



7º CONGRESO FORESTAL ESPAÑOL

**Gestión del monte: servicios
ambientales y bioeconomía**

26 - 30 junio 2017 | Plasencia
Cáceres, Extremadura

7CFE01-237

Edita: Sociedad Española de Ciencias Forestales
Plasencia. Cáceres, Extremadura. 26-30 junio 2017
ISBN 978-84-941695-2-6

© Sociedad Española de Ciencias Forestales

Antecedentes para la utilización del monte bajo de *Eucalyptus globulus* en Chile. Avances del programa de investigación

PINILLA SUÁREZ, J.C¹; LUENGO VERGARA, K.¹ y NAVARRETE TORRES, M.¹

¹ Instituto Forestal, Concepción, Chile.

Resumen

Chile cuenta con 573.000 hectáreas de plantaciones de *Eucalyptus globulus*, caracterizadas por rápido crecimiento y cortas rotaciones, generando principalmente madera para celulosa. La especie presenta en el país una alta regeneración vegetativa a través del rebrote de los tocones después de la corta, permitiendo establecer un nuevo bosque originado en estos rebrotes (monte bajo), situación que unida a su rápido crecimiento, genera una alternativa para la producción de madera para pulpa y otros productos en una corta rotación, siendo una opción técnica y económicamente atractiva para los propietarios de bosques del país. El aprovechamiento eficiente de la oportunidad que representa el uso de la regeneración de la especie requiere de conocer los factores que influyen en su gestión, esquemas de manejo y el contar con herramientas de estimación y antecedentes técnicos y económicos asociados al uso del monte bajo, así como la determinación de los niveles mínimos de productividad en donde sería recomendable utilizar este tipo de manejo forestal. Se presenta información generada por el Instituto Forestal en cuanto al crecimiento de este tipo de bosques en Chile, niveles de productividad en esquemas de monte bajo y herramientas de estimación de productividad y de gestión generadas orientadas a su uso por forestadores y propietarios.

Palabras Claves:

Manejo, retoños, silvicultura, utilización, propietarios, gestión

1. Introducción

El total de plantaciones forestales en Chile alcanzan a cerca de 2,4 millones de hectáreas, siendo *Pinus radiata* la principal especie utilizada con cerca de 1,4 millones de hectáreas plantadas. La segunda especie forestal plantada en Chile es *Eucalyptus globulus* con 576 mil hectáreas, representando el 24,1% de la superficie total de plantaciones a nivel nacional (INFOR, 2016).

Eucalyptus globulus es una de las especies que más desarrollo ha alcanzado en Chile, donde el rango de precipitaciones recomendable para su establecimiento va desde los 500 hasta los 1.200 mm, aun cuando puede adaptarse a precipitaciones superiores a los 2000 mm. En cuanto a los requerimientos de suelo, requiere suelos de profundidad moderada a profundos, de fertilidad moderada, y no soporta suelos calcáreos (Prado y Barros, 1989).

La empresa forestal en Chile establecen plantaciones de *Eucalyptus globulus* para producción de pulpa principalmente, empleando plantas con material genéticamente mejorado, técnicas intensivas de establecimiento (preparación de suelos, fertilización inicial y control de competencia hasta segundo año), densidad de plantación de 1.600 plantas por hectárea, sin manejo posterior, y rotaciones de 10 a 12 años, obteniendo rendimientos cercanos a los 200 m³/ha, con un potencial de crecimiento de 15 a 40 m³/ha/año, lo que ha potenciado su uso, asociado además a atractivos precios de la celulosa.

En general se prefiere *Eucalyptus globulus* por la mayor densidad de su madera, corta rotación para la obtención de biomasa para celulosa, mejor precio pulpable, alto crecimiento y porque se puede generar un nuevo bosque a partir de su regeneración. Esta característica de poder manejar la retoñación de la especie (manejo del monte bajo) es una interesante alternativa para propietarios y empresas, los que pueden ver incrementar sus beneficios económicos, en cortas rotaciones, sin

necesidad de reponer una plantación. Esto depende evidentemente del sitio, del manejo que se le dé al monte bajo, de la rotación y de los productos que se busque obtener.

E. globulus brota vigorosamente de cepa (Prado y Barros, 1989; González et al., 1997), donde se pueden obtener sucesivos aprovechamientos de un mismo tocón. Se requiere de un adecuado tratamiento de los tocones y retoños para la obtención de las siguientes cosechas hasta que este se agota.

Se ha descrito que el volumen a obtener en una primera rotación en monte bajo suele ser superior al de la anterior en monte alto, donde el rendimiento de los retoños suele igualar a la primera en monte alto y en adelante es difícil que los brotes puedan superar en producción de madera a una nueva plantación (Ayling y Martins, 1981; Andrade et al., 1997; Camargo et al., 1997; Gonzalez et al., 1997). Por lo general sólo en lugares de gran calidad de sitio y una buena calidad de la plantación y mantenimiento, se podría aprovechar más de una tercera rotación.

Los brotes después del primer año de la corta crecen con un gran vigor inicial debido a que están aprovechando las substancias de reserva acumuladas en las raíces y que el árbol va a usar para rehacer lo antes posible la parte aérea perdida, producto de la masa radicular existente que permite la absorción de agua y nutrientes.

La capacidad de retoñación de *Eucalyptus globulus*, es normalmente alta, lo que se refleja en una gran cantidad de retoños por tocón y en el rápido crecimiento de estos. En Chile existe información proveniente de algunas experiencias de INFOR (2002) y de algunos autores para casos específicas (Ribalta. E.; 1983; Diaz. F.; 1984; Peñaloza. S.; 1985; Toral, M. et al 1988). Pero se requiere de obtener y validar mayor información sobre esta práctica silvícola, razón que motivó a INFOR a implementar una línea de investigación al respecto iniciando un estudio para describir el crecimiento del monte bajo de *Eucalyptus globulus* en el país.

La opción de manejo en monte bajo, por su rápido crecimiento en rotación corta y su menor costo de establecimiento, dado principalmente por clareo de los múltiples retoños que brotan de la cepa original, resulta muy interesante para obtener productos de valor en un menor número de años (8 a 10 años vs. 10 a 13 años monte alto) y acceder así a diferentes escenarios económicos y de mercados (Pinilla, 2004).

De diferentes ensayos establecidos por el Instituto Forestal (INFOR) en Chile se destaca y coinciden en que basta con dejar uno o dos retoños por tocón para obtener la máxima ocupación de sitio y un buen rendimiento volumétrico, esto fundamentalmente por obtenerse diámetros superiores y un menor número de árboles por hectárea lo que influye a su vez en los costos y eficiencia de la cosecha final (Toral, 1988; Prado et al., 1990; Pinilla, 2004j).

En Chile este manejo se ha empleado por más de un siglo, existiendo un número importante de pequeños propietarios y medianas empresas que no disponen de material genético mejorado ni de recursos para establecer una nueva plantación, por lo que la alternativa de manejar la retoñación es la más conveniente para la reposición de la plantación (Figura 1) (Pinilla, 2007).



Figura 1. Esquema tradicional de manejo de Monte Bajo en *E. globulus*. Se observa rodal con selección final de 1 o 2 retoños por tocón (derecha)

La pequeña y mediana propiedad forestal requiere de alternativas tecnológicas que les permita mejorar la rentabilidad de sus plantaciones, aspecto que el Monte Bajo podría lograr ya que su impacto principal está en la reducción de los tiempos de cosecha y en los costos de establecimiento, en donde el sistema de regeneración por monte bajo se emplea principalmente para la producción de pulpa, postes y leña.

Actualmente, se conocen solamente aspectos referidos al manejo del monte bajo y las características de la madera proveniente de la retoñación (densidad, aptitud pulpable), los que se deben poner a disposición de forestadores y propietarios de bosques. Los principales beneficiarios de este conocimiento lo constituyen los propietarios de las plantaciones de eucalipto, principalmente pequeños propietarios y medianas empresas en Chile, quienes demandan información validada y confiable acerca de cómo obtener el mayor beneficios de sus plantaciones de *E. globulus*.

Entonces, la decisión de continuar con el esquema de monte alto o elegir el camino del uso de los retoños no es fácil. En ese momento se debe considerar los rendimientos volumétricos esperados, productos, y los costos de establecimiento del método de regeneración. Junto con estos factores se requiere además, la información silvícola para una adecuada aplicación del método del monte bajo y/o herramientas que puedan facilitar la toma de decisión por parte del silvicultor. Ello requiere además, conocer el efecto de una serie de factores silvícolas que están asociados a la producción de este tipo de oferta, referida a cuidados del tocón luego de la cosecha, época de los clareos, selección de los retoños, altura del tocón, etc..

El Instituto Forestal ha realizado una investigación en este sentido contando con información que entrega antecedentes acerca de en qué condiciones utilizar este tipo de manejo o regeneración del rodal, y de los factores que más inciden en obtener un adecuado rendimiento volumétrico del monte bajo de *Eucalyptus globulus* (Pinilla, 2007; Pinilla et al, 2016).

En el presente trabajo se entrega información generada por el Instituto Forestal en cuanto al crecimiento de este tipo de bosques en Chile, niveles de productividad, esquemas de monte bajo y herramientas de estimación de productividad y de gestión orientadas a su uso por forestadores y propietarios.

2. Objetivos

Desarrollar paquetes tecnológicos sobre silvicultura, manejo y gestión de plantaciones de *E. globulus* en base a la regeneración de Monte Bajo y diseñar e implementar una estrategia de transferencia tecnológica continua, para difundir los resultados obtenidos.

3. Metodología

INFOR en este programa ha instalado una serie de unidades experimentales de monte bajo con el objetivo de obtener antecedentes de su crecimiento, volumen y rentabilidad, proveniente de rodales que abarca gran parte de la distribución geográfica de la especie en Chile.

Esta investigación de largo plazo requiere de una constante actualización de unidades ya sea para evaluar y monitorear sitios forestales no analizados con la especie y tipo de manejo, o bien, para reemplazar aquellas unidades que son cosechadas o sufren algún daño que imposibilita seguir utilizándolas. Por lo anterior, se realiza una búsqueda permanente de nuevos rodales de monte bajo de eucalipto para su manejo e instalación y evaluación de unidades experimentales. Para reunir esta información se utilizan parcelas permanentes y temporales de 500 m², en las cuales se mide el diámetro de todos los árboles para obtener la distribución diamétrica existente y una muestra de

ellos, para la estimación de la altura media y dominante. Estas parcelas están dentro del rango de edad 3 a 13 años, desde la corta del monte alto anterior.

La instalación de las unidades implica la selección y corta de los retoños, de modo de dejar una parcela de evaluación cuyos tocones presentaban 1 o 2 retoños (Figura 2).



Figura 2. Situación original y final del rodal de eucalipto de monte bajo luego de la instalación de la parcela

Junto con la toma de antecedentes de crecimiento y desarrollo de los rodales, se realizan ajustes para obtener y utilizar modelos de gestión para rodales de *Eucalyptus globulus* manejados como monte bajo (retoños), los que corresponden a crecimiento en altura, mortalidad natural, crecimiento y rendimiento para área basal, área basal inicial, crecimiento de área basal, predicción para volumen total y predicción para volumen de árbol individual.

4. Resultados

4.1 Antecedentes de crecimiento

La investigación de INFOR y entidades públicas y privadas ha permitido generar índices de Incremento Medio Anual (IMA) del volumen de *Eucalyptus globulus* para las distintas zonas de crecimiento en el país, separadas por tipo de propietario según tamaño (INFOR, 2013) (Tabla 1.). El mejor crecimiento para la empresa se encuentra en la zona costera con un crecimiento de 26 m³/ha/año, sin embargo para el segmento de pequeños propietarios la mejor zona de crecimiento es la zona precordillerana, con 18 m³/ha/año.

Tabla 1. Productividad *Eucalyptus globulus* IMA (m³/ha/año) por tipo de propietario y zona de crecimiento (Bio Bio)

Zona Crecimiento	Empresa Grande	Empresa Mediana	Mediano Propietario	Pequeño Propietario	Media Ponderada
4	24	23	22	18	20,9
5	20	-	18	10	15,3
6	26	23	19	15	23
7	23	22	18	14	18,9

(INFOR, 2007; INFOR, 2013)

De acuerdo con la información obtenida desde las distintas unidades, *E. globulus* manejadas como monte bajo, presenta una alta supervivencia (85-90%) y una asíntota en altura de 28 m a los 9 años de edad, con aumentos anuales en volumen promedio de 20 m³/ha/año y valores máximos de 35 m³/ha/año. Se destaca el acelerado crecimiento inicial registrado en los rodales de monte bajo, junto con rendimientos volumétricos semejantes a los obtenidos para el monte alto de *E. globulus*.

Según antecedentes de INFOR, un 67% de propietarios señalan que utilizarían el manejo del monte bajo, retoños, para el establecimiento de una nueva plantación luego de la cosecha del bosque

original (INFOR, 2015). Un esquema tipo de manejo para la obtención de madera pulpable con *E. globulus* se presenta en la Tabla 2.

Tabla 2. Descripción esquemas de manejo para madera pulpable en *E. globulus*

Factor	Descripción
Densidad	<ul style="list-style-type: none"> • 1.100 a 1.600 pl/ha.
Horizonte De Rotación Final	<ul style="list-style-type: none"> • Primera rotación: 12 a 14 años • Segunda rotación (manejo monte bajo): 10-12 años
Productos Esperados	<ul style="list-style-type: none"> • Leña y M. R. pulpable. • Estacas y postes. • Biomasa.
Manejos Culturales	<ul style="list-style-type: none"> • Año 1 : replante • Año 12 a 14: Primera rotación • Año 12 a 14 : manejo de retoños (1 – 2 x tocón) • Año 22: manejo retoños segunda rotación.

La relación DAP/altura de parcelas evaluadas se puede apreciar a través de la Figura 3.

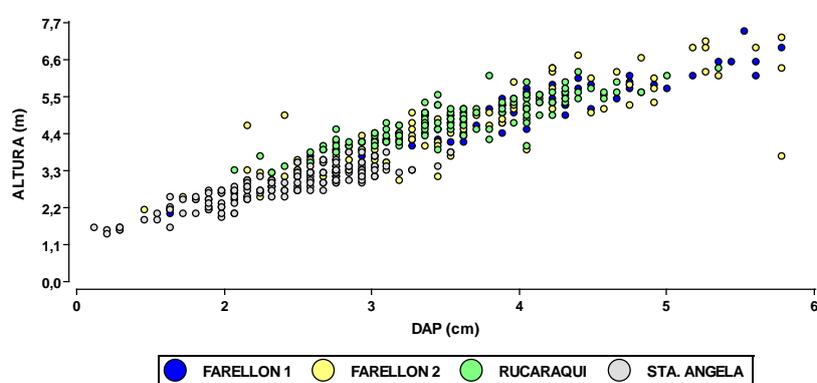


Figura 3. Relación diámetro (cm)/altura (m) año 2015 de los árboles de monte bajo de *Eucalyptus globulus* según unidad

Datos recopilados señalan que a los 14 meses luego de la cosecha, los retoños alcanzan valores cercanos a los 7 metros de altura y diámetros por sobre los 5 cm, valores similares e incluso superiores a los de *E. globulus* originados por semillas creciendo en las mismas condiciones. A los 12 años se observan interesantes dimensiones de los árboles, con diámetros y alturas máximas cercanas a los 30 cm y 30 metros, respectivamente. Este tipo de estudio ha permitido además, la estimación de los volúmenes posibles de obtener a partir de este tipo de bosques (Figura 4).

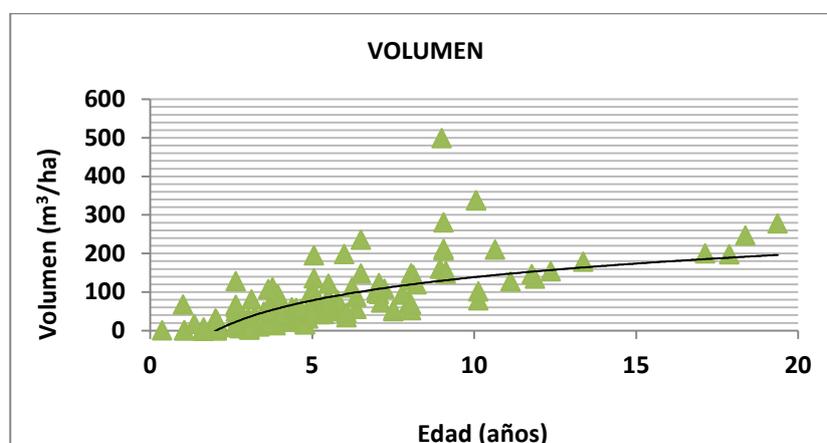
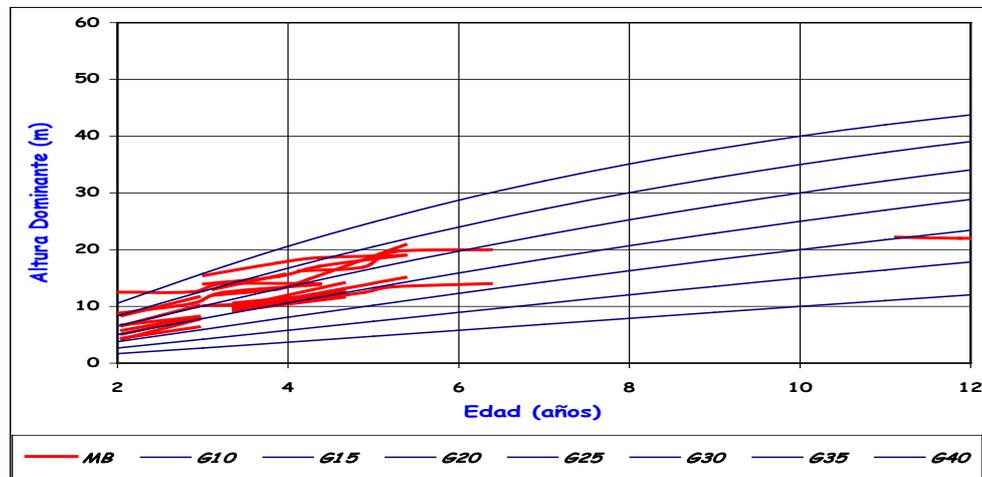


Figura 4. Volumen según edad monte bajo de *Eucalyptus globulus*

Junto con ello, se han generado series de mediciones en altura dominante obtenidas desde parcelas permanentes de monte bajo y su comparación con curvas de Índice de Sitio para plantaciones de monte alto de *E. globulus* (Figura 5).

Figura 5. Series de crecimiento en monte bajo de *Eucalyptus globulus*

La investigación señala que el monte bajo en Chile presenta un mayor crecimiento en comparación al monte alto hasta una edad de 8 a 10 años, luego de lo cual, el monte alto presentaría un mayor crecimiento. Este antecedente es importante ya que la mayor rentabilidad del monte bajo puede permitir mantener rodales hasta los 10 años, en comparación a bosques de la misma edad provenientes de semillas. Las asíntotas de monte alto son superiores a las de monte bajo, en donde para el primer caso se han obtenido asíntotas en altura dominante cercana a los 50 metros, en tanto que el valor obtenido desde rodales de monte bajo alcanza a los 37 metros, lo cual señalaría un mayor potencial de crecimiento en altura del monte alto, al extenderse la edad de los rodales. En los primeros años el monte bajo crece más rápido, pero luego sufre una baja del crecimiento, y es superado por el monte alto (Pinilla et al., 2016).

El análisis de la información indica que el Índice de Sitio promedio estimado para *Eucalyptus globulus* de monte alto está cercano a los 23 y 24 metros, en tanto que para monte bajo bordea los 21 metros. Estos Sitios son comparables o equivalentes, porque son las situaciones promedio para monte alto y monte bajo, respectivamente. Esta información permitió graficar las curvas de crecimiento en altura dominante y apreciar que el crecimiento en altura para monte bajo es mayor en un principio, pero luego es alcanzado por el crecimiento de monte alto, que tiene una proyección mayor en altura cosa que ocurre a los 8 a 10 años de edad (Figura 6).

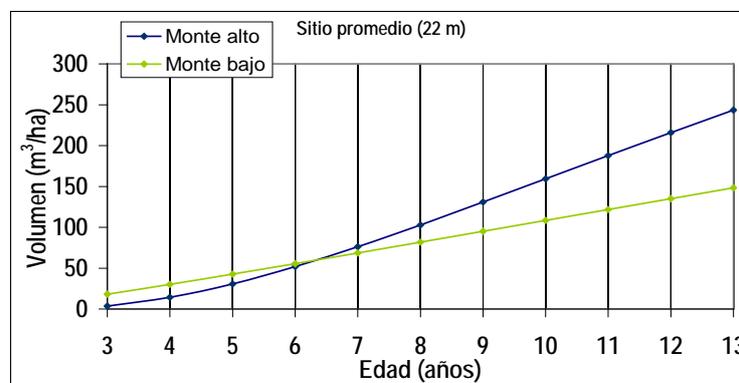


Figura 6. Comparación del crecimiento del monte alto y monte bajo para un sitio promedio

Estos resultados son analizados además, desde el punto de vista del análisis económico, donde la edad biológica de cruce de las curvas de crecimiento es entre 7 y 10 años, pero es necesario verificar la rentabilidad del monte bajo, más allá del punto de intersección de las curvas, debido al menor costo inicial o de establecimiento del monte bajo. En ciertas situaciones el monte bajo de *E. globulus* es un rentable negocio, reflejado en la obtención de volúmenes aprovechables asociados a menores costos de establecimiento y en menores turnos de retoñación. Esta combinación genera tasas internas de retornos y VPN más rentables o al menos similares que los retornos obtenidos desde plantaciones de semillas.

4.2 Parámetros de rodal y modelos de gestión para rodales de *Eucalyptus globulus* regenerados a partir de retoños

- **Parámetros de Rodal**

Los parámetros medios obtenidos del conjunto de parcelas experimentales son indicados en la Tabla 3.

Tabla 3. Parámetros generales obtenidos de parcelas experimentales

Valores	Altura media (m)	DAP Medio (mm)	Volumen (m ³ /ha)	Área Basal (m ² /ha)	Altura Dominante (m)	Densidad (arb/ha)	Edad (años)
Medio	10,2	75,9	39,40	8,56	12,3	1.667	4,1
Máximo	26,3	215,1	278,01	29,34	30,3	3.660	19,4
Minimo	3,1	23,2	0,00	0,62	3,9	600	0,4

La Figura 7 presenta el comportamiento de los parámetros Altura Dominante y Área Basal, según edad para monte bajo. Para efectos de comparación se incorpora información similar para monte alto, obtenida de otro conjunto de parcelas establecidas y evaluadas por INFOR dentro de esta línea de investigación.

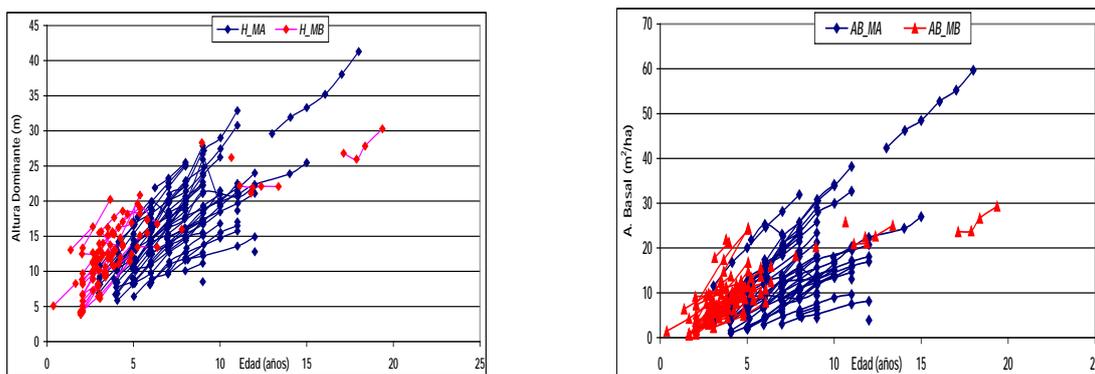
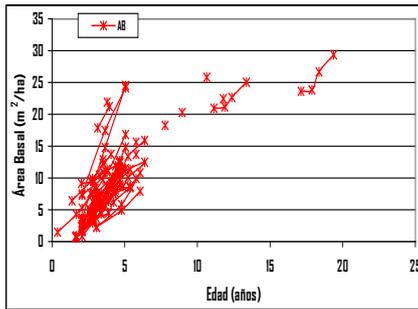


Figura 7. Altura dominante y área basal según edad para monte bajo (rojo) y monte alto (azul)

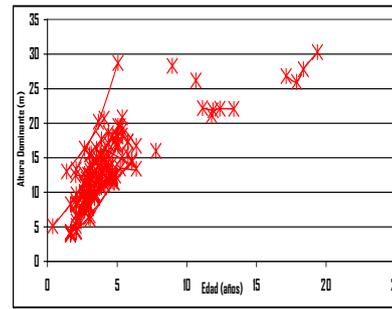
La Figura 8 presenta los parámetros de Área Basal, Altura Dominante y Volumen, según edad para rodales de monte bajo de *Eucalyptus globulus*.

- **Modelos de gestión**

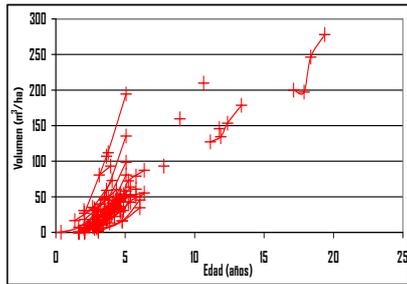
Los modelos utilizados para la gestión de este tipo de bosque desarrollado por INFOR están en permanente actualización y validación (Tabla 4) (Bahamondes *et al.*, 1995; Pinilla *et al.*, 2016).



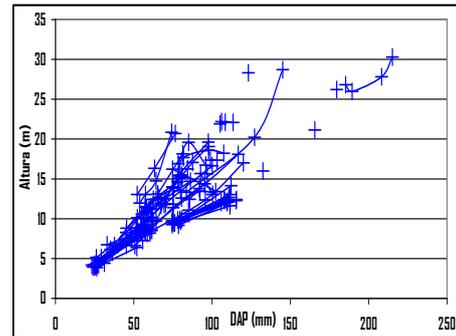
Área basal según edad monte bajo



Altura dominante según edad monte bajo



Volumen según edad monte bajo



Curvas altura - DAP para monte bajo

Figura 8. Parámetros de rodal obtenidos desde rodales de monte bajo de *Eucalyptus globulus*

Tabla 4. Modelos utilizados para la gestión del monte bajo de eucalipto desarrollados por INFOR

Modelo	Descripción	Coefficientes
• Altura dominante	$Hd = b_0 * \{1 - (1 - [S / b_0]^{b_1})^{E / 10}\}^{1 / b_1}$	$b_0 = 40,3$ $b_1 = 1,367$
• Crecimiento en área basal	$G_2 = EXP((E1/E_2) * LOG(G_1) + a_0 * (1 - (E_1/E_2))) + a_1 * Hd * (1 - (E_1/E_2)))$	$a_0 = 2,805$ $a_1 = 0,055$
• Mortalidad natural	$N_2 = N_1 (E_2 / E_1)^{b_1} EXP [b_0 (E_2 - E_1)]$	$b_0 = 0,01465$ $b_1 = -0,00758$
• Rendimiento para área basal	$G = EXP[b_1 + (b_2/E)] * [N^{b_3 + (b_4/E)}] * [Hd^{b_5 + (b_6/E)}]$	$b_1 = 2,465$ $b_2 = -22,784$ $b_3 = -0,151$ $b_4 = 2,337$ $b_5 = 0,603$ $b_6 = 1,120$
• Rendimiento para volumen	$V = G [b_0 + b_1 H + b_2 (NH)/G + b_3 (1/Hd) + b_4 (Hd/N)]$	$b_0 = 0,1884$ $b_1 = 0,2946$ $b_2 = -0,0002$ $b_3 = 0,0$ $b_4 = 14,1097$
• Modelo general de volumen de árbol individual	$Vol = a_0 + a_1 * DAP^2 * H$	$a_0 = -0,001393$ $a_1 = 0,000027376$

Donde: Hd = Altura Dominante. Altura (m) de los 100 árboles más gruesos a la edad E.; S= Índice de Sitio. Altura (m) de los 100 árboles más gruesos a la edad de 10 años.; E = Edad (años). ; G₂= Área basal (m²/ha) en E₂.; G₁= Área basal (m²/ha) en E₁.; E₂= Edad 2 (años).; E₁= Edad 1 (años).; N₂= Número de árboles por hectárea en E₂.; N₁= Número de árboles por hectárea en E₁.; G= Área Basal (m²/ha).; N= Número de árboles por hectárea.; V= Volumen para un índice de utilización de 5 cm (m³ ssc /ha).; Vol= Volumen árbol individual en m³.s.c para un IU=5 cm

Una primera evaluación y análisis de los modelos concluyó que el crecimiento de los rodales de monte bajo presentan una dinámica diferente de crecimiento en relación a los rodales de monte alto, por lo que se requería modelos específicos para su uso en este tipo de bosques. Durante el análisis también se señaló que un factor a considerar en la interpretación de los resultados obtenidos, es la edad de las parcelas permanentes de monte bajo desde donde se obtuvo la información. En general, la estimación del crecimiento en edades menores a 5 años, presenta un grado de incertidumbre debido a lo irregular e inestable que es el crecimiento en ese rango de edad, más aún cuando se presentan elevadas tasas de crecimiento, como es el caso del monte bajo de eucalipto.

- **Planilla experimental de crecimiento**

Dada la necesidad de contar con herramientas de gestión para la estimación del crecimiento y rendimiento del monte bajo de *Eucalyptus globulus* INFOR desarrolló un prototipo de planilla experimental en ambiente Excel® para la estimación del crecimiento y rendimiento de este tipo de bosques, EUCAMONT@ebajo 3.0. Esta herramienta, más la información generada ha sido transferida a los usuarios en general. La planilla de crecimiento EUCAMONT@ebajo 3.0 está en una permanente actualización, validación y mejora adaptada a las condiciones de crecimiento de la especie, basada en mayor información y nuevas tecnologías de simulación del crecimiento. A ello se suma su análisis actual para su aplicación en Web y para celulares, de manera de fomentar su aplicación definitiva en el mercado forestal (Pinilla et al, 2016).



Figura 9: Pantallas de presentación y de variables de entrada para simulación

5. Discusión

La importancia del cultivo del Eucalipto en el sector forestal Chileno es una realidad que está fuera de dudas. La actual superficie de plantaciones lo señala como una opción productiva consolidada y en expansión.

Como ya se ha señalado, en Chile se pueden reconocer dos situaciones opuestas. Por una parte, las ventajas involucradas en el uso de material genéticamente mejorado representan un concepto difundido y aceptado por las empresas forestales, las cuales han evidenciado una clara tendencia a reemplazar el uso de semilla corriente por semilla con algún grado de mejoramiento, en función de la disponibilidad de ésta y del avance de sus programas de mejora genética. En el otro extremo, los pequeños y medianos propietarios, que en su conjunto manejan importantes superficies forestales, normalmente desconocen las ventajas del uso de semilla mejorada, por lo que acostumbran utilizar sólo semilla corriente. Mientras no exista una semilla o planta de mejor calidad de fácil acceso a los propietarios para su uso en forestación, la opción del monte bajo es razonable para regenerar la plantación a partir de los rebrotes. Lo mismo sucede en momentos de restricción de recursos para invertir en nuevas plantaciones luego de una cosecha.

En términos generales, los crecimientos observados permiten afirmar que el monte bajo presenta un mayor crecimiento en comparación al monte alto hasta una edad de 8 a 10 años, luego de lo cual, el monte alto presentaría un mayor crecimiento. Este antecedente es importante ya que la mayor rentabilidad del monte bajo puede permitir mantener rodales hasta los 10 años, en comparación a bosques de la misma edad provenientes de semillas.

Se han generado modelos de gestión con aplicabilidad al monte bajo, permitiendo contar con nuevos modelos funcionales, ajustando y desarrollando distintas funciones dasométricas básicas, indispensables para su uso en la estimación del rendimiento del monte bajo del eucalipto.

En relación al volumen de árbol individual, el desarrollo de modelos matemáticos que utilizan como variable dependiente el volumen, y como independientes variables de estado del árbol, como son el DAP y la altura total y/o alguna otra variable sencilla de cuantificar, han permitido una mayor facilidad en la estimación de este parámetro.

Los modelos utilizados permiten estimar el crecimiento y productividad de estos rodales, con la consideración que las mediciones provienen de un rango juvenil de edad, lo que otorga un patrón de crecimiento errático, que complejiza su modelación, donde la investigación de INFOR permite concluir que los modelos desarrollados representan razonablemente bien el comportamiento y crecimiento de los árboles de monte bajo de *E. globulus*, no siendo aún, recomendable realizar estimaciones más allá de los 12 o 13 años.

Existen grados de incertidumbre que solo podrán ser eliminados cuando se cuente con mayor número de mediciones en edades superiores, en especial cuando se cuente con información abundante en el rango de edad que va de los 6 a 15 años. Los modelos de monte bajo están fuertemente afectados por la edad de la información con que se cuenta.

La información generada se utiliza en actividades de capacitación y difusión del manejo del monte bajo, lo que agregado al set de modelos matemáticos para la estimación del crecimiento y productividad, permiten generar un escenario donde los propietarios pequeños y medianos, pueden contar con un conjunto de herramientas que les permiten tomar decisiones eficientes al momento de utilizar este tipo de manejo o las oportunidades de cosecha y de negocio a la que se ven expuestos.

Esta información y los modelos generados son un paso más, en un proceso de constante mejora y aumento de amplitud geográfica de aplicación. A ello se debe agregar que los efectos derivados del cambio climático que está afectando el crecimiento y productividad de este tipo de bosques, la información y los modelos de gestión a utilizar, deben estar acordes y ajustados a los nuevos escenarios ambientales.

En el proceso de investigación permanente de INFOR, se considera la mejora de la información y modelos, lo que será posible al contar con mayor número de mediciones y con una mayor densidad de estas para mayores rangos de edad, por lo que sin duda es necesario mantener la periodicidad de mediciones a fin de establecer si los resultados obtenidos hasta ahora se mantienen o varían en el tiempo.

6. Conclusiones

- Chile cuenta con 573.000 hectáreas de plantaciones de *Eucalyptus globulus*, caracterizadas por rápido crecimiento y cortas rotaciones, generando madera para celulosa.

- La especie presenta una alta regeneración vegetativa a través del rebrote de los tocones después de la corta, permitiendo establecer un nuevo bosque (monte bajo), situación que unido a su rápido crecimiento, genera una alternativa para la producción de madera para pulpa y otros productos en una corta rotación, siendo una opción técnica y económicamente atractiva para los propietarios de bosques del país.

- El monte bajo de *E. globulus* en Chile presenta una alta tasa de crecimiento inicial, donde su aprovechamiento eficiente requiere de conocer los factores que influyen en su desarrollo, y esquemas de manejo, herramientas de estimación y antecedentes técnicos y económicos asociados al uso del monte bajo,

- Existe diferencia entre las asíntotas para monte alto y monte bajo, donde la asíntota para monte bajo es inferior. El crecimiento en altura para monte bajo es mayor en un principio, pero luego es alcanzado por el crecimiento de monte alto que tiene una proyección mayor en altura.

- Los resultados de la investigación permiten contar con herramientas iniciales de apoyo para el manejo eficiente del monte bajo de *Eucalyptus globulus*.

- La información sobre la que se ha trabajado siempre es limitada, siendo una aproximación que puede ser confirmada y/o mejorada cuando se puedan hacer ajustes con mayor cantidad de información.

- Es imprescindible mantener la medición de unidades experimentales para aumentar la base de datos de trabajo y análisis, abarcando otras áreas geográficas, rango de edades y los nuevos escenarios derivados de los efectos del cambio climático sobre el desarrollo de los rodales.

7. Bibliografía

ANDRADE, H., BENEDETTI, V., MADASCHI, J. Y BERNARDO, V., 1997. Aumento da produtividade da segunda rotação de eucalipto em função do método de desbrota. Serie Técnica IPEF (11) 30 : 105 – 116.

AYLING, R.D., MARTINS, P.J., 1981. The growing of Eucalypts on short rotation in Brazil. Forestry Chronicle. 57(1): 9-16.

BAHAMÓNDEZ, C., FERRANDO, M., MARTIN, M., PINILLA, J.C. 1995. Determinación de Funciones de Volumen para Eucalipto. Antecedentes Biométricos y Modelos de Apoyo a la Gestión y Manejo Racional del Eucalipto. FONDEF-INFOR, Chile.

CAMARGO, F., SILVA, C. Y STAPE, J., 1997. Resultados experimentais da fase de emissão de brotação em *Eucalyptus* manejado por talhadia. Serie Técnica IPEF (11) 30: 115 – 122.

DÍAZ C., F. 1984. Características dendrométricas de *Eucalyptus globulus* (Labill) en la localidad de Colcura, Concepción. Tesis para optar al Grado de Ingeniero Forestal. Universidad de Chile. Facultad de Ciencias Agrarias, Veterinarias y Forestales. Santiago, Chile. 92p.

GONZÁLEZ-RÍO, F., CASTELLANOS, A., FERNÁNDEZ, O., ASTORGA, R. Y GÓMEZ, C., 1997. El cultivo del eucalipto. Manual práctico del selvicultor. <http://agrobyte.lugo.usc.es/agrobyte/publicaciones/eucalipto/indice.html> Celulosas de Asturias S.A. Principado de Asturias. 95p.

INFOR. 2007. Disponibilidad de madera de Eucaliptus en Chile 2006-2025. Estudio Técnico N° 173.

INFOR, 2013. Disponibilidad de Madera de Plantaciones de Pino Radiata y Eucalipto (2010 - 2040). Informe Técnico N° 194. Santiago, Chile. 115 p. Instituto Forestal, Chile.

INFOR, 2016. ANUARIO FORESTAL. Boletín Estadístico N° 154.2016. Santiago, Chile. 172p.

PEÑALOZA H., M., 1985. Funciones de volumen cúbico para la especie *Eucalyptus globulus* Labill. de monte bajo, en la Región Metropolitana. CONAF. Programa de Fomento y Desarrollo Forestal Región Metropolitana. CONAF. Boletín Técnico N°25. Santiago, Chile. 74p.

PEREIRA, J.S., LINDER, S., ARAUJO, M.C., PEREIRA, H., ERICSSON, T., BORRALHO, N., LEAL, L.C., 1989. Optimization of biomass production in *Eucalyptus globulus* plantations, a case study. Instituto Superior de Agronomia, Dept. of Forestry, Lisbon, Portugal. Proceedings of a NATO Advanced Research Workshop [Ed: Pereira, J.S.; Landsberg, J.J.]. 1989, 101-121; 31 ref. Series E, Applied Sciences 166. Dordrecht, Netherlands; Kluwer Academic Publishers.

PINILLA, J.C. 2004. Antecedentes generales acerca del manejo de monte bajo de *Eucalyptus globulus*. Proyecto INFOR-FONDEF *Incremento del Negocio Forestal a Través de Modelos de Manejo y de Gestión Innovativa para la Pyme Forestal: La Opción del Monte Bajo de Eucalyptus globulus*. Instituto Forestal, sede Bio Bio. Concepción, 2005. 44p.

PINILLA, J.C., 2006. Estudio Inicial de Modelos de Crecimiento Para Monte Bajo de *Eucalyptus globulus* en Chile. Documento de Trabajo PMB-05, Proyecto FONDEF. 51p.

PINILLA, S., J.C., 2007. *Eucalyptus globulus*, La Opción del Monte Bajo. Síntesis de los resultados del proyecto FONDEF D02I1117: incremento del negocio forestal a través de modelos de manejo y de gestión innovativa para la pyme forestal: la opción del monte bajo de *Eucalyptus globulus*. INFOR. Patrocinado por FONDEF Concepción, Chile, INFOR. 26p.

PINILLA S., J.C., LUENGO, K.; NAVARRETE, M., GARCIA, E. Y VILLARROEL, A. 2016. Reporte "Gestión eficiente de plantaciones forestales orientados a pequeños propietarios forestales", Reporte 2016. Regiones del Maule a Los Ríos. Informe de proyecto Ministerio de Agricultura de Chile. Instituto Forestal, Sede Bio Bio, Chile. 25p. más anexos.

PRADO, D., J.A., ED., BARROS, A., S., ED., 1989. *Eucalyptus*. Principios de silvicultura y manejo [monografías]. Santiago : INFOR. División Silvicultura, CORFO, 199p.

RIBALTA S., E., 1983. Evaluación de la producción y productividad del monte bajo de *Eucalyptus globulus* (Lab.), V Región. Tesis para optar al Grado de Ingeniero Forestal. Universidad de Chile. Facultad de Ciencias Agrarias, Veterinarias y Forestales. Santiago, Chile. 124p.

TORAL, M., ROSENDE, R., PABLO, G., 1988. Evaluación de raleos en monte bajo de *Eucalyptus globulus* (Labill) V Región. Revista Ciencia e Investigación Forestal 2(3): 2-11; 11 ref. Instituto Forestal, Santiago, Chile.



Figura 10. Parcela permanente en rodal de Monte Bajo