

DINÁMICA DE BROTAÇÃO Y DENSIDAD BÁSICA DE LA MADERA EN REBROTES DE TRES ESPECIES DENDROENERGÉTICAS

DYNAMICS OF SPROUTING AND BASIC DENSITY OF WOOD IN SHOOTS OF THREE WOOD SPECIES WITH DENDROENERGY POTENTIAL

Julio C. Ríos-Saucedo^{1,3*}, Eduardo Acuña-Carmona¹, Jorge Cancino-Cancino¹, Rafael Rubilar-Pons¹, José J. Corral-Rivas², Rigoberto Rosales-Serna³

¹Facultad de Ciencias Forestales, Universidad de Concepción. Victoria 631, Barrio Universitario, Concepción, Región del Biobío - Chile/Casilla 160-C. C. P. 4070386. (j_riossaucedo@hotmail.com). ²Universidad Juárez del Estado de Durango, Instituto de Silvicultura e Industria de la Madera. Blvd. del Guadiana Núm. 501, Ciudad Universitaria. C. P. 34120. Dgo., Durango. ³Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP)-Campo Experimental Valle del Guadiana. Carr. Durango-El Mezquital, km. 4.5. C. P. 34170. Dgo., Durango.

RESUMEN

La dinámica de brotación y la densidad básica son importantes en el manejo de especies para producción de biomasa con fines energéticos. Nuestro objetivo fue estudiar la dinámica de brotación y la densidad básica en *Eucalyptus globulus* Labill, *E. denticulata* Cook & Ladiges y *Acacia dealbata* Link con tres densidades de plantación (5000, 10 000 y 15 000 árboles ha⁻¹). El estudio se realizó en la región del Biobío, Chile, en tres fechas de evaluación (10, 21 y 31 meses después del corte; DC). A los 10 meses *A. dealbata* presentó el número mayor de rebrotes proventicios (5 a 19) en las tres densidades y luego el número disminuyó (4 a 7) a los 21 y 31 meses DC en 10 000 y 15 000 árboles ha⁻¹. *Eucalyptus denticulata* y *E. globulus* mostraron de tres a ocho rebrotes proventicios y entre uno y cuatro a los 31 meses DC. En 2014, los rebrotes de *E. denticulata* presentaron densidad básica mayor (520 y 570 kg m⁻³). La densidad de los rebrotes de *A. dealbata* y *E. globulus* fue de 440 a 500 kg m⁻³. La densidad básica se redujo en 2015, pero *E. denticulata* conservó la superioridad (470 y 490 kg m⁻³). En tocones de dos años se registró nivel alto de brotación. En las tres especies, el número de rebrotes proventicios se redujo con el tiempo, lo que favoreció la poda natural. La densidad básica de la madera mostró valores similares a plantaciones adultas, lo que benefició la producción de biomasa para energía a partir de rebrotes como cultivos dendroenergéticos de rotación corta.

Palabras clave: *Eucalyptus globulus*, *Eucalyptus denticulata*, *Acacia dealbata*, cultivos leñosos, monte bajo, dendroenergía.

ABSTRACT

Sprouting dynamics and basic density are important in managing species for production of biomass with the aim of energy production. Our objective was to study sprouting dynamics and basic density in *Eucalyptus globulus* Labill, *E. denticulata* Cook & Ladiges and *Acacia dealbata* Link with three plantation densities (5000, 10 000 and 15 000 trees ha⁻¹). The study was conducted in the region of Biobío, Chile, on three evaluation dates (10, 21 and 31 months after cutting; AC). At 10 months, *A. dealbata* had the highest number of proventitious shoots (5 to 19) in the three densities. The number later decreased (4 to 7) at 21 and 31 months AC in 10 000 and 15 000 trees ha⁻¹. *Eucalyptus denticulata* y *E. globulus* showed three to eight proventitious shoots and one to four at 31 months. In 2014, *E. denticulata* shoots had the highest basic density (520 and 570 kg m⁻³). The density of the *A. dealbata* and *E. globulus* shoots was between 440 and 500 kg m⁻³. Basic density decreased in 2015, but *E. denticulata* conserved its superiority (470 and 490 kg m⁻³). In two-year-old stumps, a high level of sprouting was recorded. In the three species, the number of proventitious shoots decreased over time, favoring natural pruning. Basic density of the wood had values similar to adult plantations, which benefited production of biomass for energy from shoots as short-rotation dendroenergy crops.

Key words: *Eucalyptus globulus*, *Eucalyptus denticulata*, *Acacia dealbata*, woody crops, low shrub, dendroenergy.

INTRODUCTION

Woody species cultivated in silvicultural short rotation coppice (SRC) systems have acquired importance in the supply

*Autor responsable ❖ Author for correspondence.

Recibido: mayo, 2016. Aprobado: octubre, 2016.

Publicado como ARTÍCULO en *Agrociencia* 51: 215-227. 2017.

INTRODUCCIÓN

Las especies leñosas, cultivadas en sistemas silvícolas de monte bajo de turnos cortos (Short Rotation Coppice “SRC”), han adquirido importancia en la oferta de biomasa vegetal (Hoogwijk *et al.*, 2005), la cual puede utilizarse con fines dendroenergéticos. *Eucalyptus globulus*, *E. nitens*, *E. denticulata* (Camps y Marcos, 2002) y *Acacia dealbata* (Quiroz *et al.*, 2014) son especies con potencial dendroenergético e importancia mundial. El interés por manejar los rodales de estos árboles con métodos de monte bajo ha aumentado, pues en los primeros ocho años producen el doble del volumen que con rodal de regeneración sexual o monte alto (Sixto *et al.*, 2007).

Después de una poda varias especies aumentan considerablemente los rebrotes en los tocones. Esto puede representar competencia entre individuos y poblaciones, y dificultades para el manejo de las plantaciones comerciales, pero aumenta la biomasa por unidad de superficie en menos tiempo. Algunas especies de sauce, álamo, acacia y eucalipto son las más adecuadas para el manejo en monte bajo, por su brotación alta con el vigor suficiente para obtener biomasa con fines dendroenergéticos (Geldres *et al.*, 2004). Los rebrotes de origen proventicio se desarrollan mejor y superan entre 10 y 20 % a los rebrotes adventicios (Vita, 1996).

En eucalipto se recomienda el aclareo a tres rebrotes por tocón después de 18 meses del corte de aprovechamiento, para obtener pulpa y leña; y para producir madera para aserrío se recomienda dejar uno a dos rebrotes por tocón (Geldres *et al.*, 2004; Kenya Forest Service, 2009). La densidad básica de la madera es una característica tecnológica importante por su correlación significativa con la mayoría de las propiedades físicas y mecánicas de la madera (Pereyra y Gelid, 2002; Omonte y Valenzuela, 2011). Además, es uno de los indicadores principales de la calidad y el rendimiento en especies forestales, y se considera un atributo que depende del tipo de árbol, de la edad, del sitio y de los tratamientos silvícolas usados durante el turno (Arango *et al.*, 2001).

El aumento en la producción de biomasa se observa en rodales de especies forestales en densidades altas de población, y se ha detectado que la mortalidad natural (auto-aclareo) regula el número

de plant biomass (Hoogwijk *et al.*, 2005) that can be used for dendroenergy. *Eucalyptus globulus*, *E. nitens*, *E. denticulata* (Camps and Marcos, 2002) and *Acacia dealbata* (Quiroz *et al.*, 2014) are species that have dendroenergetic potential and worldwide importance. Interest in managing stands of these trees with short rotation coppice methods has increased, since in the first eight years they produce double the volume produced by a stand of sexually regenerated, or high, forest (Sixto *et al.*, 2007).

After pruning, new shoots increase considerably on the stumps of several species. This may represent competition among individuals and populations, as well as difficulties in managing commercial plantations. However, it increases biomass per unit of area in less time. Some species of willow, poplar, acacia and eucalyptus are the most adequate for management of short rotation coppice because of the high rate of shoots that are vigorous enough for obtaining biomass for dendroenergy (Geldres *et al.*, 2004). The proventitious shoots are those that develop best, and a stump produces 10 and 20 % more than adventitious shoots (Vita, 1996).

In eucalyptus, leaving three shoots per stump is recommended 18 months after coppicing to obtain pulp and firewood; in order to produce wood for milling, leaving two shoots per stump is recommended (Geldres *et al.*, 2004; Kenya Forest Service, 2009). Basic density of the wood is an important technological characteristics because it correlates significantly with most of the physical and mechanical properties of wood (Pereyra and Gelid, 2002; Omonte and Valenzuela, 2011). Besides, it is one of the main indicators of quality and yield in forest species and is considered an attribute that depends on tree type and age, site, and silvicultural treatments during the growing cycle (Arango *et al.*, 2001).

Increase in biomass production is observed in stands of forest species with high population densities. It has also been detected that natural mortality (self-thinning) regulates the number of individuals (Mátyás and Varga, 2000). Information on the effect of plantation density on natural adjustment of the number and basic density of shoots during the cycle in eucalyptus and acacia is limited (Miranda and Pereira, 2015; Petro *et al.*, 2015). The study and adequate use of these properties can reduce silvicultural management costs

de individuos (Mátyás y Varga, 2000). La información en eucalipto y acacia es limitada para evaluar el efecto de la densidad de plantación en el ajuste natural del número y densidad básica de los rebrotes a lo largo del turno (Miranda y Pereira, 2015; Petro *et al.*, 2015). El estudio y uso adecuado de estas propiedades permite reducir los costos del manejo silvícola y mejora la calidad en la madera de plantaciones de monte bajo. El objetivo de este estudio fue evaluar la dinámica del número y la densidad básica en rebrotes de *E. globulus* Labill, *E. denticulata* Cook & Ladiges y *A. dealbata* Link en diferentes densidades de plantación. La hipótesis fue que todas las especies evaluadas muestran igualdad estadística en la dinámica de brotación y densidad básica en las tres densidades de plantación.

MATERIALES Y MÉTODOS

Descripción del área de estudio

El estudio se realizó en la octava región de Chile, en un experimento establecido en La Aguada (37° 11' 23" S y 72° 26' 04" O), comuna de Yumbel. El suelo predominante se conoce como arenal, tiene textura gruesa, es profundo, poco desarrollado, tiene procedencia aluvial y se derivó de arenas volcánicas con origen andesítico y basáltico. El clima predominante es sub-húmedo, con temperaturas entre 28.6 °C en enero y 4.4 °C en julio. La precipitación pluvial media anual es 1093 mm (Novoa y Villaseca, 1989).

Diseño experimental

El experimento se estableció en agosto de 2010, el diseño fue de bloques completos al azar con tres repeticiones. Cada bloque fue un cuadrado de 110 m de lado (12 100 m²) y formado por cuatro cuadrantes, cada uno con nueve parcelas de 18 m por lado (324 m²). Cada parcela tenía una zona de amortiguamiento del efecto de borde y una unidad experimental con 30 árboles útiles. Las especies plantadas fueron *E. globulus*, *E. denticulata* y *A. dealbata*, con tres densidades (5000, 10 000 y 15 000 árboles ha⁻¹). Las tres especies se manejaron con tres frecuencias de corte. Los cuadrantes se cosecharon el primero, segundo y tercer año de edad y se dejó uno sin corte (Figura 1). Las variables se midieron en el cuadrante cosechado en diciembre de 2012 y correspondió a la frecuencia de corte de dos años (tocones de dos años).

and improve the quality of wood in short rotation coppice plantations. The objective of this study was to evaluate the dynamics of the number and basic density of shoots of *E. globulus* Labill, *E. denticulata* Cook & Ladiges and *A. dealbata* Link in different plantation densities. The hypothesis was that all the species evaluated would be statistically equal in sprouting dynamics and basic density in the three population densities.

MATERIALS AND METHODS

Description of the study area

The study was conducted in the eighth region of Chile, in an experiment established in La Aguada (37° 11' 23" S and 72° 26' 04" W), Yumbel commune. The predominating soil is known as "arenal"; it has coarse texture, it is deep, undeveloped, alluvial and derived from volcanic sands of andesitic and basaltic origin. The prevailing climate of the region is sub-humid with temperatures between 28.6 °C in January and 4.4 °C in July. Mean annual rainfall is 1093 mm (Vovoa and Villaseca, 1989).

Experimental design

The experiment was set up in August 2012 using a complete randomized block design with three replications. Each block was a 110 m square (12 100 m²) consisting of four quadrants, each containing nine square plots, 18 m on the side (324 m²). Each plot, had a border buffer zone and one experimental unit with 30 useful trees. The species planted were *E. globulus*, *E. denticulata* and *A. dealbata*, at three densities (5000, 10 000 and 15 000 trees ha⁻¹). The three species were managed with three coppicing frequencies. The quadrant were harvested the first, second and third years and one quadrant was left without cutting (Figure 1). The variables were measured in the harvested quadrants in December 2012 and corresponded to the two-year coppicing frequency (two-year-old stumps).

Evaluated variables

In December 2012, the dynamics of number of proventitious shoots was evaluated in the obtained stumps. The number of shoots was counted in the experimental unit in September of 2014 and 2015, and height and diameter at collar height (DCH) of each shoot were measured. For combined analysis of shoots, shoots of each type (proventitious and adventitious) were

Variables evaluadas

En los tocones obtenidos en diciembre 2012 se evaluó la dinámica del número de rebrotes proventicios por tocón, el número de ellos se contó en la unidad experimental en septiembre de 2014 y 2015 y se midieron la altura y el diámetro a la altura del cuello (DAC) de cada rebrote. Para el análisis combinado de rebrotes se contó en cada tocón el tipo de rebrote (proventicio y adventicio) a los 10, 21 y 31 meses de crecimiento. El tipo de rebrote se definió según sus características fisiológicas y posición; los que brotaron en la corona del tocón y en posición horizontal formados de las yemas de cicatrización se identificaron como adventicios; los mejor unidos al tocón (planta madre) y en posición vertical, originados de yemas latentes dentro de los tejidos vivos del tocón, se identificaron como proventicios (de Simón y Bocio, 1999). En dos periodos de medición (2014 y 2015) se evaluó la densidad básica de cada vástago o rebrote, en rodajas de alturas diferentes a lo largo del fuste. Para esto, tres tocones se seleccionaron en el área de amortiguamiento de cada parcela y en cada una se cortaron todos los rebrotes, se empaquetaron y etiquetaron para identificar el bloque, especie, densidad, tocón y tipo de rebrote (adventicio y proventicio). Los rebrotes se llevaron al laboratorio para su análisis.

La densidad básica de la madera se determinó en todos los rebrotes de cada uno de los tocones. En cada brote se evaluó la altura total con un telescopio (Messfix[®]) de 12 m y el diámetro por sección con un pie de metro (Mitutoyo[®]) a los 10, 50, 130 cm (diámetro normal=DAP) y luego a cada metro, hasta que se registraron diámetros inferiores a 10 mm. De cada uno de estos puntos a lo largo del fuste se obtuvo una rodaja (de 2.5 cm de espesor). Éstas se ordenaron y etiquetaron en mallas plásticas, se colocaron en recipientes con agua, hasta su completa sumersión, para de esa forma lograr que el volumen de las rodajas sobrepasara el punto de saturación de las fibras.

Cuando las rodajas estuvieron completamente saturadas (peso constante) se determinó su volumen por el método de desplazamiento de agua por muestra (cm^3 de agua=g) según la Norma NCh 176/2 (INN, 1986). El peso del agua desplazada se determinó en una balanza electrónica (Snowrex[®] con precisión 0.01 g), sobre ésta se colocó un recipiente con agua, en el que las muestras estuvieron completamente sumergidas sin tocar los costados ni el fondo; el peso del agua desplazada, que correspondió al volumen de la muestra de madera, se obtuvo al considerar que la densidad del agua es uno (Valencia y Vargas, 1997). Las muestras en bolsas de papel se deshidrataron a 105 °C en un horno (Riossa[®]) hasta peso constante. El peso del material seco (anhidro) se obtuvo en una balanza electrónica (precisión 0.01 g), inmediatamente después de extraerse

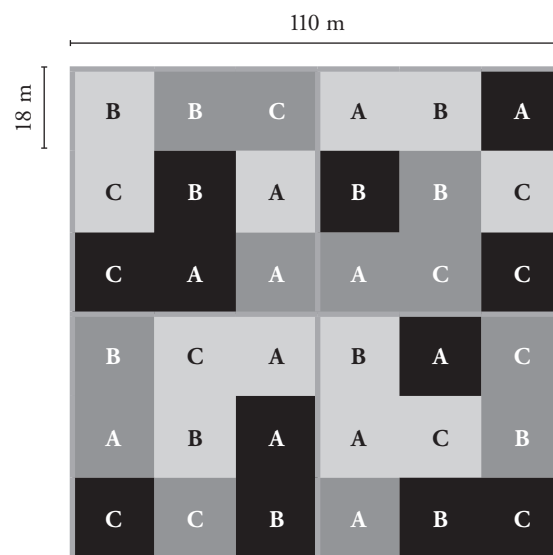


Figura 1. Distribución y diseño de las parcelas en el experimento. Cada cuadrante representa un tratamiento (frecuencia de corte), el color representa la especie y las letras (A, B y C) la densidad de plantación.

Figure 1. Distribution and design of experimental plots. Each quadrant represents one treatment (coppicing frequency), each color represents a species and the letters (A, B and C) are planting densities.

counted after 10, 21 and 31 months of growth on each stump. Shoot type was defined by their physiological characteristics and position. Shoots on the stump crown in a horizontal position formed from scar buds were identified as adventitious, whereas those better joined to the stump (mother plant) and in a vertical position originating from latent buds within live stump tissue were identified as proventitious (de Simón and Bocio, 1999). In two measuring periods (2014 and 2015) basic density of each shoot or stem was evaluated in slices made at different heights along the trunk. To this end, three stumps were selected in the buffer area of each plot, and all of the shoots were cut from each, packaged and labeled to identify the block, species, density, stump and shoot type (adventitious and proventitious), then taken to the laboratory for analysis.

Basic density of the wood was determined in all of the shoots from each of the stumps. In each shoot, total height was measured with a 12 m telescope (Messfix[®]) and each section's diameter was determined with a caliper (Mitutoyo[®]) at 10, 50, 130 cm (diameter at breast height (dbh) and then at each meter until reaching diameters of less than 10 mm. At each of these points along the trunk, a slice (2.5 cm thick) was obtained. These were ordered and labeled in plastic netting, and completely submerged in recipients with water so that the slices would exceed the point of saturation of its fibers.

del horno para evitar la absorción de humedad ambiental. La densidad básica de la madera correspondió al cociente del peso seco (anhidro) y el volumen saturado:

$$Db = \frac{PS}{Vh}$$

donde Db : densidad básica (g cm^{-3}), PS : peso seco (g) y Vh : volumen saturado (cm^3).

Análisis de datos

Los datos se analizaron con estadística descriptiva e inferencial con base en la especie, densidad y fecha de evaluación. Para densidad básica se realizó ANDEVA y comparación de medias con la prueba de Tukey ($p \leq 0.05$). El modelo estadístico fue:

$$Y_{ijkl} = \mu + SP_i + A_j + D_k + Tr_l + SP(A)_{ij} + SP(D)_{ik} + SP(Tr)_{il} + E_{ijkl}$$

$$i = 1, \dots, 3; j = 1, \dots, 2; k = 1, \dots, 3; l = 1, \dots, 2$$

donde Y_{ijkl} : valor de la variable dependiente, observado, en la especie i , en el año j , en la densidad de plantación k y tipo de rebrote l ; μ : media general; SP_i : efecto de la i -ésima especie; A_j : efecto del j -ésimo año; D_k : efecto de la k -ésima densidad de plantación; Tr_l : efecto del l -ésimo tipo de rebrote; $SP(A)_{ij}$: efecto de la interacción entre la i -ésima especie y j -ésimo año; $SP(D)_{ik}$: efecto de la interacción entre la i -ésima especie y la k -ésima densidad; $SP(Tr)_{il}$: efecto de la interacción entre la i -ésima especie y el l -ésimo tipo de rebrote; E_{ijkl} : error aleatorio residual.

Los datos se analizaron con SAS Versión 9.2 (Sas Institute, 2008), Infostat® (Universidad Nacional de Córdoba, Argentina) y Sigma Plot® 8.1 (Systat Software, Inc. San José California, USA).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Rebrotes proventicios

Acacia dealbata mostró la cantidad mayor de rebrotes proventicios en la densidad de 5000 árboles ha^{-1} , comparado con los otros tratamientos (Figura 2). En 2014 cerca de 85 % de los tocones tuvieron cuatro a cinco rebrotes en las densidades de 10 000 y 15 000 árboles ha^{-1} . El número máximo fue siete rebrotes, y en promedio medían 2.46 de altura y 21 mm de diámetro a la altura del cuello (DAC) en las

When the slices were completely saturated (constant weight), the volume of each sample was determined by the water displacement method ($1 \text{ cm}^3 \text{ water} = 1 \text{ g}$), following the Norm NCh176/2 (INN, 1986). The displaced water was weighed on an electronic balance (Snowrex® precision 0.01 g) on which a recipient with water was placed. In this recipient the samples were completely submerged and did not touch the sides or the bottom. Weight of the displaced water corresponding to the volume of the wood sample was obtained considering that the density of water as one (Valencia and Vargas, 1997). In paper bags, the samples were then dehydrated at 105°C in an oven (Riossa®) until constant weight. The dry material (anhydrous) was weighed on an electronic balance (precision 0.01 g) immediately after removing them from the oven before environmental moisture could be absorbed. Basic density of the wood corresponded to the quotient of dry weight (anhydrous) over saturated volume:

$$Db = \frac{PS}{Vh}$$

where Db : basic density (g cm^{-3}), PS : dry weight (g) and Vh : saturated (cm^3).

Data analysis

Data were analyzed with descriptive and inferential statistics based on the species, density and evaluation date. For basic density, an ANOVA was performed and means were compared with Tukey test ($p \leq 0.05$). The statistical model was:

$$Y_{ijkl} = \mu + SP_i + A_j + D_k + Tr_l + SP(A)_{ij} + SP(D)_{ik} + SP(Tr)_{il} + E_{ijkl}$$

$$i = 1, \dots, 3; j = 1, \dots, 2; k = 1, \dots, 3; l = 1, \dots, 2$$

where Y_{ijkl} : value of the dependent variable observed in i , in year j , in plantation density k and shoot type l ; μ : general mean; SP_i : effect of the i^{th} species; A_j : effect of the j^{th} year; D_k : effect of the k^{th} plantation density; Tr_l : effect of the l^{th} shoot type; $SP(A)_{ij}$: effect of the interaction between the i^{th} species and j^{th} year; $SP(D)_{ik}$: effect of the interaction between the i^{th} species and the k^{th} density; $SP(Tr)_{il}$: effect of the interaction between the i^{th} species and the l^{th} type of shoot; E_{ijkl} : residual random error.

Data were analyzed with SAS Versión 9.2 (SAS Institute, 2008), Infostat® (Universidad Nacional de Córdoba, Argentina) and Sigma Plot® 8.1 (Systat Software, Inc. San José California, USA).

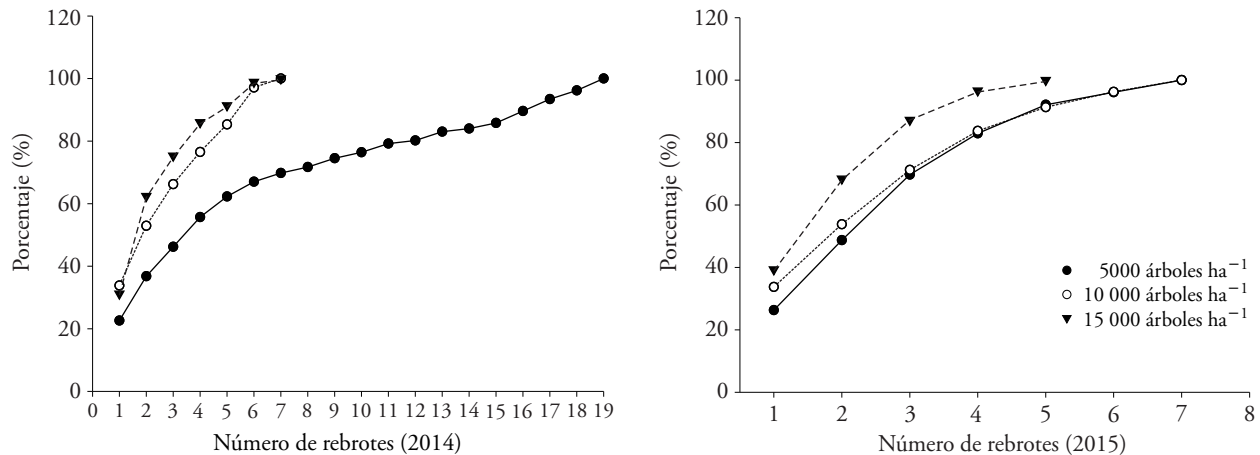


Figura 2. Proporción de tocones en *Acacia dealbata* que mostraron rebrotes proventicios en dos periodos de evaluación (2014 y 2015).

Figure 2. Proportion of *Acacia dealbata* stumps that produced adventitious shoots in two periods of evaluation (2014 and 2015).

tres densidades. Con el tiempo la altura promedio de los rebrotes llegó a 3.2 m y DAC de 27 mm; el número de rebrotes en las densidades de 5000 y 10 000 árboles ha⁻¹ se ajustó entre densidades de plantación en 2015, cuando 91 % de los tocones presentaron cinco rebrotes y alcanzaron un máximo de siete que representó el 9 % restante (Figura 2). Con 15 000 árboles ha⁻¹, 87 % de los tocones mostraron solo tres rebrotes proventicios, y hasta cinco en el resto de los tocones (Figura 2). Con el tiempo, en esta densidad el número de rebrotes proventicios disminuyó; esto pudo ser efecto de la competencia por espacio y nutrientes inter e intra tocones. Valero y Picos (2009) obtuvieron resultados similares en parcelas invadidas de *A. dealbata* en Galicia; ellos registraron brotación promedio entre 7 y 21 rebrotes por tocón de las parcelas evaluadas en las primeras fechas de crecimiento.

Eucalyptus denticulata mostró una capacidad considerable de rebrote en todas las densidades de plantación, en número de rebrotes, altura y diámetro. En 2014, cerca de 80 % de los tocones mostraron tres rebrotes proventicios, con máximo de siete y ocho en los otros tocones (Figura 3) con altura promedio de 2.33 m y un DAC de 21.57 mm en las tres densidades. El número de rebrotes proventicios se redujo en 2015; en las densidades de plantación de 10 000 y 15 000 árboles ha⁻¹ 94 % de los tocones mostraron dos rebrotes (Figura 3). En el caso de la densidad de plantación de 5000 árboles ha⁻¹, 91 % de los tocones presentaron tres rebrotes y los demás desarrollaron

RESULTS AND DISCUSSION

Proventitious shoots

Acacia dealbata had the highest number of proventitious shoots at the density of 5000 trees ha⁻¹, compared with the other treatments (Figure 2). In 2014, nearly 85 % of the stumps had four to five shoots in the densities of 10 000 and 15 000 trees ha⁻¹. The highest number was seven shoots, on average measuring 2.46 m high and 21 mm in diameter at collar height (DCH) in the three densities. Over time, the shoots reached 3.2 m and a DAC of 27 mm. The number of shoots in the densities of 5000 and 10 000 trees ha⁻¹ was adjusted among plantation densities in 2015 when 91 % of the stumps had five shoots and reached a maximum of seven, which the other 9 % produced (Figure 2). With 15 000 trees ha⁻¹, 87 % of the stumps had only three proventitious shoots, while the rest had up to five (Figure 2). Over time, in this density there was a decrease in the number of proventitious shoots, possibly due to the effect of inter- and intra- stump competition for space and nutrients. Valer and Picos (2009) obtained similar results in plots invaded by *A. dealbata* in Galicia. They recorded average sprouting of 7 to 12 shoots per stump in plots evaluated on the first dates of growth.

Eucalyptus denticulata showed considerable capacity for sprouting in all of the plantation densities, in number of shoots, height and diameter.

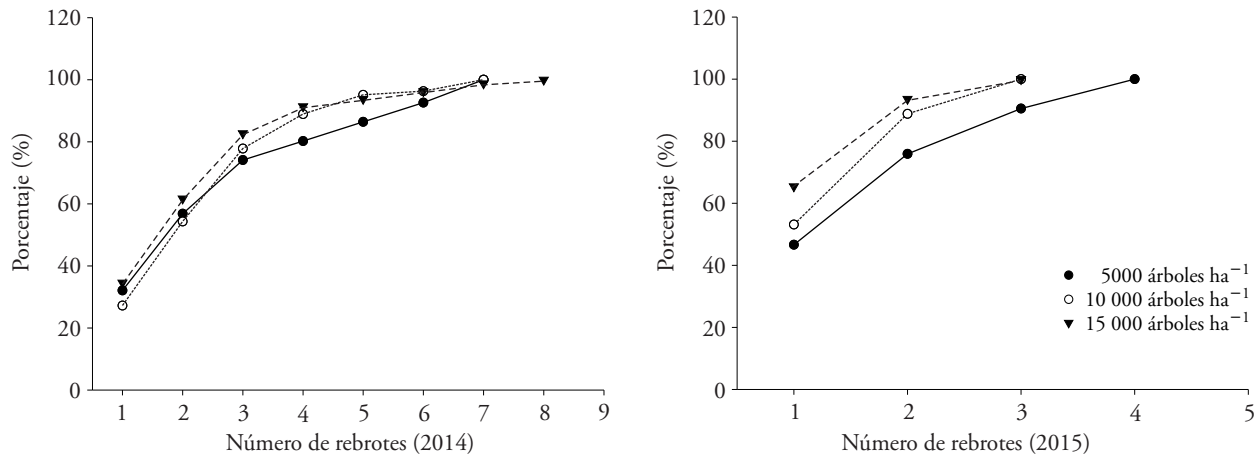


Figura 3. Proporción de tocones de *Eucalyptus denticulata* que mostraron rebrotes preventicios en dos periodos de evaluación (2014 y 2015).

Figure 3. Proportion of *Eucalyptus denticulata* stumps that grew preventitious shoots in two periods of evaluation (2014 and 2015).

hasta cuatro. La altura promedio de los rebrotes llegó a 4.77 m y el DAC a 42.91 mm.

En el 2014 el total de los tocones de *E. globulus*, en las tres densidades de plantación, mostró entre cuatro y cinco rebrotes preventicios (Figura 4). Aunque esta especie presentó número menor de rebrotes, mostró características mejores en su porte (en ese año tuvo 3.35 m de altura y 29 mm de DAC). En el 2015, cerca del total de los tocones redujo entre dos y tres rebrotes, en altura promedio de 7.2 m y DAC de 55 mm. Además, una proporción alta de tocones presentó de uno a dos en la

In 2014, almost 80 % of the stumps produced three preventitious shoots with up to seven shoots, whereas the others had eight (Figure 3) with an average height of 2.33 m and a DCH of 21.57 mm in the three densities. The number of preventitious shoots decreased in 2015; in the plantation densities 10 000 and 15 000 trees ha^{-1} , 94 % of the stumps had two shoots (Figure 3). In the case of the plantation density 5000 trees ha^{-1} , 91 % of the stumps had three shoots and the rest had up to four. Average height of the shoots reached 4.77 m, and average DCH was 42.91 mm.

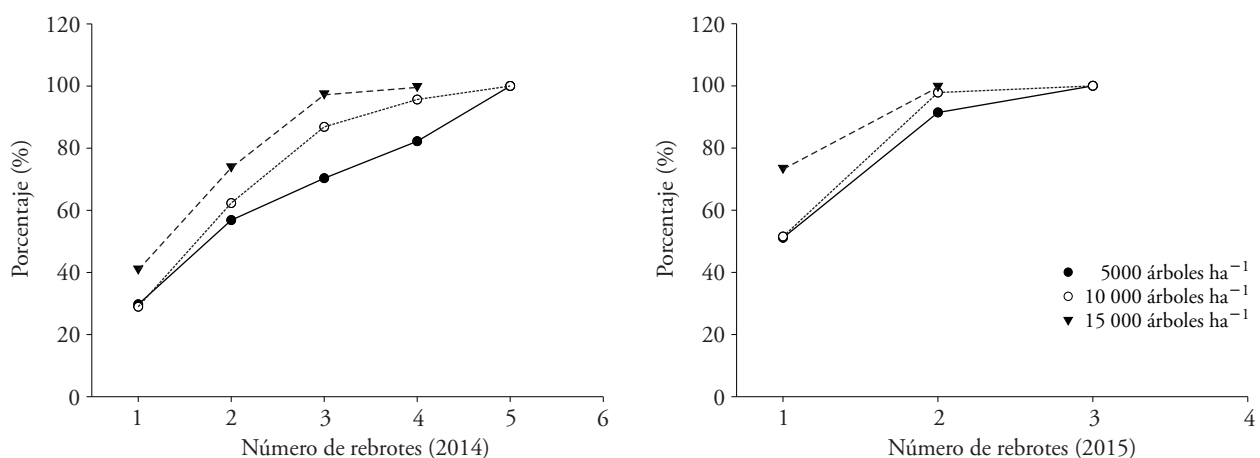


Figura 4. Proporción de tocones de *Eucalyptus globulus* que mostraron rebrotes preventicios en dos periodos de evaluación (2014 y 2015).

Figure 4. Proportion of *Eucalyptus globulus* stumps that produced preventitious shoots in two periods of evaluation (2014 and 2015).

densidad de 15 000 árboles ha^{-1} (Figura 4). Esto afecta la producción de rebrotes por competencia de espacio y luz. Villegas (2003)^[4] evaluó el efecto del espaciamiento del tocón en el número de rebrotes en *E. globulus* a los 60 d de crecimiento. El efecto no significativo lo atribuyó a la evaluación temprana (2 meses), cuando el crecimiento inicial del rebrote depende de la planta madre (tocón), que aporta soporte y nutrientes. Esto no sucedió después de 24 meses de crecimiento en nuestro estudio, donde los rebrotes compitieron inter e intra tocones, con influencia significativa en la densidad de plantación.

Las tres especies variaron en altura y diámetro como ajuste del número de rebrotes, en función del número de árboles ha^{-1} y del tiempo. Esta información podrá usarse para adecuar planes de manejo, reducir costos o evitar la replantación y utilizar el ajuste natural del número de los rebrotes en turnos cortos, para multiplicar la cantidad de biomasa por unidad de superficie, con fines dendroenergéticos o mejorar la calidad de la madera mediante podas, para ser aprovechada como aserrío u obtención de pulpa.

Análisis combinado de rebrotes adventicios y proventicios

La evaluación en fechas diferentes permitió visualizar la dinámica del número de rebrotes adventicios y proventicios en cada especie, densidad de plantación y periodo de crecimiento (Cuadro 1). En *A. dealbata* con 10 meses de crecimiento, en 15 000 árboles ha^{-1} se observó un número alto de rebrotes adventicios, ocho en promedio y hasta 37 rebrotes excepcionalmente. El número alto de rebrotes adventicios en la densidad de 15 000 árboles ha^{-1} disminuyó continuamente y a los 21 meses había cinco y tres a los 31 meses. En la densidad de 10 000 árboles ha^{-1} la respuesta fue irregular y se alcanzó en promedio dos rebrotes adventicios, con máximo de siete por tocón al final de la evaluación. En la densidad de 5000 árboles ha^{-1} el número de rebrotes adventicios fue menor, con fluctuación promedio de dos y tres en las tres fechas.

En esta especie, en la primera evaluación (10 meses), en la densidad de 5000 árboles ha^{-1} el número de rebrotes de tipo proventicios mostró cuatro

In 2014, all of the *E. globulus* stumps in the three plantation densities had four to five proventitious shoots (Figure 4). Although this species had a smaller number of shoots, it exhibited better characteristics (on that year it reached a height of 3.35 m and a DCH of 29 mm). In 2015, shoots on almost all of the stumps decreased to between two and three with average height of 7.2 m and DCH of 55 mm. Moreover, a high proportion of stumps produced one to two shoots in the density of 15 000 trees ha^{-1} (Figure 4). This affects shoot production because of the competition for space and light. Villegas (2003)^[4] evaluated the effect of stump spacing on the number of shoots on *E. globulus* after 60 d of growth. He attributed the non-significant effect to early evaluation (two months) at the time when initial growth of the shoot depends on the mother plant (stump), which provides support and nutrients. This did not occur after 24 months of growth in our study in which shoots engaged in inter- and intra-stump competition, in which plantation density had a significant influence.

The three species varied in height and diameter as adjustment in number of shoots in function of the number of trees ha^{-1} and time. This information can be used to adequate management plans, reduce costs or avoid replantation and use the natural adjustment of number of shoots in short cycles to multiply the amount of biomass per unit of area for dendroenergetic purposes, or to improve wood quality through pruning to produce lumber for milling or to obtain pulp.

Combined analysis of adventitious and proventitious shoots

Evaluation on different dates allowed visualization of the dynamics of the number of adventitious and proventitious shoots in each species, plantation density and growth period (Table 1). In *A. dealbata* with 10 months of growth, with 15 000 trees ha^{-1} , a high number of adventitious shoots was observed, eight on average and up to 37 shoots exceptionally. The high number of adventitious shoots in the density of 15 000 trees ha^{-1} decreased continuously, and at 21 months there were five and at 31 months there were three.

⁴ Villegas P, I. 2003. Manejo de rebrotes de *Eucalyptus globulus* Labillardiere en el altiplano mexicano. Tesis. Universidad Autónoma de Chapingo. División de Ciencias Forestales. Chapingo, México: 58.

Cuadro 1. Número de rebrotes proventicios y adventicios en tocones de especies dendroenergéticas, evaluadas en tres fechas y densidades de plantación.**Table 1. Number of proventitious and adventitious shoots on stumps of dendroenergetic species evaluated on three dates and plantation densities.**

Especie	Tipo de rebrote	Edad (meses)	Número de rebrotes por densidad de plantación árboles por ha		
			5000	10 000	15 000
<i>Acacia dealbata</i>	Proventicios	10	4 ± 2 (2-8)	5 ± 3 (1-11)	6 ± 11 (1-13)
		21	3 ± 1 (1-4)	4 ± 2 (1-10)	5 ± 3 (1-17)
		31	4 ± 2 (1-4)	4 ± 2 (1-8)	4 ± 3 (1-11)
	Adventicios	10	2 ± 1 (2-4)	4 ± 5 (2-16)	8 ± 10 (1-37)
		21	3 ± 1 (2-4)	5 ± 2 (2-7)	5 ± 4 (2-17)
		31	3 ± 1 (2-3)	2 ± 2 (1-7)	3 ± 2 (1-8)
<i>E. denticulata</i>	Proventicios	10	5 ± 1 (2-9)	4 ± 2 (2-10)	4 ± 1 (2-7)
		21	3 ± 1 (1-6)	3 ± 1 (1-6)	3 ± 1 (1-9)
		31	2 ± 1 (1-6)	2 ± 1 (1-5)	2 ± 1 (1-4)
	Adventicios	10	3 ± 3 (1-9)	5 ± 6 (2-25)	7 ± 5 (1-24)
		21	3 ± 1 (1-6)	5 ± 2 (1-7)	3 ± 2 (1-11)
		31	2 ± 1 (1-4)	2 ± 2 (1-6)	2 ± 1 (1-8)
<i>E. globulus</i>	Proventicios	10	6 ± 2 (2-11)	5 ± 2 (1-10)	5 ± 2 (1-9)
		21	4 ± 2 (2-7)	3 ± 1 (1-7)	3 ± 1 (1-6)
		31	2 ± 2 (1-5)	2 ± 1 (1-6)	2 ± 2 (1-5)
	Adventicios	10	8 ± 8 (1-36)	6 ± 4 (1-15)	7 ± 7 (1-15)
		21	3 ± 3 (1-13)	3 ± 1 (1-7)	2 ± 2 (1-9)
		31	2 ± 1 (1-6)	2 ± 1 (1-4)	2 ± 1 (1-9)

Valor medio, ± = desviación estándar y rango observado (mínimo-máximo). ♦ Mean value, ± = standard deviation and observed range (minimum-maximum).

rebrote y un intervalo de dos a ocho rebrotes. Además, en promedio se redujo este tipo de rebrote a los 21 meses, entre uno y cuatro y promedio de tres, y mantuvo cuatro en la evaluación final (31 meses). En las densidades mayores se redujo el número de rebrotes y la variabilidad entre tocones con el tiempo. Después del corte, en la densidad menor el tocón quedó expuesto a la radiación solar directa y al viento, lo que aceleró el proceso de cicatrización de la zona del corte, esto redujo la producción de tejido calloso, en el que se originan las yemas de tipo adventicio. Lo anterior favoreció la formación de rebrotes proventicios, con promedio de cuatro en todas las densidades de plantación, a los 31 meses después del corte.

Eucalyptus denticulata mostró cantidad alta de rebrotes adventicios en la primer fecha de evaluación, con cinco en la densidad de 10 000 árboles ha^{-1} y siete en la de 15 000 árboles ha^{-1} (Cuadro 1). Además, hubo variación amplia entre tocones (máximos de hasta 25 rebrotes adventicios por

In the density of 10 000 trees ha^{-1} , the response was irregular and reached an average of two adventitious shoots with a maximum of seven per stump at the end of the evaluation. In the density of 5000 trees ha^{-1} , the number of adventitious shoots was lower with an average fluctuation of two and three on the three dates.

The first evaluation (10 months) of this species, at the density of 5000 trees ha^{-1} , showed an average of four proventitious-type shoots and an interval of two to eight shoots. At 21 months, there was a reduction of this type of shoot, between one and four and averaging three; four remained in the final evaluation (31 months). At higher densities, the number of shoots and the variability decreased over time. After coppicing, at the lower density the stumps were exposed to direct solar radiation and to wind, accelerating the scarring process in the cut area, which in turn reduced the production of callous tissue where adventitious type buds originate. Thus, the formation of proventitious shoots was favored,

tocón). Esta respuesta disminuyó en las evaluaciones a los 21 y 31 meses, en todas las densidades. Este patrón también se observó en los rebrotes proventicios (de dos a cinco), con la cantidad mayor en 5000 árboles ha^{-1} .

En la primera evaluación, después de 10 meses de crecimiento, en *E. globulus* se observó el número promedio mayor (ocho) de rebrotes adventicios en la densidad de 5000 árboles ha^{-1} , pero el máximo fue 36 (Cuadro 1). En las evaluaciones siguientes (21 y 31 meses después del corte) los valores disminuyeron a tres y dos, respectivamente. También en la primera fecha el número de rebrotes proventicios en esta especie varió de cinco a seis en las tres densidades y disminuyó en el tiempo a dos rebrotes por tocón en las tres densidades (Cuadro 1). Con el tiempo el número de rebrotes, tanto adventicios como proventicios, se redujo en todas las especies y densidades de plantación principalmente por la eliminación natural de los rebrotes débiles, que disminuyen su crecimiento debido a la competencia por espacio y radiación solar (Sarmiento y Ávila, 2007; Goel y Singh, 2008). La disminución de la intensidad luminosa influye en el inicio del rebrote (Meier *et al.*, 2012).

La importancia del diámetro del tocón se ha demostrado en la probabilidad de rebrote de algunas especies arbóreas, y los árboles con tallos más gruesos tienen menor capacidad de rebrote (Sands y Abrams, 2009). En nuestro estudio los tocones jóvenes de *E. denticulata*, de 2 años y diámetros entre 5 y 8 cm y 7 cm en *E. globulus* y *A. dealbata*, mostraron buen rebrote. Mc Carthy *et al.* (2014) reportan diferencias en el número de rebrotes entre clones, edad de corte y altura del tocón.

Densidad básica

La densidad básica de la madera mostró diferencias significativas entre especies y periodos de evaluación; pero los tipos de rebrotes (adventicios y proventicios) no fueron diferentes en las tres especies estudiadas. En 2014, *E. denticulata* mostró los valores mayores y los de *A. dealbata* fueron los menores (Cuadro 2). Los valores de *E. globulus* concordaron con los documentados por Igartúa y Monteoliva (2010) de densidad básica de la madera, en plantaciones adultas de tallo único (unifustales), entre 480 y 503 kg m^{-3} .

and an average of four were produced in all of the plantation densities 31 months after coppicing.

Eucalyptus denticulata had a large number of adventitious shoots on the first evaluation date, with five in the density of 10 000 trees ha^{-1} and seven in that of 15 000 trees ha^{-1} (Table 1). Moreover, there was broad variation among stumps (up to 25 adventitious shoots per stump). This response decreased in the evaluations at 21 and 31 months in all of the densities. The pattern was also seen with proventitious shoots (two to five), the highest quantity in the density of 5000 trees ha^{-1} .

In the first evaluation of *E. globulus*, after 10 months of growth, the highest average number of adventitious shoots (eight) was observed in the density of 5000 trees ha^{-1} , with a maximum of 36 (Table 1). In the following evaluations (21 and 31 months after coppicing), average values decreased to three and two, respectively. Also on the first date (10 months) the number of proventitious shoots in this species varied from five to six in the three densities and decreased over time to two shoots per stump in the three densities (Table 1). Over time, the number of shoots, both adventitious and proventitious, decreased in all of the species and plantation densities mainly due to natural elimination of the weak shoots, whose growth is affected by competition for space and solar radiation (Sarmiento and Ávila, 2007; Goel and Singh, 2008). A reduction in light intensity affects initiation of regrowth (Meier *et al.*, 2012).

The importance of stump diameter in the probability of regrowth of some tree species has been demonstrated, and trees with thicker trunks have less capacity for regrowth (Sands and Abrams, 2009). In our study, the young 2-year-old *E. denticulata* stumps with diameters between 5 and 8 cm and 7-cm-diameter *E. globulus* and *A. dealbata* stumps exhibited good regrowth. McCarthy *et al.* (2014) report differences in the number of shoots between clones, coppicing age, and stump height.

Basic density

Basic wood density was significantly different among species and evaluation periods; but shoot types (adventitious and proventitious) were not different in the three studied species. In 2014, *E. denticulata* had the highest values and *A. dealbata*

Cuadro 2. Valores medios de densidad básica de rebrotes en tres especies con potencial dendroenergético, establecidas en tres densidades de plantación.**Table 2. Mean basic density values of shoots in three species with dendroenergetic potential established in three plantation densities.**

	Densidad básica kg m ⁻³ 2014		Densidad básica kg m ⁻³ 2015	
	Adventicios	Proventicios	Adventicios	Proventicios
5000 árboles ha ⁻¹				
<i>Acacia dealbata</i>	440A	480Aa	—	450Aa
<i>Eucalyptus denticulata</i>	540Ba	520Aa	490Ab	490Ba
<i>E. globulus</i>	450Aa	500Aa	440Aa	430Ab
10 000 árboles ha ⁻¹				
<i>A. dealbata</i>	500Aa	460Aa	380Ab	460Aa
<i>E. denticulata</i>	550Ba	560Ba	470Bb	480Ab
<i>E. globulus</i>	500Aa	500Ca	450Ba	470Aa
15 000 árboles ha ⁻¹				
<i>A. dealbata</i>	470A	470Aa	—	450Aa
<i>E. denticulata</i>	570Ba	540Ba	470Ab	470Ab
<i>E. globulus</i>	480Aa	500Ba	420Ba	460Ab

Letras mayúsculas diferentes muestran diferencias significativas entre especies dentro del mismo año; letras minúsculas diferentes muestran diferencias entre años ($p \leq 0.05$). ✧ Different upper case letters signal significant differences among species in the same year; lower case letters indicate differences between years ($p \leq 0.05$).

En 2015 los valores de la densidad básica se redujeron en las tres especies, aunque en *E. denticulata* fue superior. Los valores de *A. dealbata* (380 y 460 kg m⁻³) (Cuadro 2) fueron similares a los obtenidos (densidad básica de la madera desde 318 hasta 544 kg m⁻³) por Pinilla y Hernández (2010) en plantaciones de la misma especie con un tallo, en localidades de la región del Biobío. Ellos también observaron que los valores menores (414 a 466 kg m⁻³) correspondieron a los árboles jóvenes y variación entre los sitios experimentales; la sección muestreada del tallo presentó densidad básica mayor en la base del fuste (558 a 590 kg m⁻³).

Variación de la densidad básica de la madera dentro del árbol también se ha observado en eucalipto. Esta se relacionó con las edades formativas del tallo y la morfología de las fibras (Igartúa y Monteoliva, 2010). En *E. regnans*, la densidad básica disminuyó (404 kg m⁻³) entre la base y 4.5 % de la altura total del árbol y luego aumentó (462 kg m⁻³) hasta 70 % de la altura del árbol (Omonte y Valenzuela, 2011). La reducción de la densidad básica registrada entre años en nuestro estudio se debió principalmente al efecto del crecimiento primario, el que modificó la posición de la distancia desde la base en relación con

the lowest (Table 2). The wood density values of *E. globulus* coincided with those documented by Igartúa and Monteoliva (2010) in single stem adults (480 to 503 kg m⁻³).

In 2015, the basic density values decreased in the three species, although in *E. denticulata* it was higher. The values of *A. dealbata* (380 and 460 kg m⁻³) (Table 2) were similar to those obtained (318 up to 544 kg m⁻³) by Pinilla and Hernández (2010) in sites of the Biobío region. They also observed that the lower values (414 to 466 kg m⁻³) corresponded to young trees and varied among experimental sites and trunk section sampled; the highest value of basic density was found at the base of the trunk (558 to 590 kg m⁻³).

Variation in wood basic density within the tree has also been observed in eucalyptus. This is related with the formative ages of the stem and fiber morphology (Igartúa and Monteoliva, 2010). In *E. regnans*, basic density decreased (404 kg m⁻³) between the base and 4.5 % of the total tree height but later increased (462 kg m⁻³) up to 70 % of the tree height (Omonte and Valenzuela, 2011). The reduction in basic density between years in our study was mainly due to the effect of primary growth, which modified the distance

los sitios de muestreo a diferentes alturas del fuste (Igartúa *et al.*, 2002).

CONCLUSIONES

Acacia dealbata, *Eucalyptus denticulata* y *E. globulus* presentan brotación en tocones de 2 años y pueden manejarse como cultivos de monte bajo (SRC). Los tallos por unidad de superficie aumentarán, a pesar de la disminución considerable de rebrotes (proventicios y adventicios). Aunque la densidad básica de la madera de *E. denticulata* es menor, las tres especies muestran características similares a las de plantaciones adultas de tallo simple, por lo que pueden usarse para la producción de biomasa dendroenergética desde rebrotes, lo que evita los costos de replantación y pueden usarse en varios turnos de aprovechamiento.

LITERATURA CITADA

- Arango A., B., J. F. Hoyos, y A. M. Vásquez. 2001. Variación de la densidad básica de la madera de *Eucalyptus grandis* en árboles de siete años de edad. *Rev. Fac. Nac. Agron.* 54: 1275-1284.
- Camps M., M., y F. Marcos M. 2002. *Los Biocombustibles*. Ediciones Mundi-Prensa. Madrid, España. 364 p.
- de Simón, E., e I. Bocio. 1999. Modelo de restauración de encinares basado en el tratamiento de roza entre dos tierras del matorral de encinas. *Investigación Agraria. Sist. Recur. For.* 8: 249-260.
- Geldres, E., J. E. Schlatter, y A. Marcoleta. 2004. Monte bajo, opción para tres especies de Eucaliptos en segunda rotación, un caso en la provincia de Osorno, Décima Región, Chile. *Bosque* 25: 57-62.
- Goel, V. L., and B. Singh. 2008. Growth and productivity potential of *Dalbergia sissoo* in short rotation coppice system on sodic soil. *Indian J. Forest.* 31: 491-499.
- Hoogwijk, M., A. Faaij, B. Eickhout, B. de Vries, and W. Turkenburg. 2005. Potential of biomass energy out to 2100, for four IPCC SRES land-use scenarios. *Biomass Bioenerg.* 29: 225-257.
- Igartúa, D. V., S. E. Monteoliva, M. G. Monterubbianesi, y M. S. Villegas. 2002. Calidad del leño en *Eucalyptus globulus* ssp. *globulus*. II. Variaciones en la densidad básica y la longitud de fibras en Lobería, Provincia de Buenos Aires, Argentina. *Rev. Fac. Agron. La Plata* 105: 29-39.
- Igartúa, D., y S. Monteoliva. 2010. Densidad básica, longitud de fibras y crecimiento en dos procedencias de *Eucalyptus globulus* en Argentina. *Bosque* 31: 150-156.
- INN (Instituto Nacional de Normalización). 1986. CCh 176/2. Madera. parte 2: Determinación de la Densidad. INN. Santiago, Chile. 11 p.
- Kenya Forest Service. 2009. A guide to on-farm *Eucalyptus* growing in Kenya. Nairobi. 36 p.
- Mátyás, C., and G. Varga. 2000. Effect of intra-specific competition on tree architecture and aboveground dry matter allocation in Scots pine. *Forest Syst.* 9: 111-119.

from the base to the sampling sites at different trunk heights (Igartúa *et al.*, 2002).

CONCLUSIONS

Two-year-old *Acacia dealbata*, *Eucalyptus denticulata* and *E. globulus* stumps show sprouting and they can be managed as short rotation coppice (SRC). Stems per unit of area will increase, despite the considerable decrease in shoots (proventitious and adventitious). Although basic density of *E. denticulata* wood is lower, the three species exhibit characteristics similar to single stem adult plantations, and so can be used to produce dendroenergetic biomass from the shoots, which avoids replanting costs. Moreover, they can be used in several shifts.

—End of the English version—



- McCarthy, R., P. M. Ekö, and L. Rytter. 2014. Reliability of stump sprouting as a regeneration method for poplars: clonal behavior in survival, sprout straightness and growth. *Silva Fennica* 48: 9 p.
- Meier, A. R., M. R. Saunders, and C. H. Michler. 2012. Epicormic buds in trees: a review of bud establishment, development and dormancy release. *Tree Physiol.* 32: 565-584.
- Miranda, I., and H. Pereira. 2015. Variation of wood bark density and production in coppiced *Eucalyptus globulus* trees in a second rotation. *J. Biogeosci. Forest.* 9: 270-275.
- Novoa, R., y S. Villaseca. 1989. *Mapa Agroclimático de Chile*. Instituto de Investigaciones Agropecuarias, Santiago, Chile. 126 p.
- Omote, M., y L. Valenzuela. 2011. Variación radial y longitudinal de la densidad básica en árboles de *Eucalyptus regnans* de 16 años. *Maderas Cienc. Tecnol.* 13: 211-224.
- Pereyra, O., y M. Gelid. 2002. Estudio de la variabilidad de la densidad básica de la madera de *Pinus taeda* para las plantaciones de Misiones y Norte de Corrientes. *Rev. Floresta* 33: 3-19.
- Petro, R., F. Laswai, M. Mijai, G. Nyaradani, and C. Balama. 2015. A review on tree species suitability for wood fuel in Kilimanjaro region. *J. Environ. Earth Sci.* 5: 23-27.
- Pinilla, J. C., y G. Hernández. 2010. Poder calorífico de *Acacia dealbata* Link crecida en Chile. *Ciencia e Investigación Forestal*. CIFOR 16:353-379.
- Quiroz, I., M. P. Pincheira, J. A. Hernández, M. González., E. García, y H. Soto. 2014. Efecto del volumen radicular sobre el crecimiento de *Acacia dealbata* Link. en vivero y en terreno en el secano de la región del Biobío, Chile. *Rev. Árvore* 38: 155-164.
- Sands, B. A., and M. D. Abrams. 2009. Effects of stump diameter on sprout number and size for three oak species in a Pennsylvania clearcut. *Northern J. Appl. Forest.* 26: 122-125.

- Sarmiento, E. P., y J.A. Ávila. 2007. Efecto de intensidad de luz sobre los componentes de materia seca en brotes de nogal (*Carya illinoensis* K. Koch). Rev. Chapingo Ser. Zonas Árid. 6: 103-107.
- SAS, Institute. 2008. SAS/Stat 9.2 User's Guide: SAS Institute Cary, NC.
- Sixto, H., M. J. Hernández, M. Barrio., J. Carrasco, y I. Cañellas. 2007. Plantaciones del género *Populus* para la producción de biomasa con fines energéticos: revisión. Investigación agraria. Sist. Rec. For. 16: 277-294.
- Valencia M., S., y J. J. Vargas H. 1997. Método empírico para estimar la densidad básica en muestras pequeñas de madera. Madera y Bosques 3: 81-87.
- Valero, E., y J. Picos. 2009. Parcelas invadidas por *Acacia dealbata* Link. Evaluación de su potencial aprovechamiento incluyendo bioenergía. In: Memoria del 5º Congreso Forestal Español. Ávila, España. 21 a 25 de septiembre. p. 12.
- Vita, A. 1996. Los tratamientos silviculturales. 2ª ed. Universidad de Chile. Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales. Departamento de Silvicultura: 147.