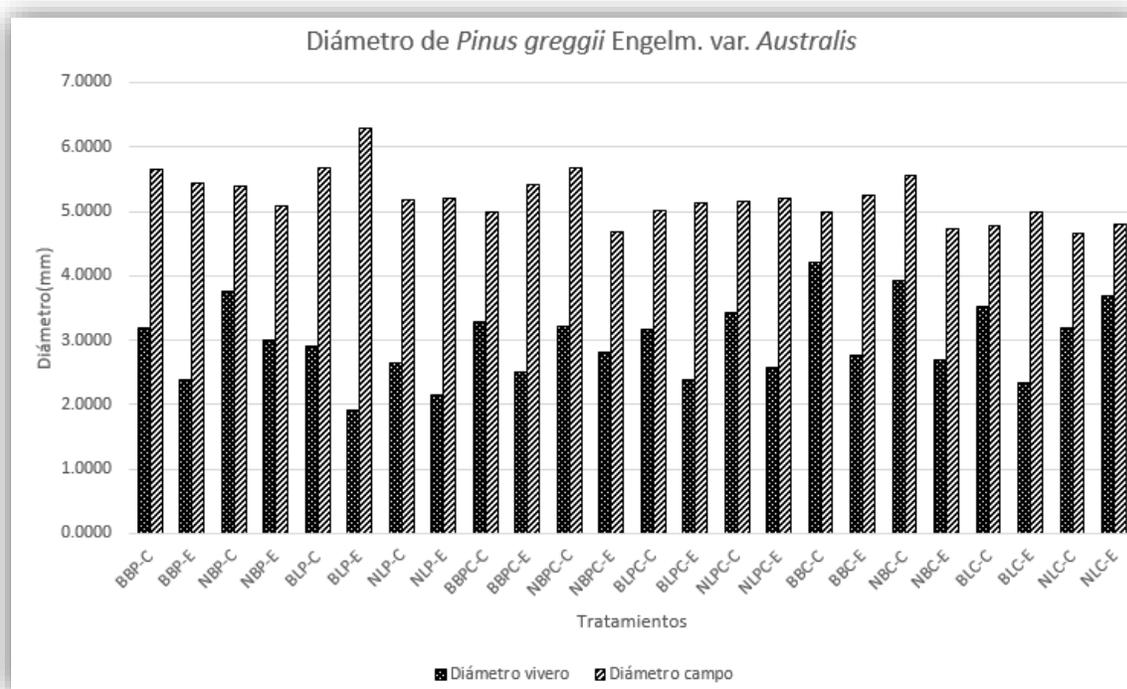


Figura 1. Diámetro tomado al final de la etapa de vivero 2014 y a un año del trasplante 2015 de *Pinus greggii* Engelm. var. *australis*.

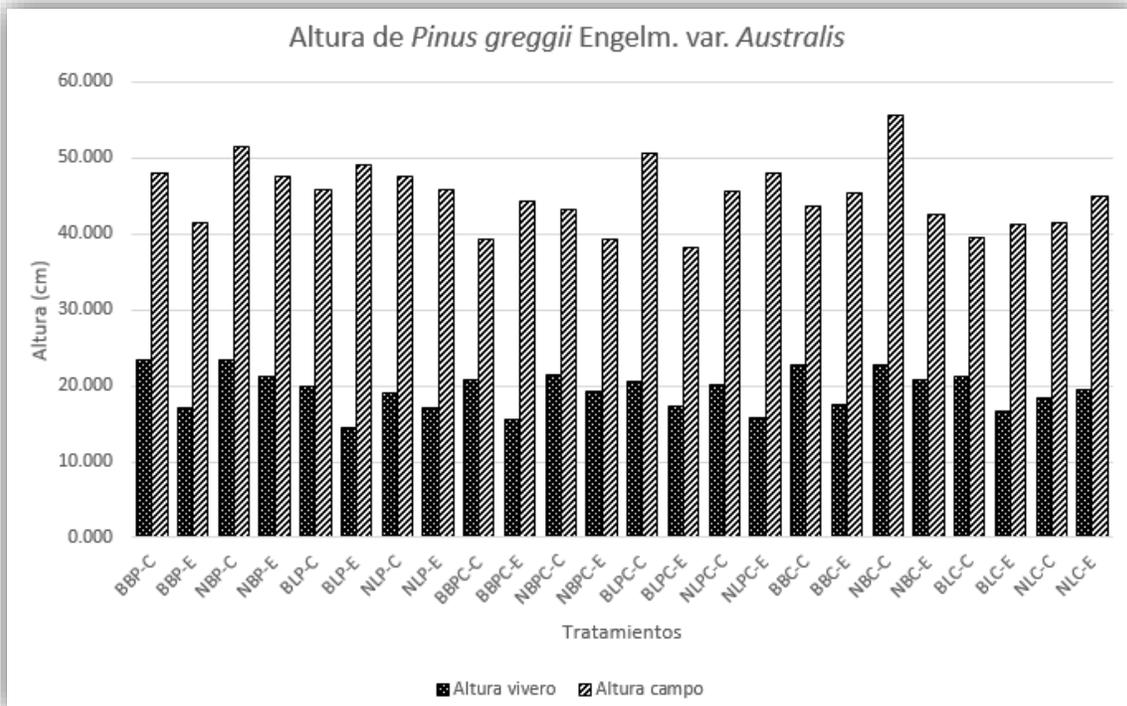


Figura 2. Altura tomada al final de la etapa de vivero 2014 y a un año del trasplante 2015 de *Pinus greggii* Engelm. var. *australis*.

En las Figuras 1 y 2 se aprecia el incremento de las variable diámetro y altura a un año de establecida la plantación. Las combinaciones con sustrato Pm obtuvieron los diámetros más altos en campo, mientras que el tratamiento con combinación FC, NB y Cp, obtuvo una media mayor en altura respecto a campo (55.66).

Indicadores fisiológicos

En las siguientes figuras se analizaron los cambios inducidos por cada uno de los factores estudiados, sobre la concentración y contenido nutrimentales, así como la biomasa de 100 acículas.

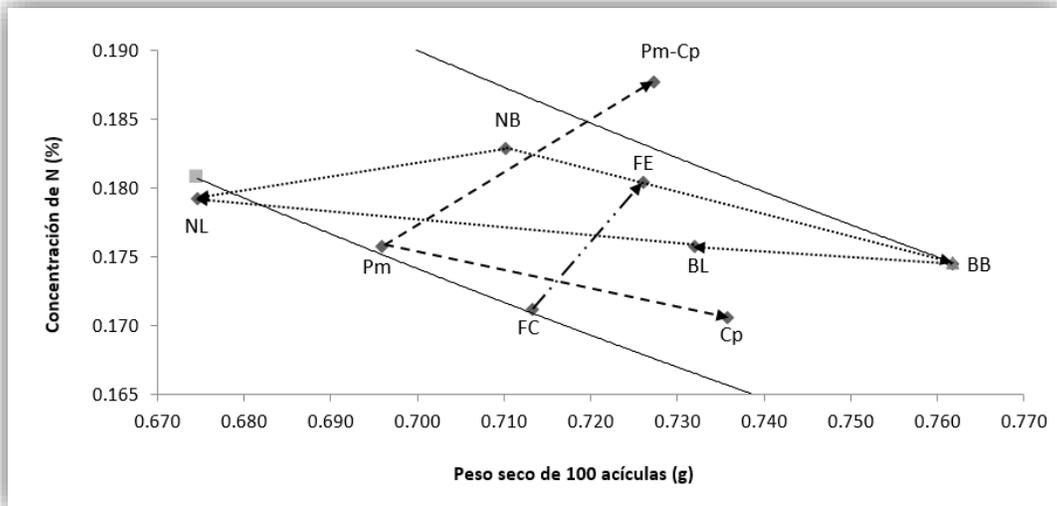


Figura 3. Nomograma de Timmer para nitrógeno foliar en *Pinus greggii* Engelm. var. *australis* establecida en campo.

La Figura 3 muestra a la FE con mayor concentración de N y mayor biomasa en 100 acículas. Así también se muestra a los envases sobresalientes son NB con mayor concentración de N y el envase BB con una mayor acumulación de biomasa. En las mezclas de sustrato, resalta en la gráfica Pm-Pc, pues tiene una alta concentración de N y de los tres utilizados es el segundo en acumulación de biomasa, el valor más alto en biomasa lo obtuvo Cp.

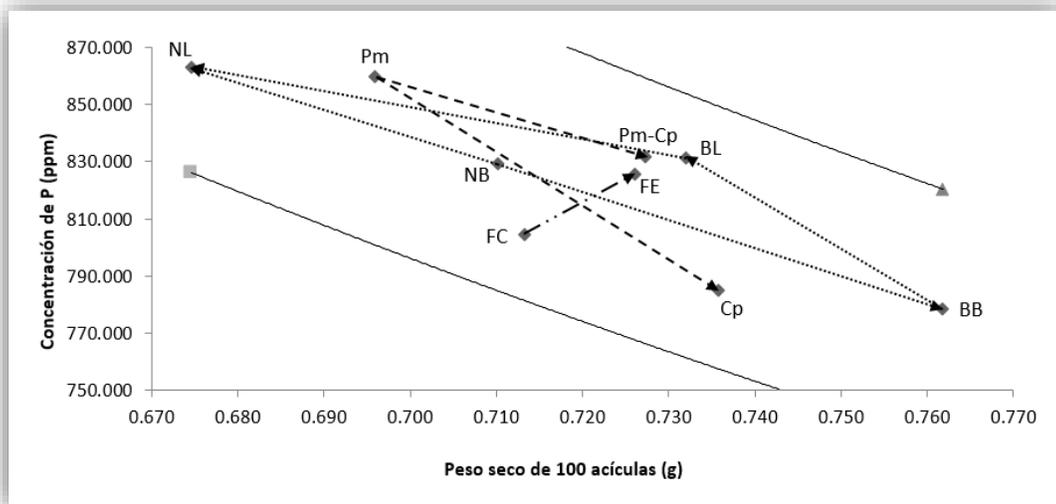


Figura 4. Nomograma de Timmer para fósforo foliar en *Pinus greggii* Engelm. var. *australis* establecida en campo.

De acuerdo con la Figura 4 la FE promovió una mayor concentración de P, así como una mayor acumulación de biomasa. En relación con los envases, destacan NL y BB, el primero con mayor concentración de nutrientes y el segundo una mayor biomasa acumulada, aunque el BL tuvo una concentración de nutrientes alto, al igual que la acumulación de biomasa, posicionándolo en el segundo lugar en los dos factores. Referente a las mezclas de sustratos, Pm sobresalió de las tres mezclas con una elevada concentración de P y Cp con una mayor biomasa acumulada.

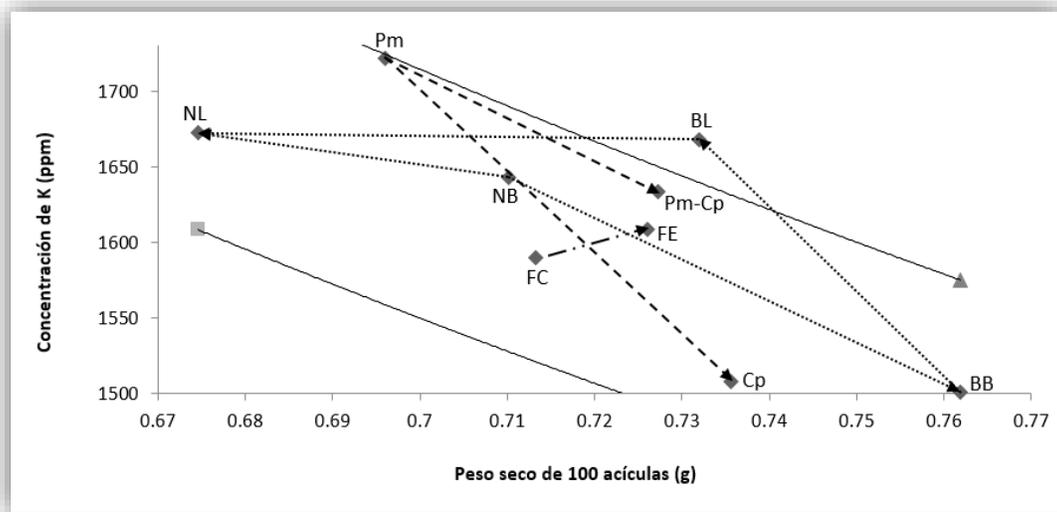


Figura 5. Nomograma de Timmer para potasio foliar en *Pinus greggii* Engelm. var. *australis* establecida en campo.

La Figura 5 muestra a la FE con mayor concentración de K y mayor biomasa de la misma manera que en las figuras anteriores en 100 acículas. De los envases sobresalen NL y BB, el primero con una alta concentración de K y el segundo, con una mayor acumulación de biomasa, sin embargo BL se encuentra representada en la gráfica, como segundo lugar en acumulación de biomasa y concentración de nutrientes. En las mezclas de sustrato, también resalta Pm, por resultar con una alta concentración de K y Cp con mayor acumulación de biomasa. Cabe mencionar que en las figuras anteriores Cp tiene la menor concentración de nutrientes y el mejor en acumulación de biomasa en las plantas establecidas.

Clorofila total

En la Figura 6, se muestra el comportamiento de las concentraciones de clorofila total en los diferentes tratamientos establecidos en campo, el tratamiento BBPC-E (2.2303) y BLC-E (2.229) obtuvieron mayor concentración de clorofila total y el tratamiento NLC-E (0.200) la menor concentración.

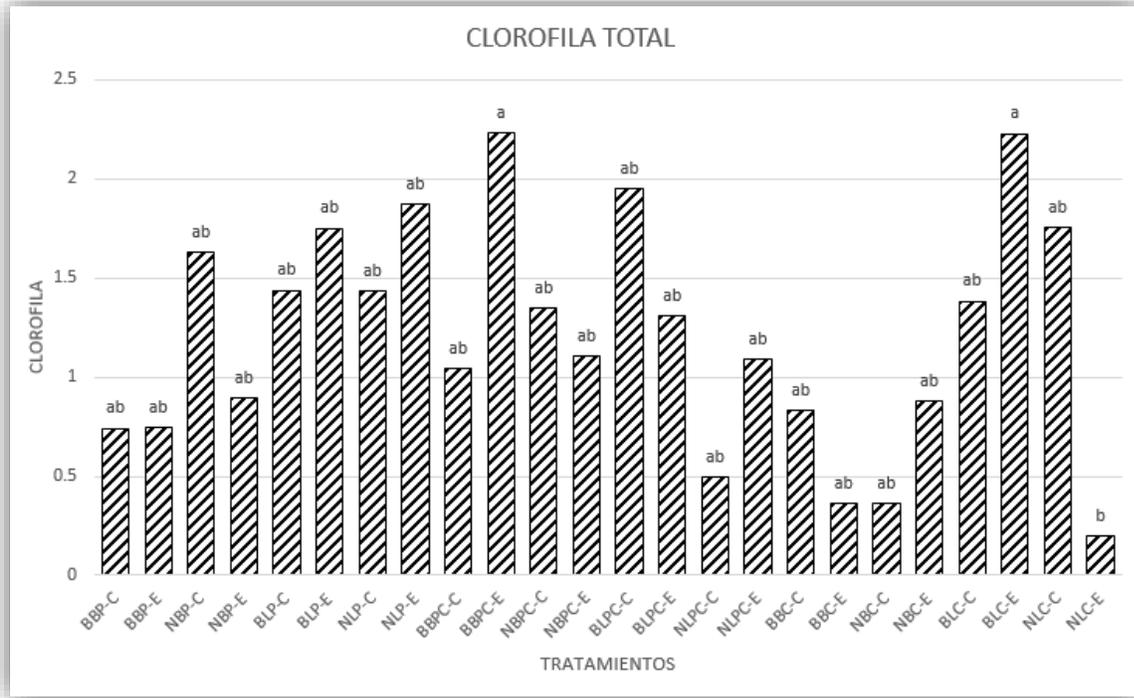


Figura 6. Medias de clorofila total en los diferentes tratamientos en *Pinus greggii* Engelm. var. *australis* establecida en campo.

En el Cuadro 2 se muestra como el contenido de clorofila total ($P > 0.0017$) presentó diferencias significativas entre tratamientos, así como en el diámetro ($P > 0.0330$).

Cuadro 2. Análisis de varianza para clorofila, diámetro y altura para los tratamientos establecidos en campo.

Variables	R ²	C.V.	VALOR-F	Pr>F
Clorofila	0.565532	50.48098	2.72	0.0017
Diámetro	0.473601	9.380884	1.88	0.0330
Altura	0.352624	15.65178	1.14	0.3447

Sobrevivencia

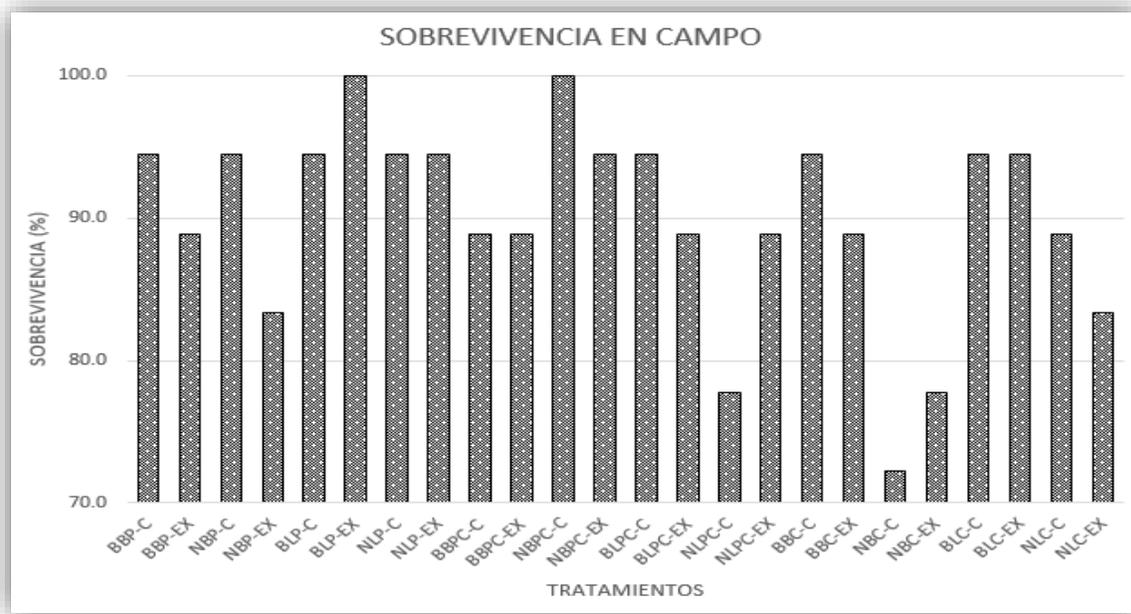


Figura 7. Medias sobrevivencia total en los diferentes tratamientos en *Pinus greggii* Engelm. var. *australis* establecida en campo.

En la Figura 7 se pueden observar dos tratamientos (BLP-EX=FE, BL, Pm; NBPC-C= FC, NB, Pm-Cp) con una sobrevivencia del total de los individuos establecidos en campo, mientras que el tratamiento NBC-C (FC, NB, Cp) obtuvo el menos porcentaje de sobrevivencia (72 %). La mayor mortalidad fue presentada al final del periodo de lluvias del primer ciclo en campo (diciembre de 2014), las principales causas detectadas de mortalidad fueron daño a la planta debido a la escorrentía presente en el sitio en la época de lluvias y pastoreo.

DISCUSIÓN

La deforestación causa pérdida de suelos debido a la falta de protección vegetal (Serrano, 2002). El proceso de reforestación es complejo e involucra diversas acciones: inicia con la selección de germoplasma y culmina con el seguimiento y la evaluación de los resultados obtenidos. En caso de trabajar con áreas degradadas es importante considerar la identificación de las áreas prioritarias a reforestar con base en criterios de necesidades de restauración a fin de recuperar la fertilidad y productividad de los suelos de estas áreas. En diversos países como México existen pocos estudios

que reflejen el seguimiento de la producción en vivero hasta el establecimiento en campo. *Pinus greggii* Engelm. es una especie endémica de alta plasticidad que es empleada, recientemente, en plantaciones y reforestaciones debido a su rápido crecimiento y buena adaptación a diversos ambientes (López *et al.*, 2000).

Establecida la plantación se esperaría que la tendencia en vivero de diámetro, altura y variables fisiológicas evaluadas continuara. De acuerdo con los resultados en la etapa de vivero la combinación FC, NB y Cp, produjo plantas con mayores diámetros, alturas y pesos secos. En cuanto a concentración de nutrimentos NL y Cp promovieron la concentración más alta, en el extremo superior de las recomendaciones hechas por Landis (1989). De acuerdo a lo anterior, las plantas morfológicamente no permanecieron con la misma tendencia después de establecida la planta en campo, pues la FE obtuvo la media más alta (8.6266) en cuanto a IE y de la misma manera NL (9.0179) y Cp (8.7840), sobresalen en esta relación altura/diámetro. Las mayores concentraciones de nutrimentos, se presentaron en tratamientos con combinaciones FE, Pm-Cp y BB para N, FE, Pm y BB para P, y FE, Pm-Cp y BL para K, lo que indica que, invariablemente, la fe propició mayores concentraciones de n, p y k. el hecho de que un año después de establecidas las plantas en campo, éstas presenten altas concentraciones nutrimentales, significa que en los siguientes años, podrían sostener un crecimiento elevado al removilizar los nutrimentos internos. El Cuadro 1, se indica que no existen diferencias estadísticamente significativas para las variables morfológicas evaluadas (D, H, PS100 e IE), entre la FE y FC, así como entre sustratos (Pm, Pm-Cp y Cp). Sin embargo, en cuanto a envases hubo una diferencia significativa en diámetro e IE. La importancia del uso de planta con altas reservas nutrimentales es remarcable pues su tiempo de establecimiento de estas resulta ser uno de los factores importantes de sobrevivencia, etapa en la que es necesario contar con los nutrimentos necesarios para superar esta etapa y poder desarrollarse. NL tuvo mayores concentraciones de P y K, y en cuanto a N fue el segundo con mayor concentración, sin embargo de los cuatro tipos de envase, fue el que menos acumulación de biomasa obtuvo al final de un año (última evaluación), de manera que esta alta concentración de nutrimentos se presentó por efecto de concentración (López y Estañol 2007).

De acuerdo con los resultados del presente estudio, el sistema de fertilización exponencial (FE) mejora el crecimiento de las plantas establecidas en campo, elemento fundamental para que la planta supere en competencia por luz a muchas malezas en un plazo corto, incrementando teóricamente, la supervivencia de la plantación. En teoría este sistema es eficiente debido a que en

campo las malezas pueden hacer uso de los nutrientes de la planta recién establecida (Salifu *et al.* 2009, Timmer y Aidelbaum 1996).

Fisiológicamente la tendencia en concentraciones (N=2.19 %, P=1624.113 ppm y K=4871.141 ppm, vivero; N=0.180 %, P= 825.480 ppm y K= 1608.174 ppm, campo) en FE permaneció. Sin embargo en cuanto a acumulación de biomasa la diferencia de los resultados en vivero es evidente (PS180=0.601 g para vivero y PS100=0.726 g para campo), FE fue superior a FC, lo que indica que las reservas de nutrientes en la planta, tiene un efecto directo en su desarrollo en campo, lo cual concuerda con lo encontrado por Buendía (2016) en *Pinus leiophylla* Schl. & Cham. Referente al envase, a diferencia de los resultados de vivero en los que BB obtuvo las mayores concentraciones de nutrientes y NB la mayor acumulación de biomasa, en campo NB obtuvo la mayor concentración de N (0.183 %), NL de P (863.260 ppm), BL de K (1667.789 ppm) y BB la mayor acumulación de biomasa (0.762 g). El sustrato Pm-Cp, continuó con la tendencia de la mejor opción, ya que se encuentra en el punto medio entre los demás sustratos, en cuanto a concentración de nutrientes (N, P y K) y acumulación de biomasa. De acuerdo a lo anterior las concentraciones nutrimentales disminuyeron en un periodo de 12 meses.

El contenido de clorofila ($P > 0.0017$) dos tratamientos fueron superiores a otro, el resto de tratamientos o no tuvieron diferencias con los dos primeros, en este caso se puede inferir que el tipo de envase (BB) fue el factor determinante en estas diferencias de concentración de clorofila total. Sánchez (2014), observó que las variables de crecimiento relativo en diámetro y altura en *P. greggii* Engelm. muestran diferencias significativas al analizarse los factores de color y diseño de envase negro y el incremento en diámetro en contenedores blancos fue superior al de contenedores negros. De manera de que al incrementar el crecimiento de la planta, se puede relacionar con una mayor cobertura de copa e incrementaría la tasa fotosintética debido a la mayor presencia de acículas, resultando con una mayor concentración de clorofila total.

La supervivencia se vio diferenciada en alrededor de un 28% con respecto al de menor y mayor valor, 12 tratamientos tuvieron por arriba del 90%, pero la mayor registrada fue del 100 % que dieron como resultado los tratamientos BLP-EX y NBPC-C, con interacciones FE, BL, Pm y FC, NB, Pm-Cp, respectivamente, datos muy por encima del 40.28 % en bosque templado reportado por UACH – CEC (2011). Los individuos tuvieron un comportamiento diferente en función de los resultados obtenidos morfológica y fisiológicamente en vivero. De acuerdo a López y Estañol (2007) los individuos que llevan altas concentraciones de nutrientes llegan a incrementar de

manera muy evidente su desarrollo a causa del efecto de dilución. Salifu y Timmer (2003) indican que la retraslocación de N y P podría ser particularmente relevante en especies establecidas en suelos pobres de nutrimentos.

Los contenidos de nutrimentos no presentan diferencias estadísticas significativas (Cuadro 1) a un año de su establecimiento. La única diferencia significativa se dio en la evaluación del factor envase evidentemente hubo una buena respuesta a las cargas nutrimentales que llevaban los individuos establecidos en el área de establecimiento. Salifu and Timmer (2003) encontraron en un trasplante a campo de *Picea sp.*, que se compensó el efecto de baja fertilidad del suelo en el crecimiento de las plántulas cuando éstas tuvieron adecuadas reservas de nutrimento

CONCLUSIONES

La FE, el sustrato Pm-Cp y los envases NL y BB dieron como resultado las mayores concentraciones nutrimentales y pesos secos. BLP-E y NBC-C obtuvieron las mayores medias para las variables morfológicas (D y H), con las combinaciones FE, BL y Pm, y FC, NB y Cp, respectivamente.

La mayor concentración de clorofila total lo obtuvieron los tratamientos BBPC-E y BLC-E, ambos con FE, y BB-Pm-Cp y BL-Cp respectivamente, siendo FE la constante en el incremento de esta variable evaluada, de manera que se puede deducir que el contenido de N está relacionado con la concentración de clorofila total.

La supervivencia respecto a la mayoría de los tratamientos, fue de más del 80 %, resultado de los tres factores que interactuaron en la producción en vivero (tasa de adición nutrimental, tipo de envase y sustrato).

De manera general FE, BB y Pm-Cp produjeron plantas con mejores características en su desarrollo en campo (H, D e IE), aun cuando las diferencias no fueron significativas estadísticamente, a un año de establecidas en campo.

REFERENCIAS

- Acevedo-Sandoval *et al.*, 2003. *Agrociencia*. 37: 435-449.
- 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.
- Buendía V., M. V. 2016. Sustratos y tasas de adición nutrimental en vivero afectan la calidad de plántula y su desarrollo inicial en campo. Tesis de Maestría. Colegio de Postgraduados. Montecillo, estado de México. 55 p.
- Cano P., A. y Cetina A., V. 2004. Calidad de planta en vivero y prácticas que influyen en su producción. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP) Folleto Técnico Núm. 12. Coahuila- México. 24 p.
- Comisión Nacional Forestal (CONAFOR). 2009. Restauración de ecosistemas forestales. Guía básica para comunicadores. Primera edición. Zapopan, Jalisco, México. 63 p.
- Comisión Nacional Forestal (CONAFOR). 2004. Oaxaca es forestal, desarrollo en la diversidad. Gerencia Regional Pacífico Sur. Oaxaca, Oaxaca.
- Grupo Mesófilo A. C. 2013. Oaxaca, diagnóstico del sector forestal. Oaxaca, Oaxaca. 43 p.
- 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.
- Jacobs, D.F., Salifu, K. F., Birge, Z. 2002. Hardwood Tree Improvement and Regeneration Center, Department of Forestry and Natural Resources, Purdue University, West Lafayette, IN 47907.
- 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.
- López, U. J., Mendoza H., A. J., Jasso M., J., Vargas H., J. J. y Gómez G., A. 2000. Variación morfológica de plántulas e influencia del pH de agua de riego en doce poblaciones de *Pinus greggii* Engelm. *Madera y Bosques* 6(78): 81-94.
- 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.
- 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.

Margolis, H.A, y Brand, D.G. 1990. An ecophysiological basis for understanding plantation establishment. *Canadian Journal of Forest Research*. 20:375–390.

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.

Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO). 2016. Conjunto de Herramientas para la Gestión Forestal Sostenible (GFS): Restauración y rehabilitación de bosques. <http://www.fao.org/sustainable-forest-management/toolbox/modules/forest-restoration-and-rehabilitation/basic-knowledge/es/>

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.

Salifu KF, Timmer VR. 2003. Optimizing nitrogen loading of *Picea mariana* seedlings during nursery culture. *Can J For Res* 33:1287–1294.

Sánchez A., H. 2014. El diseño y color de contenedor afecta el desarrollo radical de tres especies de pino. Tesis de Maestría. Colegio de Postgraduados. Montecillo, estado de México. 76 p.

Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT) y Comisión Nacional Forestal (CONAFOR). 2008. Programa estratégico forestal del estado de Oaxaca (PEFO) 2007-2030. Oaxaca, Oaxaca. 253 p.

Serrano, G. E. 2002. Contribución al conocimiento del México forestal. Notas. *Revista de Información y Análisis* 22: 7-14.

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.

Timmer, V.R. y Aidelbaum, A.S. 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.

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

Vergara G., J. R. 2012. Determinación del balance nutrimental N:P:K en plántulas de *Pinus greggii* y *Pinus patula*. Tesis. Universidad Autónoma Chapingo, estado de México. 47 p.

CONCLUSIONES GENERALES

El sistema de abasto nutrimental exponencial (FE) en *Pinus greggii* Engelm. var. *australis* produce planta con características fisiológicas superiores que con el sistema de abasto nutrimental convencional (FC), sin embargo este último produce planta con características morfológicas superiores al primero.

La mejor calidad de planta de *Pinus greggii* Engelm. var. *australis*, en términos de características morfológicas y fisiológicas se produce mediante el uso de envases de color negro y drenaje lateral, y blanco de con drenaje en la base.

La mezcla de sustrato *peatmoss*-corteza de pino, agrolita y vermiculita en la producción de *Pinus greggii* Engelm. var. *australis* produce planta con características morfológicas y fisiológicas superiores que las mezclas de *peatmoss* agrolita y vermiculita, y corteza de pino, agrolita y vermiculita.

Los factores abastecimiento nutrimental (FC y FE), tipo de envase (NB, BB, NL, BL) y mezcla de sustrato (Pm, Pm-Cp, Cp), así como las interacciones entre los mismos, presentaron efectos significativos sobre los grupos de variables de calidad morfológica y fisiológica de planta en vivero.

No se observaron diferencias significativas en los contenidos de clorofila total en la interacción de los factores abastecimiento nutrimental, tipo de envase y mezcla de sustrato, en vivero, sin embargo en campo la concentración de clorofila total la obtuvieron los tratamientos BBPC-E y BLC-E, ambos con FE, y BB-Pm-Cp y BL-Cp respectivamente, siendo FE la constante en el incremento de esta variable evaluada, de manera que se puede deducir que el contenido de N está relacionado con la concentración de clorofila total.

La supervivencia respecto a la mayoría de los tratamientos, fue de más del 80 %, resultado de los tres factores que interactuaron en la producción en vivero (tasa de adición nutrimental, tipo de envase y sustrato).

De manera general FE, BB y Pm-Cp produjeron plantas con mejores características en su desarrollo en campo (H, D e IE), aun cuando las diferencias no fueron significativas estadísticamente, a un año de establecidas en campo.

REFERENCIAS GENERALES

Comisión Nacional Forestal (CONAFOR). 2008. Nuestros Arboles: Preferido por las reforestaciones: Pinus oaxacana Mirov Revista México Forestal 99. [En línea]. Disponible en <http://www.mexicoforestal.gob.mx/> (revisado el 15 de Abril del 2011).

Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). 2011. Estadísticas a propósito del día internacional de la diversidad biológica: Datos nacionales. Aguascalientes, Ags. 16 p. Recuperado el 6 de agosto de 2013, de <http://www.inegi.org.mx/inegi/contenidos/espanol/prensa/Contenidos/estadisticas/2013/biodiversidad0.pdf>

Morales M., A., s.f. Presentación: Nutrición vegetal y desarrollo de los cultivos. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP). Recuperado el 1 de septiembre de 2013, de <http://www.sfa.gob.mx/simarbc/descargas/PRESENTACIONES/Nutricion-Vegetal.pdf>