



Artículo / Article

Calidad de planta de *Cedrela odorata* L. asociada con prácticas culturales de vivero

Plant quality of *Cedrela odorata* L. associated with nursery cultural practices

Erickson Basave Villalobos¹, Lucía Concepción García Castillo², Aurelio Castro Ríos², Celi Gloria Calixto Valencia³, José Ángel Sigala Rodríguez¹ y José Luis García Pérez⁴

Resumen

En México muchas reforestaciones con *Cedrela odorata* no han tenido un desempeño inicial favorable, principalmente por el uso de planta de baja calidad, por lo que se requieren de alternativas en los viveros forestales que mejoren dicha condición. En el presente trabajo fue examinada la influencia del volumen de envase e hidrogel sobre la morfología, estado nutrimental y desempeño en campo de plántulas de *C. odorata*. El volumen del envase se manejó a dos niveles: bolsa de polietileno de 500 mL y tubete de plástico de 380 mL; el hidrogel, con tres niveles: adición de 0, 2 y 4 g L⁻¹ de sustrato. Las características de las plántulas se evaluaron en vivero, mediante la determinación de varios indicadores morfológicos de calidad de planta y el uso de nomogramas de análisis de vectores para el diagnóstico del estado del nitrógeno, fósforo y potasio. El desempeño en campo fue medido como supervivencia y crecimiento durante 17 meses, a partir del establecimiento de la plantación. Las plántulas con los mejores atributos fueron las producidas en envases de 500 mL con la adición de hidrogel al sustrato en dosis de 4 g L⁻¹; no obstante, el mejor desempeño en campo correspondió a las producidas en envases de 500 mL sin hidrogel, lo que permite concluir que el volumen de envase tiene un efecto directo en la calidad de planta de *C. odorata*.

Palabras clave: Cedro rojo, *Cedrela odorata* L., producción de planta forestal, reforestación, trópico, vivero forestal.

Abstract

In Mexico, many reforestations with *Cedrela odorata* have not had an initial favorable performance, mainly due to the use of low quality plants, so alternatives are required in forest nurseries to improve such condition. In this work the influence of container volume and hydrogel on the morphology, nutritional status and field performance of the seedlings of this species was examined. The volume of the container was managed at two levels: 500 mL polyethylene bag and 380 mL plastic cartridge; hydrogel, with three levels: addition of 0, 2 and 4 g L⁻¹ of substrate. The characteristics of the seedlings were assessed at the nursery by determining several morphological indicators of plant quality and the use of nomograms of vector analysis for the diagnosis of nitrogen, phosphorus and potassium. Field performance was measured as survival and growth for 17 months, since the establishment of the plantation. The seedlings with the best attributes were produced in containers of 500 mL with the addition of hydrogel to the substrate in doses of 4 g L⁻¹; however, the best performance in the field corresponded to those produced in containers of 500 mL without hydrogel, which allows to conclude that the container volume has a direct effect on the quality of *C. odorata* plant.

Key words: Red cedar, *Cedrela odorata* L., forest plant production, reforestation, tropic, forest nursery.

Fecha de recepción/Reception date: 12 de mayo de 2015; fecha de aceptación/Acceptance date: 31 de junio de 2016.

¹ Campo Experimental Valle del Guadiana. CIR Norte Centro. INIFAP. México. Correo-e: basave.erickson@inifap.gob.mx

² División de Ingeniería Forestal. Instituto Tecnológico Superior de Venustiano Carranza. México.

³ Profesional independiente.

⁴ Sitio Experimental La Campana. CIR Norte Centro. INIFAP. México

Introducción

El cedro rojo (*Cedrela odorata* L.) es una de las especies maderables tropicales más valiosas y de amplia distribución geográfica en América Latina y el Caribe. Su importancia como productora de madera preciosa, engloba aspectos económicos, ecológicos y sociales (Mesén, 2006). Por ello, es muy utilizada en plantaciones destinadas a reforestación en el trópico mexicano.

La mayoría de estas se orientan a proyectos de reconversión productiva en terrenos abandonados con historial de uso agropecuario (Ramírez *et al.*, 2008). Sin embargo, muchas de ellas no han tenido el éxito esperado debido a la alta mortalidad y al pobre crecimiento de las plantas. Dichos problemas se asocian a diversos factores entre los que sobresale la vulnerabilidad de la especie al ataque de *Hypsipyla grandella* (Zeller, 1848) y a la severa degradación del suelo en los sitios de plantación (Calixto *et al.*, 2015). Sin embargo, el impacto de cada uno de ellos ha sido mayor por el uso de planta de baja calidad, que no reúne las características morfológicas y fisiológicas apropiadas a las condiciones de los sitios de destino (Conafor, 2012).

En vivero, la obtención de esas características está relacionada con la implementación de diversas prácticas culturales (Rodríguez, 2008). La elección de una o más depende de su efectividad en el aumento de la calidad de planta en los taxa que se desea producir (Jacobs y Wilkinson, 2009).

En plantas de distintas especies forestales producidas en vivero, tanto de clima tropical como templado-frío, el volumen del envase o la adición de hidrogel al sustrato han demostrado una influencia preponderante sobre la modificación de algunas de sus propiedades. En varias de ellas, a medida que el volumen del envase es mayor, sus aspectos morfológicos de calidad son mejores, tales como la altura, el diámetro del tallo, así como el balance entre la formación de biomasa aérea y la biomasa radical (Ferraz y Engel, 2011; Lisboa *et al.*, 2012; Abreu *et al.*, 2014). En otras, con el uso de hidrogel no solo se ha observado una mejora en la forma (Orikiriza *et al.*, 2009; Maldonado *et al.*, 2011), sino también en aspectos de orden fisiológico, que se refieren al estado nutrimental como uno de los principales atributos afectados (Chirino *et al.*, 2011; Bernardi *et al.*, 2012), lo que se relaciona con la dosis aplicada. Es probable que en *C. odorata* los factores referidos tengan un efecto similar, por lo que es importante estudiarlos detalladamente.

Con base en lo anterior, en este trabajo se analiza la influencia del volumen del envase y de la adición de hidrogel al sustrato sobre la morfología, estado nutrimental y desempeño en campo de plántulas de *C. odorata*. El estudio plantea tres hipótesis: 1) entre mayor es el volumen del envase, los atributos morfológicos de las plántulas de *C. odorata* son mejores; 2) la adición de hidrogel al sustrato también favorece a la morfología y el estado nutrimental de las plántulas; y

Introduction

Red cedar (*Cedrela odorata* L.) is one of the most valuable and widely distributed tropical timber species in Latin America and the Caribbean. Its importance as producer of precious wood, encompasses economic, ecological and social aspects (Mesén, 2006). Therefore, it is widely used in reforestation plantations in the Mexican tropics.

Most reforestations are oriented to projects of productive reconversion in abandoned land with a history of agricultural use (Ramírez *et al.*, 2008). However, many of them have not had the expected success, due to the high mortality and the poor growth of the plants. These problems are associated with a number of factors, such as the vulnerability of the species to the attack of *Hypsipyla grandella* (Zeller, 1848) and severe soil degradation at plantation sites (Calixto *et al.*, 2015). However, the impact of each factor has been greater due to the use of low quality plant, which does not meet the morphological and physiological characteristics appropriate to the conditions of the destination sites (Conafor, 2012).

At the nursery, the accomplishment of these characteristics is related to the implementation of diverse cultural practices (Rodríguez, 2008). The choice of one or more depends on their effectiveness in increasing plant quality of the species to be produced (Jacobs and Wilkinson, 2009).

In plants of different forest species produced in nursery, both tropical and temperate-cold, the volume of the container or the addition of hydrogel to the substrate have shown a predominant influence on the modification of some of its properties. In several of them, as the volume of the container is larger, its morphological aspects of quality are better, such as stem height and diameter, as well as the balance between aerial biomass formation and radical biomass (Ferraz and Engel, 2011, Lisboa *et al.*, 2012, Abreu *et al.*, 2014). In others, with the use of hydrogel not only a shape improvement has been recorded (Orikiriza *et al.*, 2009; Maldonado *et al.*, 2011), but also of physiological order, which refers to the nutritional status as one of the main attributes affected (Chirino *et al.*, 2011; Bernardi *et al.*, 2012), a benefit that depends on the dose applied. It is likely that in *C. odorata* the above factors have a similar effect, so it is important to study them in detail.

Based on the above, this work analyzes the influence of the volume of the container and the addition of hydrogel to the substrate on the morphology, nutritional status and field performance of *C. odorata* seedlings. The study poses three hypotheses: 1) the larger the container volume, the morphological attributes of *C. odorata* seedlings are better; 2) the addition of hydrogel to the substrate also favors the morphology and nutritional status of the seedlings; and 3) nursery seedlings with the most outstanding quality

3) las plántulas de vivero con los atributos de calidad más destacados (morfológicos y estado nutricional) registran tasas elevadas de supervivencia y crecimiento en campo.

Materiales y Métodos

El área de estudio

El estudio comprendió dos etapas experimentales: vivero y campo. Ambas se llevaron a cabo en las instalaciones del Instituto Tecnológico Superior de Venustiano Carranza, ubicado en Villa Lázaro Cárdenas, Venustiano Carranza, Puebla, México, entre las coordenadas geográficas 20°28'28.39" N y 97°41'53.60" O, a una altitud de 344 m. El clima de la zona es cálido húmedo con abundantes lluvias en verano, temperatura media anual entre 22 y 26 °C, con precipitaciones promedio anuales de 1 400 a 1 600 mm (Inegi, 2009).

La etapa de vivero se desarrolló dentro de una casa sombra cubierta por malla negra de 70 %. Durante el ensayo, se registraron temperaturas promedio máximas de 35 °C y mínimas de 20 °C. La humedad relativa promedio diurna osciló alrededor de 85 %. La etapa de campo se realizó en un terreno cuyo historial de uso se relaciona con actividades agropecuarias.

Producción de plántula en vivero

La plántula fue producida a partir de semillas recolectadas en mayo de 2014, procedentes de 10 a 20 árboles, seleccionados por sus características fenotípicas superiores, en rodales naturales localizados en el municipio Coyutla, Veracruz (20°35'80" N y 97°68'30" O). Se pusieron en remojo 1 000 semillas 12 h, en agua corriente para uniformizar su germinación; posteriormente, fueron sembradas sobre un sustrato de arena lavada de río y desinfectado mediante solarización. Tres semanas después, 384 plántulas de altura uniforme (aproximadamente 5 cm) fueron trasplantadas a bolsas negras de polietileno de 500 mL y tubetes de plástico de 380 mL, a los que se les incorporó un sustrato de materia orgánica descompuesta de *Alchornea latifolia* Sw. e hidrogel (tamaño de partícula de 1-2 mm).

Como prácticas culturales complementarias en la producción de la plántula, se fertilizó con el régimen y programa desarrollado para *Swietenia humilis* Zuccarini por Basave et al. (2015), que consiste en aplicar fertilizante hidrosoluble de propósito general (20-20-20) a una dosis base de 17-412 mg L⁻¹ de N. Además, se aplicaron riegos periódicos con base en la disponibilidad de humedad en el sustrato. En total, la producción en vivero duró tres meses.

attributes (morphological and nutritional status) have high rates of survival and growth in the field.

Materials and Methods

Study area

The study comprised two experimental stages: nursery and field. Both were carried out at the *Instituto Tecnológico Superior de Venustiano Carranza* (Venustiano Carranza Higher Technological Institute), located at *Villa Lázaro Cárdenas, Venustiano Carranza, Puebla, Mexico*, between 20°28'28.39" N and 97°41'53.60" W geographic coordinates, at an altitude of 344 m. The climate of the area is warm humid with abundant rains in summer, average (Inegi, 2009).

The nursery stage was carried out inside a shade house covered by 70 % black mesh. During the assay, average maximum temperatures of 35 °C and minimum temperatures of 20 °C were recorded. The average daytime relative humidity oscillated around 85 %. The field stage was developed in a field, whose history of use is related to agricultural activities.

Production of seedlings in nursery

The seedling was produced from seeds harvested in May 2014 from 10 to 20 trees, selected for their outstanding phenotypic characteristics, in natural stands located in the municipality of *Coyutla, Veracruz State* (20°35'80" N and 97°68'30" W). 1 000 seeds were soaked in running water for 12 h to standardize their germination; later they were planted on a substrate of washed and disinfected sand of river by means of solarization. Three weeks later, 384 seedlings of uniform height (approximately 5 cm) were transplanted into 500 mL polyethylene black bags and 380 mL plastic tube containers, into which which a substrate made up of decomposed organic matter of *Alchornea latifolia* Sw. and hydrogel (1-2 mm particle size) were put.

As complementary cultural practices in the production of the seedling, the plants were fertilized with the regime and program developed for *Swietenia humilis* Zuccarini by Basave et al. (2015), which consists of applying general purpose water-soluble fertilizer (20-20-20) at a base dose of 17-412 mg L⁻¹ of N. In addition, periodic waterings were made in regard to the availability of moisture in the substratum. In total, nursery production lasted three months.



Tratamientos y diseño experimental en vivero

Los factores evaluados en vivero fueron el volumen de envase y la dosis de hidrogel. Para el primero se utilizaron la bolsa negra de polietileno de 500 mL (B500) y el tubete negro de plástico de 380 mL (T380). Para el segundo se consideraron dosis de 0, 2 y 4 g de hidrogel por L de sustrato. Los seis tratamientos resultantes del arreglo factorial 2 x 3, fueron T1 (B500 + 0 g de hidrogel), T2 (B500 + 2 g de hidrogel), T3 (B500 + 4 g de hidrogel), T4 (T380 + 0g de hidrogel), T5 (T380 + 2 g de hidrogel) y T6 (T380 + 4g de hidrogel) con cuatro repeticiones. El tratamiento T4 fue el testigo, ya que representa el principal sistema de producción de *C. odorata* en vivero. La unidad experimental fue de 16 plántulas y se distribuyeron espacialmente sobre una cama de crecimiento, en hileras de 8 x 3, bajo un diseño experimental completamente al azar.

Evaluación de la morfología y estado nutrimental en vivero

Al final de la fase de vivero, a las plántulas se les examinó su morfología y estado nutrimental. La evaluación se hizo en una muestra aleatoria de 16 plántulas por tratamiento (cuatro por repetición). Con base en la metodología descrita por Johnson y Cline (1991), la morfología se analizó a partir de variables morfológicas de calidad de planta: altura del tallo (A[cm]), diámetro de tallo al cuello de la raíz (D[cm]), peso seco aéreo (PSA[g]) y peso seco radical (PSR[g]). Además, se calculó la relación PSA/PSR (R: PSA/PSR), el índice de robustez (IR) y el índice de calidad de Dickson (ICD). El estado nutrimental se midió en función de la concentración y contenido de nitrógeno (N), fósforo (P) y potasio (K). Las muestras analizadas morfológicamente fueron enviadas al laboratorio para un análisis químico de tejido vegetal, que se practicó a las plantas completas. La concentración de N (%) se determinó mediante el método *Microkjeldahl*, la de P a través del de vanadato-molibdato amarillo/espectrofotometría y la de K por digestión húmeda/absorción atómica. El contenido (mg de nutrimento/planta) se obtuvo con los valores de biomasa seca total (PSA + PSR) y los de concentración de cada nutrimento (%).

Análisis estadístico de los datos de vivero

Se realizó un análisis de varianza bifactorial con el procedimiento ANOVA de SAS versión 9.2 (2009). Los supuestos de normalidad y homogeneidad de varianza fueron validados. La prueba de hipótesis se basó en un nivel de significancia de 0.05. Las medias se compararon por pares con la prueba de Tukey ($\alpha = 0.05$).

El estado nutrimental de las plántulas se diagnosticó por el método gráfico de vectores. Este último procedimiento constó de dos etapas: la construcción de nomogramas de vectores

Treatments and experimental design in nursery

The assessed factors in the nursery were the container volume and the hydrogel dose. For the first factor, the 500 mL black polyethylene bag (B500) and the 380 mL black plastic tube (T380) were used. For the second factor, doses of 0, 2 and 4 g of hydrogel per L of substrate were used. The six treatments resulting from the 2 x 3 factorial arrangement were T1 (B500 + 0g hydrogel), T2 (B500 + 2 g hydrogel), T3 (B500 + 4 g hydrogel), T4 (T380 + 0 g hydrogel), T5 (T380 + 2 g of hydrogel) and T6 (T380 + 4g of hydrogel) with four replications. The T4 treatment was the control because it represents the main production system of *C. odorata* at the nursery. The experimental unit was made up by 16 seedlings which were spatially distributed on a bed of growth, in rows of 8 x 3, under a completely random experimental design.

Evaluation of morphology and nutritional status in nursery

At the end of the nursery phase, seedlings were examined for their morphology and nutritional status. The assessment was done in a random sample of 16 seedlings per treatment (four per replication). Based on the methodology described by Johnson and Cline (1991), the first criterion was analyzed from plant quality morphological variables: stem height (A [cm]), stem diameter at the root neck (D [cm]), dry air weight (PSA [g]) and dry weight (PSR [g]). In addition, the PSA/PSR ratio (R: PSA/PSR), the robustness index (RI) and the Dickson quality index (ICD) were calculated. The nutritional status was measured based on the concentration and content of nitrogen (N), phosphorus (P) and potassium (K). The samples previously analyzed morphologically were sent to the laboratory for a chemical analysis of plant tissue, which was practiced to the whole plants. The concentration of N (%) was determined by the microkjeldahl method, the P by vanadate-yellow molybdate/ spectrophotometry and K by wet digestion / atomic absorption. The content (mg of nutrient / plant) was obtained with the values of total dry biomass (PSA + PSR) and the concentration of each nutrient (%).

Statistical analysis of nursery data

A bifactorial variance analysis was performed using the ANOVA procedure of SAS 9.2 version (2009). The assumptions of normality and homogeneity of variance were validated. The hypothesis test was based on a significance level of 0.05. The means were compared in pairs using the Tukey test ($\alpha = 0.05$).

The nutritional status of the seedlings was diagnosed by the vector method. The latter procedure consisted of two stages: the construction of vector nomograms and their interpretation. The nomograms were constructed according to the methodology described by Haase and Rose (1995)

y su interpretación, los cuales se elaboraron conforme a la metodología descrita por Haase y Rose (1995) con valores relativos y de un tratamiento testigo como punto de referencia, que en este caso corresponden a los del T4. Su interpretación se respaldó en los trabajos desarrollados por Haase y Rose (1995) y López y Alvarado (2010).

Establecimiento de la plantación en campo

Debido a la abundancia de malezas en el predio, antes del establecimiento de la plantación se hicieron labores mecánicas de deshierbe, mediante la técnica roza, tumba y quema. Posteriormente, durante la tercera semana de septiembre de 2014, se estableció en campo un lote de 120 plántulas seleccionadas al azar procedente de los tratamientos evaluados en vivero. Al momento de la plantación, la humedad del suelo estaba entre 30 y 40 %. El diseño utilizado fue en tresbolillo con espaciamiento entre árboles de 3 m. La técnica de plantación fue de cepa común. La apertura de las cepas se hizo a 30 cm de profundidad por 20 cm de diámetro. Después del establecimiento de la plantación, bimestralmente las malezas se controlaron de forma manual, y solo en la base del árbol dentro de un perímetro circular de 2 m, aproximadamente.

Tratamientos evaluados y diseño experimental en campo

Los tratamientos evaluados consistieron en los seis analizados en vivero. Cada tratamiento tuvo cuatro repeticiones. La unidad experimental estuvo integrada por cinco plantas. El diseño experimental utilizado fue el de bloques completos al azar. El criterio de bloqueo fue la variabilidad de humedad en el suelo descrita en el párrafo anterior.

Variables evaluadas en campo

Los criterios para conocer el desempeño de las plántulas en campo fueron la supervivencia y el crecimiento (altura y diámetro). La toma de datos fue mensual durante los primeros seis meses, a partir del momento de plantación (septiembre 2014 a febrero 2015); se hizo una evaluación final a los 17 meses del establecimiento (enero de 2016). La supervivencia se registró como una variable binomial con valores 0 para los individuos muertos y 1 para los vivos. El crecimiento en altura (medida de la base del tallo al ápice principal) y diámetro (medido en la base del tallo), se analizó como tasa de crecimiento absoluto (TCA) con la fórmula siguiente:

$$TCA = \frac{T2 - T1}{\Delta T}$$

Donde:

$T1$ y $T2$ = Crecimiento medido en el momento de la primera y segunda evaluación, respectivamente

with relative values and a control treatment as a reference point, which in this case correspond to those of T4. Their interpretation was based on the works developed by Haase and Rose (1995) and López and Alvarado (2010).

Establishment of field plantation

Due to the great amount of weeds in the field, prior to the establishment of the plantation, mechanical weeding was done through the technique rubble, grave and burning. Subsequently, during the third week of September 2014, a sample of 120 seedlings, selected at random from the treatments evaluated at the nursery, was established in the field. At the time of planting, soil moisture was between 30 and 40 %. The design of the plantation was in triangular spacing with a distance between trees of 3 m. The planting technique was of common strain. The strains were opened at 30 cm depth by 20 cm in diameter. After establishment of the plantation, bimonthly weeds were manually controlled only at the base of the tree within a circular perimeter of about 2 m.

Evaluated treatments and experimental design in the field

The assessed treatments consisted of the six treatments analyzed in nursery. Each one of them had four replicates. The experimental unit consisted of five plants. Randomized complete blocks was the experimental design used. The blocking criterion was the soil moisture variability described in the previous paragraph.

Variables evaluated in the field

The criteria for the performance of seedlings in the field were survival and growth (height and diameter). Data collection was taken each month for the first six months from the time of planting (September 2014 to February 2015); a final evaluation was made at 17 months from the establishment (January 2016). Survival was recorded as a binomial variable with values 0 for dead individuals and 1 for living individuals. Height growth (stem-to-apex measure) and diameter (measured at the base of the stem) were analyzed as absolute growth rate (TCA) using the following formula:

$$TCA = \frac{T2 - T1}{\Delta T}$$

Where:

$T1$ and $T2$ = Growth taken at the time of the first and the second assessment, respectively

ΔT = Interval (time in months) between the two measurements

ΔT = Intervalo (tiempo en meses) entre las dos mediciones

Análisis estadístico de los datos de campo

El análisis de supervivencia se llevó a cabo mediante la prueba Log-Rank a partir de curvas de supervivencia construidas por el método *Kaplan-Meier* que define la función de supervivencia como:

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

Donde=

- S (t) = Función de supervivencia
- P = Probabilidad de muerte de una plántula
- T = Tiempo indefinido de vida de una plántula mayor al tiempo de duración del estudio
- t = Tiempo definido de vida de una plántula durante el tiempo de duración del estudio

Se siguió el procedimiento LIFETEST de SAS versión 9.2 (SAS, 2009).

Durante el segundo periodo de evaluación se advirtió un gran número de individuos muertos que afectó a tratamientos completos; por lo tanto, únicamente los valores de las tasas de crecimiento absoluto (altura y diámetro) del primer periodo de evaluación fueron sometidos a un análisis de varianza (ANOVA) con el procedimiento ANOVA en SAS versión 9.2 (SAS, 2009). Previo a ello, los supuestos de normalidad y homogeneidad de varianzas fueron validados. La prueba de hipótesis se basó en un nivel de significancia de $\alpha = 0.05$. Las medias fueron comparadas por pares mediante la prueba *Tukey* ($\alpha = 0.05$).

Resultados

En vivero, la influencia del volumen del envase sobre la modificación de la morfología de las plántulas estuvo asociada con la adición de hidrogel al sustrato (Cuadro 1).

Cuadro 1. Significancia estadística para los indicadores morfológicos de calidad en plántulas de *Cedrela odorata* L. producidas en envases de diferente volumen y con distintas dosis de hidrogel en el sustrato.

Factor de variación	Variables evaluadas						
	A ¹	DCR ²	PSA ³	PSR ⁴	R: PSA/PSR ⁵	IR ⁶	ICD ⁷
Hidrogel	0.10 ^{NS}	0.00 ^{**}	0.27 ^{NS}	0.00 ^{**}	0.00 ^{**}	0.00 ^{**}	0.09 ^{NS}
Volumen de envase	0.08 ^{NS}	<0.00 ^{***}	<0.00 ^{***}	<0.00 ^{***}	0.72 ^{NS}	<0.00 ^{***}	0.04 [*]
Hidrogel*Volumen de envase	0.03 [*]	<0.00 ^{***}	0.01 [*]	0.00 ^{**}	<0.00 ^{***}	0.00 ^{**}	0.04 [*]

* P<0.05; ** P<0.001; *** P<0.0001; NS = No significativo; 1 = Altura de la parte aérea; 2 = Diámetro al cuello de la raíz; 3 = Peso seco aéreo; 4 = Peso seco radical; 5 = Relación peso seco aéreo/radical; 6 = Índice de robustez; 7 = Índice de calidad de Dickson.

Statistical analysis of field data

The analysis of survival was carried out through the Log-Rank test from the survival curves built with the Kaplan-Meier method, which defines the function as:

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

Where=

- S (t) = Survival function
- P = Death probability of a seedling
- T = Undefined life span of a seedling longer than the time of the study
- t = Defined life span of a seedling during the time of the study

The LIFETEST procedure of SAS 9.2 version (SAS, 2009) was followed.

During the second assessment period there was a high mortality rate that affected complete treatments; therefore, only the values of the absolute growth rates (height and diameter) of the first period were subjected to an analysis of variance by using the ANOVA procedure in SAS 9.2 version (SAS, 2009). Prior to this, the assumptions of normality and homogeneity of variances were validated. The hypothesis test was based on a significance level of $\alpha = 0.05$. The means were compared by pairs using the *Tukey* test ($\alpha = 0.05$).

Results

In nursery, the influence of the container volume on the modification of seedling morphology was associated with the addition of hydrogel to the substrate (Table 1).



Table 1. Statistical significance for quality morphological indicators in *Cedrela odorata* L. seedlings produced in containers of different volumes and with different doses of hydrogel in the substrate.

Variation factor	Assessed variables						
	A ¹	DCR ²	PSA ³	PSR ⁴	R: PSA/PSR ⁵	IR ⁶	ICD ⁷
Hydrogel	0.10 ^{NS}	0.00 ^{**}	0.27 ^{NS}	0.00 ^{**}	0.00 ^{**}	0.00 ^{**}	0.09 ^{NS}
Container volume	0.08 ^{NS}	<0.00 ^{***}	<0.00 ^{***}	<0.00 ^{***}	0.72 ^{NS}	<0.00 ^{***}	0.04 [*]
Hydrogel * Container volume	0.03 [*]	<0.00 ^{***}	0.01 [*]	0.00 ^{**}	<0.00 ^{***}	0.00 ^{**}	0.04 [*]

* P<0.05; ** P<0.001; *** P<0.0001; NS = Non significant; 1 = Height of the aerial part; 2 = Diameter of the root neck; 3 = Aerial dry weight; 4 = Root dry weight; 5 = Aerial/root dry weight ratio; 6 = Robustness index; 7 = Dickson quality index.

Aunque estadísticamente hubo similitud entre los valores de las plántulas del T1 y T3, numéricamente las plántulas del T3 presentaron los mejores valores en la mayoría de las variables morfológicas de calidad (excepto R: PSA/PSR) (Cuadro 2). En relación a las plántulas del tratamiento testigo (T4), las del T3 registraron un crecimiento 19.67 % superior en altura y 24.23 % en diámetro (Cuadro 2). Asimismo, las plántulas del T3 formaron 2.23 veces más biomasa aérea y 1.71 más biomasa radical en comparación con las del testigo (Cuadro 2). El IR, en cuyo caso valores bajos indican mejor calidad, mostró una diferencia de 5 % entre plántulas del T3 y T4 (Cuadro 2). Por último, en el ICD, bajo el supuesto de que valores altos indican mejores resultados, hubo diferencias superiores a 40 % entre los tratamientos mencionados (Cuadro 2).

Although there were statistical similarities between T1 and T3 seedlings, those of T3 showed the best values in most quality morphological variables (except for R: PSA/PSR) (Table 2). In regard to the seedlings of the control treatment (T4), those of T3 showed a growth 19.67 % higher in height and 24.23 % in diameter (Table 2). In addition, the T3 individuals formed 2.23 times more aerial biomass and 1.71 more radical biomass compared to the control treatment (Table 2). IR, in which low values indicate better quality, showed a 5 % difference between T3 and T4 seedlings (Table 2). Finally, in the case of ICD, where higher values are better, there were differences greater than 40 % among the mentioned treatments (Table 2).

Cuadro 2. Valores promedio de las variables morfológicas de calidad evaluadas en plántulas de *Cedrela odorata* L. producidas en envases de diferente volumen y con distintas dosis de hidrogel en el sustrato.

Tratamientos	Variables evaluadas						
	A ¹	DCR ²	PSA ³	PSR ⁴	R:PSA/PSR ⁵	IR ⁶	ICD ⁷
Bolsa negra de polietileno de 500 mL+ sin hidrogel	17.2a ¹	4.8a	1.4a	0.5ab	3.0ab	3.5ab	0.3a
Bolsa negra de polietileno de 500 mL + 2 g de hidrogel	16.2ab	4.1b	1.1ab	0.3bc	3.1ab	3.8ab	0.2b
Bolsa negra de polietileno de 500 mL + 4 g de hidrogel	17.3a	5.2a	1.5a	0.6a	2.5bc	3.3b	0.3a
Tubete de 380 mL + sin hidrogel (testigo)	13.9b	3.9b	0.6c	0.3c	2.0c	3.5ab	0.2b
Tubete de 380 mL + 2 g de hidrogel	16.6ab	4.2b	0.8bc	0.2c	3.4a	3.9ab	0.2b
Tubete de 380 mL + 4 g de hidrogel	17.0a	4.1b	0.8c	0.2c	3.3ab	4.0a	0.2b

1 = Altura de la parte aérea (valores promedio en cm ± un error estándar de 0.74); 2 = Diámetro al cuello de la raíz (valores promedio en mm ± un error estándar de 0.14); 3 = Peso seco aéreo (valores promedio en g ± un error estándar de 0.09); 4 = Peso seco radical (valores promedio en g ± un error estándar de 0.04); 5 = Relación peso seco aéreo/radical (valores promedio ± un error estándar de 0.20); 6 = Índice de Robustez (valores promedio ± un error estándar de 0.16); 7 = Índice de calidad de Dickson (valores promedio ± un error estándar de 0.02). Medias con letra distinta dentro de la misma columna son estadísticamente diferentes (Tukey α = 0.05).



Table 2. Average values of the quality morphology variables assessed in *Cedrela odorata* L. seedlings produced in containers of different volume and with different hydrogel doses in the substrate

Treatments	Assessed variables						
	A ¹	DCR ²	PSA ³	PSR ⁴	R:PSA/PSR ⁵	IR ⁶	ICD ⁷
500 mL black polyethylene bag + without hydrogel	17.2a ^a	4.8a	1.4a	0.5ab	3.0ab	3.5ab	0.3a
500 ml polyethylene black bag + 2 g of hydrogel	16.2ab	4.1b	1.1ab	0.3bc	3.1ab	3.8ab	0.2b
500 ml polyethylene black bag + 4 g of hydrogel	17.3a	5.2a	1.5a	0.6a	2.5bc	3.3b	0.3a
380 mL tube containers + without hydrogel (control)	13.9b	3.9b	0.6c	0.3c	2.0c	3.5ab	0.2b
380 mL tube containers + 2 g of hydrogel	16.6ab	4.2b	0.8bc	0.2c	3.4a	3.9ab	0.2b
380 mL tube containers + 4 g of hydrogel	17.0a	4.1b	0.8c	0.2c	3.3ab	4.0a	0.2b

1 = Height of the aerial part (average values in cm ± 0.74 standard error); 2 = Diameter of the root neck (average values in mm ± 0.14 standard error); 3 = Aerial dry weight (average values in g ± 0.09 standard error); 4 = Root dry weight (average values in g ± 0.04 standard error); 5 = Aerial/root dry weight ratio (average values ± 0.20 standard error); 6 = Robustness index (average values ± 0.16 standard error); 7 = Dickson quality index (average values ± 0.02 standard error). Means with different letter within the same column are statistically different (Tukey α = 0.05).

Estado nutricional

Independientemente del efecto correspondiente a la adición de hidrogel, las plántulas con mayor cantidad de reservas nutrimentales fueron las producidas en los envases de 500 mL (Cuadro 3).

Nutritional condition

Regardless of the corresponding effect of the addition of hydrogel, the seedlings with the greatest amount of nutritional reserves were produced in the 500 mL containers (Table 3).

Cuadro 3. Valores absolutos y relativos del estado nutricional de nitrógeno, fósforo y potasio de plantas de *Cedrela odorata* L. al final del periodo de producción en vivero.

Tratamiento	Peso seco (mg/planta)	Concentración (%)			Concentración (mg/planta)		
		Nitrógeno	Fósforo	Potasio	Nitrógeno	Fósforo	Potasio
T1	2.00 (190)*	2.90 (98)	0.35 (89)	2.26 (120)	58.11 (190)	7.01 (173)	45.28 (233)
T2	1.55 (155)	3.07 (104)	0.37 (94)	2.26 (120)	47.60 (155)	5.74 (142)	35.04 (180)
T3	2.13 (208)	2.98 (101)	0.39 (100)	2.37 (126)	63.75 (208)	8.34 (206)	50.70 (261)
T4	1.03 (100)	2.95 (100)	0.39 (100)	1.87 (100)	30.57 (100)	4.04 (100)	19.38 (100)
T5	1.14 (88)	2.36 (80)	0.33 (84)	1.78 (95)	27.10 (88)	3.79 (93)	20.44 (105)
T6	1.06 (74)	2.15 (72)	0.37 (94)	2.23 (119)	22.83 (74)	3.93 (97)	23.68 (122)



Table 3. Absolute and relative values of the nutritional condition of nitrogen, phosphorous and potassium of *Cedrela odorata* L. plants at the end of the production period at the nursery.

Treatment	Dry weight (mg/plant)	Concentration (%)			Concentration (mg/plant)		
		Nitrogen	Phosphorous	Potassium	Nitrogen	Phosphorous	Potassium
T1	2.00	2.90	0.35	2.26	58.11	7.01	45.28
	(190)*	(98)	(89)	(120)	(190)	(173)	(233)
T2	1.55	3.07	0.37	2.26	47.60	5.74	35.04
	(155)	(104)	(94)	(120)	(155)	(142)	(180)
T3	2.13	2.98	0.39	2.37	63.75	8.34	50.70
	(208)	(101)	(100)	(126)	(208)	(206)	(261)
T4	1.03	2.95	0.39	1.87	30.57	4.04	19.38
	(100)	(100)	(100)	(100)	(100)	(100)	(100)
T5	1.14	2.36	0.33	1.78	27.10	3.79	20.44
	(88)	(80)	(84)	(95)	(88)	(93)	(105)
T6	1.06	2.15	0.37	2.23	22.83	3.93	23.68
	(74)	(72)	(94)	(119)	(74)	(97)	(122)

Asimismo, de acuerdo con los nomogramas de vectores, y al tomar como punto de referencia el estado nutricional de las plantas del T4 en nitrógeno, las del T1 evidenciaron un efecto de dilución, las del T2 de consumo de lujo, las del T3 de suficiencia y las del T5 y T6 de depleción (Figura 1A). Un efecto similar a lo obtenido en nitrógeno se observó para el fósforo, aunque en este caso el T2 ya no mostró un consumo de lujo sino de dilución (Figura 1B). Con respecto al potasio, las plantas del T1, T2, T3 y T6 tuvieron en común efectos de consumo de lujo; no obstante, esta respuesta fue más representativa en los primeros tres tratamientos. En los ejemplares del T5 se registró un efecto de dilución, lo cual fue distinto a lo ocurrido en los demás nutrientes (Figura 1C).

Supervivencia y crecimiento en campo

A 17 meses de establecida la plantación, la supervivencia general promedio fue de 15 %. Durante los primeros 60 días se presentó una mortalidad superior a 25 % (Cuadro 4, Figura 2). La prueba *Log-Rank* mostró diferencias altamente significativas entre los tratamientos evaluados ($X^2 = 21.7$, $P = 0.0006$). La mayor supervivencia se obtuvo en plantas del T1 (50 %), aunque sin diferencias significativas de aquellas pertenecientes al T2 y T3. Hubo una mortalidad de 100 % en las plantas del T4; sin embargo, este tratamiento difirió solamente del T1 (Cuadro 5). A pesar de que en T2 y T3 se tuvo supervivencia baja al final del periodo de evaluación, en los primeros seis meses son los tratamientos con la más destacada, cuyos valores fueron superiores a 80 % (Figura 2).

Also, according to the nomograms of vectors, and taking the nutritional status of the plants of T4 in nitrogen, those of T1 showed a dilution effect, those of T2 of luxury consumption, those of T3 of sufficiency and those of T5 and T6 of depletion (Figure 1A). A similar effect to that obtained in nitrogen was observed in phosphorus, although in this case the T2 no longer showed a luxury consumption but of dilution (Figure 1B). In regard to potassium, the plants of T1, T2, T3 and T6 had in common effects of luxury consumption; nevertheless, this response was more representative in the first three treatments. The T5 specimens had a dilution effect, which was different from that of the other nutrients (Figure 1C).

Survival and growth in the field

At 17 months of planting, the average overall survival was 15 %. During the first two months, mortality was higher than 25 % (Table 4, Figure 2). The *Log-Rank* test showed highly significant differences among the treatments evaluated ($X^2 = 21.7$, $P = 0.0006$). The highest survival rate was obtained in T1 plants (50 %), although there were no significant differences between those belonging to T2 and T3. There was a 100 % mortality in the T4 plants, even though this treatment differed only from T1 (Table 4). Although T2 and T3 had low survival at the end of the evaluation period, the treatments with the highest survival rate were over 80 % in the first six months (Figure 2).



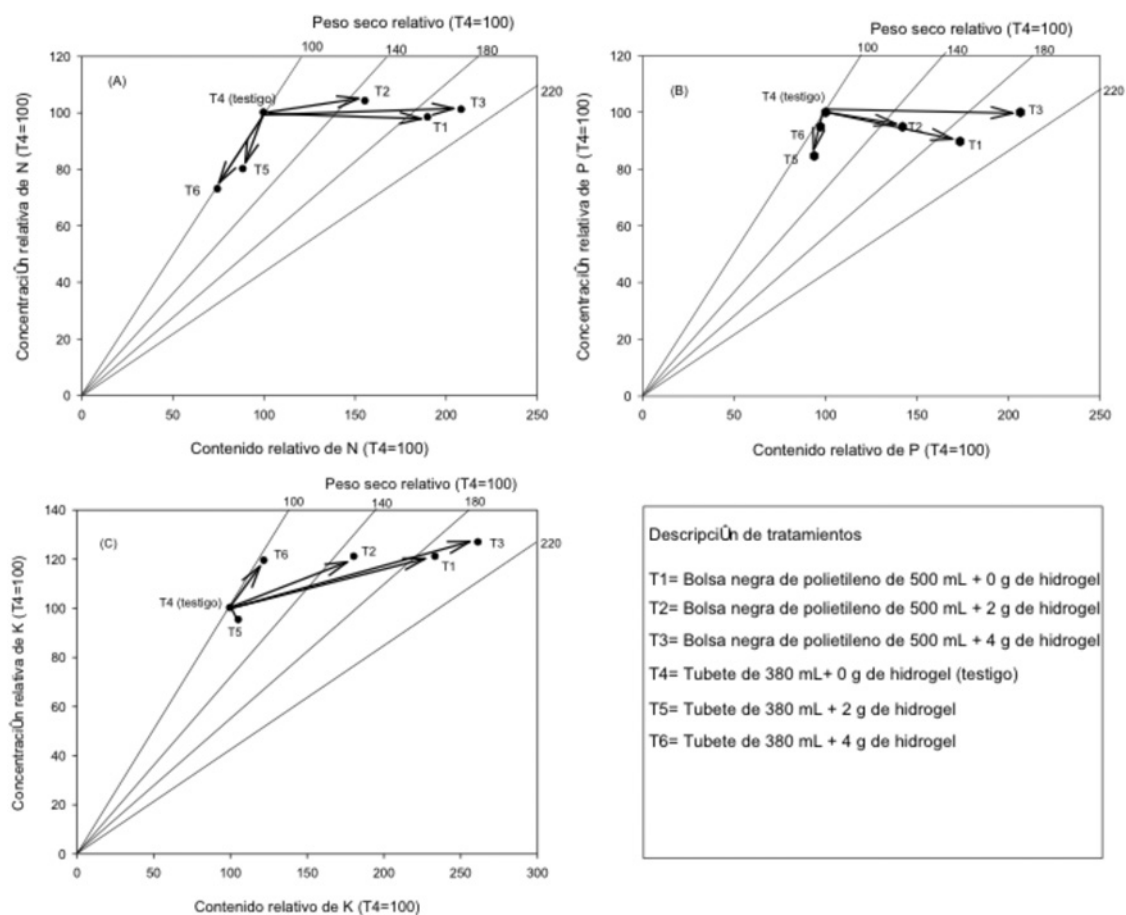


Figura 1. Nomogramas de vectores del estado nutrimental de nitrógeno (N), fósforo (P) y potasio (K) de plántulas de *Cedrela odorata* L. al final del periodo de producción en vivero.
 Figure 1. Vector nomograms of the nutritional condition of nitrogen (N), phosphorous (P) and potassium (K) of *Cedrela odorata* L. seedlings at the end of the production period at the nursery

Cuadro 4. Supervivencia estimada en campo, de plántulas de *Cedrela odorata* L. producidas en envases de diferente volumen y distintas dosis de hidrogel en vivero, de acuerdo con el método Kaplan-Meier.

Tratamiento	Meses transcurridos para presentarse una supervivencia menor que:			Supervivencia final (%)*
	75 %	50 %	25 %	
1	16	16	--	50.0a
2	16	16	16	05.0ab
3	16	16	16	15.0ab
4	1	16	16	00.0b
5	1	16	16	10.0b
6	1	2	16	10.0b
General	2	16	16	15.0

T1 = Bolsa negra de polietileno de 500 mL + sin hidrogel; T2 = Bolsa negra de polietileno de 500 mL+2 g de hidrogel; T3 = Bolsa negra de polietileno de 500 mL+4 g de hidrogel; T4 = Tubete de 380 mL+ sin hidrogel; T5 = Tubete de 380 mL+2 g de hidrogel; T6 = Tubete de 380 mL+4 g de hidrogel. *Letras diferentes indican diferencias estadísticas significativas mediante la prueba Log-Rank.

Table 4. Estimated field survival of *Cedrela odorata* L. seedlings produced in containers of different volume and different doses of hydrogel at the nursery, according to the Kaplan-Meier method.

Treatment	Elapsed months to have a survival under:			Final supervival (%)*
	75 %	50 %	25 %	
1	16	16	--	50.0a
2	16	16	16	05.0ab
3	16	16	16	15.0ab
4	1	16	16	00.0b
5	1	16	16	10.0b
6	1	2	16	10.0b
General	2	16	16	15.0

T1 = 500 mL black polyethylene bag + without hydrogel; T2 = 500 mL polyethylene black bag + 2 g of hydrogel; T3 = 500 mL polyethylene black bag + 4 g of hydrogel; T4 = 380 mL tube containers + without hydrogel; T5 = 380 mL tube containers + 2 g of hydrogel; T6 = 380 mL tube containers + 4 g of hydrogel. *Different letters indicate statistical differences through the Log-Rank test.

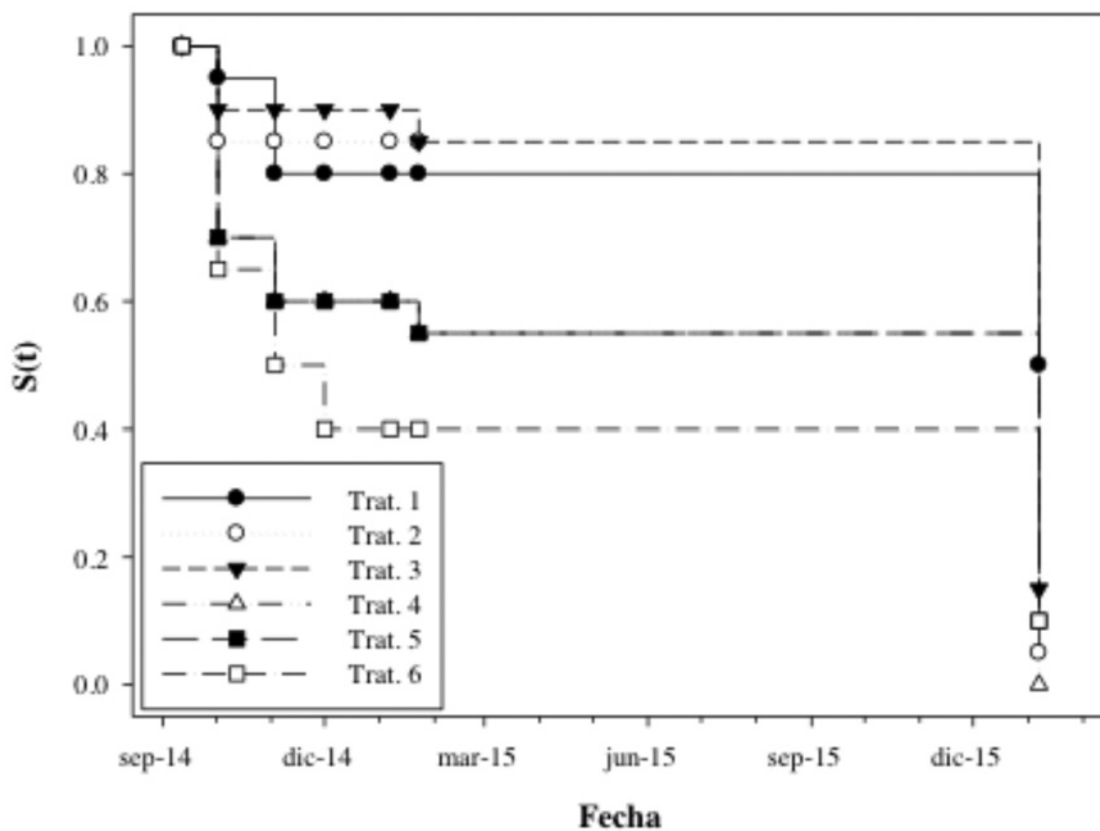


Figura 2. Función de supervivencia estimada $S(t)$ para los diferentes tratamientos de vivero evaluados en la plantación de *Cedrela odorata* L.

Figure 2. Estimated survival function $S(t)$ for the different nursery treatments evaluated at the *Cedrela odorata* L. plantation.

Durante el periodo de crecimiento evaluado en campo, se registraron tanto en altura, como en diámetro diferencias altamente significativas entre los tratamientos ($P \geq 0.0001$). En ambos casos, las plántulas del T1 tuvieron las tasas de crecimiento absoluto más elevadas. Al comparar los valores de dicho tratamiento contra los del T4 (testigo), en altura y diámetro las diferencias fueron 200 % y 86 % superiores, respectivamente (Figura 3 A y B).

During the growth period evaluated in the field, there were highly significant differences between treatments ($P \geq 0.0001$) both in height and in diameter. In both cases, T1 seedlings recorded the highest absolute growth rates. When comparing the values of this treatment against those of T4 (control) in height and diameter, differences were 200 % and 86 % higher, respectively (Figure 3A, B).

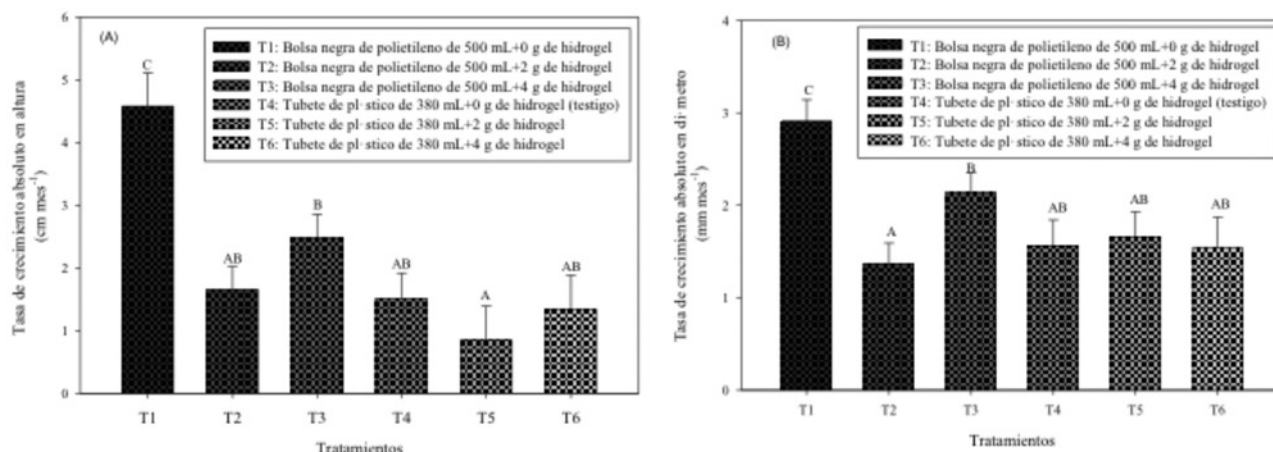


Figura 3. Crecimiento en campo (durante los primeros seis meses de plantación) en altura (A) y diámetro (B) de plántulas de *Cedrela odorata* L. producidas en envases de diferente volumen y distintas dosis de hidrogel en vivero.

Figure 3. Growth in field (during the first six months of planting) in height (A) and diameter (B) of *Cedrela odorata* L. seedlings produced in containers of different volume and doses of hydrogel at the nursery

Discusión

En vivero, la morfología y el estado nutricional de las plántulas de *C. odorata* se mejoran con el uso de envases de 500 mL y la adición de 4 g de hidrogel por litro de sustrato (Cuadro 2). Esta respuesta se atribuye a las condiciones generadas en el medio crecimiento, ya que ambos factores lo constituyen. El medio de crecimiento afecta positivamente el crecimiento de las plantas cuando les provee agua, nutrientes y oxígeno en niveles apropiados.

En ese contexto, la interacción entre el envase de 500 mL (bolsa de polietileno) y la dosis de 4 g de hidrogel (T3), sugiere una respuesta sinérgica positiva que favoreció, en primera instancia, el crecimiento radical. La formación de biomasa radical de las plántulas de dicho tratamiento fue 1.71 veces mayor que la de las plántulas del tratamiento testigo (Cuadro 2). A partir de ello, es probable, así como lo demuestra Orikiran *et al.* (2009) que cuando hubo un buen crecimiento radical, las plántulas del T3 presentaron una mayor capacidad de absorción de agua, nutrientes y oxígeno, favoreciéndoles tanto un buen crecimiento de sus demás estructuras (Cuadro 2), como un adecuado estado nutricional (Figura 1 A, B, C). Esta hipótesis es sustentada por estudios cuyo contexto es similar al del

Discussion

At the nursery, the morphology and nutritional status of *C. odorata* seedlings are improved with the use of 500 mL containers and the addition of 4 g of hydrogel per liter of substrate (Table 2). This response is attributed to the conditions generated in the growth medium, since both factors make it up. The growth medium positively affects plant growth when it provides water, nutrients and oxygen at appropriate levels.

In that context, the interaction between the 500 mL container (polyethylene bag) and the 4 g dose of hydrogel (T3), suggests a positive synergistic response that favored, in the first instance, the radical growth. The root biomass formation of the seedlings of this treatment was 1.71 times greater than that of the seedlings of the control treatment (Table 2). From this, it is likely, as shown by Orikiran *et al.*, that as they had a good root growth, the seedling of T3 showed a greater water absorption capacity as well as of nutrients and oxygen, which favors a good development of the rest of their structures (Table 2) and an adequate nutritional status (Figure 1 A, B, C). This hypothesis is supported by studies whose context is similar to that of this paper. For example, Annapurna *et al.* (2004), Ferraz and Engel (2011), Lisboa *et al.*, (2012) and Abreu *et al.* (2014) report

presente trabajo. Por ejemplo, Annapurna *et al.* (2004), Ferraz y Engel (2011), Lisboa *et al.*, (2012) y Abreu *et al.* (2014) registraron un mejor crecimiento y más formación de biomasa aérea y radical en plántulas de diversas especies forestales entre mayor sea el volumen del envase con el que se producen en vivero. Asimismo, la incorporación de hidrogel al sustrato muestra un efecto benéfico sobre el crecimiento y formación de biomasa de plántulas de otros taxa en estudios desarrollados por Orikiriza *et al.* (2009), Maldonado *et al.* (2011), Chirino *et al.* (2011), Bernardi *et al.* (2012) y Navroski *et al.* (2015).

Aunque en el crecimiento de las plantas hay efectos asociados con el tipo de envase (en relación con el tipo de material, forma, color, etcétera) como lo consignan Wightman *et al.* (2001) y Tauer y Cole (2009), las respuestas obtenidas en torno al volumen se atribuyen a que las plantas disponen de más espacio para crecer en biomasa radical, puesto que el envase es una barrera física que restringe el desarrollo de la raíz.

En cambio, los beneficios del hidrogel coinciden con la modificación de las propiedades físicas del sustrato, en especial, al incremento de la capacidad de retención de agua fácilmente disponible, condición que influye de forma positiva en el estado hídrico de las plantas, lo cual ha sido verificado por los ensayos de laboratorio y campo de Koupai *et al.* (2008) y Narjary *et al.* (2012).

En la investigación que aquí se documenta, ni los niveles de la cantidad de agua disponible en el sustrato ni el estado hídrico de las plántulas fueron medidos; no obstante, el supuesto de que las plántulas del T3 hayan registrado las mejores respuestas por el incremento en la capacidad de retención de agua, fácilmente, disponible por efecto de la adición de hidrogel (ya que disponían de más material por el volumen de la bolsa), se relaciona con el estado nutricional representado en los nomogramas de vectores (Figura 1 A, B, C). A diferencia de las plántulas de los otros tratamientos, cuyo estado nutricional fue variable (Cuadro 3, Figura 1 A, B, C), las plántulas del T3 presentaron un consumo de lujo en N, P y K, a pesar del hecho de que la tasa de adición de fertilizante fue igual para todos los tratamientos. De ahí se infiere que la eficiencia de este insumo se mejoró por la disponibilidad de agua, lo cual es coherente con las relaciones, bien conocidas, en las plantas entre agua y absorción de nutrientes (Jones, 2005).

Por otro lado, en campo, el volumen del envase y la adición de hidrogel afectan el desempeño de las plántulas, pero el efecto más directo sobre su calidad está asociado al primer factor. Durante los seis meses iniciales de plantación, los ejemplares de los tratamientos T1, T2 y T3 tuvieron una supervivencia mejor en comparación con los de los T4, T5 y T6; pero a los 17 meses, solo las del T1 mantuvieron ese comportamiento (Cuadro 4, Figura 2); lo anterior contrasta con lo esperado del T3, que al momento de la plantación, eran individuos

a better growth and greater formation of aerial and radical biomass in seedlings of different forest species, as the greater the volume of the container with which they are produced at the nursery. Also, the incorporation of hydrogel to the substrate shows a beneficial effect on the growth and biomass formation of seedlings of other species in works developed by Orikiriza *et al.* (2009), Maldonado *et al.* (2011), Chirino *et al.* (2011), Bernardi *et al.* (2012) and Navroski *et al.* (2015).

Although in plant growth there are effects associated with the type of packaging (in relation to the type of material, shape, color, etc.) as recorded in the works of Wightman *et al.* (2001) and Tauer and Cole (2009), the responses obtained by volume are attributed to the greater space available to plants to grow in radical biomass, since the packaging is a physical barrier that restricts growth

On the other hand, the benefits of the hydrogel coincide with the modification of the physical properties of the substrate, especially to the increase of the capacity of water retention readily available, a condition that influences in a positive way in the water state of the plants, which has been verified by the laboratory and field assays of Koupai *et al.* (2008) and Narjary *et al.* (2012).

In this study, neither the levels of the amount of water available in the substrate nor the water status of the seedlings were measured; however, the assumption that T3 seedlings have shown the best responses due to the increase in the water retention capacity readily available due to the addition of hydrogel (since they had more material by the volume of the bag), is related to the nutritional condition represented in the nomograms of vectors (Figure 1 A, B, C). Unlike the seedlings of the other treatments, whose nutritions varied (Table 3, Figure 1 A, B, C), the T3 seedlings presented a luxury consumption in N, P and K, despite the fact that the rate of fertilizer addition was the same for all treatments. It is inferred that the efficiency of this input was improved by the availability of water, which is consistent with well-known relationships in plants between water and nutrient absorption (Jones, 2005).

Conversely, in the field, the volume of the container and the addition of hydrogel affect the performance of the seedlings, but the most direct effect on its quality is associated with the first factor. During the initial six months of planting, the T1, T2 and T3 treatments recorded a better survival compared to T4, T5 and T6; but at 17 months, only T1 kept this behavior (Table 4, Figure 2) which is contrasting to what was expected of T3, which at the time of planting, were morphologically and nutritionally better individuals. However, in statistical or operational terms with which reforestation success is evaluated (Conafor, 2012), the *C. odorata* survival in the field was not favorable for the whole set of treatments, since there was an overall average mortality of 85 %.

mejores morfológica y nutrimentalmente. Sin embargo, en términos estadísticos u operativos con los que se evalúa el éxito de las reforestaciones (Conafor, 2012), la supervivencia en campo de *C. odorata* no fue favorable para todo el conjunto de tratamientos, pues la mortalidad general promedio fue de 85 %.

Mediante observaciones en campo, se identificó al mal drenaje del suelo (por su textura arcillosa, su capacidad de campo de 34.5 %, el punto de saturación de 64.4 %, la conductividad hidráulica de 0.80 cm h⁻¹ y densidad aparente de 1.18 g cm⁻³) y a la presencia de insectos fitófagos en el lugar, como los principales responsables de la mortalidad elevada. Ambas causas corresponden a los factores a los que *C. odorata* es vulnerable en esquema de plantación forestal (Calixto *et al.*, 2015). Aunque las dos condiciones afectaron a todas las plántulas, sus características determinaron la severidad del impacto de cada uno; al respecto, un efecto diferencial se evidenció entre grupos de tratamientos.

Las plántulas de los tratamientos que involucraron la bolsa de polietileno de 500 mL (T1, T2 y T3) murieron, principalmente, por ataques de saltamontes (*Caelíferos*) e *Hypsipyla grandella*, mientras que las desarrolladas en el tubete de 380 mL (T4, T5 y T6) en su mayoría colapsaron por anegamiento. La susceptibilidad a la herbivoría en las plantas del primer grupo de tratamientos se sustenta en la hipótesis de vigor de plantas de acuerdo con revisiones de Baraza *et al.* (2007). Su aspecto vigoroso y la calidad nutricional de sus tejidos, al parecer, propiciaron un foco de atracción para los insectos, como lo constataron Medinaceli *et al.* (2004) de forma experimental. Por otro lado, la pérdida de los ejemplares del segundo grupo se atribuye a las alteraciones creadas en el suelo por el encharcamiento y a la baja capacidad de las plántulas para tolerar el estrés debido a sus características morfológicas y fisiológicas inferiores (Pardos, 2004) (Cuadro 2).

Al contrario de las reacciones derivadas de la etapa de vivero y similar a la de supervivencia, los sobresalientes crecimientos absolutos en altura y diámetro no correspondieron a las plántulas con las mejores características de calidad (T3), sino a las del T1 (Figura 3). Sumado al efecto positivo del volumen del envase donde se produjeron, cuyas respuestas coinciden con las obtenidas en otros trabajos (Aphalo y Rikala, 2003; Prieto *et al.*, 2007), el crecimiento superior en campo de las plántulas del T1 se vincula con la falta de hidrogeles en su cepellón. Probablemente ante las condiciones de mal drenaje en el suelo del sitio de plantación, las plántulas retuvieron menor cantidad de agua en comparación con las que si disponían de hidrogel, lo que redujo los impactos del anegamiento descritos por Pardos (2004). Al estar menos afectadas por tal condición, la mejor disponibilidad de oxígeno y nutrientes (que no tuvieron las demás plántulas con crecimiento más reducido), les permitió un desempeño más destacado. La limitación ejercida por el hidrogel contrasta con los beneficios reconocidos, por lo general,

Field observations indicate that the soil was poorly drained (due to its clay texture, its field capacity of 34.5 %, saturation point of 64.4 %, water conductivity of 0.80 cm h⁻¹ and apparent density of 1.18 g cm⁻³) and the presence of phytophagous insects on the site, as the main reasons of high mortality. Both causes correspond to the factors to which *C. odorata* is vulnerable in a forest plantation scheme (Calixto *et al.*, 2015). Although the two conditions affected all seedlings, their characteristics determined the severity of the impact of each; in this regard, a differential effect was evidenced between treatment groups.

The seedlings of the treatments involving the 500 mL polyethylene bag (T1, T2 and T3) were killed mainly by attacks of grasshoppers and *Hypsipyla grandella*, whereas those developed in the 380 mL tube (T4, T5 and T6) died mostly by flooding. The susceptibility to herbivory in the plants of the first group of treatments, is based on the hypothesis of plant vigor according to reviews by Baraza *et al.* (2007). Its healthy look and the nutritional quality of its tissues, apparently favored a focus of insects, as Medinaceli *et al.* (2004) experimentally proved it. On the other hand, the loss of seedlings of the second group is attributed to the alterations created in the soil by flooding and the low capacity of the seedlings to tolerate stress due to their lower morphological and physiological characteristics (Pardos, 2004) (Table 2).

Contrary to the reactions derived from the nursery stage and similar to the survival response, the best absolute growths in height and diameter did not correspond to seedlings with the best quality characteristics (T3), but to those of T1 (Figure 3). In addition to the positive effect of the volume of the container where they were produced, whose responses coincide with those obtained in other studies (Aphalo and Rikala, 2003; Prieto *et al.*, 2007), the superior field growth of T1 seedlings is linked to lack of hydrogels in its root ball. Probably due to the poor drainage conditions in the soil of the plantation site, the seedlings retained less water compared to those with hydrogel, which reduced the waterlogging impacts described by Pardos (2004). Being less affected by this condition, the better availability of oxygen and nutrients (which did not have the other seedlings with the lowest growth), allowed them a more outstanding performance. The limitation exerted by the hydrogel contrasts with the generally recognized benefits of this material, which is consistent because the hydrogel effectiveness has been analyzed mostly in drought contexts (Chirino *et al.*, 2011, Orikiriza *et al.*, 2013).

These findings have practical implications for reforestation with *C. odorata*. Experimental evidence suggests avoiding the use of hydrogels in poor drainage soils, and instead producing plants in containers whose volume is sufficient to produce a vigorous and competitive plant with high rates of growth that enable them to rapidly evade vulnerability phases on the field;

de este material, lo cual es coherente porque la efectividad del hidrogel ha sido analizada mayoritariamente en contextos de sequía (Chirino *et al.*, 2011; Oriquiriza *et al.*, 2013).

Estos hallazgos tienen implicaciones prácticas para las reforestaciones con *C. odorata*. La evidencia experimental sugiere evitar el uso de hidrogel en suelos con drenaje pobre, y en su lugar, producir planta en envases cuyo volumen sea suficiente para que la planta resultante sea vigorosa y competitiva, con tasas elevadas de crecimiento que las facultan para evadir rápidamente las fases de vulnerabilidad en campo; no obstante, esta recomendación debe sujetarse a un análisis de costo-beneficio, como el efectuado por Puértolas *et al.* (2012).

Conclusiones

En vivero se verificó un efecto positivo sobre la calidad morfológica y estado nutricional de las plántulas de *C. odorata* entre mayor es el volumen del envase con el que se producen y con la adición de hidrogel al sustrato, en dosis de 4 g por litro. El volumen del envase y la adición de hidrogel afectaron el desempeño de las plántulas en campo, pero el efecto más directo sobre su calidad se asocia al primer factor. 🌱

Agradecimientos

Los autores expresan su total agradecimiento a Norberto Pérez Silva y Styv de Jesús Calva por el apoyo técnico en la recolección y beneficio del germoplasma. Asimismo, se agradece de manera especial al Instituto Tecnológico Superior de Venustiano Carranza por el apoyo brindado en sus instalaciones para realizar este trabajo.

Conflicto de intereses

Los autores declaran no tener conflicto de intereses.

Contribución por autor

Erickson Basave Villalobos: diseño y planteamiento general del experimento; estructuración y redacción del artículo; Lucía Concepción García Castillo: establecimiento, mantenimiento y conducción del experimento en vivero; Aurelio Castro Ríos: establecimiento, mantenimiento y conducción del experimento en campo; Celi Gloria Calixto Valencia: toma de datos, coordinación y supervisión del experimento en vivero y campo; José Ángel Sigala Rodríguez: procedimiento y análisis estadístico de datos; José Luis García Pérez: análisis estadístico de datos y revisión del manuscrito.

Referencias

Abreu, A. H. M., P. S. S. Leles, L. A. Melo, D. H. A. A. Ferreira and F. A. S. Monteiro. 2014. Produção de mudas e crescimento inicial em campo de *Enterolobium contortisiliquum* produzidas em diferentes recipientes. *Floresta* 45:141-150. DOI: 10.5380/rf.v45i1.28931.

Annapurna, D., T. S. Rathore and G. Joshi. 2004. Effect of container type and size on the growth and quality of seedlings of Indian sandalwood (*Santalum album* L.). *Australian Forestry* 67:82-87. DOI: 10.1080/00049158.2004.10676211.

however, this recommendation should be subject to a cost-benefit analysis, such as that carried out by Puértolas *et al.* (2012).

Conclusions

There was a positive effect on the morphological quality and nutritional status of *C. odorata* seedlings at the nursery, the greater the volume of the container with which they are produced and the addition of hydrogel to the substrate, in doses of 4 g per liter. The volume of the container and the addition of hydrogel affected the performance of the seedlings in the field, but the most direct effect on their quality is associated with the first factor. 🌱

Acknowledgements

The authors express their total gratitude to Norberto Pérez Silva and Styv de Jesús Calva for the technical support in the collection and benefit of germplasm. Likewise, special thanks to the *Instituto Tecnológico Superior de Venustiano Carranza* for the support provided in its facilities to carry out this work.

Conflict of interests

The authors declare no conflict of interest.

Contribution by author

Erickson Basave Villalobos: design and general approach of the experiment; structuring and writing of the article; Lucía Concepción García Castillo: establishment, maintenance and conduction of the nursery experiment; Aurelio Castro Ríos: establishment, maintenance and conduction of the experiment in the field; Celi Gloria Calixto Valencia: data collection, coordination and supervision of the experiment at the nursery and the field; José Ángel Sigala Rodríguez: procedure and statistical analysis of data; José Luis García Pérez: statistical analysis of data and revision of the manuscript.

End of the English version



Aphalo P. and R. Rikala. 2003. Field performance of silver-birch planting-stock grown at different spacing and in containers of different volume. *New Forests* 25:93-108.

Baraza, E., R. Zamora, J. A. Hódar, J. M. Gómez. 2007. Plant-herbivore interaction: beyond a binary vision. *Functional plant ecology*. CRC Press. Boca Raton, FL, USA, pp. 482-499.

Basave V., E., V. M. Cetina A., M. A. López L., A. Aldrete and D. H. Del Valle Paniagua. 2015. Nursery practices increase seedling performance on nutrient-poor soils in *Swietenia humilis*. *Forest - Biogeosciences and Forestry* 8:552-557. DOI: 10.3832/for1179-007.

- Bernardi, M. R., M. Sperotto J., O. Daniel e A. C. T. Vitorino. 2012. Crescimento de mudas de *Corymbia citriodora* em função do uso de hidrogel e adubação. CERNE 18:67-74.
- Calixto, C. G., M. A. López L., A. Equihua, D. E. Lira G. y V. M. Cetina A. 2015. Crecimiento de *Cedrela odorata* e incidencia de *Hypsipyla grandella* en respuesta al manejo nutricional. Bosque (Valdivia) 36:265-273. DOI: 10.4067/s0717-92002015000200012.
- Chirino, E., A. Vilagrosa and V. R. Vallejo. 2011. Using hydrogel and clay to improve the water status of seedlings for dryland restoration. Plant and Soil 344:99-110. DOI: 10.1007/s11104-011-0730-1.
- Comisión Nacional Forestal (Conafor). 2012. Evaluación complementaria del PROCOREF ejercicio fiscal 2011. Comisión Nacional Forestal, Zapopan, Jal., México. 325 p.
- Ferraz, A. d. V. e V. L. Engel. 2011. Efeito do tamanho de tubetes na qualidade de mudas de jatobá (*Hymenaea courbaril* L. var. *stilbocarpa* (Hayne) Lee et Lang.), IPÊ-Amarelo (*Tabebuia chrysostricha* (Mart. ex DC.) Sandl.) e guarucaia (*Parapiptadenia rigida* (Benth.) Brenan). Revista Árvore 35:413-423.
- Haase, D. L. and R. Rose. 1995. Vector analysis and its use for interpreting plant nutrient shifts in response to silvicultural treatments. Forest Science 41:54-66.
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía. México (Inegi). 2009. Prontuario de información geográfica municipal de los Estados Unidos Mexicanos. Venustiano Carranza, Puebla. Clave geoestadística 21194, México D. F., México. s/p
- Jacobs, D. F. and K. M. Wilkinson. 2009. Planning crops and developing propagation protocols. Nursery manual for native plants: a guide for tribal nurseries. Department of Agriculture, Forest Service. Washington, DC, USA. pp. 33-53.
- Jones, J. B. 2005. The plant root: its roles and functions, hydroponics: a practical guide for the soilless grower. CRC Press. Boca Raton, FL, USA. pp. 19-28.
- Johnson, J. D. and M. L. Cline. 1991. Seedling quality of Southern Pines. Forest Regeneration Manual. Kluwer Academic Publishers. The Netherlands. pp. 143-159.
- Koupai, J. A., S.S. Eslamian and J. A. Kazemi. 2008. Enhancing the available water content in unsaturated soil zone using hydrogel to improve plant growth indices. Ecohydrology & Hydrobiology 8:67-75. DOI: <http://dx.doi.org/10.2478/v10104-009-0005-0>.
- Lisboa, A. C., P. S. d. Santos, S. N. d. Oliveira Neto, D. N.d. Castro e A. H. M. d. Abreu. 2012. Efeito do volume de tubetes na produção de mudas de *Calophyllum brasiliense* e *Toona ciliata*. Revista Árvore 36:603-609.
- López L, M. Á. y J. Alvarado L. 2010. Interpretación de nomogramas de análisis de vectores para diagnóstico nutricional de especies forestales. Madera y Bosques 16:99-108.
- Maldonado B., K. R., A. Aldrete, J. López U., H. Vaquera H. y V. M. Cetina A. 2011. Producción de *Pinus greggii* Engelm. en mezclas de sustrato con hidrogel y riego en vivero. Agrociencia 45:389-398.
- Medinaceli, A., N. P. Flores S., F. Miranda A. y E. Gutiérrez C. 2004. Herbivoría en relación al tamaño de la planta y a las diferencias de exposición de *Pilea* sp. (Urticaceae) en la Estación Biológica Tuniquini, Cotapata, La Paz Bolivia. Ecología en Bolivia 39:4-8.
- Mesén, S. F. 2006. Prácticas de recolección, manejo y uso de germoplasma de especies forestales nativas en América Central y Sur de México. CATIE. Turrialba, Costa Rica. 62 p.
- Narjary, B., P. Aggarwal, A. Singh, D. Chakraborty and R. Singh. 2012. Water availability in different soils in relation to hydrogel application. Geoderma 187-188:94-101. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.geoderma.2012.03.002>.
- Navroski, M. C., M. M. Araujo, C. S. Fior, F. d. S. Cunha, Á. L. P. Berghetti e M. d. O. Pereira. 2015. Uso de hidrogel possibilita redução da irrigação e melhora o crescimento inicial de mudas de *Eucalyptus dunii* Maiden. Scientia Forestalis 43:467-476.
- Orikiriza, L. J. B., H. Agaba, M. Tweheyo, G. Eilu, J. D. Kabasa and A. Hüttermann. 2009. Amending soils with hydrogels increases the biomass of nine tree species under non-water stress conditions. CLEAN-Soil, Air, Water 37:615-620. DOI: 10.1002/clen.200900128.
- Orikiriza, L. J. B., H. Agaba, G. Eilu, J. D. Kabasa, M. Worbes and A. Hüttermann. 2013. Effects of hydrogels on tree seedling performance in temperate soils before and after water stress. Journal of Environmental Protection 04:713-721. DOI: 10.4236/jep.2013.47082.
- Pardos, J. A. 2004. Respuestas de las plantas al anegamiento del suelo. Investigación Agraria: Sistemas y Recursos Forestales (Fuera de serie):101-107.
- Prieto R., J. Á., P. A. D Calleros, E. H. C. Oviedo 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 13:79-97.
- Puértolas, J., D. F. Jacobs, L. F. Benito and J. L. Peñuelas. 2012. Cost-benefit analysis of different container capacities and fertilization regimes in *Pinus* stock-type production for forest restoration in dry Mediterranean areas. Ecological Engineering 44:210-215. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.ecoleng.2012.04.005>.
- Ramírez G., C., G. Vera C., F. Carrillo A. y O. S. Magaña T. 2008. El cedro rojo (*Cedrela odorata* L.) como alternativa de reconversión en terrenos abandonados por la agricultura comercial en el sur de Tamaulipas. Agricultura Técnica en México 34:243-250.
- Rodríguez T., D. A. 2008. Indicadores de calidad de planta forestal. Mundi-Prensa, México, D. F., México. 156 p.
- Statistical Analysis System (SAS). 2009. SAS Version 9.2. SAS Institute Inc. Cary, NC, USA. s/p
- Tauer, P. K. and J. C. Cole. 2009. Effect of fabric and plastic containers on plant growth and root zone temperatures of four tree species. Journal of Environmental Horticulture 27:145-148.
- Wightman, K. E., T. Shear, B. Goldfarb and J. Hagggar. 2001. Nursery and field establishment techniques to improve seedling growth of three Costa Rican hardwoods. New Forests 22:75-96.

