

Producción en vivero y respuesta morfofisiológica en campo de *Pinus leiophylla* Schl. & Cham

Nursery production and morphophysiological response of *Pinus leiophylla* in the field Schl. & Cham

Produção em viveiro e resposta morfofisiológica em campo de *Pinus leiophylla* Schl. & Cham

Mayra Velen Buendia Velázquez^{1*}  <https://orcid.org/0000-0002-6623-0621>

Miguel Ángel López López¹  <https://orcid.org/0000-0001-5741-8350>

Víctor Manuel Cetina Alcalá¹  <https://orcid.org/0000-0003-4417-5059>

Sara Gabriela Díaz Ramos²  <https://orcid.org/0000-0001-7426-0479>

Oralia Sánchez Vázquez¹  <https://orcid.org/0000-0003-2180-5484>

¹Colegio de Postgraduados Campus Montecillo, México.

²Universidad de Guadalajara, Departamento de Madera Celulosa y Papel, Centro Universitario de Ciencias Exactas e Ingeniería, México.

*Autor para la correspondencia: mayra.vel.bv@gmail.com

Recibido: 13 de mayo de 2020.

Aprobado: 1 de julio de 2020.

RESUMEN

La baja sobrevivencia de planta forestal en las reforestaciones hace necesario adoptar técnicas de vivero en función de las características del sitio de plantación. Se estableció un experimento para determinar los efectos de dos factores de manejo en vivero, sobre variables morfofisiológicas de *Pinus leiophylla* durante el desarrollo inicial en campo. Los factores probados desde vivero fueron establecidos con dos niveles: factor 1 sustrato: *peat moss*, aserrín crudo de pino; factor 2 tasa de adición nutrimental: constante, exponencial. Se concluye que el uso de aserrín crudo como sustrato produce plantas pequeñas con altas concentraciones nutrimentales de N, P y K debido a un efecto de concentración causado por la tasa de fertilización exponencial, la cual presenta adecuada sobrevivencia y crecimiento inicial en campo, en suelos poco profundos y de baja fertilidad, exhibiendo mayores incrementos de altura y biomasa de acículas. La fertilización exponencial incrementa las reservas nutrimentales, mejorando el crecimiento inicial en campo con ambos sustratos, *peat moss* y aserrín. Todos los individuos trasplantados tuvieron una sobrevivencia del 80



% dentro de un sitio degradado, cifra que supera lo reportado en México durante la última década.

Palabras clave: Concentración nutrimental; Dilución nutrimental; Alta sobrevivencia en reforestación.

ABSTRACT

The low survival of forest plants in reforestations makes it necessary to adopt nursery techniques according to the characteristics of the plantation site. An experiment was established to determine the effects of two nursery management factors on morphophysiological variables of *Pinus leiophylla* during initial field development. The factors tested from the nursery were established at two levels: factor 1 substrate: peat moss, raw pine sawdust; factor 2 nutrient addition rate: constant, exponential. It is concluded that the use of raw sawdust as a substrate produces small plants with high nutritional concentrations of N, P and K due to a concentration effect caused by the exponential fertilization rate, which presents adequate survival and initial growth in the field, in shallow soils of low fertility, exhibiting greater increases in height and needle biomass. Exponential fertilization increases nutrient reserves, improving initial growth in the field with both substrates, peat moss and sawdust. All transplanted individuals had a survival rate of 80 % within a degraded site, a Figure that exceeds that reported in Mexico during the last decade.

Keywords: Nutrient concentration; Nutrient dilution; High survival in reforestation.

RESUMO

A baixa sobrevivência de planta florestal nas reflorestações torna necessária a adoção de técnicas de viveiro de acordo com as características do local da plantação. Foi estabelecida uma experiência para determinar os efeitos de dois fatores de gestão de viveiros nas variáveis morfofisiológicas de *Pinus leiophylla* durante o desenvolvimento inicial em campo. Os fatores testados do viveiro foram estabelecidos a dois níveis: substrato de fator 1: musgo de turfa, serradura de pinheiro cru; fator 2 taxa de adição de nutrientes: constante, exponencial. Conclui-se que a utilização de serradura crua como substrato produz pequenas plantas com elevadas concentrações nutricionais de N, P e K devido a um efeito de concentração causado pela taxa de fertilização exponencial, que apresenta uma sobrevivência adequada e crescimento inicial no campo, em solos rasos de baixa fertilidade, exibindo maiores aumentos de altura e biomassa de agulhas. A fertilização exponencial aumenta as reservas de nutrientes, melhorando o crescimento inicial no campo com ambos os substratos, musgos de turfa e serradura. Todos os indivíduos transplantados tiveram uma taxa de sobrevivência de 80 % num local degradado, um número que excede o relatado no México durante a última década.

Palavras-chave: Concentração de nutrientes; Diluição de nutrientes; Alta sobrevivência em reflorestação.



INTRODUCCIÓN

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

La reforestación de suelos pobres precisa del uso de plantas de elevada calidad, de ser posible, plantas con características acordes a las condiciones del sitio a reforestar. Es importante el conocimiento y manejo de los aspectos nutricionales para el establecimiento de plantas en diferentes tipos de suelo (Soares *et al.*, 2017).

El hecho de que la fertilización ejerza un importante efecto sobre la productividad agrícola y forestal no es una sorpresa (Fuentes *et al.*, 2010). En este contexto, el enriquecimiento de las plántulas con nutrientes, para el trasplante, podría promover el establecimiento y crecimiento exitoso de las plantas en campo. El período inicial de un trasplante es la fase más crítica, dentro de la cual el brinjal debe recuperarse del estrés sufrido durante el transporte y establecer contacto entre sus raíces y el suelo, a fin de retomar las funciones vitales de absorción de agua y nutrientes en el nuevo ambiente (Cortina *et al.*, 2013).

En el presente estudio se probaron los efectos de dos factores del proceso de producción de planta de *Pinus leiophylla* en vivero, sobre el desarrollo de la planta durante el primer año de establecimiento en campo, mediante una reforestación de protección y restauración (CONAFOR 2010) en el ejido de San Miguel Coatlinchán, Texcoco, Estado de México, México. Se seleccionó un sitio degradado que en pasadas reforestaciones presentó una sobrevivencia de tres a cinco individuos de *Cupressus sp.* por hectárea. El 58,5 % de la vegetación del municipio de Texcoco originalmente estaba compuesta por especies de pino; sin embargo, actualmente solo se conserva cerca del 10 % (Adame y Martínez 1999). Desde 1970 ha habido intentos por restaurar los suelos de estas áreas; no obstante, una amplia superficie aún está desprovista de vegetación o se encuentra con poblaciones enfermas o con baja densidad.

MATERIALES Y MÉTODOS

Etapa de vivero

La etapa de vivero se desarrolló de noviembre de 2013 a agosto de 2014, en el vivero del Colegio de Postgraduados, Campus Montecillo, Texcoco, Estado de México, México. En el sitio prevalece un clima templado subhúmedo con lluvias en verano, temperatura media de 15,5 °C, precipitación media anual de 750 mm.

La semilla de *P. leiophylla* fue donada por la Comisión de Recursos Naturales del Distrito Federal (CORENA). La fuente de origen de la semilla es el municipio de Tlahuapan, Puebla, México. Se seleccionaron 500 semillas que se embebieron o remojaron por 24 horas como tratamiento previo antes de la siembra directa, con el fin de romper el estado de latencia propia de la semilla, para uniformizar la velocidad de germinación de acuerdo a las recomendaciones del paquete tecnológico publicado por la CONAFOR para esta especie, que sugiere remojar la semilla de 18 a 24 horas como tratamiento de pregerminación.



Las semillas fueron sembradas en tubetes de 346 ml de volumen, conteniendo las mezclas de sustratos correspondientes, de acuerdo con los tratamientos establecidos.

El diseño experimental fue el mismo, tanto en etapa de vivero como en campo, con cuatro tratamientos establecidos bajo un diseño experimental completamente al azar, con arreglo factorial dos por dos (2×2), y unidad experimental de 25 individuos, con cuatro repeticiones por tratamiento. El primer factor fue "Sustrato" con dos niveles: *peat moss* (*peat moss* 60 %, agrolita 20 %, vermiculita 20 %) y aserrín (aserrín crudo de pino 60 %, agrolita 20 %, vermiculita 20 %). El segundo factor, la "Tasa de adición nutrimental", también con dos niveles: tasa de adición nutrimental constante y tasa de adición nutrimental exponencial. Se obtiene: tratamiento 1, aserrín y tasa de adición constante; tratamiento 2, aserrín y tasa de adición exponencial; tratamiento 3, *peat moss* y tasa de adición constante; tratamiento 4, *peat moss* y tasa de adición exponencial. Las variables evaluadas fueron: diámetro al cuello de raíz, altura, pesos secos (aéreo, radical, total y de 100 acículas), índice de calidad de Dickson y esbeltez, así como concentraciones nutrimentales foliares.

La tasa de fertilización constante consistió en la aplicación de similar cantidad de nitrógeno en todas las fechas de fertilización. Aldana y Aguilera (2003) recomiendan aplicar para especies como *P. leiophylla*, 0,6 gramos de fertilizante de nitrato de potasio (KNO_3) y ácido bórico (H_3BO_3) a 20-20-20+tasa constante por litro de agua. De acuerdo con lo anterior, se utilizó 0,395 g de N por planta durante todo el ciclo, cantidad utilizada para ambas tasas de adición.

Para el caso de la tasa exponencial, el cálculo se realizó con base a la función exponencial descrita por Miller y Timmer (1994). Con este sistema de adición exponencial de fertilizantes se utilizó igual cantidad de material fertilizante KNO_3 y H_3BO_3 a 20-20-20+tasa exponencial que en la fertilización constante (0,395 g de N por planta) a lo largo del ciclo de producción. Sin embargo, en este caso, al inicio se aplicó una dosis baja del material fertilizante comenzando con 0,00011 g y aumentando en cada fecha de aplicación en forma exponencial hasta completar 0,395 g. La dosis incrementó a la par con el crecimiento de las plantas, ambos de manera exponencial en esta etapa de vivero.

El procedimiento para calcular la dosis de KNO_3 y H_3BO_3 a 20-20-20+tasa exponencial a aplicar en cada fecha fue el siguiente: a partir de la fórmula del modelo exponencial descrita por Miller y Timmer (1994) (Ecuación 1), y considerando los contenidos medios de nitrógeno en tres plántulas de *P. leiophylla* de igual edad que las utilizadas en el experimento (biomasa = 0,2 mg), y el de tres plántulas de tamaño comercial con 25 cm de altura (biomasa = 40 mg) de la misma especie, se calculó la tasa relativa de adición (Ecuación 1).

$$N_T = N_S (e^{rt} - 1) \quad \text{ecuación 1}$$

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

N_S = Contenido inicial del nutrimento en la plántula.

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

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



Una vez conocida la tasa relativa de adición se aplicó para distribuir la cantidad de material fertilizante previamente determinada, de acuerdo con la recomendación de Aldana y Aguilera (2003) de 0,395 g de N por planta, durante el ciclo del cultivo, en términos de número de aplicaciones del material fertilizante. El uso de una tasa única de adición de nutrimentos, igual que la tasa de crecimiento, aseguró el estado de equilibrio de la concentración interna de nutrientes. 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 de las semillas de *P. leiophylla* sembradas fue en enero de 2014. Se formaron las unidades experimentales de 25 plántulas con cuatro repeticiones, resultando cuatro tratamientos con 100 individuos cada uno (400 individuos en total). En abril de 2014 comenzó la aplicación de las tasas de adición nutrimental, a cinco meses de la siembra, considerando el período de tiempo que llevó el desarrollo de acículas, después de la etapa cotiledonar y procurando la ausencia de patógenos, principalmente *damping off*. Ambas tasas de adición nutrimental fueron aplicadas con el fertilizante KNO_3 y H_3BO_3 a 20-20-20+tasa de adición nutrimental, con un total de 36 aplicaciones, dos semanales durante cuatro meses y medio. El fertilizante fue la única fuente de nutrimentos. Los riegos adicionales consistieron, únicamente, en la aplicación de agua destilada.

Se seleccionaron 10 individuos por unidad experimental en julio de 2014, los cuales fueron procesados para la determinación de concentración en tejido vegetal de nitrógeno (N) mediante el método micro Kjeldahl, fósforo (P) y potasio (K) por digestión húmeda con ácido nítrico perclórico. De manera paralela, una vez concluida la aplicación número 36 de material fertilizante, los individuos restantes destinados a trasplante en campo (60 individuos por tratamiento), se sometieron a una etapa de endurecimiento o lignificación durante un mes, aplicándose riego cada tres días, solamente con agua destilada, posteriormente cada cuatro días, ambos durante una semana y finalmente cada siete días durante dos semanas.

Etapa de campo

El sitio de reforestación está localizado dentro del ejido de Coatlinchán, Municipio de Texcoco, Estado de México, México, entre 19° 26' 30" de latitud norte y 90° 50' longitud oeste, a una altitud de 2455 metros. La superficie total del sitio tiene 10 % de pendiente y exposición este. El suelo es poco profundo, inferior a 40 cm con afloramientos de roca calcárea. La cubierta vegetal se compone de matorral básicamente, *Agave salmiana* (maguey pulquero), *Opuntia sp.* (nopal) y *Acacia sp.* (huizache). La textura del suelo es variable, dominando la textura arcillosa, pero se localizan algunas porciones de suelo con textura arenosa debido a la existencia de pequeños escurrimientos temporales.

Diseño del experimento de campo

En campo se utilizó el mismo diseño experimental que en vivero y se probó el efecto de los cuatro tratamientos aplicados desde vivero. Cada uno de los tratamientos se replicó 60 veces, siendo una planta la unidad experimental, es decir, se seleccionaron 60 plantas completamente al azar de cada uno de los cuatro tratamientos probados en vivero. Las plantas correspondientes a cada tratamiento fueron distribuidas aleatoriamente en el área experimental, en la que previamente se hicieron hoyos de 40 x 40 x 40 cm bajo un esquema de marco real, con un espaciamiento de tres



metros entre hoyos. El establecimiento del experimento se realizó en el mes de agosto de 2014.

VARIABLES EVALUADAS

Una vez establecida la planta en campo, se evaluó el desarrollo y sobrevivencia de la misma, mediante variables morfológicas y fisiológicas. Se midió: diámetro en milímetros, altura en centímetros, y sobrevivencia en porcentaje en noviembre 2014, diciembre 2014, enero 2015, febrero 2015 y julio 2015. Con base en las mediciones iniciales y finales se estimaron los incrementos en: diámetro y altura. A un año del trasplante se tomaron muestras foliares para estimar: concentraciones foliares de nitrógeno (%) mediante el método micro Kjeldahl, fósforo (ppm) y potasio (ppm) por digestión húmeda con ácido nítrico y perclórico. Se elaboraron 16 muestras compuestas de acículas colectadas en campo; es decir, cuatro muestras compuestas por tratamiento. Además de las variables mencionadas, se realizó un muestreo de suelo mediante la recolecta de tres muestras compuestas en la parte baja del área experimental, tres en la parte media y tres en la parte alta. Las muestras simples fueron extraídas de los 30 cm superiores del suelo.

El procesamiento y análisis de datos se realizó comparando los efectos de los factores y sus interacciones sobre las variables morfológicas y fisiológicas mediante un análisis de varianza (ANOVA), utilizando el paquete estadístico SAS. Se consideró que los efectos fueron estadísticamente significativos, cuando el valor de $P > F$ fue inferior a 0,05 (confiabilidad superior a 95 %). Cuando los efectos resultaron significativos, las diferencias estadísticas entre medias se identificaron mediante la prueba Tukey ($\alpha = 0,05$). Para la concentración y contenido de N, P y K se utilizó el método gráfico de vectores desarrollado por [Timmer y Stone \(1978\)](#), haciéndose la interpretación de los nomogramas conforme lo sugieren [López et al., \(2010\)](#) y [Gang Dong et al., \(2019\)](#).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

De acuerdo a los niveles de los diferentes macroelementos y microelementos en el suelo, necesarios para el desarrollo de plantas, establecidos por la Nom-021-RECNAT-2000 de México, para los macroelementos de estudio en el suelo del área experimental, el N y materia orgánica presentaron altos niveles, P presentó bajos niveles y K se encuentra en niveles medios (Tabla 1). En coincidencia, estos suelos han sido descritos por [Etchevers et al., \(1992\)](#) como suelos extremadamente pobres en N, P y materia orgánica, además de tener baja Capacidad de Intercambio Catiónico (CIC), hecho que les confiere una baja fertilidad natural ([Gama et al., 2007](#)); siendo muy clara la escasez de P, nutriente que requiere ser introducido al ecosistema a partir de fertilización química u orgánica.



Tabla 1. - Análisis químico del suelo del sitio de reforestación en Coatlinchán, Texcoco, Estado de México, México

Variables	Ubicación de la muestra		
	Parte baja	Parte media	Parte alta
Nitrógeno (%)	0,130	0,161	0,154
Fósforo (ppm)	5,263	7,895	3,684
Potasio (ppm)	138,06	118,56	134,16
Calcio (ppm)	1100	1020	900
Magnesio (ppm)	435,6	363	369,05
Boro (ppm)	0,122	0,077	Nd
Cobre (ppm)	0,906	0,622	0,713
Hierro (ppm)	48,777	47,854	54,397
Manganeso (ppm)	21,051	14,823	10,381
Zinc (ppm)	1,836	1,651	1,552
pH	5,660	5,59	5,45
Materia orgánica (%)	2,681	2,681	3,083
Capacidad de intercambio catiónico (CIC) cmol (+) kg ⁻¹	8,160	8,4	8,32

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

En cuanto a las variables morfológicas, el factor sustrato sí tuvo efectos significativos sobre las variables: diámetro, altura, índice de calidad de Dickson e incremento en altura. El agrupamiento de Tukey indica que el *peat moss* presentó mayor media para todas las variables, excepto para el incremento en altura, en cuyo caso, el aserrín dio lugar a la mayor media y peso seco de 100 acículas, variable en que no existieron diferencias significativas. La tasa de adición nutrimental tuvo efectos significativos sobre las variables de diámetro e incremento en altura (Tabla 3). Los mayores diámetros y alturas fueron promovidos por la tasa de adición nutrimental constante.

Tabla 2. - Características de la planta al momento del trasplante a campo (al final de la etapa de vivero), para los cuatro tratamientos

Tratamiento	Variables al final de la etapa de vivero						
	Diámetro (mm)	Altura (cm)	Índice de calidad de Dickson	Índice de esbeltez	Concentración foliar de N (%)	Concentración foliar de P (ppm)	Concentración foliar de K (ppm)
1	2,40	5,52	0,098	22,94	2,47	2344	3771
2	2,18	4,56	0,096	20,89	2,72	2646	3569
3	5,55	17,26	0,389	28,25	2,05	1678	4126
4	3,59	11,54	0,242	33,58	2,59	1960	4900



En la Figura 1 (a y b) se aprecia el mayor diámetro y altura que dieron como resultado los factores del tratamiento 3 (*peat moss* y tasa constante) para ambas variables, un año después de la plantación. Sin embargo, para altura en campo los mayores incrementos fueron dados por el tratamiento 2 (aserrín y tasa exponencial) (Figura 1a, Tabla 3).

Tabla 3. - Análisis de varianza y pruebas de Tukey ($\alpha = 0,05$) para variables fisiológicas de *Pinus leiophylla* en campo (Coatlinchán, Texcoco, Estado de México)

Variabes	Fuente de variación		Pr>F	Valor de F	Media de Tukey	Agrupamiento de Tukey
Diámetro (mm)	Modelo		<0,0001	79,64		
	Sustratos	AS	<0,0001	231,65	15,2988	B
		PM			25,4275	A
	Tasa de adición nutrimental	TC	0,0365	5,54	3,98	A
		TE			2,893	B
Altura (cm)	Interacción		0,2125	1,73		
	Modelo		0,0015	9,76		
	Sustratos	AS	0,0002	28,15	28,002	B
		PM			30,5213	A
	Tasa de adición nutrimental	TC	0,3095	1,13	11,391	A
TE				8,052	B	
Peso seco 100 acículas (g)	Interacción		0,9322	0,01		
	Modelo		0,4663	0,91		
	Sustratos	AS	0,5046	0,47	6,8889	A
		PM			6,5389	A
	Tasa de adición nutrimental	TC	0,5046	0,47	6,5389	A
TE				6,8889	A	
Incremento en diámetro (mm)	Interacción		0,2075	1,77		
	Modelo		<0,0001	40,56		
	Sustratos	AS	<0,0001	115,53	13	B
		PM			20,8513	A
	Tasa de adición nutrimental	TC	0,5246	0,43	17,165	A
TE				16,686	A	
Incremento en altura (cm)	Interacción		0,0341	5,72		
	Modelo		<0,0001	39,55		
	Sustratos	AS	<0,0001	91,45	22,958	A
		PM			16,1213	B
	Tasa de adición nutrimental	TC	0,0019	15,72	18,1225	A
TE				20,9575	B	
Interacción		0,0054	11,48			



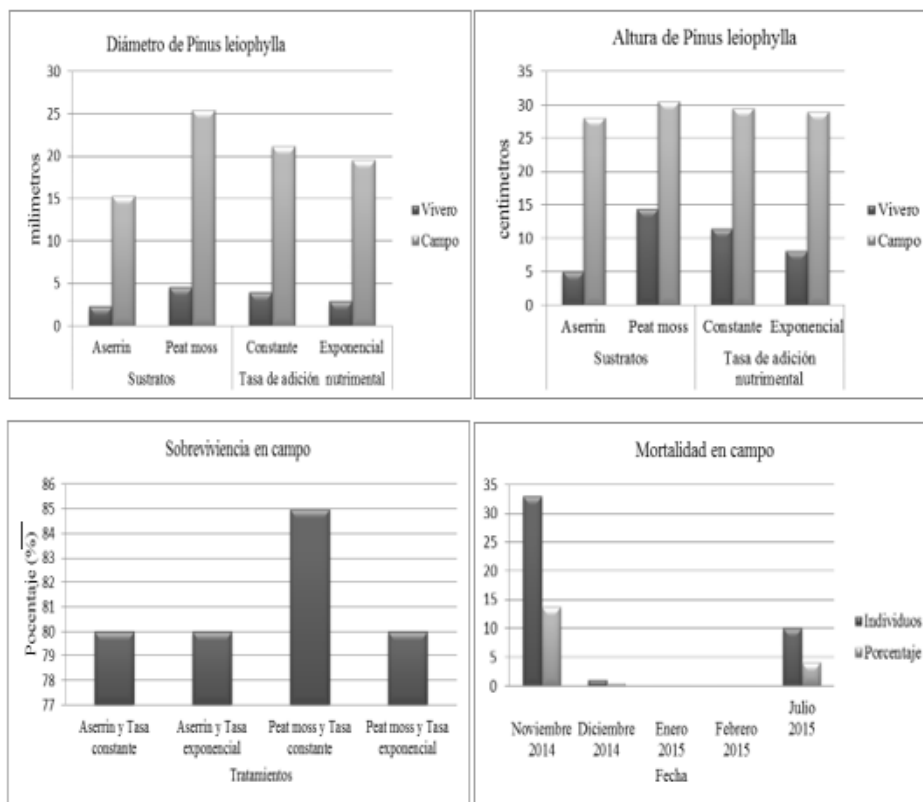


Figura 1. - a) diámetro de *Pinus leiophylla*, b) altura, c) censo total de sobrevivencia por tratamiento en campo (2014-2015), d) censo total de mortalidad en campo (2014-2015)

En los siguientes nomogramas, las pendientes negativas hacen claro el efecto de dilución para todos los tratamientos. Solo los tratamientos en aserrín (1 y 2) incrementaron la biomasa de 100 acículas y el contenido nutricional durante el primer año en campo, los tratamientos en *peat moss* (3 y 4), en cambio, no incrementaron el contenido de K (Figura 2C).



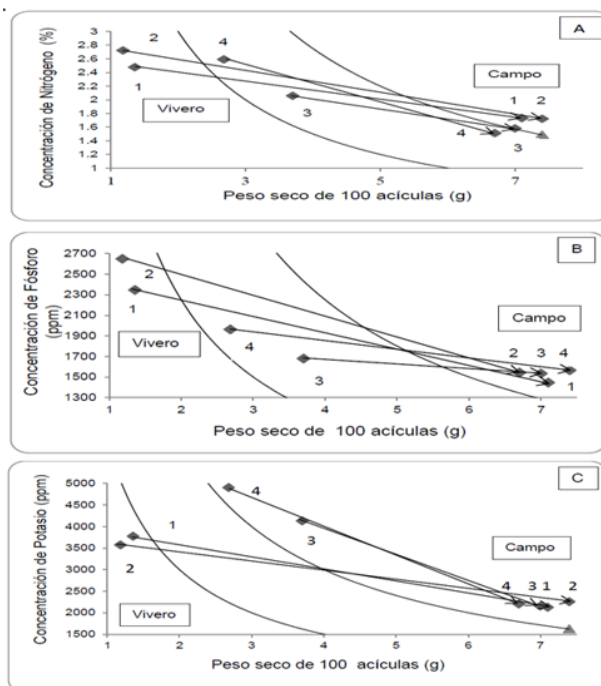


Figura 2 - Nomogramas de Timmer. Peso seco de 100 acículas (x), concentración nutricional (y), contenido nutricional (z, isolíneas) de N, P y K en *Pinus leiophylla* al final de la etapa de vivero (9 meses de edad) y a un año de la plantación a campo (22 meses de edad) para los cuatro tratamientos

Se observa que no hay diferencias significativas en ninguna de las variables de nutrición (Figura 4). Las mayores diluciones en campo sucedieron en los tratamientos que exhibieron las mayores concentraciones en vivero con el tratamiento 2 (aserrín y tasa exponencial), para concentración de N y P el tratamiento 4 (*peat moss* y tasa exponencial) para concentración de K; en cuanto a los contenidos nutrimentales, la regularidad de la tendencia entre las isolíneas, así como la ubicación repetida de los tratamientos entre ellas, respaldan la ausencia de diferencias significativas entre los niveles de los factores probados (Tabla 4). Los tratamientos con aserrín (1 y 2) tuvieron mayores ganancias en biomasa de 100 acículas (peso seco de 100 acículas), comparados con los tratamientos con *peat moss* (3 y 4). Similarmente, las plantas abastecidas mediante la tasa nutricional exponencial mostraron la mayor ganancia en peso seco de 100 acículas, después del trasplante a campo.

Del total de la planta producida en vivero, el 25 % de la población total resultó como planta de buena calidad, según CONAFOR (2010), y esta correspondió al tratamiento 3 (*peat moss* y tasa constante). Otro 25 % de la población resultó con las mayores concentraciones nutrimentales correspondiendo al tratamiento 2 (Tabla 2). Una vez trasplantados los individuos a campo se esperaba que continuaran las tendencias resultantes de la etapa de vivero, en cuanto a las variables de crecimiento y sobrevivencia. Morfológicamente sí tuvo mejor desempeño en campo el tratamiento 3 en 2015 para diámetro, altura e índice de calidad de Dickson. Es decir, un año después de la plantación aún se manifestaron los efectos de las tasas de adición nutricional generados durante la etapa de vivero sobre el diámetro y altura. Sin embargo, el mayor incremento en altura fue resultado del tratamiento 2 (aserrín y tasa exponencial) (Tabla 3), tratamiento con altas concentraciones de N y P desde vivero. Duarte *et al.*, (2019) atribuyen las diferencias en la eficiencia nutricional de



especies a la absorción, capacidad de translocación y utilización de nutrientes. En el presente estudio estamos hablando de la misma especie, lo que indica que el disparo en crecimiento es causa de las elevadas reservas nutrimentales que presentó la planta del tratamiento 2 (aserrín y tasa exponencial).

Tabla 4. - Análisis de varianza y pruebas de Tukey ($\alpha = 0.05$) para variables de nutrición de *Pinus leiophylla* en campo (Coatlinchán Texcoco Estado de México)

Variables	Fuente de variación	Pr>F	valor de F	Media Tukey	Agrupamiento de Tukey	
Concentración N %	Modelo	0,7523	0,4			
	Sustratos	AS	0,3025	1,16	1,725	A
		PM			1,592	A
	Tasa de adición nutrimental	TC	0,9524	0	1,6625	A
		TE			1,655	A
	Interacción		0,8268	0,05		
Concentración P (ppm)	Modelo	0,9976	0,01			
	Sustratos	AS	0,9005	0,02	1455,6	A
		PM			1469,5	A
	Tasa de adición nutrimental	TC	0,8935	0,02	1455,1	A
		TE			1469,9	A
	Interacción		0,9344	0,01		
Concentración K (ppm)	Modelo	0,8628	0,25			
	Sustratos	AS	0,9382	0,01	2146,6	A
		PM			2136,8	A
	Tasa de adición nutrimental	TC	0,6954	0,16	2166,5	A
		TE			2116,9	A
	Interacción		0,4647	0,57		
Contenido N (g)	Modelo	0,3863	1,1			
	Sustratos	AS	0,207	1,78	0,1193	A
		PM			0,1037	A
	Tasa de adición nutrimental	TC	0,6846	0,17	0,10913	A
		TE			0,1140	A
	Interacción		0,2674	1,35		
Contenido P (g)	Modelo	0,7647	0,39			
	Sustratos	AS	0,6996	0,16	0,01	A
		PM			0,0096	A
	Tasa de adición nutrimental	TC	0,7164	0,14	0,0096	A
		TE			0,0100	A
	Interacción		0,3707	0,86		
Contenido K (g)	Modelo	0,8219	0,3			
	Sustratos	AS	0,4943	0,5	0,0140	A
		PM			0,0138	A
	Tasa de adición nutrimental	TC	0,8375	0,04	0,0142	A
		TE			0,0144	A
	Interacción		0,5535	0,37		

Salifu *et al.*, (2009) encontraron que la recarga de nutrientes de la planta en vivero propicia mayores tasas de crecimiento inicial en campo. Este hallazgo, en el presente estudio, indica que la recarga de nutrientes en las plantas efectivamente aumenta el crecimiento inicial en campo, mejorando la capacidad competitiva de la planta recién establecida, debido al rápido desarrollo y colonización de la raíz en el suelo profundo, que reduce la intensidad de competición con las plantas vecinas o malezas (Vallejo *et al.*, 2012).

En coníferas, menor índice de calidad de Dickson (0,15) podría significar problemas en el establecimiento de una plantación (García 2007). De acuerdo con ello, la planta procedente de los tratamientos con aserrín es de menor calidad que la planta crecida en *peat moss* (Tabla 2), y se esperaría que el desempeño en campo de las primeras



mencionadas fuera subóptimo, lo cual no sucedió, dado que al menos el incremento en altura y peso seco de 100 acículas en campo fueron superiores en las plantas cultivadas en aserrín. En coincidencia, [Villalón et al., \(2016\)](#) concluyeron que la selección de planta de calidad en vivero, no debe ser determinada únicamente por la altura. La falla en la predicción del índice de calidad de Dickson en cuanto al comportamiento de la planta en campo, probablemente se debió a las elevadas reservas de nutrimentos en la planta producida en aserrín. En este estudio, el índice de esbeltez resultó ser un mejor predictor del comportamiento de la planta en campo, ya que la planta con menor índice de esbeltez (procedente de aserrín) exhibió los mayores incrementos de altura en campo (Tabla 3).

De acuerdo con [Sáenz et al., \(2010\)](#), solo la planta mayor de 15 cm de altura debe usarse para los programas de reforestación en México, ya que la altura de las plantas es el mejor indicador de la probabilidad de mortalidad ([Antón et al., 2015](#)). Sin embargo, el presente estudio demuestra que la planta pequeña (4,5 a 5,5 cm de altura) puede tener éxito en la sobrevivencia y crecimiento en terrenos difíciles, lo cual coincide con lo demostrado por [Gradel et al., \(2017\)](#), quienes encontraron que individuos jóvenes de *Betula platyphylla* Sukachev tuvieron mejores respuestas de crecimiento que los individuos más viejos con mayores dimensiones, en un sitio degradado.

Es altamente probable que el aspecto clave para la sobrevivencia y crecimiento inicial de la planta pequeña en el presente estudio haya sido la elevada cantidad de reservas nutrimentales, dado que la planta producida en aserrín, una vez establecida en campo, dio como resultado mayores concentraciones nutrimentales con ambas tasas de adición constante y exponencial.

Las pendientes negativas en los nomogramas hacen claro el efecto de dilución para todos los tratamientos (Figura 2), principalmente por las plantas que exhibieron las mayores concentraciones de nutrimentos en vivero por efecto de concentración ([López y Estañol 2007](#)). La Figura 2 indica que las plantas con mayores reservas nutrimentales son las que mostraron mayores incrementos de biomasa de 100 acículas (peso seco de 100 acículas). Esto puntualiza la relación que existe entre el nivel de las reservas nutrimentales y los incrementos en campo.

La recarga de nutrimentos de la planta en vivero pudiera considerarse como un procedimiento de fertilización en el que los nutrimentos van incluidos en la propia planta. De acuerdo con los resultados del presente estudio (Tabla 3 y Figura 1b), este sistema mejora el crecimiento inmediato de las plantas, lo cual puede ser fundamental para que la planta domine a muchas malezas en un plazo corto, incrementando teóricamente la sobrevivencia de la plantación ([Salifu et al., 2009](#) y [Timmer y Aidelbaum 1996](#)). Existen estudios que sugieren que las plántulas altamente nutridas podrían desempeñar un mejor papel en reforestaciones de restauración ([Cortina et al., 2013](#)). En el presente estudio, esto se hace evidente porque las plantas con mayores reservas nutrimentales de los tratamientos 1 y 4 (1. aserrín y tasa constante, 4. *peat moss* y tasa exponencial) superaron por 84,4 %, y 43,8 % respectivamente, la biomasa de acículas (peso seco de 100 acículas) de las plantas producidas en el tratamiento 3 (*peat moss* y tasa constante), representativo del sistema utilizado en los viveros tecnificados de México.



Chen *et al.*, (2018) recomendaron aplicar carga nutrimental en las plántulas de *Betula alnoides* antes del trasplante, para mejorar su calidad y productividad en campo. Pokharel *et al.*, (2016) encontraron que la acumulación en la reserva de nutrientes en *Populus tremuloides* Michx. promovió satisfactorios resultados para fines de restauración de suelos salinos.

En el presente estudio, es claro que hubo una buena respuesta de los individuos hacia las pobres condiciones del sitio (Tabla 1), ya que finalmente, en sobrevivencia solo hubo una diferencia de 5 % entre tratamientos. En efecto, la mayor sobrevivencia en campo fue de 85 % y correspondió al tratamiento 3 (*peat moss* y tasa constante). Para los otros tres tratamientos (1, 2 y 4) la sobrevivencia fue de 80 %, valores que superan el rango de 40,28 % a 57,5 % de sobrevivencia, registrada en las reforestaciones a nivel nacional por UACH-EC (2012).

La mayor mortalidad (Figura 1c) fue presentada al final del período de lluvias del primer ciclo en campo (noviembre de 2014); es decir, tres meses después del trasplante. En orden descendente se presentó nuevamente en el siguiente verano (2015), a un año del trasplante.

Al observar los resultados por tratamiento (Figura 1d), se puede apreciar que la mortalidad se mantuvo en 13 individuos, o 20 % para todos los tratamientos, a excepción del tratamiento 3 (*peat moss* y tasa constante), el cual presentó una mortalidad de solo nueve individuos (15 %).

Las plantas con mejores características morfológicas fueron las mismas para la etapa de campo y vivero, producto de la tasa de fertilización constante. Las plantas con características morfológicas no deseadas para el fin propuesto en vivero, propiciaron mayores tasas de crecimiento en altura y peso seco de 100 acículas en campo, debido al efecto de concentración de los altos contenidos de N y P en tejido vegetal, resultado de la tasa de fertilización exponencial.

Las mayores concentraciones de N, P y K en vivero, resultado de la tasa nutrimental exponencial, igualaron las concentraciones de la tasa constante durante el establecimiento en campo, por efecto de dilución.

Pinus leiophylla es una especie adecuada para plantaciones con fines de restauración, que muestra una favorable respuesta morfofisiológica, sobre el desarrollo inicial con condiciones de baja fertilidad de suelo en el sitio de plantación y una sobrevivencia mínima muy por encima del rango registrado a nivel nacional, durante la última década.



REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ADAME MARTÍNEZ, S. y MARTÍNEZ MENEZ, M.R., 1999. Efecto del manejo integral de la cuenca del río Texcoco, sobre la producción de agua y sedimentos. *Investigaciones geográficas* [en línea], no. 39, pp. 53-67. [Consulta: 1 julio 2020]. ISSN 0188-4611. Disponible en: http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S0188-46111999000200004&lng=es&nrm=iso&tlng=es.
- ALDANA, B. R., AGUILERA, R. M. 2003. *Procedimientos y cálculos básicos, útiles en la operación de viveros que producen plantas en contenedor*. Guadalajara Jalisco México. Comisión Nacional Forestal (CONAFOR), Programa Nacional de Reforestación. Obtenido de <http://biblioteca.infor.cl/DataFiles/25107.pdf>
- ANTON V., HARTLEY S., WITTMER H. 2015. *Survival and growth of planted seedlings of three native tree species in urban forest restoration in Wellington, New Zealand*. *New Zealand Journal of Ecology*. Vol.39, No.2. pp.170-178. Disponible en: <https://www.jstor.org/stable/26198708>
- CHEN, L., WANG, C., DELL, B. 2018. *Growth and nutrient dynamics of Betula alnoides seedlings under exponential fertilization*. *Journal of Forestry Research*. 29, 111119. Disponible en: DOI <https://doi.org/10.1007/s11676-017-0427-2>
- COMISIÓN NACIONAL FORESTAL (CONAFOR), Gerencia de Reforestación de la Coordinación General de Conservación y Restauración. 2010. *Manual básico de Prácticas de Reforestación*. Primera edición. Zapopan Jalisco México. 62 pp. Disponible en: http://www.conafor.gob.mx/BIBLIOTECA/MANUAL_PRACTICAS_DE_REFORESTACION.PDF
- CORTINA J., VILLAGROSA A., TRUBAT R. 2013. *The role of nutrients for improving seedling quality in drylands*. *New Forest*. 44(5). DOI: 10.1007/s11056-013-9379-3. Disponible en: <https://link.springer.com/article/10.1007/s11056-013-9379-3>
- DUARTE B. M., JOSÉ F. F., MARANGON L. C., PATRIOTA F. A., BARROS R. A., SOARES R. K. 2019. *Nutrient stock and nutritional efficiency of woody species in dry tropical forest as reforestation indicators*. Viçosa. *Revista CERES* vol.66 no.5. Disponible en: DOI <https://doi.org/10.1590/0034-737x201966050008>
- ETCHEVERS, B.J.D., LÓPEZ, R.M.R., ZEBROWSKI, C., PEÑA, D.H. 1992. *Características químicas de tepetates de referencia de los estados de México y Tlaxcala, México*. *Revista Terra*, pp. 171-177. Disponible en: http://horizon.documentation.ird.fr/exldoc/pleins_textes/pleins_textes_7/divers/38568.pdf
- GAMA C. J., SOLLEIRO R. E., FLORES R. D., SEDOV S., CABADAS B. H., DÍAZ O. J. 2007. *Los tepetates y su dinámica sobre la degradación y el riesgo ambiental: el caso del Glacis de Buenavista, Morelos*. *Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana* Tomo LIX, núm. 1. p. 133-145. Disponible en: http://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S1405-33222007000100133&script=sci_arttext



- GARCÍA, M. A. 2007. *Importancia de la calidad del plantín forestal*. In: XXII Jornadas Forestales de Entre Ríos. Área Forestal de la EEA Concordia del INTA. Concordia, Entre Ríos, Argentina. 10 p.
- GANG DONG, GE SUN, JINGFENG XIAO, LU HAO Z. Z. 2019. *Afforestation and Reforestation: Drivers, Dynamics, and Impacts*. (en línea). Forest Editorial Office. MDPI St. Alban-Anlage 66 4052 Basel, Switzerland 2018 - 2019. (Consulta: 27 de diciembre de 2019) Disponible en: https://books.google.com.mx/books/about/Afforestation_and_Reforestation_Drivers.html?id=p9a2DwAAQBAJ&redir_esc=y
- GRADEL A., HAENSCH C., GANBAATAR B., DOVDONDEMBEREL B., NADALDORJ O., GÜNTHER B. 2017. *Response of white birch (Betula platyphylla sukaczew) to temperature and precipitation in the mountain forest steppe and taiga of northern Mongolia*. Dendrochronologia 41: 24-33. Disponible en: DOI: 10.1016/j.dendro.2016.03.005
- FUENTES D., VALDECANTOS A., LLOVET J., CORTINA J., VALLEJO V.R. 2010. *Fine-tuning sewage sludge application to promote the establishment of Pinus halepensis seedlings*. Ecological Engineering. 36:12131221. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2010.04.012>
- LÓPEZ, L.M.A., ESTAÑOL, B.E. 2007. *Detección de deficiencias de hierro en Pinus leiophylla a partir de los efectos de dilución y concentración nutrimental*. Terra Latinoamericana. Volumen 25, Número 1, pp. 9-15. Disponible en: <http://redalib.uaemex.mx/src/inicio/ArtPdfRed.jsp?iCve=57311513002>
- LÓPEZ, L.M.A., ALVARADO, J.L. 2010. *Interpretación de nomogramas de análisis de vectores para diagnóstico nutrimental de especies forestales*. Madera y Bosques. Volumen 16. Número 1, 99-108 pp. Disponible en: http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1405-04712010000100007
- 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. Disponible en: <https://pdfs.semanticscholar.org/cde1/3de74cf15ed7b35e8f5d1458ce33cf2dd0d5.pdf>
- POKHAREL P., CHANG S. X. 2016. *Exponential fertilization promotes seedling growth by increasing nitrogen retranslocation in trembling aspen planted for oil sands reclamation*. Forest Ecology and Management. Volume 372. Pages 35-43. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2016.03.034>
- SÁENZ, J. T., VILLASEÑOR, F. J., MUÑOZ, H. J., RUEDA, A., & PRIETO, J. A. 2010. *Calidad de planta en viveros forestales de clima templado en Michoacán*. Folleto Técnico. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP). Centro de Investigación Regional Pacífico Centro Campo Experimental. Núm. 17, 52 pp. Uruapan, Michoacán México. Disponible en: <http://biblioteca.inifap.gob.mx:8080/xmlui/bitstream/handle/123456789/1289>



/CALIDAD%20DE%20PLANTA%20EN%20VIVEROS%20FORESTALES%20DE%
20CLIMA%20TEMPLADO%20EN%20MICHOACAN.pdf?sequence=1

- SALIFU, K.F., JACOBS, D.F., BIRGE, Z.K. 2009. *Nursery nitrogen loading improves field performance of bareroot oak seedlings planted on abandoned mine lands*. Restoration Ecology. 17(3), 339-349. Disponible en: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1111/j.1526-100X.2008.00373.x>
- SOARES S.R., PATRIOTA F.A., MARANGON L., GALVAO S.F., JOSE F.F., BARROS A.L., SCHOSSLER R. T., FORTES S. A. 2017. *Soil fertility as a predictor of geospatial distribution of forest species in natural regeneration in Brazil*. Journal of Experimental Agriculture International. 19:01-18. DOI: 10.9734/JEAI/2017/38652. Disponible en: <https://www.journaljeai.com/index.php/JEAI/article/view/1025>
- TIMMER, V.R., A.S. AIDELBAUM. 1996. *Manual for exponential nutrient loading of seedlings to improve outplanting performance on competitive forest sites*. Ontario Canada. NODA/NFP Technical Report Natural Resources. Canada. Canadian Forest Service-Sault Ste. Marie; Sault Ste., Marie. 29 pp. Disponible en: <http://www.cfs.nrcan.gc.ca/pubwarehouse/pdfs/9567.pdf>
- TIMMER, V.R., STONE, E.L. 1978. *Comparative foliar analysis of young balsam fir fertilized with Nitrogen, Phosphorous, Potassium, and Lime*. Soil Science Society of America Journal. Vol. 42, pp. 125-130. Disponible en: DOI <https://doi.org/10.2136/sssaj1978.03615995004200010027x>
- UNIVERSIDAD AUTÓNOMA CHAPINGO, CENTRO DE EDUCACIÓN CONTINUA (UACH-CEC). Comisión Nacional Forestal (CONAFOR). 2012. *Evaluación Complementaria del PROCOREF, ejercicio fiscal 2011*. Texcoco México. Universidad Autónoma Chapingo-Centro de Educación Continua. 325 pp.
- VALLEJO V., SMANIS A., CHIRINO E., FUENTES D., VALDECANTOS A., VILAGROSA A. 2012. *Perspectives in dryland restoration: approaches for climate change adaptation*. New Forest 43. pp. 561579. DOI: 10.1007/s11056-012-9325-9. Disponible en: <https://link.springer.com/article/10.1007/s11056-012-9325-9>
- VILLALÓN M. H., RAMOS R. J. C., LÓPEZ V.J.A., MARINO B., MUÑOS P.M.A., GARZA O.F. 2016. *Indicadores de calidad de la planta de Quercus canby Trel. (encino) en vivero*. Revista Latinoamericana de Recursos Naturales. 12 (1): 46-52. Disponible en: <https://www.itson.mx/publicaciones/rlrn/Documents/v12-n1-5-indicadores-de-calidad-de-la-planta-de-quercus-canby-Trel-encino-en-vivero-forestal.pdf>



Conflicto de intereses:

Los autores declaran no tener conflictos de intereses.

Contribución de los autores:

Los autores han participado en la redacción del trabajo y análisis de los documentos.



Esta obra está bajo una licencia de Creative Commons Reconocimiento-
NoComercial 4.0 Internacional.

Copyright (c) 2020 Mayra Velen Buendía Velázquez, Miguel Ángel López López,
Víctor Manuel Cetina Alcalá, Sara Gabriela Díaz Ramos, Oralia Sánchez Vázquez

