

NOTA TÉCNICA

Calidad de planta y comportamiento morfológico de *Cedrela fissilis* Vell. en respuesta a distintos sistemas de producción y sustratos en vivero

Plant quality and morphological behavior of Cedrela fissilis Vell. in response to different production systems and nursery substrates

Luna, C. V.^{1,2} y M. L. Fontana^{1,3}

Recibido en mayo de 2019; aceptado en junio de 2020

RESUMEN

Cedrela fissilis Vell. es una especie autóctona de la Selva Misionera, incluida actualmente en la categoría en peligro de la Lista Roja de especies amenazadas y en el actual marco legal forestal argentino surgió como alternativa para la práctica de enriquecimiento de bosques nativos a modo de medida de recuperación. El objetivo del trabajo fue generar información acerca de la calidad de planta y comportamiento morfológico de *C. fissilis* en respuesta a distintos sistemas de producción y sustratos en vivero. Se evaluó dos sistemas de producción: siembra directa y repique en contenedores; y tres sustratos: arena, corteza de pino compostada y vermiculita. Se midió a los 80 días posteriores a la siembra, el comportamiento morfológico a través de diámetro a la altura de cuello, altura total, longitud de raíz y su relación; además la calidad de planta mediante biomasa seca de tallo y raíz, sus relaciones; proporción de raíz y de parte aérea, tasa de crecimiento absoluto, coeficiente de esbeltez, índice de calidad de Dickson y porcentaje de mortandad. Entre los tratamientos evaluados la vermiculita como sustrato ha favorecido la altura total de planta, longitud radical, diámetro a la altura de cuello, menor porcentaje de mortandad, peso seco de la parte aérea, radical y total; tasa de crecimiento absoluto, coeficiente de esbeltez e índice de calidad de Dickson; mientras que analizando el sistema de producción en su mayoría los mismos parámetros mencionados anteriormente se vieron favorecidos por la siembra directa en contenedores.

Palabras clave: calidad, viverización, cedro misionero.

ABSTRACT

Cedrela fissilis Vell. is a native species of the Missionary Forest, currently included in the endangered category of the Red List of threatened species and in the current Argentine forest legal framework emerged as an alternative to the practice of enrichment of native forests as a measure of recovery. The objective of the work was to generate information about the plant quality and morphological behavior of *C. fissilis* in response to different production systems and substrates in the nursery. Two production systems were evaluated: direct sowing and ringing in containers; and three substrates: sand, composted pine bark and vermiculite. The morphological behavior through diameter at neck height, total height, root length and their ratio was measured at 80 days after sowing; In addition, the quality of the plant through dried stem and root biomass, its relationships; proportion of root and aerial part, absolute growth rate, slenderness coefficient, Dickson quality index and death rate. Among the treatments evaluated, vermiculite as a substrate has favored total plant height, radical length, neck height diameter, lower mortality rate, dry weight of the aerial, radical and total part; absolute growth rate, slenderness coefficient and Dickson quality index; while analyzing the production system mostly the same parameters mentioned above were favored by direct sowing in containers.

Keywords: quality, nursery, missionary cedar.

¹ Cátedra de Silvicultura, Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Nacional del Nordeste. Sargento Cabral 2131, (W3402BKG) Corrientes, Argentina. Orcid.org/0000-0001-7895-3993; E-mail: cluna@agr.unne.edu.ar

² CONICET, Instituto de Botánica del Nordeste (IBONE) - CONICET. Sargento Cabral 2131, (W3402BKG), Corrientes, Argentina.

³ Estación Experimental Agropecuaria Corrientes, Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria, Ruta Nacional 12 Km. 1008, El Sombrero, Corrientes, Argentina.

1. INTRODUCCIÓN

Cedrela fissilis (Vellozo) es una especie leñosa autóctona característica del Bosque Atlántico. Se encuentra desde Costa Rica hasta Argentina (INBio, 2004). Debido a su importancia económica, especialmente para la producción de madera, ha sido explotada comercialmente (García *et al.*, 2011) lo que ha producido una erosión genética de esta especie en sus poblaciones naturales (CITES, 2007) y actualmente está incluida en la categoría en peligro de la Lista Roja de especies amenazadas (IUCN, 2017). Tortorelli (1956) ha informado problemas de conservación debido al proceso de explotación irracional que ha sufrido; proponiendo además que, al ser una especie preferida para reforestación, se debía generar información al respecto como medida de conservación para reforzar planes forestales.

La Selva Misionera, bosque nativo de la Argentina donde se encuentra esta especie, es uno de los principales focos de deforestación (MAyDS, 2016; Luna, 2018); por ello la forestación y la reforestación tienen mucha relevancia en este contexto. De los Talleres Regionales realizados en el marco de la Ley N° 26.331 de “Presupuestos Mínimos de Protección Ambiental de los Bosques Nativos”; *C. fissilis* surgió como una alternativa viable para la práctica de enriquecimiento de bosques nativos para la región en cuestión (MAGyP, 2013).

Mediante prácticas de reforestación y/o enriquecimiento de bosques nativos se procura recuperar los bosques, ya que son de público conocimiento los diversos roles que desempeñan: contribuyen al desarrollo sostenible; mejoran la calidad de vida en el área rural mediante provisión de madera, cortinas rompevientos, combustible, etc.; conservan la biodiversidad del lugar; y además de dar otros servicios medioambientales como disminuir la erosión y lavado de nutrientes, mejorando las condiciones microclimáticas y proveyendo hábitat y protección a la vida silvestre (Silver *et al.*, 2000; Bailis, 2006). El enriquecimiento sería la opción para la recuperación de bosques muy degradados con poco potencial de regeneración natural de las especies deseables. Evidencias previas tales como las documentadas para la Provincia de Misiones demuestran que luego del ordenamiento territorial de los bosques nativos predomina la fragmentación, la degradación y un bajo potencial en los bosques primarios para su regeneración natural, básicamente debido a la historia de uso de los bosques nativos de la provincia (Vera *et al.*, 2018).

Al producir plantines forestales a escala industrial, uno de los principales problemas es el disponer del sustrato adecuado en suficiente cantidad. Sustratos potenciales incluyen materiales orgánicos tales como corteza, aserrín y viruta de madera, compost de diversos orígenes, fibra de coco, subproductos agroindustriales, turba y musgos deshidratados. Muchos viveros de producción se encuentran adyacentes a pueblos y ciudades, lo que brinda la oportunidad de interactuar con los distintos procesos urbanos, pudiendo promover o generar la utilización de los residuos orgánicos como materia prima (Varela *et al.*, 2013).

Si bien *C. fissilis* produce muchas semillas aladas que son diseminadas por el viento, en condiciones naturales del bosque tiene una regeneración muy baja (IBIF, 2007). La escasez de estudios sobre su crecimiento, con el fin maximizar productividad y calidad de las mudas en vivero, son aspectos que incentivan el desarrollo del presente trabajo, cuyo objetivo es generar información acerca del comportamiento de *C. fissilis* bajo distintos sistemas de producción y diferentes sustratos durante la viverización.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

Material vegetal: Se recolectaron frutos de *C. fissilis* durante el mes de diciembre de 2017 a partir de ejemplares que crecen en la Reserva de Uso Múltiple de la Facultad de Ciencias Forestales de la Universidad Nacional de Misiones (26° 54' 59" S y 54° 12' 18" W), ubicada en el Departamento Guaraní (Misiones), los que fueron conservados en bolsas plásticas y en heladera a 4 °C. Las experiencias fueron llevadas a cabo en la Cátedra de Silvicultura de la Facultad de Ciencias Agrarias-UNNE, Corrientes.

2.1 Conducción en vivero

Al momento de la siembra se manejaron dos sistemas de producción: siembra en almácigo de madera de 30 cm x 40 cm x 7 cm por 30 días y posterior repique o trasplante (R) de las plantas a contenedores troncocónicos monoblock con igual sustrato hasta completar los 80 días (Fig. 1a y 2) y siembra directa (SD) en contenedores troncocónicos monoblock de 12 cm de altura y 125 cm³ de capacidad por 80 días (Fig. 1b). Se seleccionó este tiempo de producción como tiempo promedio para el sistema de siembra directa en contenedores, luego de una revisión bibliográfica acerca de viverización de la especie. En ambos casos se ensayaron tres sustratos: arena (A), vermiculita (V) y corteza de pino compostada (CPC). Cabe aclarar que en el caso del tratamiento de las plantas repicadas a envases se respetó el sustrato del almácigo del que provenía cada planta.

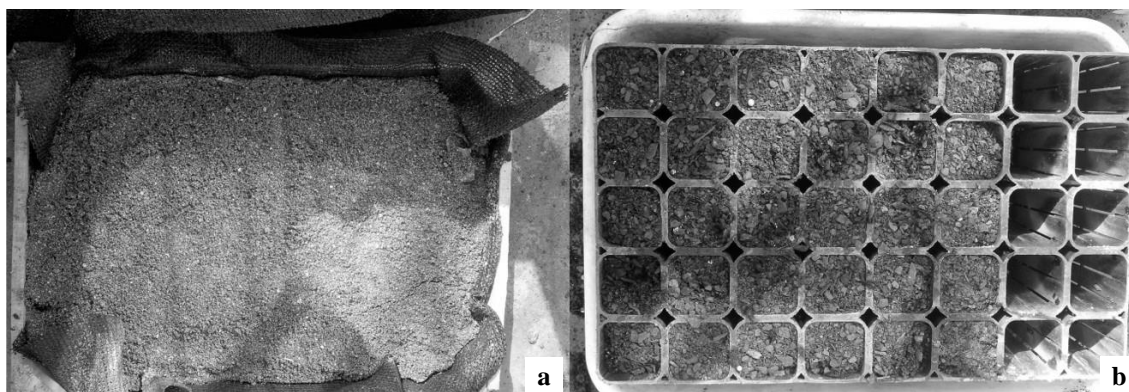


Figura 1. Sistemas de producción utilizados en la viverización de *C. fissilis*. **a)** siembra en almácigo de madera; y **b)** siembra directa (SD) en contenedores troncocónicos.

Además, al momento de la siembra, se aplicaron 0,6 g/celda de fertilizante Osmocote® (N:P:K 18:5:9, 180 días de liberación). El cultivo se efectuó en condiciones de invernáculo provisto de termómetro y psicrómetro para el registro de humedad relativa. La radiación PAR dentro del mismo se registró a las 12 hs durante todo el ensayo y mediante un sensor cuántico LI-190R; se registraron valores de 1600 a 1800 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$. El riego fue manual con uso de regadera y se determinó la necesidad mediante lecturas de tensiómetro IRROMETER - Modelo R, tomando como referencia los valores de 30 a 60 Cb para realizarlo. La calidad de agua empleada se corresponde a C2S1 según las normas Riverside (Richards, 1980). Las bandejas se mantuvieron en mesas de cultivo elevadas con fondo de rejilla para facilitar la poda aérea de raíces.

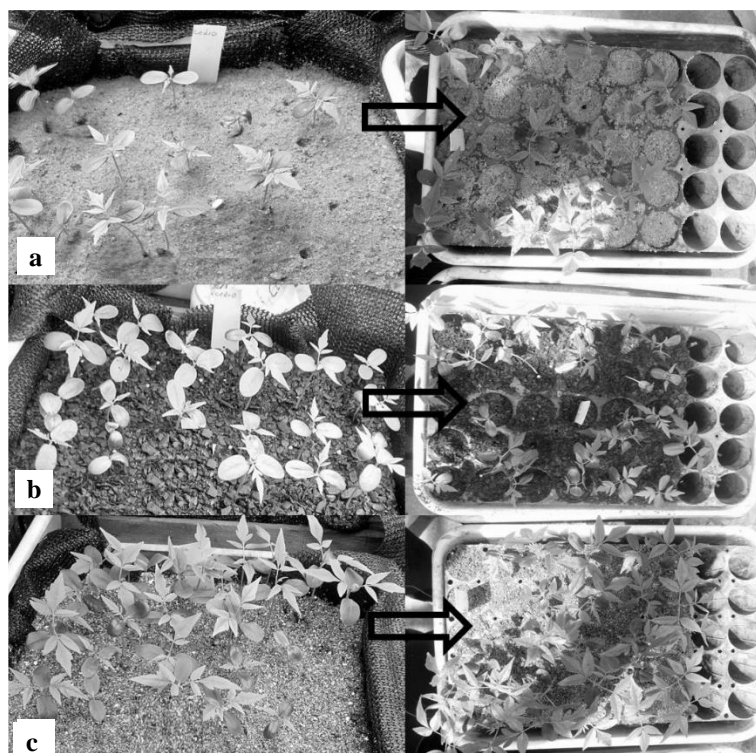


Figura 2. Producción de *C. fissilis* en siembra en almacigo de madera y posterior repique o trasplante (R) de las plantas a contenedores monoblock con sus respectivos sustratos. **a)** arena; **b)** corteza de pino compostada y **c)** vermiculita.

2.2 Medición de variables morfológicas

A los 80 días posteriores a la siembra, se registraron las siguientes variables:

Comportamiento morfológico:

Altura total (AT), longitud radical (LR) en cm y diámetro altura del cuello (DAC) en mm.

Relación altura del tallo/longitud de la raíz principal (AT:LR): se calculó con las medidas promedio tanto de la longitud del tallo como la longitud de la raíz principal. Para el cálculo de la constante se utilizó la ecuación 1 (Dalmasso *et al.*, 1994; Prieto-Ruiz *et al.*, 2003):

$$\text{AT:LR} = \frac{\text{Longitud del tallo (cm)}}{\text{longitud de la raíz (cm)}} \quad [\text{Ec.1}]$$

Calidad de planta:

Relación PSR/PSA: Se calculó como el cociente entre el peso seco de la raíz (PSR) y el peso seco del tallo (PSA) en g (Di Benedetto y Tognetti, 2016).

Relación PSA/PSR: es la inversa de la anterior; en g, es empleada en ciertas ocasiones (Di Benedetto y Tognetti, 2016). Dado que en general los contenidos de materia seca de las raíces suelen ser mucho menores que los de la parte aérea (González *et al.*, 2009), un cambio en la partición del carbono hacia la raíz generalmente determina un cambio mucho mayor en la proporción de los órganos aéreos (Di Benedetto y Tognetti, 2016).

Proporción de raíz [PR] representa la relación entre la biomasa del sistema radical y la biomasa total de la planta; se expresa en g (raíz) g⁻¹ (planta) (Di Benedetto y Tognetti, 2016).

Proporción de parte aérea [PPA], cuantifica la relación entre la biomasa de la parte aérea y la biomasa total de la planta; se expresa en g (parte aérea) g⁻¹ (planta) (Di Benedetto y Tognetti, 2016).

Tasa de crecimiento absoluto [TCA], g día⁻¹ de una planta u órgano para cualquier instante de tiempo (t); TCA se define como el incremento de masa seca de material vegetal (dW) por unidad de tiempo (Di Benedetto y Tognetti, 2016). Se calculó mediante la ecuación 2:

$$\text{TCA: } dW/dt \quad [\text{Ec. 2}]$$

Coefficiente de esbeltez (CE) (Oliveira, 1988) es la relación entre la altura de la planta (cm) y su diámetro (mm), siendo un indicador de la densidad de cultivo. Se calculó mediante la ecuación 3:

$$\text{CE} = \frac{H \text{ (cm)}}{\text{DAC (mm)}} \quad [\text{Ec.3}]$$

Índice de calidad de Dickson (ICD): este índice integra a los dos anteriores y se calcula mediante la relación entre el peso seco total de la planta (g) y la suma de CE y la relación parte aérea/parte radical (Dickson *et al.*, 1960). Se calculó mediante la ecuación 4.

$$\text{ICD} = \frac{\text{Peso seco total de la planta (PST)(g)}}{\text{CE+PSA/PSR}} \quad [\text{Ec. 4}]$$

Los índices anteriormente descritos se calcularon a partir del registro de biomasa seca de tallo (PSA), raíz (PSR), total (PST); su relación biomasa seca tallo y raíz (PSA/PSR) y su relación biomasa seca raíz y tallo (PSR/PSA), para lo cual la biomasa fresca se colocó en bolsas de papel etiquetadas en una estufa (BIOELEC, modelo 2, Buenos Aires, Argentina) a 62 °C durante 72 h. Después cada elemento fue pesado en una balanza analítica (WANT, modelo FA2004H, Jiangsu, China) ($\pm 0,01$ g).

Se evaluó además mortandad (%) con la ecuación 5:

$$\frac{N_f - N_i}{N_i} \times 100 \quad [\text{Ec. 5}]$$

Donde N_i es densidad inicial de plantas y N_f densidad al finalizar el ensayo.

2.3 Análisis estadístico

El ensayo siguió un diseño en bloques al azar con tres tratamientos (30 plantas/tratamiento) y tres repeticiones. Los datos fueron analizados estadísticamente con el software Infostat versión 2011 (Di Rienzo *et al.*, 2011). Para todos los resultados se realizó un análisis de la varianza (ANOVA) y las medias fueron comparadas mediante el Test de Tukey (P < 0,05).

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El análisis de varianza obtenido es altamente significativo para la variable altura total de planta utilizando como sustrato V independientemente del sistema de producción con valores de 15,93 \pm 0,1 SD (Fig. 3) y 15,13 \pm 0,6 R (Fig. 4) (Tabla 1).



Figura 3. Plántulas de *C. fissilis* producidas mediante siembra directa (SD) en contenedores. **a)** arena; **b)** corteza de pino compostada y **c)** vermiculita. La barra indica 1 cm.



Figura 4. Plántulas de *C. fissilis* producidas en almácigo y posterior transplante (R) a contenedores. **a)** arena; **b)** corteza de pino compostada y **c)** vermiculita. La barra indica 1 cm.

Existen antecedentes para la especie en estudio referidas a la producción de plantas por siembra directa en contenedores; Schamne *et al.* (2008) con 64 días de cultivo en corteza de pino compostada registraron alturas promedio de 18,6 cm; Linzmeier (2011) reporta con 210 días de cultivo en vivero alturas de 28 cm; mientras que Del Castillo *et al.* (2005) informan para especies de Cedrela, con repique mediante, alturas de entre 16,5 cm y 22 cm a los 10 meses de cultivadas. Eibl y González (2015) sostienen que el tiempo de viverización para *C. fissilis* es de 3 a 6 meses dependiendo el sistema de producción, lográndose alturas de 35 a 60 cm, con corteza de pino compostada y fertilizante de liberación lenta. Si bien los registros de altura total de la presente

experiencia son menores a los reportados por Schamne *et al.* (2008), se encuentran en un rango razonable para las demás referencias, considerando un período de viverización de 80 días.

Thompson (1985) mantiene que la altura inicial de las plantas no se correlaciona, o lo hace de forma negativa, con la supervivencia, aunque para Quiroz *et al.* (2009) sí se correlaciona con el desempeño en altura tras la plantación; por ello los resultados preliminares obtenidos se deberían complementar con el seguimiento a campo.

Longitud radical no mostró diferencias significativas entre tratamientos, a excepción de aquella que contenía como sustrato V en el sistema SD que fue el mayor valor ($12,70 \pm 2,53$), Gonzáles (1995) sostiene que una mayor longitud de raíces garantizaría mejor desempeño a campo, ya que cuanto mayor sea el sistema radical de la planta, mayor cantidad de puntos activos de crecimiento se tendrán y habrá una mayor exploración del suelo para absorber nutrientes. La posibilidad de lograr en vivero plantas con sistemas radicales más exuberantes y mejor desarrollados, se relaciona estrechamente con su capacidad absorbente, lo que las hace más idóneas para una mejor supervivencia en el lugar definitivo de plantación (Oliet, 2000).

La relación altura del tallo/longitud de la raíz principal (AT:LR) no presentó diferencias significativas entre tratamientos. Esta relación predice el éxito de la plantación; siendo una de 1:1 la más favorable para altas tasas de supervivencia en los sitios de plantación sin limitantes ambientales; para sitios con problemas de humedad se sugiere utilizar brinzales con relaciones de 0,5:1 a 1:1; mientras que en sitios sin esta situación las relaciones pueden ser de 1,5:1 a 2,5:1. Se recomienda que los viveristas y plantadores establezcan la relación deseada en función de las especies y características del sitio de plantación (Prieto-Ruiz *et al.*, 2003). Los resultados obtenidos en esta experiencia sugieren que las plantas se adaptarían mejor a sitios sin limitantes de humedad por la relación arrojada. Sobre esta relación entre vástagos y raíces, Kramer (1987) señala que dependen ambos en varios aspectos y si el crecimiento de uno se encuentra muy modificado, lo probable es que al otro le suceda lo mismo, puesto que el crecimiento de la raíz depende de un abastecimiento de carbohidratos proporcionado por los vástagos, factores tales como la sombra y la reducción de la superficie de las hojas también reducen el crecimiento de la raíz.

Tomando en cuenta la variable anteriormente analizada (AT:LR), la mejor calidad de planta se obtiene cuando la parte aérea es relativamente grande y la raíz mediana, lo que puede garantizar una mayor supervivencia ya que evita que la absorción exceda a la capacidad de transpiración (Mateo-Sánchez *et al.*, 2011) por lo que una relación menor o igual a 2 sería la deseada para una planta de buena calidad (Sáenz Reyes *et al.*, 2014) y los plantines obtenidos en esta experiencia se ubicarían en esa categoría. La clasificación de calidad de planta se realiza con base en parámetros morfológicos mensurables y fisiológicos; entre los primeros se incluye la altura, el diámetro a la altura del cuello, tamaño, forma y volumen del sistema radical, así como la relación altura/diámetro del cuello, la relación tallo/raíz, entre otros. En los atributos fisiológicos se consideran: resistencia al frío, yema principal activa y en crecimiento, potencial hídrico, contenido nutricional, tolerancia a sequía, fotosíntesis, micorrización y capacidad o potencial radical (Prieto-Ruiz *et al.*, 2003, 2009). El análisis integral de estos factores puede asegurar una mayor probabilidad de sobrevivir y desarrollarse a partir de su establecimiento en el lugar definitivo (Mas, 2003).

El mayor diámetro a la altura de cuello (DAC) ($3,45 \pm 0,51$ mm) se alcanzó cuando se utilizó el sustrato V en el sistema R presentando diferencias altamente significativas con respecto los demás tratamientos (Tabla 1). Schamne *et al.* (2008) produjeron plantas de *C. fissilis* en 64 días mediante siembra directa en tubetes o contenedores con un DAC promedio de 2,27 mm; Linzmeier (2011), en 210 días de cultivo registraron DAC entre 6,58 mm y 7,72 mm. Los valores obtenidos en el presente ensayo son superiores al primer reporte en el sistema SD, mientras que en el sistema R con el sustrato vermiculita se registraron valores superiores; y considerando que la toma de datos se realizó a aproximadamente el 40 % del tiempo del segundo reporte, se puede inferir que superaría el valor máximo informado (Tabla 1). El DAC es uno de los parámetros morfológicos con superior predicción individual del crecimiento, como así también de la supervivencia en lugar

definitivo de plantación, ya que es predictor de la capacidad de transferir agua hacia la parte aérea, de su resistencia mecánica (Sáenz *et al.*, 2010), y de la capacidad relativa de tolerar estrés por altas temperaturas (Birchler *et al.*, 1998; Prieto-Ruiz *et al.*, 2003; Quiroz *et al.*, 2009). El menor porcentaje de mortandad lo presentó el sustrato V en el sistema SD ($13 \pm 0,15$) siendo éste diferente significativamente con los demás.

En cuanto al porcentaje de mortandad de las plantas, el valor promedio fue mayor en ambos sistemas de producción con CPC, donde los valores fueron del $67 \pm 0,06$ en repique y $70 \pm 0,10$ en siembra directa (Tabla 1); mientras que los menores valores se registraron con el sustrato V, siendo de $13 \pm 0,15$ en SD y $30 \pm 0,22$ en R, con diferencias estadísticamente significativas (Tabla 1) (Fig. 5). Schamne *et al.* (2008) ha reportado cifras menores a las registradas en este ensayo (7,8 %), bajo condiciones similares de tiempo y sustratos; lo que puede sugerir que la mortandad existente se debió específicamente a factores externos, provocados posiblemente por un mal manejo en el repique, u otros factores bióticos o abióticos (baja intensidad luminosa, disponibilidad de nutrientes, variación de temperatura, humedad relativa circundante, sustrato utilizado, control oportuno de plagas y/o enfermedades, fertilización, etc.) (Montes-Cruz *et al.*, 2016).

Tabla 1. Análisis de la varianza para parámetros morfológicos en *C. fissilis*

Parámetros morfológicos		Sustratos		
		V	A	CPC
AT (cm)	SD	15,93 \pm 0,1c	13,23 \pm 0,4b	10,01 \pm 1,5a
	R	15,13 \pm 0,6b	9,70 \pm 0,3 a	9,51 \pm 0,9 a
LR (cm)	SD	12,70 \pm 2,53a	6,85 \pm 0,61a	8,97 \pm 3,44a
	R	7,61 \pm 1,69a	5,11 \pm 0,67a	7,41 \pm 2,00a
AT:LR	SD	1,28 \pm 0,21a	1,99 \pm 0,03a	1,24 \pm 0,49a
	R	1,57 \pm 0,08a	2,15 \pm 0,52a	1,56 \pm 0,28a
Calidad	SD	A	A	A
	R	A	A	A
DAC (mm)	SD	2,76 \pm 0,12a	2,47 \pm 0,21a	2,44 \pm 0,10a
	R	3,45 \pm 0,51b	2,20 \pm 0,20a	2,08 \pm 0,14a
Mortandad %	SD	13 \pm 0,15b	63 \pm 0,06a	70 \pm 0,10a
	R	30 \pm 0,22ab	37 \pm 0,23ab	67 \pm 0,06a

Referencias: V= vermiculita, A= arena, CP= corteza de pino, SD= siembra directa y R= repique. AT= altura promedio, LR= longitud de raíz promedio, AT:LR= relación altura del tallo/longitud de la raíz principal, DAC= diámetro altura de cuello. A= alta calidad (calidad de planta basada en AT:LR según Sáenz Reyes *et al.*, 2014).



Figura 5. Mortandad de plantas de *C. fissilis* en ambos sistemas de producción para el sustrato corteza de pino compostada. Siembra directa (Izquierda) y siembra en almacigo de madera y posterior repique o trasplante (R) (Derecha).

Las plantas producidas en el sustrato V y en el sistema SD presentaron los mayores valores de peso seco de la parte radical y total con valores de $0,17 \pm 0,06$ y $0,54 \pm 0,06$ g respectivamente, presentando diferencia estadística significativa entre tratamientos; mientras que el mayor valor de peso seco de la parte aérea lo presentó el sustrato V en el sistema R ($0,40 \pm 0,20$) sin diferencias estadísticas significativas con respecto a los demás tratamientos (Tabla 2).

Tabla 2. Análisis de la varianza para parámetros de calidad en *C. fissilis*.

Parámetros de calidad		Sustratos		
		V	A	CPC
PSA	SD	$0,37 \pm 0,06a$	$0,15 \pm 0,02a$	$0,21 \pm 0,03a$
	R	$0,40 \pm 0,20a$	$0,16 \pm 0,03a$	$0,21 \pm 0,08a$
PSR	SD	$0,17 \pm 0,06b$	$0,10 \pm 0,01ab$	$0,04 \pm 0,01a$
	R	$0,07 \pm 0,01a$	$0,17 \pm 0,11a$	$0,02 \pm 0,01a$
PST	SD	$0,54 \pm 0,06b$	$0,26 \pm 0,005a$	$0,26 \pm 0,04a$
	R	$0,47 \pm 0,19a$	$0,33 \pm 0,11a$	$0,24 \pm 0,08a$
TCA	SD	$0,007 \pm 0,001b$	$0,003 \pm 0,001a$	$0,003 \pm 0,0005a$
	R	$0,006 \pm 0,002a$	$0,004 \pm 0,001a$	$0,002 \pm 0,001a$
PSA/PSR	SD	$5,41 \pm 2,61ab$	$1,24 \pm 0,68a$	$7,94 \pm 1,86b$
	R	$2,35 \pm 0,81ab$	$1,46 \pm 0,32a$	$4,56 \pm 0,46ab$
PSR/PSA	SD	$0,47 \pm 0,19ab$	$0,70 \pm 0,16b$	$0,22 \pm 0,02a$
	R	$0,21 \pm 0,08a$	$1,06 \pm 0,75a$	$0,12 \pm 0,02a$
PR [g (raíz) g ⁻¹ (planta)]	SD	$0,312 \pm 0,08ab$	$0,411 \pm 0,05b$	$0,181 \pm 0,014a$
	R	$0,112 \pm 0,096a$	$0,371 \pm 0,31a$	$0,114 \pm 0,02a$
PPA [g (parte aérea) g ⁻¹ (planta)]	SD	$0,687 \pm 0,086ab$	$0,589 \pm 0,05a$	$0,819 \pm 0,01b$
	R	$0,828 \pm 0,05b$	$0,522 \pm 0,16a$	$0,885 \pm 0,02b$
Coeficiente de esbeltez (CE)	SD	$5,49 \pm 0,28b$	$3,94 \pm 0,33a$	$3,91 \pm 0,81a$
	R	$4,66 \pm 0,61ab$	$6,05 \pm 0,67b$	$4,80 \pm 0,29ab$
Índice de calidad de Dickson (IDC)	SD	$0,04 \pm 0,01abc$	$0,06 \pm 0,04bc$	$0,02 \pm 0,00a$
	R	$0,07 \pm 0,01 c$	$0,03 \pm 0,00 abc$	$0,02 \pm 0,01 ab$

Referencias: V= vermiculita, A= arena, CPC= corteza de pino, SD= siembra directa y R= repique. PSR= peso seco radical, PSA= peso seco aéreo, PST= peso seco total, TCA= tasa de crecimiento absoluto, PSA/PSR= relación peso seco aéreo/radical, PSR/PSA= relación peso seco radical/aéreo, PR= proporción de raíz, PPA= proporción de parte aérea.

La biomasa seca aérea (PSA) y radical (PSR) de la planta es un indicador efectivo cuando se los relaciona (Thompson, 1985; Mexal y Landis, 1990). En general esto puede deberse a una disminución de las cantidades de auxina, que la planta destina para este órgano, debido al estrés sufrido por la técnica de repique; lo que resulta en una menor formación de raíces laterales y, finalmente, en un crecimiento menor de la raíz, según lo informado por Morelli y Ruberti (2000).

La relación PSA/PSR fue mayor para las plantas sembradas en CPC para ambos sistemas de producción ($7,94 \pm 1,86$ SD y $4,56 \pm 0,46$ R); mientras que en su inversa (PSR/PSA) el sustrato A mostró diferencias significativas en el sistema de producción R, registrando el mayor valor ($1,06 \pm 0,75$) (Tabla 2). Según Rodríguez (2008), una buena relación PSA/PSR debe fluctuar entre 1,5 y 2,5, ya que esta proporción PSA con respecto a PSR favorece un proceso fotosintético eficiente y predice resistencia a los períodos relativamente secos (Thompson, 1985). En general se exige que el peso de la parte aérea no llegue a doblar al de la raíz (Montoya y Cámara, 1996). En especies de latifoliadas tropicales la relación PSA/PSR es deseable que sea mayor a 2, cuando la planta esté destinada para sitios con disponibilidad de agua normal para su tipo de vegetación (Mateo-Sánchez *et al.*, 2011), los resultados obtenidos se adecuarían a estos valores sugeridos, por lo tanto, se asume que no tendrían buen desempeño en la situación antes mencionada.

El vigor relativo del sistema radical se ve reflejado en la morfología y crecimiento de la parte aérea de la planta y por esta razón muchas de las características de los contenedores fueron diseñadas para promover la relación raíz/parte aérea (Escobar, 2007). En etapa de vivero las plantas que se encuentren débiles, cloróticas, con problemas fitosanitarios y malformaciones en la raíz se deben descartar (Arcila y Botero, 1985). Una planta de calidad debe tener un coeficiente de relación lo más bajo posible, de tal forma que se asegure su sobrevivencia en campo

(Rodríguez, 2008). Por ello, la relación PSR/PSA puede revelar valores muy superiores a la unidad en etapas tempranas, aun cuando el carbono se esté fraccionando preferentemente hacia la parte aérea; por ende, las proporciones dan idea del escenario en un momento dado, pero no su proyección en el tiempo (Di Benedetto y Tognetti, 2016). En este caso en particular a pesar de tratarse de estadios tempranos, sólo el sustrato A para el sistema R logró acercarse a la unidad; lo que denota plantas más equilibradas. La relación PSR/PSA, así como su inversa, son útiles para determinar la ponderación funcional de la planta en sus intercambios con el ambiente circundante tanto aéreo como radical (Kang y Van Iersel, 2004). En definitiva, es útil apreciar que la relación PSR/PSA también puede expresarse en términos de áreas expuestas al ambiente, lo que generalmente les concede un mayor significado ecofisiológico; por ejemplo, en la relación raíz: parte aérea, si disminuye la asignación de carbono a la raíz (numerador), ese mismo carbono se asigna al tallo (denominador), magnificando el efecto sobre dicha relación (Di Benedetto y Tognetti, 2016).

En proporción de raíz el sustrato A en el sistema de producción SD mostró diferencias significativas y en proporción de parte aérea el sustrato CPC para ambos sistemas de producción fue el que se destacó diferenciándose estadísticamente de los demás tratamientos (Tabla 2). En general, las proporciones de peso entre los diferentes órganos cambian durante la ontogenia. Lo que se está cuantificando cuando se pesa un órgano en un determinado momento es el resultado de la distribución del carbono en etapas previas y no necesariamente indica cómo está siendo particionado el carbono al momento de la medición. De la misma forma, suele ser importante la evaluación del crecimiento proporcional de órganos para complementar con otro tipo de análisis alométrico (Di Benedetto y Tognetti, 2016). El análisis de las relaciones entre diferentes dimensiones de la planta puede ser útil en los estudios de crecimiento; en especial, el principio de crecimiento alométrico determina el crecimiento de una parte del organismo en relación con el organismo entero o alguna parte del mismo (Gayon, 2000).

En la variable tasa de crecimiento absoluto (TCA) el sustrato V y en el sistema SD mostró diferencias significativas con un valor de $0,007 \pm 0,001$ (Tabla 2); su estimación según la etapa fisiológica de la planta, permite valorar la asimilación de nutrimentos y reserva de materia seca por la planta estrechamente relacionada con la fotosíntesis (Jiménez-Terry *et al.*, 2013). Núñez *et al.* (2009) puntualizaron que la tasa de crecimiento absoluta es un índice fisiológico conexo con el desarrollo de las plantas que no expresa la intensidad con que se produce el cambio, pero estima el ritmo de acumulación de masa seca por planta por unidad de tiempo. Al intentar analizar la partición de carbono asignado a cada parte de la planta, en general se presenta el inconveniente de que mínimos cambios en la concesión del carbono lleva a cambios grandes en estas relaciones. Para evitar esta dificultad se desarrollaron las relaciones PR y PPA, en las que el denominador es el peso total de la planta (Poorter y Sack, 2012). No obstante, estas relaciones tienen a su vez el conflicto de que exiguos cambios en ellas pueden representar grandes alteraciones en el equilibrio funcional de la planta. La asimilación de materia seca y su distribución intrínsecamente en la planta son procesos significativos que determinan la productividad del cultivo; es usualmente usada como cuantificación para determinar el crecimiento (Tekalign y Hammes, 2005).

Los valores obtenidos en coeficiente de esbeltez (CE) mostraron diferencias significativas en el sustrato V para el sistema SD, mientras que en R lo hizo el sustrato A, destacándose con el mayor valor de todo el ensayo ($6,05 \pm 0,67$) (Tabla 2). De acuerdo a Rodríguez (2008), el CE debe ser menor a 6, indicando que se trata de árboles más bajos y gruesos, asociados a una mejor calidad e indican plantas más robustas y con tallos vigorosos, a diferencia de los valores mayores de 6 que indican desproporción con tallos elongados y con diámetros delgados (Prieto-Ruiz *et al.*, 2009). Sáenz *et al.* (2010) sugieren que una latifoliada de buena calidad debería tener un índice de robustez o coeficiente de esbeltez de alrededor de 6,0; considerando este valor, los obtenidos en esta experiencia se encuentran en el rango sugerido. Mateo-Sánchez *et al.* (2011) obtuvo en plantas de *Cedrela odorata* producidas en vivero con un sustrato compuesto por 80 % de aserrín un valor promedio de CE de 4,76, mientras que para la misma especie Díaz *et al.* (2013) obtuvo valores similares, pero con diferentes sustratos orgánicos.

Para el índice de calidad de Dickson, se observaron diferencias significativas en el sustrato CPC en el sistema SD ($0,02 \pm 0,00$) y en el sustrato V en el sistema R ($0,07 \pm 0,01$) (Tabla 2). Éste índice se ha empleado con éxito para predecir el comportamiento en campo de varias especies de coníferas (Dickson *et al.*, 1960); además expresa el equilibrio de la distribución de la masa y la robustez, evitando seleccionar plantas desproporcionadas y descartar plantas de menor altura, pero con mayor vigor. También se ha empleado en especies de latifoliadas, el valor que se recomienda es de 0,2 como mínimo por ejemplo para contenedores de hasta 60 ml (la mitad de capacidad que los contenedores utilizados en el presente ensayo), basado en resultados de plantaciones (Hunt, 1990 citado por García, 2007). Resulta un buen parámetro para indicar la calidad de planta, porque expresa la proporción de la distribución de la biomasa y la robustez, posibilitando una selección temprana en muchos casos de plantas poco idóneas (Sáenz *et al.*, 2010). Díaz *et al.* (2013) obtuvo valores de ICD ($0,08 \pm 0,1$) similares a esta experiencia de ICD en plantas de *Cedrela odorata* producidas en cascarilla de arroz.

4. CONCLUSIONES

La producción de especies nativas tradicionalmente se ha realizado a raíz desnuda, lo que involucra producir plantas en tiempos prolongados. Sin embargo, actualmente la disponibilidad de tecnología (contenedores, ambiente controlado, etc.) permite producir en vivero plantas de mejor calidad y en tiempos productivos más razonables. Lo descrito constituye una potencialidad deseable para un plan de enriquecimiento de bosques nativos, sobre todo para especies como *C. fissilis* que en condiciones naturales del bosque tiene una regeneración natural muy baja. Entre los tratamientos evaluados para determinar la calidad de planta y comportamiento morfológico de *C. fissilis* en vivero; la vermiculita como sustrato ha favorecido la altura total de planta, longitud radical, diámetro a la altura de cuello, menor porcentaje de mortandad, peso seco de la parte aérea, radical y total; tasa de crecimiento absoluto, coeficiente de esbeltez e índice de calidad de Dickson; mientras que analizando el sistema de producción en su mayoría los mismos parámetros mencionados anteriormente se vieron favorecidos por la siembra directa en contenedores.

AGRADECIMIENTOS

A la Secretaría General de Ciencia y Técnica, UNNE (PI N°16A001).

5. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Arcila, J y M Botero. 1985. Densidad máxima de semillas para los germinadores de café. pp. 32-56. *En: Informe anual de labores de la sección de fitofisiología 1984-1985*. Cenicafé, Chinchiná, Colombia.
- Bailis, R. 2006. Climate change mitigation and sustainable development through carbon sequestration: experiences in Latin America. *Energy for Sustainable Development* 10 (4): 74-87.
- Birchler, T.; R. Rose; A. Arroyo y M. Pardos. 1998. La Planta Ideal: Revisión del Concepto, Parámetros Definitivos e Implementación Práctica. *Investigación Agraria. Sistema y Recursos Forestales* 7 (1,2): 109-121.

- CITES (Convención sobre el Comercio Internacional de Especies Amenazadas de Fauna y Flora Silvestres). 2007. 3-15 de junio Decimocuarta reunión de la Conferencia de las Partes. La Haya (Países Bajos). [en línea] Fecha de consulta: 7 oct. 2018. Disponible en: <https://www.cites.org/sites/default/files/esp/cop/14.pdf>.
- Dalmasso, A.; R. Masuelli y O. Salgado. 1994. Relación vástago- raíz durante el crecimiento en vivero de tres especies nativas del monte *Prosopis chilensis*, *Prosopis flexuosa* y *Bulnesia retama*. *Multequina* 3: 35-43.
- Del Castillo, E. M.; M. A. Zapater; M. N. Gil y C. G. Tarnowski. 2005. *Selva de Yungas del Noroeste Argentino. Recuperación Ambiental y Productiva. Lineamientos Silvícolas y Económicos para un Desarrollo Forestal Sustentable*. Estación Experimental de Cultivos Tropicales Yuto. Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria, INTA.
- Díaz, P.; D. Torres; Z. Sánchez y L. Arevalo. 2013. Comportamiento morfológico de cedro (*Cedrela odorata*) y caoba (*Swietenia macrophylla*) en respuesta al tipo de sustrato en vivero. *FOLIA Amazónica* 22(1-2): 25-33.
- Di Benedetto, A. y J. Tognetti. 2016. Técnicas de análisis de crecimiento de plantas: su aplicación a cultivos intensivos. *RIA (Revista de Investigaciones Agropecuarias)* 42(3): 258-282.
- Di Rienzo, J.; F. Casanoves; M. Balzarini; L. González; M. Tablada y C. Robledo. 2011. *InfoStat Software Estadístico*.
- Dickson, A.; A. Leaf y J. Hosner. 1960. Quality appraisal of white spruce and white pine seedling stock in nurseries. *Forestry Chronicle* 36(1): 10-13.
- Eibl, B. y C. González. 2015. Ficha técnica: Manejo de frutos y semillas, producción de plantines y establecimiento a campo de especies nativas. *Cedrela fissilis* Vell. (Cedro Misionero). *Revista Forestal Yvyrareta* 22: 73-75.
- Escobar, R. 2007. *Eucalyptus globulus* a raíz cubierta. En: *Manual de viverización*. Trama Impresores, Hualpén, Chile. p. 229.
- García, M. A. 2007. *Importancia de la calidad del plantin forestal*. XXI Jornadas Forestales de Entre Ríos. Concordia, octubre de 2007. II-1 a II-10.
- García, M. G.; R. S. Silva; M. A. Carniello; J. W. Veldman; A. A. B. Rossi y L. O. Oliveira. 2011. Molecular evidence of cryptic speciation, historical range expansion, and recent intraspecific hybridization in the Neotropical seasonal forest tree *Cedrela fissilis* (Meliaceae). *Molecular Phylogenetics and Evolution* 61: 639-649.
- Gayon, J. 2000. History of the concept of allometry. *Am. Zool.* 40: 748-758.
- González, K. V. 1995. Tipos de envases en viveros forestales. In: *Viveros forestales*. Publicación especial No. 3. Centro de Investigación Disciplinaria en Conservación y Mejoramiento de Ecosistemas Forestales. INIFAP-SAGARPA. México, D. F. pp. 26-36.
- González, M. V.; V. O. Sadras; M. A. Equiza y J. A. Tognetti. 2009. Suboptimal temperature favors reserve formation in biennial carrot (*Daucus carota*) plants. *Physiologia Plantarum* 137(1): 10-21.
- Hunt, G. A. 1990. *Effect of stryroblock design and copper treatment on morphology of conifer seedlings*. Taget Seedlings Symposium, Meeting of the Western Forest Nursery Associations. Forestry Service. Roseburg, OR, USA. pp. 218-222.
- IBIF, 2007. *Monitoreo de bosques de producción forestal en la Chiquitania*. Informe Técnico. IBIF/FCBC/CFB. Santa Cruz, Bolivia.
- INBio (Instituto Nacional de Biodiversidad), 2004. *Cedrela* spp. Recuperado de: <http://darnis.inbio.ac.cr/FMPro?-DB=UBIpub.fp3&-lay=WebAll&-Format=/ubi/detail.html&-Op=bw&id=2166&-Find>.
- IUCN (International Union for Conservation of Nature). 2017. *The IUCN red list of threatened species*. [en línea] [fecha de consulta: 14 may 2018]. Disponible en: <http://www.iucnredlist.org>.
- Jiménez-Terry, F.; D. Agramonte; M. Pérez; M. Pons; M. Rodríguez; M. La O; O. Hurtado; A. Pérez y M. Leiva-Mora. 2013. Efecto del sustrato sobre la producción de minitubérculos de papa en casa de cultivo a partir de plantas *in vitro*. *Bioteología Vegetal* 13 (3): 169-180.

- Kang, J. G. y M. W. van Iersel. 2004. Nutrient solution concentration affects shoot/root ratio, leaf area ratio and growth of subirrigated *Salvia* (*Salvia splendens*). *HortScience* 39(1):49-54.
- Kramer, P. 1987. *Relaciones hídricas de suelos y plantas; Una síntesis moderna*. México, Offset. Rebozan, S.A. 538 p.
- Linzmeier, D. M. 2011. *Desenvolvimento de mudas de Cedrela fissilis, Ocotea porosa e Vitex megapotamica sob diferentes luminosidades*. Tesis de maestría de la Universidade Estadual do Centro-Oeste, Programa de Pós-Graduação em Ciências Florestais, área de concentração em Manejo Sustentável de Recursos Florestais. 77 p.
- Luna, C. 2018. Alteraciones de los bosques nativos en el norte argentino: normativas y mecanismos de compensación por servicios ambientales. *Revista de Ciencias Ambientales* 52(1): 145-160.
- MAGyP (Ministerio de Agricultura, Ganadería y Pesca de la Nación). 2013. *Nuevo escenario para la promoción forestal y el manejo de los Bosques nativos*. Cartilla para Titulares de Tierras con Bosques Nativos y para Profesionales Responsables de Planes. 17 p.
- MAYDS (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sustentable). 2016. *Informe del estado del ambiente*. Argentina. [en línea] Disponible en: http://ambiente.gob.ar/wp-content/uploads/MAYDS_IEA_2016_baja.pdf.
- Mas, P. 2003. Guía práctica para la producción de planta en un vivero. Comisión Forestal del Estado. Morelia, Mich., México. *Boletín Técnico* Núm. 5. Vol. 1. 37 p.
- Mateo-Sánchez, J.; R. Bonifacio-Vázquez; S. Pérez-Ríos; L. Mohedano-Caballero y J. Capulín-Grande. 2011. Producción de (*Cedrela odorata* L.), en sustrato a base de aserrín crudo en sistema tecnificado en Tecpan de Galeana, Guerrero, México. *Ra Ximhai* 7(1): 123-132.
- Mexal, J. y T. Landis. 1990. Target seedling concepts: height and diameter. En: Rose, R (Ed.), *Target seedling symposium: Proceedings, combined meeting of the western forest nursery associations* (pp.17-34). Roseburg, OR.: USDA Forest Service.
- Montes-Cruz, S.; J. M. Lalama-Aguirre, J. M. Echeverría-Félix y S. M. Salazar-Torres. 2016. Factores bióticos y abióticos que influyen en la aclimatación de las vitroplantas en invernadero. *Dominio de las Ciencias* 2: 63-89.
- Montoya, J. M. y M. A. Cámara. 1996. La planta y el vivero forestal. Ediciones Mundi-Prensa. España. 126p.
- Morelli, G. y I. Ruberti. 2000. Shade avoidance responses. Driving auxin along lateral routes. *Plant Physiology* 122: 621-626.
- Ñúñez, C. E.; M. S. Castellanos y M. Segura. 2009. Acumulación y distribución de materia seca de cuatro variedades de papa (*Solanum tuberosum* L.) en Zipaquira, Cundinamarca (Colombia). *Revista Facultad Nacional de Agronomía Medellín* 62(1): 4823-4834.
- Oliet, J. 2000. *La calidad de la postura forestal en vivero*. Escuela Técnica Superior de Ingenieros Agrónomos y de Montes de Córdoba. España. 93p.
- Oliveira, A. 1988. The H/D ratio in maritime pine (*Pinus pinaster*) stands. En A. Ek, S. Shifley, & T. Burk (Eds.), *Proceedings of the IUFRO Conference Forest Growth modelling and prediction* (pp. 881-888). Minneapolis: IUFRO.
- Poorter, H. y L. Sack. 2012. Pitfalls and possibilities in the analysis of biomass allocation patterns in plants. *Frontiers in Plant Science* 3: 259.
- Prieto-Ruiz, J.; C. Vera y B. Merlín. 2003. *Factores que influyen en la calidad de brinzales y criterios para su evaluación en vivero* (Folleto Técnico No. 12). Primera reimpresión. Durango, México: AGARPA - INIFAP - Campo Experimental Valle del Guadiana.
- Prieto-Ruiz, J. A.; J. L. García R.; J. M. Mejía B.; S. Huchín A. y J. L. Aguilar. 2009. *Producción de planta del género Pinus en vivero en clima templado frío*. Campo Experimental Valle del Guadiana INIFAP. Publicación Especial Núm. 28. Durango, Dgo., México. 49p.
- Quiroz, I.; E. García, M. González, P. Chung y H. Soto. 2009. *Vivero forestal: Producción de plantas nativas a raíz cubierta*. Chile: Infor - Centro Tecnológico de la planta forestal.

- Richards, L. 1980. *Diagnóstico y rehabilitación de suelos salinos y sódicos: manual N° 60*. México: Editorial Limusa.
- Rodríguez, T. 2008. *Indicadores de calidad de planta forestal*. Mundi-Prensa. México, D. F. 156 p.
- Sáenz, R.; R. F. J. Villaseñor; F. H. J. Muñoz; S. A. Rueda y R. J. A. Prieto. 2010. *Calidad de planta en viveros forestales de clima templado en Michoacán*. Folleto Técnico No. 17. SAGARPA-INIFAP-CIRPAC-Campo Experimental Uruapan. Uruapan, Michoacán, México. 48pp.
- Sáenz Reyes, J.; J. Muñoz Flores, C. Pérez, A. Rueda Sánchez y J. Hernández Ramos. 2014. Calidad de planta de tres especies de pino en el vivero "Morelia", estado de Michoacán. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales* 5 (26): 98-111.
- Schamne, D.; S. Barth y B. Eibl. 2008. *Influencia del tamaño del recipiente en el crecimiento de plantines de cuatro especies nativas*. XIII Jornadas Técnicas Forestales y Ambientales. Facultad de Ciencias Forestales, Universidad Nacional de Misiones - Estación Experimental Agropecuaria Montecarlo, INTA. Eldorado, Misiones, Argentina. 11pp.
- Silver, W.; R. Ostertag y A. Lugo. 2000. The potential for Carbon Sequestration through Reforestation of Abandoned Tropical Agricultural and Pasture Lands. *Restoration ecology* 8(4): 394-407.
- Tekalign, T. y P. S. Hammes. 2005. Growth responses of potato (*Solanum tuberosum*) grown in hot tropical lowland to applied paclobutrazol: 1. Shoot attributes, assimilate production and allocation. *New Zealand Journal of Crop and Horticultural Science* 33: 35-42.
- Thompson, B. 1985. Seedling morphological evaluation. What you can tell by looking. En: Duryea, M. (Ed.), *Evaluating seedling quality: principles, procedures, and predictive abilities of major tests* (pp.59-71). Corvallis (Oregon): Oregon State University.
- Tortorelli, L. 1956. *Maderas y bosques argentinos*. Editorial Acme, Universidad de Michigan. 910 p.
- Varela, S.; A. Martínez, G. Basil, M. Mazzarino y M. Fariña. 2013. Sustratos alternativos en la producción de plantines forestales. *Presencia* 60: 36-39.
- Vera, N.; L. Reyes; L. López Cristobal; J. Perie; R. Costas y A. Mallorquin. 2018. *Técnicas silviculturales para la recuperación de bosques primarios degradados y secundarios*. 1a ed. - Posadas: EDUNAM - Editorial Universitaria de la Universidad Nacional de Misiones (Ediciones especiales). ISBN 978-950-579-500-0. 70p.

