



Artículo / Article

Supervivencia en plantaciones de *Pinus pseudostrobus* Lindl. en función del sistema de producción y preacondicionamiento en vivero

Survival of *Pinus pseudostrobus* Lindl. plantations in terms of the production system and pre-conditioning in the nursery

José Ángel Sigala Rodríguez¹, Marco Aurelio González Tagle² y José Ángel Prieto Ruíz³

Resumen

Se evaluó la supervivencia de una plantación de *Pinus pseudostrobus* como resultado del efecto del sistema de producción y el preacondicionamiento de las plantas en vivero; además, se analizó el riesgo de mortalidad en función de su calidad morfológica. Se utilizaron plantas producidas en tres sistemas: 1) un año en charola de poliestireno [1+0], 2) dos años en bolsa de polietileno [0+2], y 3) dos años de edad, un año en charola de poliestireno más un año en bolsa de polietileno [1+1]. Previo a la plantación, durante 45 días, las plantas fueron sometidas a preacondicionamiento mediante la modificación del régimen de riegos, se aplicaron tres niveles: 1) nivel bajo, riego diario durante la mañana; 2) moderado, riego a saturación cada 9 días; y 3) nivel alto, riego a saturación cada 15 días. En campo se eligieron dos condiciones de sitio: 1) pendiente de 10 %, exposición NE, y 2) pendiente de 55 %, exposición SO. El análisis de supervivencia fue por el método *Kaplan-Meier* y se realizó una regresión de riesgos proporcionales para determinar el riesgo de mortalidad. A 14 meses de establecimiento, se obtuvo una supervivencia promedio de 52.9 %, con una mayor mortalidad durante los primeros tres meses. Se determinaron diferencias significativas entre sistemas de producción y entre sitios de plantación, pero no entre niveles de preacondicionamiento, aunque este generó respuestas distintas en cada sistema de producción; se registró una supervivencia superior en las plantas cultivadas en el sistema 0+2 y sometidas a un nivel de preacondicionamiento alto. El diámetro fue la variable morfológica que más se relacionó con el riesgo de mortalidad en los sitios de plantación.

Palabras clave: Calidad de planta, mortalidad de plantas, *Pinus pseudostrobus* Lindl., plantación forestal, reforestación, vivero forestal.

Abstract

The survival of a *Pinus pseudostrobus* plantation was assessed as a result of the effect of the production system and pre-conditioning of the plants in the nursery; in addition, the mortality risk was analyzed in terms of its morphological quality. Plants produced under three systems were utilized: 1) one year on a polystyrene tray [1+0], 2) two years in a polyethylene bag [0+2], and 3) one year on a polystyrene tray plus one year in a polyethylene bag [1+1]. Previous to the plantation, during 45 days, the plants were subjected to pre-conditioning through modification of the watering regime; three different levels were applied: 1) low level, daily watering in the morning; 2) moderate level, watering until saturation every 9 days, and 3) high level, watering until saturation every 15 days. Two site conditions were selected in field: 1) 10 % slope with NE exposure and 55 % slope with SW exposure. The survival analysis was performed using the *Kaplan-Meier* method, and a proportional hazard regression was carried out in order to determine the mortality risk. 14 months after establishment, an average survival rate of 52.9 % was obtained, with a higher mortality during the first three months. Significant differences were found between production systems and between plantation sites, but not between pre-conditioning levels, although this generated different responses for each production system; a higher survival rate was reported among plants cultivated with the 0+2 system and subjected to a high pre-conditioning level. The diameter was the morphological variable most closely related to mortality risk in the plantation sites.

Key words: Plant quality, plant mortality, *Pinus pseudostrobus* Lindl., forest plantation, reforestation, forest nursery.

Fecha de recepción/date of receipt: 25 de noviembre de 2013; Fecha de aceptación/date of acceptance: 26 de marzo de 2015.

¹ Campo Experimental Valle del Guadiana. CIR-Norte Centro, INIFAP. Correo-e: sigala.jose@inifap.gob.mx

² Facultad de Ciencias Forestales, Universidad Autónoma de Nuevo León.

³ Facultad de Ciencias Forestales, Universidad Juárez del Estado de Durango.

Introducción

El propósito de cualquier lote de planta destinado a la reforestación es superar satisfactoriamente la fase de establecimiento, además de lograr altas tasas de supervivencia y crecimiento en el campo (Navarro *et al.*, 2006). Antes de plantar, es importante identificar los factores ambientales limitantes del área de interés para definir las características morfológicas y fisiológicas que el material vegetativo debe tener para garantizar su rápido arraigo y adaptación a las condiciones del sitio (Navarro *et al.*, 2006; Landis *et al.*, 2010).

En el sur del estado de Nuevo León, *Pinus pseudostrabus* Lindl. es la especie más utilizada en reforestaciones de áreas incendiadas o degradadas (Conafor, 2009); sin embargo, la baja productividad del suelo en la región limita el establecimiento de la regeneración. De acuerdo con Grossnickle (2005), en sitios de baja calidad es necesario que los individuos utilizados tengan un volumen radicular suficiente para aprovechar la humedad y los nutrientes del suelo.

Por otra parte, South *et al.* (2005) señalan que el tipo y tamaño de contenedor influyen en la supervivencia de una plantación en sitios degradados o de baja calidad; asimismo, Villar *et al.* (1999) y Prieto *et al.* (2007) indican que el precondicionamiento, mediante la restricción de riegos es una de las prácticas en vivero que activan o acentúan los mecanismos de resistencia de la planta a situaciones de estrés en campo, ya que se reducen las tasas de crecimiento y transpiración, se propicia la aparición de la yema apical y se incrementa la lignificación del tallo.

Los objetivos del presente trabajo fueron definir el efecto del sistema de producción y el precondicionamiento sobre la supervivencia de una plantación de *P. pseudostrabus*, establecida en sitios de baja productividad; además de, calcular el riesgo de mortalidad de la plantación en función de las variables morfológicas de la planta, con la finalidad de fijar patrones de calidad para la selección de plántulas destinadas al establecimiento de plantaciones con fines de restauración.

Materiales y Métodos

Material vegetal

Se seleccionaron ejemplares de *Pinus pseudostrabus* cultivados en tres sistemas de producción (Cuadro 1) en el Vivero Forestal Bosque Escuela de la Facultad de Ciencias Forestales (UANL), ubicado en el ejido Santa Rosa, municipio Iturbide, Nuevo León, en las coordenadas 24°42.37' N y 99°51.69' O y a una altitud de 1 609 m. En todos los sistemas, las plantas estuvieron bajo condiciones de sombra durante el primer año y a la intemperie en el segundo año, para el caso del sistema

Introduction

The purpose of any lot for reforestation is to surpass successfully the establishing phase, as well as to attain higher survival and growth rates in open field conditions (Navarro *et al.*, 2006). Before planting, it is important to identify the limiting environmental factors in the area of interest, in order to define the morphological and physiological characteristics that the vegetative material must have to ensure its rapid root attachment and adaptation to the conditions of the site (Navarro *et al.*, 2006; Landis *et al.*, 2010).

In southern *Nuevo León*, *Pinus pseudostrabus* Lindl. is the species most frequently used for the reforestation of burned or degraded areas (Conafor, 2009). However, the low productivity of the soil in the region limits the establishment of the regeneration. According to Grossnickle (2005), in low quality sites, the individuals utilized must have a sufficiently high root volume to absorb the moisture and nutrients from the soil.

On the other hand, South *et al.* (2005) point out that the size and type of the container have an impact on the survival of a plantation in degraded or low quality sites. Furthermore, Villar *et al.* (1999) and Prieto *et al.* (2007) indicate that the pre-conditioning through watering restrictions is one of the nursery practices that activate or enhance the stress resistance mechanisms of the plant in the open field, since it reduces the growth and transpiration rates, promotes the sprouting of the apical bud, and increases stem lignification.

The objectives of the present research were to assess the effect of the production system and pre-conditioning on the survival of a *P. pseudostrabus* plantation established in low productivity sites, as well as to estimate the mortality risk of the plantation in terms of the morphological variables of the plant, in order to determine quality patterns for the selection of seedlings destined for the establishment of plantations for restoration purposes.

Materials and Methods

Vegetal material

Pinus pseudostrabus specimens cultivated using three different production systems (Table 1) were selected at the Forest School Nursery of the Faculty of Forestry (UANL), located in the *Santa Rosa* ejido in the municipality of *Iturbide*, *Nuevo León*, with the coordinates 24°42.37' N and 99°51.69' W and at an altitude of 1 609 masl. In all the systems, the plants were in the shade during the first year, and plants sown in polyethylene bags were in the open air during the second year. A mixture of moss peat (57 %) and earth (43 %) additioned with 5 kg m⁻³ of a controlled-release fertilizer (Osmocote®) was used as

en bolsa de polietileno. Como sustrato se utilizó una mezcla de turba de musgo (57 %) y tierra de monte (43 %), a la que se le agregaron 5 kg m⁻³ de fertilizante de liberación controlada (Osmocote®). Durante el periodo de producción se aplicaron riegos cada tres días, de acuerdo a las rutinas convencionales del vivero.

Cuadro 1. Sistemas de producción evaluados durante el cultivo de *Pinus pseudostrobus* Lindl. en el Vivero Bosque Escuela, Iturbide, Nuevo León.

Sistema de producción	Volumen envase (mL)	Edad (años)*
Charola de poliestireno 160 cavidades	60	1+0
Bolsa de polietileno	630	0+2
Charola de poliestireno + bolsa de polietileno	60-560	1+1

*El primer carácter indica el tiempo de cultivo en charola de poliestireno y el segundo el tiempo de cultivo en bolsa de polietileno.

Para inducir estrés hídrico y favorecer el preacondicionamiento, previo al trasplante en campo, las plantas se regaron durante 45 días bajo el siguiente régimen 1) nivel bajo, un riego diario durante la mañana; 2) nivel moderado, un riego a saturación cada 9 días; y 3) nivel alto, un riego a saturación cada 15 días.

El material se llevó a campo en noviembre de 2011, la plantación se estableció en el municipio Galeana, Nuevo León. El área de estudio se ubica en las coordenadas 24°50.81' N y 100°5.55' O y una altitud de 1 760 m; presenta una precipitación media anual de 428 mm con una temperatura media de 14 °C. Se eligieron dos sitios de condiciones contrastantes (Cuadro 2), separados a una distancia de 200 m. En cada uno se plantaron 24 individuos por tratamiento, divididos en tres repeticiones y situados a 1 m de separación; en total se emplearon 432. El diseño experimental fue en parcelas subdivididas, las grandes correspondieron a los sitios, las medianas el sistema de producción y las parcelas chicas al nivel de preacondicionamiento.

sustratum. The plants were watered every three days during the production period, in keeping with the conventional routine of the nursery.

Table 1. Production systems assessed during the cultivation of *Pinus pseudostrobus* Lindl. in the Forest School Nursery in Iturbide, Nuevo León.

Production system	Volume of the container (mL)	Age (years)*
Polystyrene tray with 160 cavities	60	1+0
Polyethylene bag	630	0+2
Polystyrene tray + polyethylene bag	60-560	1+1

* The first figure indicates the cultivation period on a polystyrene tray, and the second figure, the cultivation period in a polyethylene bag.

In order to induce hydric stress and favor pre-conditioning, previously to transplanting into the open field, the plants were watered during 45 days under the following watering regime: 1) low level, daily watering in the morning; 2) moderate level, watering until saturation every 9 days, and 3) high level, watering until saturation once every 15 days.

The material was taken to the open field in November, 2011; the plantation was established in the municipality of Galeana, Nuevo León. The study area is located at the coordinates 24°50.81' N and 100°5.55' W, at an altitude of 1 760 m. It has a mean annual precipitation of 428 mm with a mean temperature of 14 °C. Two sites with contrasting conditions (Table 2), separated by a distance of 200 m, were selected. 24 individuals per treatment -divided into three repetitions and separated by a distance of 1 m- were planted. A total of 432 were utilized. The experimental design was in subdivided plots; the larger plots corresponded to the sites, the medium-size plots, to the production system, and the small plots, to the pre-conditioning level.



Cuadro 2. Características topográficas y de suelo en los sitios de la plantación.

Característica	Sitio 1	Sitio 2
Pendiente (%)	10	55
Exposición	NE	SO
Profundidad promedio del suelo (cm)	22.5	28.5
pH	7.8	7.8
Conductividad eléctrica (mS cm ⁻¹)	132.3	109.9
Densidad aparente (g cm ⁻³)	0.791	0.817
Materia orgánica (%)	7.66	4.21
Textura	Franco arcillo limosa	Franco arcillo limosa

Análisis estadístico

Una vez establecida la plantación, se evaluó mensualmente la supervivencia durante nueve meses; se hizo un registro final a los 14 meses. En cada medición se asignaron valores de 0 o 1 para las plantas muertas y vivas, respectivamente. Asimismo, se consideraron las variables morfológicas iniciales: diámetro al cuello de la raíz (mm), altura del tallo (cm), peso seco de la parte aérea (PSA) y peso seco de la raíz (PSR) (g). Las dos últimas se obtuvieron de un muestreo destructivo realizado en cada tratamiento, antes de plantar.

Las diferencias de supervivencia entre tratamientos, se analizaron mediante la prueba *Log-Rank* a partir de curvas de supervivencia construidas por el método *Kaplan-Meier* en el que se define la función de supervivencia como:

$$S(t) = P(T \geq t) \quad (1)$$

Donde $S(t)$ es la probabilidad de que una muerte ocurra en un tiempo T al menos tan grande como el tiempo t (Kaplan y Meier, 1958); para ello, se tomó en cuenta el estatus de cada planta (viva o muerta) al final del periodo de evaluación, así como el tiempo de vida de la misma en meses. Este análisis se hizo con el procedimiento *LIFETEST* de SAS ver. 9.2 (SAS, 2009).

Para estimar el efecto de los factores estudiados, en función de las variables morfológicas como covariables, se aplicó una regresión de riesgos proporcionales de Cox. El modelo de riesgos proporcionales utilizado fue:

$$h_i(t) = h_0(t)e^{(\beta_1 t_i + \dots + \beta_k t_{ik})} \quad (2)$$

Table 2. Topographic and soil characteristics of the plantation sites.

Characteristic	Site 1	Site 2
Slope (%)	10	55
Exposure	NE	SW
Average soil depth (cm)	22.5	28.5
pH	7.8	7.8
Electric conductivity (mS cm ⁻¹)	132.3	109.9
Apparent density (g cm ⁻³)	0.791	0.817
Organic matter (%)	7.66	4.21
Texture	Loamy clayey silt	Loamy clayey silt

Statistical analysis

Once the plantation was established, the monthly survival was evaluated during nine months; one last evaluation was made after 14 months. In each measurement, values of 0 or 1 were assigned to dead and living plants, respectively. Likewise, the initial morphological variables -aerial dry weight (ADW) and root dry weight (RDW) (g)- were recorded. The two latter ones were obtained from a destructive sampling carried out in each treatment before planting.

The differences in survival between treatments were analyzed by means of the log-rank test based on survival curves created using the Kaplan-Meier method, in which the survival function is defined as:

$$S(t) = P(T \geq t) \quad (1)$$

Where $S(t)$ is the probability that a death may occur during a T time period at least as long as t (Kaplan and Meier, 1958); for this purpose, the status of each plant (living or dead) was considered at the end of the evaluation period, and so was the lifetime of the plant measured in months. This analysis was performed using the *LIFETEST* procedure of SAS ver. 9.2 (SAS, 2009).

In order to estimate the effect of the studied factors in terms of the morphological variables as covariables, a Cox's proportional hazard regression was carried out. The proportional risk model utilized was:

$$h_i(t) = h_0(t)e^{(\beta_1 t_i + \dots + \beta_k t_{ik})} \quad (2)$$

Where $h_i(t)$ is the death risk of an individual i in a time period t , which is the product of the risk function h_0 relative to an unspecified reference and an exponential function of the k covariables (Allison, 1995).

Donde $h_i(t)$ es el riesgo de muerte de un individuo i a un tiempo t , el cual es el producto de la función de riesgo (h_0) de referencia no especificada y una función exponencial de k covariables (Allison, 1995).

Este modelo estima un coeficiente β para cada factor o covariable y prueba la hipótesis nula que $\beta = 0$ con el estadístico χ^2 . Dicho coeficiente explica el efecto de un factor o una covariable en la función de riesgo; es decir, si el coeficiente β es negativo significa que el riesgo de muerte se reduce con el incremento de la covariable, mientras que un coeficiente β positivo indica lo contrario (Williams, 2008). El análisis se efectuó mediante el procedimiento PHREG de SAS ver. 9.2 (SAS, 2009).

Resultados y Discusión

Supervivencia

A los 14 meses de haberse realizado la plantación, la supervivencia promedio fue de 52.9 %; se observó mayor mortalidad durante los primeros tres meses (31.2 %). El valor más alto se obtuvo en el sitio 2 (60.2 %) con diferencias significativas ($\chi^2 = 6.03$, $p = 0.014$) respecto al sitio 1, cuyo registro fue de 45.4 % (Cuadro 3).

This model estimates a coefficient β for each factor or covariable and proves the null hypothesis that $\beta = 0$ with the χ^2 statistic. This coefficient explains the effect of a factor or a covariable on the risk function; i.e. if the β coefficient is negative, this means that the death risk diminishes with the increase of the covariable, whereas a positive β coefficient indicates the opposite (Williams, 2008). The analysis was carried out using the PHREG procedure of SAS ver. 9.2 (SAS, 2009).

Results and Discussion

Survival

14 months after the planting, the average survival rate was 52.9 %; a higher mortality rate was observed during the first three months (31.2 %). The highest value was obtained in Site 2 (60.2 %), showing significant differences with respect to Site 1, where the rate was 45.4 % (Table 3).

The survival of a plant in a given site may be affected by the physical-chemical properties of the soil, such as: moisture, temperature, pH, electric conductivity and nutrient contents (Omary, 2011), as well as by topographic conditions

Cuadro 3. Supervivencia estimada por tratamiento en cada sitio de plantación, de acuerdo al método Kaplan-Meier.

Tratamiento	Sitio 1				Sitio 2			
	Meses transcurridos para presentarse una supervivencia menor que:			Supervivencia Final (%) [*]	Meses transcurridos para presentarse una supervivencia menor que:			Supervivencia Final (%)
	75 %	50 %	25 %		75 %	50 %	25 %	
Cs[1+0]-B	2	3	4	12.5 c	2	2	5	16.7 b
Cs[1+0]-M	2	3	4	4.2 c	2	3	7	16.7 b
Cs[1+0]-A	2	2	2	4.2 c	2	3	3	0.0 b
Bs[0+2]-B	7	-	-	68.2 a	-	-	-	79.2 a
Bs[0+2]-M	2	14	-	39.1 b	3	-	-	66.7 a
Bs[0+2]-A	-	-	-	83.3 a	-	-	-	91.7 a
Bt[1+1]-B	14	-	-	66.7 a	-	-	-	87.5 a
Bt[1+1]-M	9	-	-	58.3 a	-	-	-	91.7 a
Bt[1+1]-A	-	-	-	75.0 a	-	-	-	91.7 a
General	3	14	-	45.4	3	-	-	60.2

Tratamientos: Sistema de producción: Cs [1+0] = Siembra en charola; Bs [0+2] = Siembra en bolsa; Bt [1+1] = Siembra en charola y trasplante a bolsa; Preacondicionamiento: B = Nivel bajo; M = Nivel moderado; A = Nivel alto. *Letras diferentes indican diferencias estadísticas significativas mediante la prueba Log-Rank.



Table 3. Survival estimated by treatment in each plantation site, according to the Kaplan-Meier method.

Treatment	Site 1				Site 2			
	Number of months required to achieve a survival rate below:			Final survival rate (%)*	Number of months required to achieve a survival rate below:			Final survival rate (%)
	75 %	50 %	25 %		75 %	50 %	25 %	
Cs[1+0]-L	2	3	4	12.5 _c	2	2	5	16.7 _b
Cs[1+0]-M	2	3	4	4.2 _c	2	3	7	16.7 _b
Cs[1+0]-H	2	2	2	4.2 _c	2	3	3	0.0 _b
Bs[0+2]-L	7	-	-	68.2 _a	-	-	-	79.2 _a
Bs[0+2]-M	2	14	-	39.1 _b	3	-	-	66.7 _a
Bs[0+2]-H	-	-	-	83.3 _a	-	-	-	91.7 _a
Bt[1+1]-L	14	-	-	66.7 _a	-	-	-	87.5 _a
Bt[1+1]-M	9	-	-	58.3 _a	-	-	-	91.7 _a
Bt[1+1]-H	-	-	-	75.0 _a	-	-	-	91.7 _a
General	3	14	-	45.4	3	-	-	60.2

Treatments: Production system: Cs [1+0] = Tray sowing; Bs [0+2] = Bag sowing; Bt [1+1] = Tray sowing and transplant to a bag; Pre-conditioning: L = Low level; M = Moderate level; H = High level. *Different letters indicate different significant statistics using the log-rank test.

La supervivencia de una planta en un determinado sitio puede ser afectada por las propiedades físico-químicas del suelo como: humedad, temperatura, pH, conductividad eléctrica y contenido de nutrientes (Omary, 2011); aunadas a las condiciones topográficas (Chen y Klinka, 1998) y al método utilizado para establecer la plantación (Ortega *et al.*, 2006). En este ensayo, los sitios presentaron propiedades edáficas similares (Cuadro 2); por lo tanto, las diferencias entre sitios de plantación es probable que se deban a las distintas pendientes y exposiciones.

La prueba *Log-Rank* mostró diferencias altamente significativas entre los tres sistemas de producción evaluados, tanto en el Sitio 1 ($\text{Chi}^2= 129.5$, $p<0.0001$) como en el Sitio 2 ($\text{Chi}^2= 154.70$, $p<0.0001$). La mayor supervivencia se obtuvo en plantas producidas con el sistema 1+1 (Sitio 1= 66.7 %; Sitio 2= 90.3 %), seguidas de aquellas que fueron cultivadas en bolsa de polietileno (0+2) (Sitio 1= 63.8 %; Sitio 2= 79.2 %), y por último, las que crecieron en charola de poliestireno (1+0) (Sitio 1= 6.9 %; Sitio 2= 11.1 %); no obstante, entre los sistemas 1+1 y 0+2 no hubo diferencias significativas (Cuadro 3, Figura 1).

Resultados similares se documentaron para *P. pseudostrabus* en el estado de Nuevo León, con mejores registros en las plantas cultivadas en bolsa de polietileno (Marroquín *et al.*, 2006). La respuesta favorable del sistema convencional en bolsa, se explica debido a que los envases tienen más capacidad, y propician mejores características del sistema radicular, como el volumen y conductancia hidráulica, que le permiten aprovechar mejor la humedad en el suelo (Chirino *et al.*, 2009); esto es relevante en sitios con precipitación pluvial escasa y condiciones edáficas pobres, como las que caracterizaron el área de estudio.

(Chen and Klinka, 1998) and the method utilized to establish the plantation (Ortega *et al.*, 2006). In this essay, the sites exhibited similar edaphic properties (Table 2); therefore, the differences between the plantation sites may be due to the differences in slope and exposure.

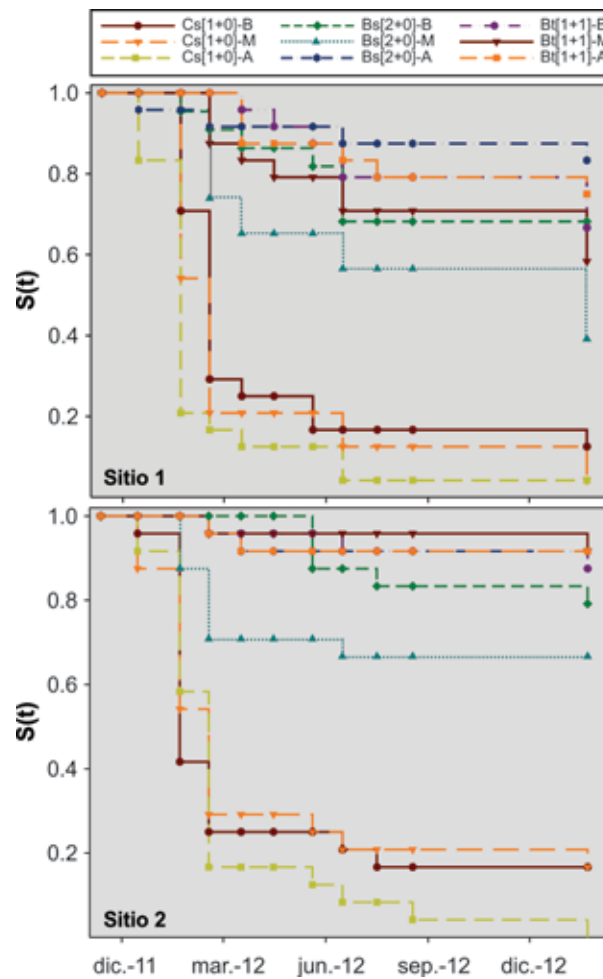
The log-rank test showed highly significant differences between the three evaluated production systems, both in Site 1 ($\text{Chi}^2= 129.5$, $p<0.0001$) and in Site 2 ($\text{Chi}^2= 154.70$, $p<0.0001$). The highest survival rate was obtained in plants produced with the 1+1 system (Site 1= 66.7 %; Site 2= 90.3 %), followed by those cultivated in polyethylene bags (0+2) (Site 1= 63.8 %; Site 2= 79.2 %) and, finally, by those that grew in a polystyrene tray (1+0) (Site 1= 6.9 %; Site 2= 11.1 %); however, there were no significant differences between systems 1+1 and 0+2 (Table 3, Figure 1).

Similar results were documented for *P. pseudostrabus* in the state of Nuevo León, with better records in plants cultivated in polyethylene bags (Marroquín *et al.*, 2006). The favorable response to the conventional production system in bags is explained by the fact that the containers have a larger capacity and favor the development of better characteristics of the root system, such as volume and hydraulic conductance, allowing a better absorption of soil moisture (Chirino *et al.*, 2009); this is relevant in sites with low rain precipitation and poor edaphic conditions, like those of the study area.

There were no significant differences in the pre-conditioning levels between Site 1 ($\text{Chi}^2= 4.16$, $p=0.128$) and Site 2 ($\text{Chi}^2= 0.23$, $p=0.893$); however, an analysis of the combination of the

Los niveles de precondicionamiento, tanto en el sitio 1 ($\text{Chi}^2= 4.16, p= 0.128$) como en el sitio 2 ($\text{Chi}^2= 0.23, p= 0.893$) no tuvieron diferencias significativas; sin embargo, al analizar la combinación del sistema de producción con los tres tipos de precondicionamiento, en ambos sitios, se determinó una supervivencia superior en plantas producidas con el sistema 0+2, con un precondicionamiento alto (Sitio 1= 83.3 %, Sitio 2= 91.7 %). En el sitio 1, la supervivencia de las plantas cultivadas bajo el sistema 0+2 fue estadísticamente diferente entre el precondicionamiento alto y moderado ($\text{Chi}^2= 5.92, p= 0.015$); en cambio, en el sitio 2, este tratamiento fue estadísticamente igual a los otros ocho, incluso comparado

production system with the three types of pre-conditioning in the two sites made it possible to observe a higher survival rate in plants produced with the 0+2 system, with a high pre-conditioning (Site 1= 83.3 %, Site 2= 91.7 %). In Site 1, the survival of plants cultivated using the 0+2 system showed statistical differences between the high and moderate pre-conditionings ($\text{Chi}^2= 5.92, p=0.015$); on the other hand, in Site 2, this treatment was statistically equal to the other eight, and even to the 1+1 production system with high and moderate levels of pre-conditioning. Although pre-conditioning had no significant effect on the 1+0 tray production system, a lower survival rate was observe in those individuals subjected to a high level, in the two plantation sites (Table 3, Figure 1).



Tratamientos: Sistema de producción: Cs [1+0] = Siembra en charola; Bs [0+2] = Siembra en bolsa; Bt [1+1] = Siembra en charola y trasplante a bolsa; Preacondicionamiento: B = Nivel bajo; M = Nivel moderado; A = Nivel alto. Treatments: Production system: Cs [1+0] = Tray sowing; Bs [0+2] = Bag sowing; Bt [1+1] = Tray sowing and transplant to bag; Pre-conditioning: L = Low level; M = Moderate level; H = High level.

Figura 1. Función de supervivencia estimada $[S(t)]$ para los diferentes tratamientos evaluados en la reforestación con *Pinus pseudostrobus* Lindl., en dos sitios de plantación.

Figure 1. Estimated survival function $[S(t)]$ for the different treatments evaluated for reforestation with *Pinus pseudostrobus* Lindl., in two plantation sites.

con el sistema de producción 1+1 con niveles moderado y alto. Si bien, en el sistema de producción en charola 1+0, el precondicionamiento no presentó un efecto significativo, se observó menor supervivencia en aquellos individuos sometidos a un nivel alto, en los dos sitios de plantación (Cuadro 3, Figura 1).

El precondicionamiento en vivero, mediante la modificación de ciclos de riego difirió en función del tamaño del envase donde se produjo la planta, esto se explica porque los individuos cultivados en contenedores pequeños tienen un desarrollo de raíz limitado, lo que los hace más vulnerables al estrés hídrico, con ello, disminuye la conductancia estomática y aumenta el riesgo de muerte durante el primer periodo de sequía (González *et al.*, 2011). En el presente ensayo, las plantas cultivadas en charola (1+0) y sometidas a un estrés hídrico elevado mostraron menor supervivencia; en cambio, el mismo nivel de precondicionamiento aplicado en el sistema de producción en bolsa (0+2 y 1+1) tuvo mejores resultados, principalmente en el sitio 2.

En otros estudios se documenta que el estrés hídrico ejerce un efecto negativo en los procesos fisiológicos, como la alteración del estatus de carbohidratos y asimilación de CO_2 , lo cual influye en un mayor estrés de trasplante (Guehl *et al.*, 1993; Ortega *et al.*, 2002). Al respecto, el estrés hídrico controlado puede incidir en variables relacionadas con mecanismos de protección contra la sequía, como el cierre de estomas o disminución de la conductancia estomática, pero no influye en los de tolerancia a la falta de agua, como el ajuste osmótico o cambios en las propiedades de las membranas celulares (Villar *et al.*, 1999; Valladares *et al.*, 2004).

Análisis de riesgos

El modelo de riesgos proporcionales de Cox fue significativo para el conjunto de datos analizados ($\text{Chi}^2= 254.1$, $p>0.0001$), de manera que se rechazó la hipótesis nula global de que $\beta = 0$ (Ecuación 2). Los resultados muestran que entre los factores analizados, el sitio de plantación presentó un efecto significativo en la función de riesgo, con un estimador β positivo en la comparación del sitio 1 contra el sitio 2; es decir, establecer una planta bajo las condiciones del sitio 1 tiene mayor riesgo de muerte comparada con aquella que se plante en las condiciones del sitio 2. Asimismo, el nivel medio de precondicionamiento tuvo un riesgo positivo significativo, en comparación con el nivel bajo (Cuadro 4).

Pre-conditioning in the nursery through the modification of watering cycles differed in terms of the size of the container where the plant was grown; this is because individuals cultivated in smaller containers have a limited root development, which renders them more vulnerable to hydric stress, causing a reduction of stomatal conductance and increasing the risk of death during the first dry period (González *et al.*, 2011). In the present assay, plants cultivated in a tray (1+0) and subjected to high levels of hydric stress had a lower survival rate; on the other hand, the same level of pre-conditioning applied to the polyethylene bag production system (0+2 and 1+1) yielded better results, particularly in Site 2.

Other studies show that hydric stress exerts a negative effect on the physiological process, such as the alteration of the carbohydrate status and of CO_2 assimilation, which increases transplant stress (Guehl *et al.*, 1993; Ortega *et al.*, 2002). In this respect, controlled application of hydric stress may have an impact on variables related to mechanisms of protection against drought, such as the closing of stomata or the reduction of stomatal conductance, but has no influence on the mechanisms of tolerance to lack of water, like osmotic adjustment or changes in the properties of the cell membranes (Villar *et al.*, 1999; Valladares *et al.*, 2004).

Risk analysis

Cox's proportional hazard model was significant for the analyzed data set ($\text{Chi}^2= 254.1$, $p>0.0001$), and therefore the global null hypothesis that $\beta = 0$ (Equation 2) was rejected. The results show that, among the analyzed factors, the plantation site exhibited a significant effect on the risk function, with a positive estimator of β in the comparison between Site 1 and Site 2; i.e. establishing a plant under the conditions of Site 1 entails more death risk than under the conditions of Site 2. Likewise, the medium pre-conditioning level entailed a significant positive risk, compared to the low level (Table 4).

The analysis evidenced a highly significant effect of the diameter at root collar on the risk function, having a negative estimator and a risk ratio of 0.332, which means that increase of the plant diameter by 1 mm reduces the risk of death by up to 66.8 % that is, $100(1-e^{-1.102})$, provided that the other variables remain constant.



Cuadro 4. Resultados de la regresión de riesgos proporcionales.

Parámetro		GL	Estimador	SE	Chi ²	Pr> Chi ²	Razón de riesgo
Sitio de plantación	1	1	0.413	0.145	8.109	0.004	1.512
Sistema de producción	Bs[0+2]	1	-0.818	0.524	2.439	0.118	0.441
	Bf[1+1]	1	-0.173	0.355	0.236	0.627	0.841
Preacondicionamiento	Alto	1	0.145	0.182	0.633	0.427	1.156
	Medio	1	0.350	0.173	4.065	0.044	1.419
DCR* (mm)		1	-1.102	0.259	18.09	<0.0001	0.332
Altura total (cm)		1	0.069	0.034	4.182	0.041	1.071
Peso seco aéreo (g)		1	-0.179	0.289	0.382	0.537	0.836
Peso seco de raíz (g)		1	1.050	1.405	0.558	0.455	2.857

*DCR=Diámetro al cuello de la raíz

Table 4. Results of the proportional hazard regression.

Parameter		DF	Estimator	SE	Chi ²	Pr> Chi ²	Risk ratio
Plantation site	1	1	0.413	0.145	8.109	0.004	1.512
Production system	Bs[0+2]	1	-0.818	0.524	2.439	0.118	0.441
	Bf[1+1]	1	-0.173	0.355	0.236	0.627	0.841
Pre-conditioning	High	1	0.145	0.182	0.633	0.427	1.156
	Medium	1	0.350	0.173	4.065	0.044	1.419
DRC* (mm)		1	-1.102	0.259	18.09	<0.0001	0.332
Total height (cm)		1	0.069	0.034	4.182	0.041	1.071
Aerial dry weight (g)		1	-0.179	0.289	0.382	0.537	0.836
Dry root weight (g)		1	1.050	1.405	0.558	0.455	2.857

*DRC=Diameter at root collar

El análisis evidenció un efecto altamente significativo del diámetro al cuello de la raíz sobre la función de riesgo, con signo negativo en el estimador y una relación de riesgo de 0.332, lo que significa que el incremento de 1 mm en el diámetro de la planta reduce el riesgo de muerte hasta en 66.8 %; es decir, $100(1 - e^{-1.102})$, siempre y cuando se mantengan constantes las otras variables.

En estudios recientes, con diferentes especies del género *Pinus* se ha demostrado que el diámetro al cuello de la raíz influye en la supervivencia durante los primeros meses de establecimiento (South *et al.*, 2005; Dumroese *et al.*, 2009; Kabrick *et al.*, 2011; Grossnickle, 2012; Tsakalimi *et al.*, 2013); debido a que dicha variable está directamente relacionada con las reservas de carbohidratos no estructurales y con el desarrollo de las raíces (Guehl *et al.*, 1993; Mason, 2001). Así, las plántulas con diámetros menores pueden tener un pobre

In recent studies on various species of the *Pinus* genus, the diameter at root collar has been proved to have an impact on the survival rate during the first months of establishment (South *et al.*, 2005; Dumroese *et al.*, 2009; Kabrick *et al.*, 2011; Grossnickle, 2012; Tsakalimi *et al.*, 2013), because the diameter is directly related to the non-structural carbohydrate reserves and to root development (Guehl *et al.*, 1993; Mason, 2001). Thus, seedlings with smaller diameters may perform poorly under open field conditions, compared to seedlings with a larger diameter and good management during the plantation (Mason, 2001).



desempeño en campo, comparadas con aquellas de mayor diámetro y con un buen manejo durante la plantación (Mason, 2001).

Otra variable que incidió significativamente en la supervivencia fue la altura del tallo, que contrario al efecto del diámetro presentó un estimador con signo positivo, aunque con una relación de riesgo baja (1.071), lo que indica que el aumento de 1 cm de altura incrementa el riesgo de muerte en 7.1 % durante los primeros meses después de establecer la plantación.

Conclusiones

El sistema de producción en vivero influye la calidad de planta de *Pinus pseudostrabus*, así como su supervivencia durante los primeros meses después de plantarse. Las plántulas cultivadas en el sistema convencional de bolsa de polietileno tienen un menor desempeño.

A pesar de que el preacondicionamiento no incidió en la supervivencia, esta práctica puede ser recomendada en plántulas de mayor talla, para acentuar mecanismos que evitan la sequía, como la reducción de tasas de transpiración.

El diámetro al cuello de la raíz en plantas de *Pinus pseudostrabus* se relaciona directamente con su supervivencia en campo. Por ello, en vivero, se debe elegir el sistema de producción que provea mayor robustez a la planta, para asegurar un éxito alto de las reforestaciones en el área de estudio.

Conflicto de intereses

Los autores declaran no tener conflicto de intereses.

Contribución por autor

José Ángel Sigala Rodríguez: establecimiento del ensayo en vivero y campo, toma de datos, análisis de datos, documentación bibliográfica y redacción del manuscrito; Marco Aurelio González Tagle: definición del diseño experimental, análisis de datos y estructuración del manuscrito; José Ángel Prieto Ruíz: definición de tratamientos a evaluar, documentación bibliográfica y revisión del manuscrito.

Agradecimientos

Los autores desean expresar su agradecimiento a la Facultad de Ciencias Forestales de la Universidad Autónoma de Nuevo León por las facilidades prestadas en la realización de este estudio.

Referencias

- Allison, P. D. 1995. Survival analysis using the SAS system: a practical guide. SAS Institute. Cary, NC, USA. 292 p.
- Chen, H. Y. H. and K. Klinka. 1998. Survival, growth, and allometry of planted *Larix occidentalis* seedlings in relation to light availability. *Forest Ecology and Management* 106:169-179.

Another variable that had a significant effect on the survival rate was stem height, which, unlike the effect of the diameter, had a positive sign for the estimator but a low risk ratio (1.071), which shows that the 1 cm increase in height augments the risk of death by 7.1 % during the first months after the establishment of the plantation.

Conclusions

Nursery production systems have an impact on the quality of *Pinus pseudostrabus* plants, as well as on their survival during the first months after planting. Seedlings cultivated with the conventional polyethylene bag have a poorer performance.

Although pre-conditioning showed no effect on the survival rates, this practice may be recommended for larger seedlings to enhance drought prevention mechanisms like the reduction of transpiration rates.

The diameter at root collar in *Pinus pseudostrabus* plants is directly related to their survival under open field conditions. For this reason, the production system that provides most robustness to the plant must be selected in order to ensure highly successful reforestations in the study area.

Conflict of interests

The authors declare no conflict of interests.

Contribution by author

José Ángel Sigala Rodríguez: establishment of the assay in the nursery and in the open field, data collection, data analysis, bibliographic documentation and writing of the manuscript; Marco Aurelio González Tagle: determination of the experimental design, data analysis and structuring of the manuscript; José Ángel Prieto Ruíz: definition of the treatments for assessment, bibliographic documentation and revision of the manuscript.

Acknowledgements

We wish to express our gratitude to the Faculty of Forestry of the Autonomous University of Nuevo León for supporting and facilitating our research activities for this study.

End of the English version

- Chirino, E., A. Vilagrosa, J. Cortina, A. Valdecantos, D. Fuentes, R. Trubat, V. C. Luis, J. Puértolas, S. Bautista, M. J. Baeza, J. L. Peñuelas and V. R. Vallejo. 2009. Ecological restoration in degraded drylands: the need to improve the seedling quality and site conditions in the field. In: Grossberg, S. P. (ed.). *Forest Management*. Nova Science Publishers. Hauppauge, NY, USA. pp. 85-158.

- Comisión Nacional Forestal (Conafor). 2009. Reforestación. Ejercicio fiscal 2008. Facultad de Ciencias Forestales-Universidad Autónoma de Nuevo León. <http://www.cnf.gob.mx:8080/snif/portal/component/phocadownload/category/45-reforestacion?download=226:informe-nacional> (22 de enero de 2013).
- Dumroese, R. K., J. P. Barnett, D. P. Jackson and M. J. Hains. 2009. 2008 Interim guidelines for growing longleaf pine seedlings in container nurseries. In: Dumroese, R. K. and L. E. Riley. (coords.). National Proceedings: Forest and Conservation Nursery Associations - 2008. Department of Agriculture, Forest Service, Rocky Mountain Research Station. Fort Collins, CO, USA, pp. 101-107.
- González R., V., R. M. Navarro C. and R. Villar. 2011. Artificial regeneration with *Quercus ilex* L. and *Quercus suber* L. by direct seeding and planting in southern Spain. *Annals of Forest Science* 68:637-646.
- Grossnickle, S. C. 2005. Importance of root growth in overcoming planting stress. *New Forests* 30:273-294.
- Grossnickle, S. C. 2012. Why seedlings survive: influence of plant attributes. *New Forests* 43:711-738.
- Guehl, J. M., A. Clement, P. Kaushal and G. Aussenac. 1993. Planting stress, water status and non-structural carbohydrate concentrations in Corsican pine seedlings. *Tree Physiology* 12: 173-183.
- Kabrick, J. M., D. C. Dey, S. R. Shifley and J. L. Villwock. 2011. Early survival and growth of planted shortleaf pine seedlings as a function of initial size and overstory stocking. In: Songlin, F., J. M. Stringer, W. Jeffrey, K. W. Gottschalk and G. W. Miller (eds.). Proceedings of the 17th Central Hardwood Forest Conference. 2010 April 5-7. Lexington, KY, USA. <http://nrs.fs.fed.us/pubs/38062> (25 de noviembre de 2013).
- Kaplan, E. L. and P. Meier. 1958. Nonparametric estimation from incomplete observations. *Journal of the American Statistical Association* 53(282):457-481.
- Landis, T. D., R. K. Dumroese and D. L. Haase. 2010. The container tree nursery manual. Volume 7. Seedling processing, storage, and outplanting. Department of Agriculture, Forest Service. Agriculture Handbook 674. Washington, DC, USA. 200 p.
- Marroquín F., R. A., J. Jiménez P., F. Garza O., O. Aguirre C., E. Estrada C. y R. Bourguet D. 2006. Pruebas de regeneración artificial de *Pinus pseudostrabus* en localidades degradadas por incendios. *Revista Ciencia UANL* 6(3):298-303.
- Mason, E. G. 2001. A model of the juvenile growth and survival of *Pinus radiata* D. Don. adding the effects of initial seedling diameter and plant handling. *New Forests* 22: 133-158.
- Navarro, R. M., A. del Campo y J. Cortina. 2006. Factores que afectan al éxito de una repoblación y su relación con la calidad de la planta. In: Cortina, J., J. L. Peñuelas, J. Puértolas, R. Savé y A. Vilagrosa (eds.). Calidad de planta forestal para la restauración en ambientes mediterráneos. Estado actual de conocimientos. Ministerio de Medioambiente. Madrid, España, pp. 31-46.
- Omary, A. A. 2011. Effects of aspect and slope position on growth and nutritional status of planted Aleppo pine (*Pinus halepensis* Mill.) in a degraded land semi-arid areas of Jordan. *New Forests* 42:285-300.
- Ortega D., M. L., V. A. González H., V. M. Cetina A., A. Villegas M. y J. Vargas H. 2002. Supervivencia y crecimiento en campo de *Pinus greggii* Engelm. previamente sometido a podas o sequía en vivero. *Agrociencia* 36(2):233-241.
- Ortega, U., J. Majada, A. Mena P., J. Sánchez Z., N. Rodríguez I., K. Txarterina, J. Azpitarte and M. Duñabeitia. 2006. Field performance of *Pinus radiata* D. Don produced in nursery with different types of containers. *New Forests* 31:97-112.
- Prieto R., J. A., P. A. Domínguez C., E. H. Cornejo O. y J. J. Nívar Ch. 2007. Efecto del envase y del riego en vivero en el establecimiento de *Pinus cooperi* Blanco en dos condiciones de sitio. *Madera y Bosques* 13(1): 79-97.
- Statistical Analysis System (SAS). 2009. SAS Ver. 9.2. SAS Institute Inc. Cary, NC, USA. s/p.
- South, D. B., S. W. Harris, J. P. Barnett, M. J. Hains and D. H. Gjerstad. 2005. Effect of container type and seedling size on survival and early height growth of *Pinus palustris* seedlings in Alabama, U.S.A. *Forest Ecology and Management* 204(2):385-398.
- Tsakalimi, M., P. Ganatsas and D. F. Jacobs. 2013. Prediction of planted seedling survival of five Mediterranean species based on initial seedling morphology. *New Forests* 44:327-339.
- Valladares F., A. Vilagrosa, J. Peñuelas, R. Ogaya, J. J. Camarero, L. Corcuera, S. Sisó y E. Gil-Pelegrín. 2004. Estrés hídrico: ecofisiología y escalas de la sequía. In: Valladares, F. (ed.). Ecología del bosque mediterráneo en un mundo cambiante. Ministerio de Medio Ambiente. Madrid, España. pp. 163-190.
- Villar, S. P., L. Ocaña, J. L. Peñuelas R. e I. Carrasco M. 1999. Effect of water stress conditioning on the water relations, root growth capacity, and the nitrogen and non-structural carbohydrate concentration of *Pinus halepensis* Mill. (Aleppo pine) seedlings. *Annals of Forest Science* 56(6): 459-465.
- Williams, C. S. 2008. Surviving Survival Analysis. An Applied Introduction. In: Proceedings of the South East SAS Users Group. St Pete Beach, FL, USA. SESUG. <http://analytics.ncsu.edu/sesug/2008/ST-147.pdf> (23 de junio de 2013).



