

DESARROLLO DE UN MÉTODO PARA CONTROLAR LA CALIDAD DE PRODUCCIÓN DE PLÁNTULAS EN VIVEROS FORESTALES: ESTUDIO DE CASO CON CIPRÉS (*Cupressus lusitanica*)

Silvia Sánchez*, Olman Murillo^{1/**}

Palabras clave: control de calidad, viveros forestales, muestreo, plántulas, ciprés, *Cupressus lusitanica*.

Keywords: quality control, forest nursery, sampling, seedlings, cypress, *Cupressus lusitanica*.

Recibido: 12/05/04

Aceptado: 13/07/04

RESUMEN

En viveros forestales de especies latifolias tropicales, por lo general no se cuenta con criterios ni valores de referencia para realizar controles de calidad en la producción de plántulas, ni con un método de muestreo apropiado. Se revisó y adaptó un sistema de muestreo por bancales de plántulas de ciprés (*Cupressus lusitanica*) con base en parcelas aleatorias de 28 plántulas, en las que se registró 11 variables cualitativas y cuantitativas en cada plántula muestreada. Se propone una intensidad de muestreo de un 6% para bancales de 2000 plántulas, que se reduce con la escala de producción de modo que asegure un error de muestreo < 5%. El método se validó durante 2 años y generó los siguientes resultados: 1,87% de plántulas bifurcadas, 0,51% con pérdida del meristemo, 2,21% con torceduras de tallo, 15% en posición sociológica suprimida, 0,68% con daños mecánicos, 0,51% con problemas fitosanitarios severos, 13,5% con problemas de mala calidad de raíces y 3,92% de calidad 3 o de rechazo. Las raíces registraron un crecimiento promedio semanal de 1,39 cm, el diámetro al cuello de 1,14 mm y la altura total creció 1,3 cm. La tasa de mortalidad se estabilizó entre la semana 12 y 15 después del

ABSTRACT

Development of a seedling quality control method in forest nurseries: a cypress (*Cupressus lusitanica*) case study. In forest nurseries for tropical hardwood tree species there are no criteria or reference values for quality control procedures, nor proper sampling quality control procedure. A random sampling procedure using cypress (*Cupressus lusitanica*) seedling beds as strata was utilized. The sampling unit consisted in 28 seedlings where 11 quantitative and qualitative variables per seedling were registered. A 6% sampling intensity for production beds with 2000 seedlings is proposed, for a target sampling error below 5%. Sampling procedures registered 1.87% seedlings with forking problems, 0.51% with apical shoot damage, 2.21% with crooked stem, 15% in suppressed sociological position, 0.68% with mechanical damages, 0.51% with severe phytosanitary problems, 13.5% with low-quality roots, and 3.92% under quality 3 or rejection category. Roots registered a length growth of 1.39 cm week⁻¹, 1.14 mm week⁻¹ at neck-diameter and 1.3 cm week⁻¹ for total height. The mortality rate was stabilized between the 12th and 15th week after transplanting and reached near 25%.

1/ Autor para correspondencia. Correo electrónico: omurillo@itcr.ac.cr

* Ingeniera Forestal egresada del Instituto Tecnológico de Costa Rica.

** Escuela de Ingeniería Forestal, Instituto Tecnológico de Costa Rica. Cartago, Costa Rica.

trasplante y alcanzó cerca del 25%. Se discuten aspectos de manejo y calidad genética de la semilla como posibles causas de los problemas de calidad en plántulas de ciprés en vivero. Se desarrolló un índice de calidad general para viveros forestales, con un valor general para este vivero de 1,59. Este índice oscila en una escala de 1 a 3, valores cercanos a 1 indican que las plántulas no presentan defectos. Se propone que bancales con índices de calidad 1+2 <85%, coeficientes de variación de la altura >15%, plántulas suprimidas >10%, >15% de plántulas enfermas severamente, mortalidad >10%, sean criterios e indicadores de rechazo del lote o bancal de producción de plántulas de ciprés.

INTRODUCCIÓN

La evaluación de la calidad de las plántulas en viveros forestales se remonta al año 1917, cuando aparece un primer manual de procedimientos para la producción de viveros forestales, elaborado por el Departamento de Agricultura de los Estados Unidos de América (Mexal y Landis 1990). Sin embargo, los primeros conceptos sobre calidad de las plántulas, donde se utiliza ya claramente criterios de diámetro al cuello y altura de la plántula vigentes hoy día, aparecen en los años 30 y 40 en varios manuales publicados por investigadores citados por Mexal y Landis (1990). Con coníferas, se adaptó el sistema de clasificación de plántulas en los viveros forestales del sureste de los Estados Unidos, con base en 3 categorías de diámetro al cuello: a) Rechazo: <3,17 mm; b) aceptable entre 3,17 y 4,76 mm; c) grado 1 plántulas >4,76 mm (Frampton *et al.* 1999). De aquí en adelante los criterios y parámetros continúan siendo los mismos y se basan principalmente en la altura total de la plántula, diámetro al cuello y en la calidad y desarrollo potencial de la raíz. En el trabajo de Ritchie y Tanaka (1990) se presenta una adecuada discusión de los criterios conocidos de la calidad del sistema radical de la plántula y su eficiencia de predicción del desempeño en el

Genetic (hereditary) and silviculture as possible causes of the cypress seedling quality in nurseries are discussed. In a quality index on a 1-3 scale (1 for best or ideal seedling), a general quality value of 1.59 was determined. Production beds with seedlings quality 1+2 <85%, height variation coefficients >15%, >10% suppressed seedlings, >15% severely diseased seedlings and mortality rates >10%, should be considered as rejection criteria and indicators for production units in cypress nurseries.

campo. Con el avance de las técnicas de reforestación clonal, aparecen desde finales de los 90's, métodos de clasificación y control de plántulas que incluyen la calidad del sistema radical. En estos sistemas se revisa a) la simetría de la masa radical; b) el volumen de raíces; c) la presencia de al menos una raíz pivotante (Frampton *et al.* 1999, 2002). Sin embargo, los resultados a los 5 y 6 años en campo, no mostraron diferencias significativas entre las estaquillas con diferente simetría de raíces o de masa radical. Los criterios observados como determinantes fueron, aquellas estaquillas con pobre cobertura foliar o copa (<2,5 cm de largo) o con varios brotes, que desarrollaron arbolitos bifurcados y con pobre crecimiento (Frampton *et al.* 2002). Trabajos realizados en Colombia con *Sterculia apetala*, determinaron como las mejores plantas en crecimiento y sobrevivencia a los 2 años, aquellas con diámetro al cuello de 1,0-1,5 cm (Urueña 1993). El principio fundamental en el que se basan los parámetros de calidad hasta hoy desarrollados, es el de la posibilidad de predicción de la supervivencia de la plántula y su potencial para desarrollarse rápidamente durante los primeros meses o años de crecimiento en la plantación. Bajo esta orientación se publicó en México el documento "Concepto de calidad de plantas en

viveros forestales”, que presenta una excelente guía para el control de calidad de plántulas de *Pinus radiata*, basado principalmente en la experiencia forestal chilena (Toral 1997). Este documento no solo incluye las tradicionales variables de diámetro al cuello, altura de la plántula, etc., sino que menciona los estándares de calidad para esta especie en Nueva Zelanda y Chile, donde se mencionan aspectos sobre el grado nutricional de la plántula. Se produce luego un documento titulado “Guía para la evaluación de plántulas en vivero” (Morales y Viedma 1998), basado en la experiencia del programa forestal de Cochabamba, Bolivia con *Pinus radiata* y *Eucalyptus globulus*. Este trabajo propone categorías de calidad de fuste, follaje, raíces, malezas y sanidad de las plántulas de estas especies, en un sistema numérico de 1 a 7, como criterios de aceptación y rechazo.

En Costa Rica, aparecen los primeros criterios de calidad en el manual de almácigos forestales (Rodríguez y Murillo 1985), que son luego ampliados en el manual del reforestador (Rojas 1999). Sin embargo, ninguno de estos 2 trabajos profundiza en el tema del control de calidad de plántulas de vivero. En un trabajo realizado con *Pinus patula*, *Pinus radiata* y *Eucalyptus globulus* plantados en División, Pérez Zeledón (2300 y 2600 msnm) en suelos marginales, se encontró que la mayor sobrevivencia y crecimiento al año se registró en aquellas plántulas con diámetros al cuello en vivero de 3-6 mm (Arias y Maldonado 2002). Las plántulas con alturas entre 30 y 50 mm en el vivero, registraron la menor mortalidad, debido posiblemente a un mejor manejo del material. Mientras que ni la altura del primer verticilo, ni el número de verticilos en *Pinus patula*, influyó en la sobrevivencia o crecimiento inicial (Arias y Maldonado 2002).

Sin embargo, el control de calidad de plántulas de vivero debe no solo evaluar el potencial de supervivencia y desempeño futuro del material de reforestación, tal y como lo hacen todos los trabajos mencionados. También es vital intentar conocer cuales son las causas de la buena o mala calidad del material, para poder desarrollar con esto un programa de control y mejoramiento en el vivero. Las causas u orígenes de la

calidad se deben a 2 aspectos principales: calidad de la semilla (aspecto genético) y calidad del manejo del material en el vivero (aspecto silvicultural o ambiental).

El presente trabajo se realizó con el objetivo de revisar y desarrollar una metodología para la evaluación de la calidad de plántulas de viveros forestales, validada en ciprés. También se buscó aportar información y bases para la discusión sobre los orígenes de la calidad del material de viveros forestales.

MATERIALES Y MÉTODOS

La investigación se realizó en los años 1999-2000 en las instalaciones del vivero Forestal del Instituto Tecnológico de Costa Rica en Cartago, a 1400 msnm. El sistema tradicional de producción de ciprés en vivero, es basado en bolsas plásticas de 20 cm de alto y 8 cm de diámetro, en una densidad de 140 plantas m⁻². Como sustrato se utiliza suelo desinfectado, mezclado con 15% de abono orgánico y 10% de granza de arroz descompuesta. Las plántulas permanecen en su fase de desarrollo y endurecimiento, aproximadamente de 5 a 7 meses.

Se realizaron muestreos en 12 bancales (de 10,5 m de largo y 0,97 m de ancho) de ciprés (*Cupressus lusitanica* Mill.) con 24 a 28,5 semanas de establecidos con semilla procedente de más de 10 árboles semilleros de Prusia, Volcán Irazú, Cartago. Las plántulas fueron evaluadas con base en variables cualitativas y cuantitativas. Por lo tanto, se buscó validar el método con base en material de muestreo de distinta edad y grado de desarrollo. Se establecieron 24 parcelas permanentes de muestreo, cada una con 25 a 30 plántulas. Cada parcela de muestreo incluyó 2 hileras completas del bancal. Para elegir las hileras a muestrear, a cada una de las hileras a lo ancho del bancal se le asignó un número consecutivo. Con base en un generador de números aleatorios se obtuvo 2 puntos de muestreo dentro de cada bancal. En total se evaluaron 710 plántulas durante un período de 4 meses.

El cuadro 1 muestra un ejemplo del formulario a emplear en la evaluación de la calidad de las plántulas. Para cada una de las parcelas de

Cuadro 1. Formulario de campo para la evaluación de la calidad de plántulas en viveros forestales.

Fecha de medición: **22 de febrero del 2000** Especie: *Cupressus lusitanica* Sistema de Producción: **Bolsa de 8 x 20 cm**
 Fuente Semillera: **Prusia, árboles semilleros.** Fecha de repique: **15 de octubre de 1999** Bancal No.: **5** Parcela No.: **1**
 Tamaño Parcela: **2 hileras de 15 plántulas** Anotador:

Plántula	Diámetro cuello (mm)	h ^{1/} (cm)	Posición Sociológica ^{2/}	Bifurcación		Meristemo apical		Daño mecánico		Rectitud de tallo			Estado fitosanitario			Calidad de raíz		Largo de raíz (cm)		Malas hierbas		Calidad de plántula		
				1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	3	1	2	1	2	1	2	3			
1	4,15	14,9	I	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	2	22,1	2	2	2				
2																								
3		15	I	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1		1	3	1				
4		15,5	I	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1		1	1	1				
5		18	C	1	1	2	1	1	1	1	2	2	2	2	2	2		1	2	2				
6		7,5	S	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2		1	2	2				
7	2,3	7	S	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	2	3,4	2	2	2				
8		12	I	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1		1	1	1				
9		17	C	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1		1	1	1				
10		18	C	1	1	1	1	2	1	1	1	1	1	1	1	1		1	2	2				
11		12	I	1	1	1	1	1	1	1	3	3	3	3	3	3		1	3	3				
12		9	S	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1		1	3	3				
13																								
14	6,3	24	C	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	2	32,7	1	2	2				
15		21	C	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1		1	2	2				
16		13	I	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1		1	1	1				
17		18	C	1	1	1	1	1	1	1	2	2	2	2	2	2		1	2	2				
18		24	C	1	1	1	1	2	1	1	1	1	1	1	1	1		1	2	2				
19		15	I	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1		1	1	1				
20																								
21	5,1	19	I	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	2		1	2	2				
22		10,5	S	1	1	1	1	1	1	1	2	2	2	2	2	2	30,5	1	2	2				
23		14	I	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1		1	1	1				
24		11	S	1	1	1	1	1	1	1	2	2	2	2	2	2		1	2	2				
25																								
26		20	C	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1		1	1	1				
27		22	C	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1		1	1	1				
28	4,36	22	I	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	2	21		2	2	2				

^{1/} h = altura^{2/} D = dominantes; C = codominantes; I = intermedios; 1 = suprimidos

muestreo se registró información general (sobre el método de producción y otros aspectos) y específica sobre un grupo de variables o atributos de cada una de las plántulas muestreadas. Dentro de la información general se contempló el tamaño de la parcela de muestreo, la fecha de repique y de medición, las dimensiones de la bolsa utilizada como sistema de producción, el anotador y otros aspectos de la parcela que brindaran la información básica para facilitar su análisis posterior. En cuanto a la información específica, a todas las plántulas de cada parcela de muestreo se les calificó con base en las siguientes variables:

- Altura total (cm) cada 15 días
- Presencia de bifurcaciones (0=no bifurcado, 1=bifurcado)
- Pérdida del meristemo principal (0=con meristemo sano, 1=meristemo dañado)
- Estado fitosanitario, se incluye aquí cualquier problema fitosanitario en hojas y tallo como amarillamiento, herrumbre, exudados, presencia de agallas y cualquier manifestación que indique la presencia de patógenos. La incidencia y severidad del problema se registró en 3 categorías: 1=plántula completamente sana sin ningún problema fitosanitario visible, de buen color y vigor; 2=plántula relativamente sana, con alguna evidencia de problemas fitosanitarios pero que no corre riesgo de morir, y que no se presentó en más de un 50% del follaje o que no haya provocado heridas severas en el tallo; 3=enferma, plántulas con problemas fitosanitarios que afectan el desarrollo normal de la plántula tales como la pérdida del eje dominante o del follaje y en general, daños visibles en más del 50% de la planta.
- La rectitud del tallo (0=tallo totalmente recto, 1=tallo con torceduras severas y evidentes), es una variable de difícil determinación, dada la subjetividad que puede ocasionar si no se calibran los criterios de calificación del material.
- Daño mecánico: esta característica permite registrar cualquier anomalía asociada a malas prácticas silviculturales e incluye no solo la presencia o pérdida del meristemo sino también, plántulas deshojadas o quebradas y heridas en sus tallos, que expongan el material a problemas fitosanitarios posteriores. Se califica como sigue 0=plántula sin daño aparente, 1=plántula con daño aparente. Esta variable indica claramente posibles problemas de manejo del material en el vivero.
- Malas hierbas: esta es una variable que permite verificar el cuidado que recibe el material en vivero y se califica como sigue: 0=libre de malas hierbas, 1=presencia de malas hierbas. Esta variable refleja problemas en el manejo del vivero.
- La posición sociológica es una variable que permite determinar si hay niveles de competencia severos dentro del bancal, así como otra manera de conocer la heterogeneidad en altura; los individuos se califican como dominantes=D (reciben luz de todas direcciones), codominantes=C (reciben luz por arriba pero no de todos sus flancos), intermedios=I (recibe luz solamente por arriba) y los suprimidos = S (recibe luz solamente en forma difusa a través de las copas de sus compañeros en el bancal). Una presencia alta de plántulas con posición sociológica intermedia o suprimida, indica deficiencias claras en la fertilización y riego. Esta variable permite determinar con claridad deficiencias en el manejo del vivero.
- La mortalidad, es uno de los aspectos más importantes para predecir la productividad del vivero desde el punto de vista económico, así como la presencia de factores críticos: problemas fitosanitarios y prácticas silviculturales incorrectas. Para efectos prácticos no se incluye dentro del formulario porque se asume que la ausencia de información de una plántula implica un individuo ausente o muerto.

Las siguientes son las variables que implican la toma de una submuestra destructiva dentro de cada una de las parcelas de muestreo. A las plántulas en la posición 1^a, 7^a, 14^{ava}, 21^{ava} y 28^{ava} dentro de la parcela de muestreo, se les midió el diámetro al cuello del tallo (0,01 mm) con ayuda de un vernier. Posteriormente, de manera destructiva se determinó la longitud (mm) y la calidad de la raíz. En caso de no existir la plántula a incluir en la submuestra destructiva, se tomó la plántula siguiente. Con este procedimiento se buscó eliminar los posibles efectos de borde en las variables cuantitativas. La calidad de la raíz es una variable de gran importancia y se evaluó como sigue: 1=raíz sana, abundante, masiva, simétrica, con raíz pivotante, sin problemas de torceduras ni sistema radical deformado en el fondo de la bolsa, 2=con raíz de mala calidad, asimétrica, raíces laterales, sin presencia clara de raíz pivotante, pocas raíces pubescentes adicionales, sistema radical secundario pobre o casi nulo o con torceduras.

La variable vigor no se incluyó por su dificultad de separar objetivamente una planta vigorosa de una no tan vigorosa, débil, etc., según sea el criterio y experiencia del viverista. Posiblemente, tenga más sentido desarrollar guías de campo para una variable que registre deficiencias nutricionales. La cual influye directamente en el vigor de la plántula y si puede ser de mayor facilidad y objetividad de calificar.

Finalmente, se determinó la calidad de la plántula con base en la integración de todas las variables evaluadas como sigue:

- Calidad 1= plántula con ausencia absoluta de características indeseables. Si la plántula recibe al menos una calificación de 2 en algunas de las variables, se descalifica automáticamente como plántula de calidad 1.
- Calidad 2= plántula de sanidad 2 o con calificación de 2 en alguna de las variables evaluadas, con excepción de las variables descalificadoras bifurcación, meristemo quebrado o estado fitosanitario 3.
- Calidad 3= plántula de mala calidad que no debe ir al campo. Es una plántula que

ha sido calificada con un pronóstico no satisfactorio para sobrevivir en plantación, o cuyos defectos son tan severos, que no le permitirían un desarrollo como árbol capaz de producir madera sólida para la industria. Las siguientes variables califican claramente una plántula como de calidad 3: bifurcación o con ejes múltiples, pérdida del meristemo, algunos tipos de daño mecánico, estado fitosanitario 2 y posición sociológica suprimida o intermedia.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Aspectos de muestreo

La intensidad de muestreo por bancal o cama de producción en esta investigación, fue de alrededor de un 3% del total de plántulas (60 plántulas muestreadas en 2 parcelas de un bancal con 2000 plántulas). Del análisis del error de muestreo obtenido en esta investigación (Cuadro 2), se determinó que era necesario muestrear no menos de 120 plántulas bancal⁻¹ (4 parcelas de 28 plantas) o aproximadamente un 6% de las plántulas, en bancales o lotes de 2000 plántulas, para garantizar un error de muestreo inferior al 5% (Cuadros 2 y 3). La variable altura total de plántula, en la que se basó el análisis de error de muestreo, registró una gran variación entre individuos de la misma edad y bancal desde temprana edad.

Cuadro 2. Relación del tamaño de muestra, basado en la altura total, con el error de muestreo obtenido en 24 parcelas permanentes de investigación en viveros de *Cupressus lusitanica*.

Tamaño de muestra (No de parcelas de 28 plántulas c/u)	Error de muestreo (%)
1 (28)	9,52
2 (56)	7,67
3 (84)	5,76
4 (112)	5,08
5 (140)	4,35
6 (168)	3,85
7 (196)	3,65
8 (224)	3,53

Cuadro 3. Intensidad de muestreo sugerida para viveros forestales según el tamaño del bancal o área de producción.

Intensidad de muestreo (No. plántulas/bancal)	Número de plántulas en producción en el bancal
6% (120)	< 2000
5% (100–250)	2000–5000
4% (200–400)	5000–10000
3% (>300)	>10000

Esta variación se debe a un proceso productivo en nuestros viveros sumamente heterogéneo, donde la semilla no es seleccionada por tamaño, el riego y fertilización no se aplican en forma homogénea a lo largo del bancal. El mismo ejercicio de error de muestreo se realizó con la variable calidad de plántula, pero se requerirían aún más plántulas (aproximadamente un 10% de muestreo en bancales de 2000 plántulas) para alcanzar un error inferior al 5%. Estas variables presentan por lo general un fuerte efecto ambiental y manifiestan una gran variabilidad. Es probable que un diseño de muestreo basado en el área basal de la parcela sea más estable y permita buenos estimados sobre la población a inferir. Futuras investigaciones merecen abordar este tema, con el objeto de analizar la conveniencia de ampliar el tamaño de la unidad de muestreo (superar las 28–30 plántulas), para disminuir los costos y aumentar la eficiencia del proceso de muestreo.

VARIABLES CUALITATIVAS

En el cuadro 4 se muestra en detalle los defectos y características más importantes registrados en este estudio con plántulas de ciprés. Las variables bifurcación, torceduras severas en el tallo y parcialmente la altura total, son indicadores en buena parte de la calidad genética de la semilla seleccionada. Mientras que las variables pérdida del meristemo principal, presencia de malas hierbas, posición sociológica, daños mecánicos y en parte, presencia de problemas fitosanitarios y altura total, reflejan directamente un mal manejo del vivero.

Cuadro 4. Valores porcentuales y su respectivo error estándar, para los defectos y características más importantes (variables cualitativas) obtenidas de la población de plántulas de ciprés (*Cupressus lusitanica*) de 25 semanas de edad, del vivero forestal del Instituto Tecnológico de Costa Rica, Cartago, Costa Rica. (n=24 parcelas de 30 plántulas c/u).

Defecto evaluado	Valor porcentual en la población (% ± error estándar)	
Bifurcaciones	1,87±0,56	
Pérdida del meristemo principal	0,51±0,28	
Presencia de malas hierbas	33,96±4,02	
Tallo con torceduras severas	2,21±0,69	
Posición sociológica ¹	D	6,0±1,13
	C	43,66±7,23
	I	35,33±8, 15
	S	15,0±2,45
Daños mecánicos	0,68±0,41	
Estado fitosanitario	1	77,64±5,55
	2	21,84±5,53
	3	0,51±0,29
Mala calidad de raíces	13,48±0,89	
Calidad de la plántula	1	45,05±4,06
	2	51,02±3,78
	3	3,92±0,80

¹ D = dominante; C = codominante; I = intermedia y S = suprimida.

Se puede notar que la presencia de malas hierbas alcanzó un 34% de la población de plántulas, lo que indica una atención deficiente y que podría estar afectando su crecimiento. Este aspecto influye claramente en la calidad, vigor y posibilidad de sobrevivencia de las plántulas, por lo tanto, las penaliza y les asigna automáticamente la calidad 2. En el mismo cuadro 4 se aprecia que un 35% de las plántulas presentó una posición sociológica intermedia y un 15% de suprimida. Estos valores deben ser considerados como altos e indicadores de una mala selección de la semilla y mala asistencia técnica. Es común en nuestros viveros forestales que la semilla no sea seleccionada por su tamaño antes de ser sembrada en el germinador. Esto produce una germinación y crecimiento irregular. Así también, si el sistema de riego no moja en forma uniforme las

camas de crecimiento; si la aplicación de fertilizantes no ha sido cuidadosamente dirigida a todas las plántulas; o si la sombra de las primeras semanas después del repique no protege igual a todo el material, las plántulas tendrán un desarrollo en altura muy heterogéneo. Con el paso de las semanas, estas diferencias en altura propiciarán una competencia entre plántulas y diferencias notables en su posición sociológica o exposición a la luz. Toda plántula que se ubique en una posición sociológica intermedia se debe registrar entonces en la categoría de calidad 2. Las plántulas con posición sociológica suprimida deben ser calificadas como de calidad 3.

Plántulas con torceduras en el tallo (sinuosidad severa), podrían ser los mismos individuos que a futuro manifiestan su médula torcida o errática a lo largo del fuste, lo que causa grandes pérdidas en el aserrío. Es importante observar este fenómeno y darle seguimiento en campo. Su potencial para predecir y eliminar desde el vivero este severo defecto merece mayor atención.

En los bancales de producción puede observarse que se manifiesta un efecto de borde. Las plántulas ubicadas en las orillas tienden a sufrir mayores daños mecánicos producto del movimiento del personal del vivero por los pasillos. Este efecto se intensifica conforme las plántulas crecen.

En cuanto al estado fitosanitario, se aprecia en el cuadro 4, que una proporción muy alta de las plántulas no presenta ningún problema evidente. Un 78% de plántulas completamente sanas debe considerarse como un valor muy alto y positivo para un vivero forestal. Solamente un 0,5% del material registró problemas fitosanitarios severos (>50% de su parte aérea enferma o con lesiones visibles), que puede considerarse como muy bajo, a pesar de que es común la aparición de brotes de herrumbre (*Cercospora* y *Pestalotia* spp) en el follaje de esta especie en los viveros forestales de Costa Rica en los últimos años (Freddy Rojas 2002, ITCR. Comunicación personal).

La bifurcación se observó únicamente en un 1,87% del material, lo cual es sumamente bajo. Esta variable descalifica inmediatamente una plántula como material de plantación, lo que implica la asignación de una calidad 3, también

considerada no viable para reforestación con fines de producción de madera sólida. Debe recordarse que esta variable, en árboles adultos, está fuertemente determinada por factores hereditarios (Zobel y Talbert 1984). Sin embargo, a nivel de plántula, este defecto podría no estar relacionado con efectos hereditarios. Futuros estudios podrán resolver sobre este importante tema. De momento, se sugiere continuar registrando el defecto de la bifurcación a nivel de plántula. Pero no utilizar esta información como conclusiva sobre la calidad genética del material aún.

Con la variable calidad de la raíz se tiene poca experiencia en el país, a pesar de su gran potencial como pronóstico de futura sobrevivencia y crecimiento inicial de la plántula en campo (Torralba 1997, Frampton 2002). El cuadro 4 muestra que un 13% de las plántulas presentaron algún tipo de problema con su sistema radical, como enrollamiento o desarrollo pobre. Esta variable debe considerarse como vital en la calidad de una plántula, por lo tanto se debe asignar una calidad 2, con solo que se observe algún problema en su sistema radical. Si más de un 5% de las plántulas presenta problemas de calidad de raíz, debe revisarse los procedimientos de repique o trasplante a la bolsa o pote, así como recurrir a actividades de capacitación del personal.

La poda de raíces al momento del repique debería ser una práctica de rutina en la producción de plántulas, con el fin de corregir su excesiva longitud y posterior deterioro. La poda estimula la brotación de una masa de raíces que aumenta su densidad y capacidad de absorción de nutrientes y agua. El principal problema de las raíces de plántulas producidas en bolsa plástica o potes, es que comúnmente crecen un poco más rápido que la sección aérea, e inician un enrollamiento dentro de la bolsa. Este enrollamiento llamado cuello de ganso, ocasiona luego un anclaje débil de la raíz pivotante al suelo, que puede ser la causa de derribo de los árboles en zonas con suelos poco profundos o con mucha exposición al viento. En el cuadro 5 se muestra claramente esta relación, donde el largo de raíz en la bolsa crece en promedio 13,6 mm semana⁻¹, mientras que el tallo lo hace a un ritmo de 13 mm semana⁻¹.

Sin embargo, el largo de raíz que se reporta en este estudio puede no reflejar los valores

Cuadro 5. Valores promedio de las variables cuantitativas medidas en la población de plántulas de ciprés (*Cupressus lusitanica*) de 25 semanas de edad, del vivero forestal del Instituto Tecnológico de Costa Rica, Cartago, Costa Rica. (n=24 parcelas de 30 plántulas c/u)

Variable	Promedio	Error estándar \pm	Coefficiente de variación	Incremento medio semanal
Largo de raíz (cm)	33,99	1,08	15,18	1,39 \pm 0,06
Diámetro al cuello (mm)	27,94	0,96	16,39	1,14 \pm 0,05
Altura total (cm)	32,77	0,90	17,85	1,30 \pm 0,03
Relación altura/diámetro	1,09	0,02	—	—
Relación altura/largo raíz	0,90	0,03	—	—
Relación diámetro/largo raíz	0,84	0,04	—	—

que se obtendrían en viveros donde se practique apropiadamente la poda de raíz al momento del repique. Como se mencionó anteriormente, esta práctica estimula la formación de una mayor masa pubescente en su raíz y afecta su longitud. Es de esperar entonces, que los valores de largo de raíz con poda sean muy diferentes a los registrados en este estudio. Por lo tanto, los valores obtenidos en este estudio de la relación altura/largo de raíz o de diámetro al cuello/largo de raíz, deben ser utilizados como referencia pero no como criterio de calidad para esta especie. Serán necesarios estudios posteriores específicos sobre el crecimiento de la raíz del ciprés en bolsa, para establecer criterios precisos de calidad.

El conjunto de todas las variables se puede resumir en la asignación de la calidad global de la plántula. En términos generales se obtuvo un 45% de calidad 1 y un 51% de calidad 2 (Cuadro 4). Menos de un 4% de las plántulas obtuvo una calificación de calidad 3 o material no útil para fines de reforestación. Puede proponerse de manera preliminar, que un vivero forestal debe presentar <10% de plántulas de calidad 3. Sin embargo, conforme avancen los programas de mejoramiento genético y silviculturales, se espera que los viveros forestales registren <5% de plántulas de calidad 3 o de rechazo. Puede notarse también que los defectos con un control genético alto (bifurcaciones y torceduras del tallo), se presentaron en baja frecuencia en la población evaluada. Esto se debe, en parte, a que todo este material proviene de árboles de la mejor calidad posible.

Los índices de calidad pueden tener una gran utilidad para describir rápidamente la calidad de las plántulas o de un vivero forestal. En el cuadro 6 se muestra como algunas de las variables evaluadas pueden también ser expresadas en forma de un índice de calidad. Valores cercanos a 1 siempre indicarán una mayor calidad, mientras que cercanos a 2 (en caso de que la variable sea binomial) o cercanos a 3 (cuando la variable tenga 3 opciones), indicarán una menor calidad. Puede entonces observarse que la calidad de la raíz presenta el índice más bajo de todos, mientras que la calidad promedio global de la plántula fue de 1,59 (de 1 a 3), lo cual es relativamente bueno. Estos valores coinciden con los resultados de calidad que se muestran en el cuadro 3. Por

Cuadro 6. Índices de calidad para algunas variables cualitativas obtenidas de la población de plántulas de ciprés (*Cupressus lusitanica*) de 25 semanas de edad, del vivero forestal del Instituto Tecnológico de Costa Rica, Cartago, Costa Rica. (n=24 parcelas de 30 plántulas). Un valor de calidad de 1 es lo mejor y empeora conforme se acerca al valor de 4.

Variable	$\frac{\text{Índice} = (n1*1 + n2*2 + n3*3)}{(n1 + n2 + n3)}$
Rectitud del tallo	1,11
Estado fitosanitario	1,21
Calidad de raíz	1,75
Calidad de plántula	1,59

n1 = No. de individuos de calidad 1; n2 = No. de individuos de calidad 2; n3 = No. de individuos de calidad 3.

ejemplo, la torcedura severa en el tallo se reporta solamente en un 2,21% de las plántulas (Cuadro 4). El índice de rectitud del tallo en concordancia, se ubicó en un 1,11 (Cuadro 5), que es un valor muy cercano al 1, como correspondería cuando el 100% de los individuos no presenten ningún tallo torcido.

La tasa de mortalidad de las plántulas en el vivero parece estabilizarse a partir de la semana 12 después del repique (Figura 1). Los valores registrados en esta investigación podrían servir de punto de referencia en futuros trabajos o para el control de calidad en viveros comerciales. Tasas de mortalidad superiores a las registradas en este estudio, podrían considerarse como un efecto de algún problema de manejo del vivero.

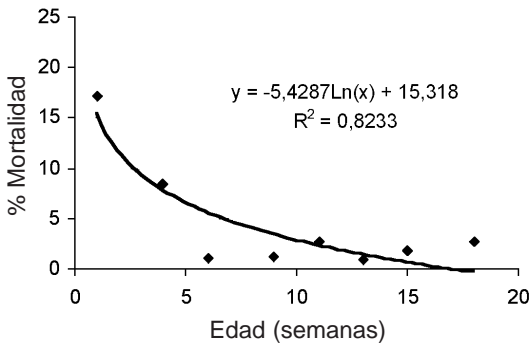


Fig. 1. Estabilización de la mortalidad de la plántula de *Cupressus lusitanica* en relación con la edad de trasplante a la bolsa, en el vivero forestal del Instituto Tecnológico de Costa Rica, Cartago, Costa Rica.

Con relación a la tasa de crecimiento en altura de las plántulas, es posible aplicar los principios del control de calidad con base en la curva promedio que se muestra en la figura 2. Los datos generados en este estudio, como se ha indicado, son basados en 2 ciclos de producción completos en vivero. En aquellos viveros de ciprés, donde la tasa de crecimiento sea inferior al crecimiento promedio que se propone en este estudio, podría considerarse que hay algún problema de manejo del vivero. Ya sea problemas con la irrigación, la fertilización o el control de malezas. Aunque el efecto genético también podría estar explicando en parte su bajo crecimiento.

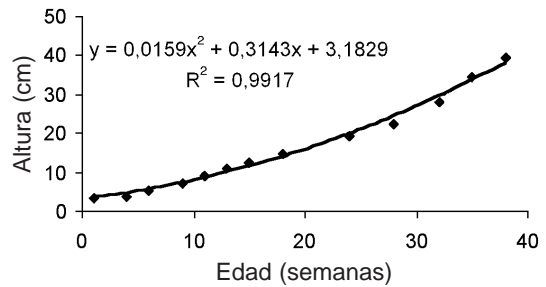


Fig. 2. Crecimiento en altura (cm) según la edad de la plántula (x) de *Cupressus lusitanica* producida en bolsa, en el vivero forestal del Instituto Tecnológico de Costa Rica, Cartago, Costa Rica.

Podría también utilizarse el coeficiente de variación de la altura total de la plántula, como una variable de fácil medición y manifestación directa de problemas en el manejo del lote de producción. Para este estudio se encontró un valor superior al 17% (Cuadro 5).

El diámetro al cuello es una variable de difícil medición y con algún grado de error debido al uso del pie de rey (vernier). Las plántulas presentan, por lo general, un tallo con tejido suculento que no ofrece mayor resistencia al cierre del instrumento a la hora de efectuar la medición. Además, por ser una variable con un alto costo de medición, se propone en esta metodología tomar una submuestra de 5 individuos dentro de la parcela de muestreo. Esta fue quizá la causa principal de que esta variable presentara uno de los valores de error estándar más altos (Cuadro 5). Sin embargo, los datos que se presentan en esta investigación, son basados en numerosas repeticiones y cantidad de parcelas de muestreo (24 parcelas permanentes) que respaldan su representatividad. Puede observarse en el cuadro 5, que el diámetro al cuello tiene una tasa promedio de crecimiento de 1,14 mm semana⁻¹. El valor promedio de diámetro al cuello de 4 cm registrado en esta investigación, es bastante bueno y superior a los 3-4 cm, considerados en muchos trabajos como criterio límite de salida del vivero forestal y buen predictor de supervivencia en la plantación (Mexal y Landis 1990, Morales y Viedma 1998, Toral 1997, Arias y Maldonado 2002).

La relación altura total vs. diámetro al cuello obtuvo un valor de 1,09 (Cuadro 5), que es bastante cercano al 1,0 que se registraría cuando ambas variables (diámetro y altura) estén creciendo a una tasa similar. Se considera que valores ligeramente inferiores a 1 son deseables e indicadores de una buena calidad de plántula (Toral 1997).

Finalmente, se proponen criterios de aceptación y rechazo de lotes de producción de viveros de esta especie, para las variables de mayor impacto y significancia en su calidad y sobrevivencia (Cuadro 7). Los valores de aceptación y rechazo que se proponen se basan en resultados realistas, alcanzables, tal y como se demuestra en esta investigación y en observaciones realizadas por los autores en otros viveros de ciprés del país.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Los estándares de calidad propuestos en este estudio pretenden ser una guía que pueda ser mejorada en futuras investigaciones. Más importante aún, con el avance de los programas de mejoramiento genético y las mejoras en el paquete tecnológico que emplean las organizaciones y empresas reforestadoras, se espera que en el futuro cercano estos mismos criterios e indicadores puedan ser revisados y establecidos con valores aún más altos.

La metodología propuesta deberá ser especialmente revisada en sus aspectos de muestreo. Se considera que con la alta homogeneidad en crecimiento entre plántulas, en particular en aquellos viveros altamente tecnificados, resultará en la necesidad de una menor intensidad de muestreo para alcanzar valores de error razonablemente bajos (<3-5%). El número de plántulas a muestrear en cada parcela, sin duda merece mayor atención en futuros estudios. La variable calidad produjo errores de muestreo aún mayores a la variable altura total. Probablemente, una variable como área basal por parcela, muestre mayor estabilidad y garantía de representatividad.

La tasa de crecimiento de la altura total, diámetro al cuello y longitud de raíces, para esta especie, producida en el sistema de bolsa plástica, deben ser tomados como una referencia y no como valores absolutos. En viveros forestales con un mejor manejo de la fertilización y el riego, podría perfectamente resultar en un incremento sustancial de la tasa de crecimiento de las plántulas de ciprés.

AGRADECIMIENTOS

Esta investigación se realizó con el apoyo financiero de la Vicerrectoría de Investigación y Extensión del Instituto Tecnológico de Costa Rica y el apoyo logístico y humano del vivero forestal en Cartago, de la Escuela de Ing. Forestal del Instituto Tecnológico de Costa Rica.

Cuadro 7. Criterios de aceptación y rechazo de lotes de producción en viveros forestales de ciprés (*Cupressus lusitanica*), basados en las variables de mayor importancia en la calidad y sobrevivencia de las plántulas.

Variable	Excelente	Bueno	Aceptable	Deficiente o de rechazo
Cantidad de plántulas de calidad 1 y 2	>95%	90-94,9%	85-89,9%	<85%
Coefficiente de variación de la altura total	1-5%	5,1-10%	10,1-15%	>15%
Mortalidad	<3%	3 - 5%	5-10%	>10%
Cantidad de plántulas con estado fitosanitario 1 y 2	>95%	90-94,9%	85-89,9%	<85%
Presencia de plántulas de posición sociológica suprimida	<2%	2,1-5%	5,1-10%	>10%

LITERATURA CITADA

ARIAS E., MALDONADO J. 2002. Posibilidades de selección temprana en *Pinus patula*, *Pinus ra-*

diata y *Eucalyptus globulus*. Práctica de especialidad. Instituto Tecnológico de Costa Rica. Escuela de Ingeniería Forestal. Cartago, Costa Rica. 100 p.

- FRAMPTON J., GOLDFARB B., SURLES S. 1999. Nursery rooting and growth of Loblolly pine cuttings: effects of rooting solution and full-sib family. *Southern Journal of Applied Forestry* 23 (2): 108-116.
- FRAMPTON J., ISIK F., GOLDFARB B. 2002. Effects of nursery characteristics on field survival and growth of Loblolly pine rooted cuttings. *Southern Journal of Applied Forestry* 26 (4): 207-213.
- MEXAL J.G., LANDIS T.D. 1990. Target seedling concepts: height and diameter. *In: Rose, Campbell y Landis. (eds) Target seedling symposium: Proceedings, combined meeting of the Western Forest Nursery Associations. 13-17 agosto, Roseburg, Oregon, USA. p. 17-35.*
- MORALES M., VIEDMA M. 1998. Guía para la evaluación de plántulas en vivero. Programa Red Nacional de Semillas Forestales. Cochabamba, Bolivia. Mimeo.
- RITCHIE G.A., TANAKA Y. 1990. Root growth potential and the target seedling. *In: Rose, Campbell y Landis. (eds) Target seedling symposium: Proceedings, combined meeting of the Western Forest Nursery Associations. 13-17 agosto, Roseburg, Oregon, USA. p. 37-52.*
- RODRÍGUEZ E., MURILLO O. 1986. Almacigos forestales. Establecimiento y manejo. Serie informativa tecnología apropiada No. 12. Unidad de tecnología apropiada. Centro de información tecnológica. Instituto Tecnológico de Costa Rica. Cartago, Costa Rica. 71 p.
- ROJAS F. 1999. Manual del reforestador. Centro de Información Tecnológica. Instituto Tecnológico de Costa Rica. Cartago, Costa Rica. 125 p.
- TORAL I. 1997. Concepto de calidad de plantas en viveros forestales. Documento Técnico 1. Programa de Desarrollo Forestal Integral de Jalisco. Guadalajara, México. 26 p.
- URUEÑA H. 1993. Efecto de la condición de la plántula de camarón (*Sterculia apetala*) sobre la supervivencia en el campo. Informe de investigación No. 18. Monterrey Forestal Ltda. Zambrano, Cartagena, Colombia. 3 p.
- ZOBEL B., TALBERT J. 1984. Applied forest tree improvement. Wiley. New York, USA. 505 p.