

Evaluación económica de dos programas de mejoramiento genético en *Eucalyptus grandis*

Andreoni María Isabel¹, Bussoni Adriana²

¹Unidad de Montevideo Rural, Intendencia de Montevideo. Correo electrónico: andreoni.isabel@gmail.com

²Departamento de Ciencias Sociales, Facultad de Agronomía, Universidad de la República. Avenida Garzón 780, 12900, Montevideo, Uruguay.

Recibido: 13/11/12 Aceptado: 18/11/13

Resumen

En 1980 la producción mundial de celulosa totalizaba 128 millones de Mg alcanzando 174 millones de Mg en el año 2012. Como forma de cubrir la demanda creciente una de las estrategias de producción adoptadas fue aumentar la productividad de las plantaciones a través del mejoramiento genético y de la mejora del proceso de fabricación (aumentos en m³/ha, Mg celulosa/ha). El presente trabajo tuvo como objetivo evaluar el incremento generado por el uso de materiales genéticos en *Eucalyptus grandis* resultantes de dos programas de mejoramiento, realizados en Uruguay. Se relevaron las prácticas utilizadas a nivel de preparación del sitio, plantación, mantenimiento y cosecha a través de entrevistas a informantes calificados en dos zonas de producción. En la Zona Litoral Oeste los materiales estudiados son materiales clonales (*MC*) y semilla (S3586); en la Zona Centro Este, Semilla INIA primera generación (*I*₁) y Semilla Bañado de Medina (*BM*). La ganancia genética se midió a través del incremento en tres parámetros: volumen de madera (m³/ha), toneladas de celulosa (Mg/ha) y el aumento en los indicadores financieros Renta Forestal Anual (RFA) y Tasa Interna de Retorno (TIR). A los 10 años, comparando *MC* y S3586 el primero presenta un incremento de 46 m³/ha en madera y 10,5 Mg/ha en celulosa. Entre *I*₁ y *BM*, esos aumentos fueron de 22,8 m³/ha y 4,6 Mg/ha. A los 11 años, la RFA resultó en un incremento del 126 % en el material *I*₁ respecto a *BM*. Los materiales más convenientes para productores no integrados son los que producen mayor volumen, cosechando en la edad financiera óptima.

Palabras clave: rentabilidad, forestación, ganancia genética, pulpa

Summary

Economic Assessment of Two Breeding Programs in *Eucalyptus grandis*

Total world pulp production in 1980 was 128 million Mg, reaching 174 million Mg in 2012. One of the strategies adopted for meeting growing demand was increasing plantation productivity through breeding and improvement of the manufacturing process (m³/ha and Mg cellulose/ha increases). The objective of this work was assessing the increase generated by the use of genetic material resulting in two *Eucalyptus grandis* breeding programs conducted in Uruguay. Site preparation, plantation, maintenance and harvesting practices were surveyed through qualified informant interviewing in two production zones. In the West Litoral Zone, stocks studied were clonal stock (*CS*) and seedlings (S3586); in the Central Eastern Zone INIA first generation seed (*I*₁) and Bañado de Medina (*BM*) seed. Genetic gain was measured using three parameters, wood volume (m³/ha), pulp weight (Mg/ha) and financial indicators Annual Forest Rent (AFR) and Internal Rate of Return (IRR). At age 10, comparing *MC* and S3586, the former shows an increase of 46 m³/ha of wood and 10.5 Mg/ha in cellulose. Between 11 and *BM*, the increases were 22.8 m³/ha and 4.6 Mg/ha respectively. At age 11, the RFA resulted in a 126 % increase of *I*₁ compared to *BM*. The most suitable materials for non-integrated producers are the ones that produce largest volume, harvesting at the optimal financial age.

Keywords: return, forestry, genetic gain, pulp

Introducción

La necesidad de producir grandes cantidades de fibra de madera en áreas restringidas, será cada vez más evidente en las siguientes décadas a medida que la población mundial y el consumo continúen creciendo (Bettinger *et al.*, 2009). En los últimos 50 años el cultivo de *Eucalyptus* se ha expandido en América Latina, en donde se desarrolla el 32 % de las plantaciones mundiales, sobre un total de 20 millones de ha (GIT, 2009). Este género presenta ventajas comparativas frente a otros, como la alta variabilidad debido a la existencia de numerosas especies, lo que le otorga una amplia adaptación a diferentes sitios, junto a la capacidad de ser usada como materia prima para múltiples usos (Brussa, 1994; Zobel y Talbert, 1988). La variabilidad inter e intra-específica se manifiesta en las propiedades anatómicas, físicas, mecánicas y químicas de la madera, amén del potencial de rápido crecimiento (Gaspar *et al.*, 2003).

En la década de los cincuenta la mayor parte del comercio internacional de pulpa se realizaba entre Canadá y Estados Unidos y entre países europeos, donde Finlandia y la URSS eran los principales exportadores de materia prima para pulpa (Carrere y Lohmann, 1997). El menor rendimiento de los bosques del hemisferio norte sumado a las presiones ambientalistas para reducir la corta de bosques nativos, determinaron que a partir de la década de los 90 la industria papelera realizara inversiones lejos de las fuentes de consumo de los países centrales, con el objetivo de asegurar el abastecimiento y disminuir los costos de producción. Esto derivó en una mayor competitividad, generando un cambio en la geografía forestal del hemisferio sur y la aparición de nuevos agentes socio-económicos (Pérez, 2000).

La demanda mundial de celulosa pasa de 128 a 174 millones de toneladas (Mg) entre los años 1980 y 2012, estableciéndose en apenas dos décadas un cambio de escenario entre los países productores y consumidores. Actualmente el aumento de la demanda lo lidera China ya que su producción interna de fibra es insuficiente, surgiendo este mercado como una oportunidad para otros países. El incremento del consumo de pasta de celulosa de fibra corta trajo aparejado cambios no solo en la forma de comercialización sino también en la estructura de producción, en las tecnologías industriales y en el transporte (Sanjuan y Barcha, 2007).

El total de superficie forestada en Uruguay asciende a 972.000 ha (MGAP, 2010) lo que representa, aproximadamente el 25 % del área potencial que se podría ocupar con esta actividad. Se estima que un 62 % de toda la superficie plantada en el país tiene como objetivo final la obtención de madera en turnos cortos para la producción de pulpa (MGAP, 2009). El *Eucalyptus grandis*, que ocupa 242.000 ha (MGAP, 2010), tiene como destino la obtención de pasta de celulosa y de madera sólida, por lo que es una especie de importante difusión dado su destino multipropósito, como también por el buen crecimiento que presenta. El área de influencia del presente estudio abarca dos zonas (Figura 1) que representan el 66 % de la superficie plantada con esta especie: zona Litoral Oeste (ZLO), que incluye los departamentos de Río Negro, Paysandú y Soriano; y zona Centro (ZC), con los departamentos de Cerro Largo, Durazno y Treinta y Tres, que concentran respectivamente el 40 % y el 25 % de la superficie plantada.

La investigación y el desarrollo de programas de mejoramiento, tanto a partir de semilla como de propagación

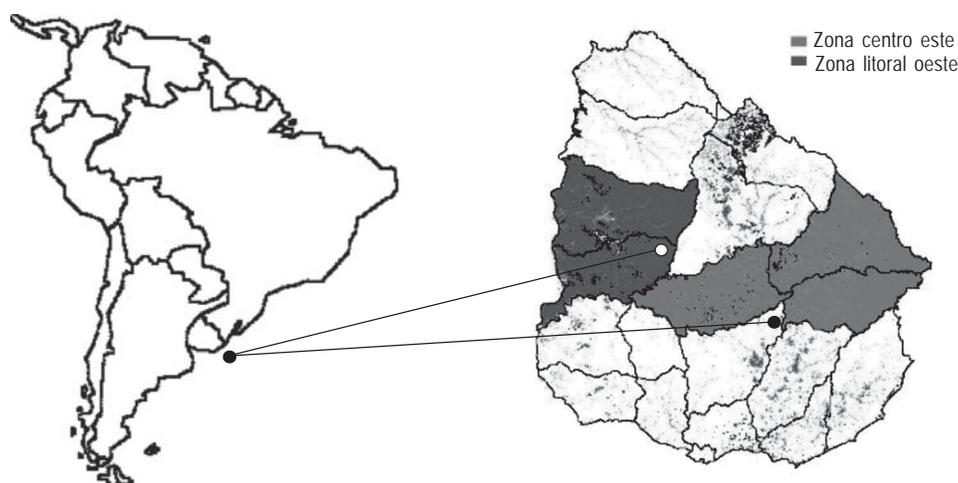


Figura 1. Ubicación de las zonas.

vegetativa, es un proceso en desarrollo en el país que se ha visto acelerado en las últimas décadas, destacándose en sus inicios el trabajo realizado por Facultad de Agronomía. Los trabajos de investigación en el género *Eucalyptus* comienzan en el año 1957 con la creación de un arboretum a cargo del Ing. Agr. José Králl y la posterior instalación de ensayos de introducción en 1959 (MEC, 1979) en la actual Estación Experimental Bernardo Rosengurt (ex Bañado de Medina), departamento de Cerro Largo. Las primeras semillas de *E. grandis* con fines de mejoramiento son introducidas en 1964 por Králl (Brussa, 1994); ese material da origen a 25 individuos resistentes a heladas; a partir de estos en 1979 se instalan pruebas de progenie de *E. grandis* (MEC, 1979) que se utilizan como fuente de semilla (Králl, 1987). En 1984 se instala el primer huerto semillero con material proveniente de 15 familias seleccionadas en todo el país (Luis Gallo, com. personal). A partir del año 1990 se desarrollan programas en el Instituto de Investigación Agropecuaria (INIA) y en empresas forestadoras con proyectos de industrialización en marcha y capacidad industrial en expansión, que realizan mejoramiento de material de sus propias plantaciones. Las metas han sido el aumento de productividad y la mejora de las características físico químicas de la madera en la fase industrial. Si bien el programa de INIA se orienta tanto a los productores de madera para pulpa como a los que producen para aserrado y energía (Bennadji, 2011), este programa brinda el principal material que se comercializa en el mercado de acceso abierto en el sector forestal uruguayo. Las empresas integradas proveen de material a los productores que entran en el régimen de producción de abastecimiento bajo contrato, comúnmente conocido como «fomento forestal», por lo que es importante poder comparar el rendimiento productivo y económico de ambos materiales, para productores integrados y no integrados al contrato. Los dos tipos de programas (INIA y empresa privada) fueron establecidos con objetivos y en momentos históricos diferentes del desarrollo forestal del Uruguay¹, sin embargo las variables objetivo de selección han sido fundamentalmente las mismas: productividad (m³/ha), rectitud del fuste, resistencia a agentes bióticos (plagas y enfermedades) y abióticos (heladas), densidad básica, rendimiento de pulpa y calidad de la fibra (Balmelli, 2001), por lo que los resultados así como las implicancias económicas para los productores, se consideran comparables entre sí.

El costo de oportunidad del recurso suelo, tanto en Uruguay como en la región ha ido en aumento, lo que hace que la competitividad del sector forestal dependa entre otros factores, de un aumento de la productividad y de una mejora

de la eficiencia de la cadena de producción de valor. Por lo tanto los programas de mejora genética son esenciales para atender la creciente demanda de madera que tendrá el sector en los años venideros.

La consecuencia económica que se deriva de un programa de mejoramiento es una mayor disponibilidad de madera, que puede reducir el turno de corte o aumentar la cantidad de madera cosechada, con un desplazamiento de la oferta. Por otro lado se produce un cambio en la calidad de la madera como las propiedades físicas de la fibra y un aumento en la homogeneidad de las plantaciones (Cubbage *et al.*, 2006). El incremento en la productividad puede ser apropiado por el dueño de la tierra, ya que los beneficios se concretan en el sitio forestal, cuestión que no ocurre cuando se obtiene una ganancia en las propiedades físicas o químicas de la fibra, lo que depende del desarrollo de tecnologías «hacia adelante» en la cadena productiva. Existe por lo tanto una parte del beneficio apropiable por el productor independiente «el rendimiento en madera» y otra parte «la calidad y el rendimiento en fábrica» apropiable por la industria.

El presente trabajo tiene como objetivo evaluar los resultados productivos y económicos del empleo de material mejorado de *E. grandis* para pulpa, en dos zonas de estudio: zona Litoral Oeste y zona Centro del Uruguay; se analiza la conveniencia para productores integrados y no integrados. Se considera productor integrado aquel que abastece la fase industrial, siendo una unidad decisora central que evalúe el momento de corta y en que el precio de venta es un costo de transferencia. Por el contrario el productor forestal no integrado es el que puede decidir el momento de corta y el precio recibido por la madera es el que obtiene por una cotización negociada.

Materiales y métodos

El trabajo estima la productividad y eficiencia de la cadena en base a un modelo productivo, en tres escalas de plantación: 100 a 300 ha, 300 a 700 ha y mayor a 700 ha. Se analizan tres etapas de la cadena de producción, a saber: a) establecimiento y crecimiento de la plantación, b) cosecha, c) industrialización. La zona Litoral Oeste (ZLO) reúne las características de suelos tipo Alfisols y Ultisols y la zona Centro (ZC) con suelos tipo Mollisols, Aquolls y Alfisols.

En la ZC se comparó el material de primera generación (*I*) obtenido de huertos semilleros del INIA con el material de Facultad de Agronomía (*BM*). Los datos que sirvieron de insumo a las simulaciones de crecimiento de estos materiales, provienen de un ensayo de campo en el que se

tomaron medidas hasta los cinco años de edad en cuatro sitios diferentes provistos por el Ing. Agr. (MSc.) Fernando Resquín (com. personal). En la ZLO se compararon seis clones (MC), C1 a C6, con un material proveniente de semilla (S3586) empleado como testigo, todos provenientes de ensayos en tres sitios de la empresa Forestal Oriental conducidos hasta los cinco años, datos tomados de Caamaño y Stirling (2009).

Para las simulaciones se utilizó el software SAG *grandis* (Methol, 2006), modelo paramétrico que requiere el diámetro a la altura del pecho (DAP) medio, altura media de los dominantes (AMD) y densidad inicial; los valores utilizados se presentan en el Cuadro 1. La confiabilidad de los resultados de los simuladores de

Cuadro 1. Valores estimados de DAP (cm) y AMD (m).

Material/Zona	DAP (cm)	AMD (m)
MC/ZLO	17,3 - 18	24,1 - 26,2
I/ZC	25,4	28,2
BM/ZC	25,3	29

MC: Clones, I₁: Material INIA, BM: Material Bañado de Medina, ZLO: Zona Litoral Oeste, ZC: Zona Centro.

crecimiento depende de la validez de los supuestos del modelo (Vanclay y Skovsgaard, 1997). A pesar de que los modelos de crecimiento son una simplificación de la realidad, son una valiosa herramienta para la toma de decisiones; en especial los modelos simples de rodal, construidos en base a parcelas permanentes, son buenos predictores de futuros crecimientos cuando se utiliza como punto de partida el crecimiento medido en un sitio específico para proyectar rendimiento futuro (Mason *et al.*, 2011), por lo que los resultados proyectados solo son aplicables a los sitios y condiciones forestales en las que se realizan.

Las densidades básicas utilizadas se calcularon a partir del ensayo de INIA¹ y datos de Caamaño y Stirling (2009), lo que permitió realizar proyecciones y comparar los rendimientos industriales; los resultados de volumen de madera se presentan en metros cúbicos sin corteza (mcsc).

Se realizaron nueve entrevistas semi-estructuradas a informantes calificados con la finalidad de caracterizar la etapa de cultivo. Se incluyeron investigadores de instituciones públicas (3), gerentes de empresas privadas (2), productores que emplean alguno de los materiales genéticos analizados (2) y técnicos asesores de empresas (2). Se recabó información sobre las principales prácticas agronómicas y coeficientes técnicos en la etapa de cultivo, las

características de la cosecha y la comercialización de la madera, información que luego se incorporó en las simulaciones realizadas.

Los precios de los plantines o estacas utilizados fueron: 0,11 US\$/pl para material I₁, 0,10 US\$/pl para BM y 0,20 US\$/pl para MC, valores estos relevados de mercado. Se simuló cosecha mecanizada en sistema de trozas cortas CTL (Cut to Length), utilizando en el caso del Harvester una productividad de 8 m³/hora para BM, 9 m³/hora para I₁ y 11 m³/hora para MC y 40 m³/hora para Forwarder en todos los casos. Los valores de mayor o menor productividad se estimaron a partir de la frecuencia de fustes con defectos, diámetro medio del árbol y espaciamiento en los ensayos referenciados. Se hizo el supuesto simplificador de que la productividad de las máquinas no varía con la edad de los materiales cosechados, que se estableció entre 9 y 12 años.

El rendimiento de celulosa en la industria es básicamente, una medida de la cantidad de pulpa obtenida en relación a la cantidad de madera que ingresa al proceso industrial, determinado por características de la madera tales como su densidad y su composición química (Resquín, 2007). El rendimiento en volumen y densidad inciden en la cantidad de madera que es necesaria para producir una tonelada de celulosa, concepto conocido como consumo específico, que constituye una de las propiedades físicas más importantes de la madera (Coronel, 1994).

La madera consumida por tonelada de celulosa (C) es la inversa del producto de la densidad básica (D_b) y del rendimiento depurado (rd) en porcentaje (Ecuación 1).

$$C (m^3 / Mg) = \frac{1}{D_b \cdot rd} \quad \text{Ecuación 1}$$

Se supone que los mejores rendimientos en industria se obtienen con los valores más altos de densidad de la madera, si bien existen otros factores determinantes como el tenor de pentosanos y la relación de los tipos de ligninas entre otros (Resquín, 2006). Los valores de rendimiento depurado utilizados fueron 51 % para MC, 49,8 % para BM y 49,1 % para I₁ (Resquín *et al.*, 2005). Los valores de densidad básica empleados fueron 0,4568 para MC (Caamaño y Stirling, 2009), 0,414 para BM y 0,419 para I₁ (Fernando Resquín, com. personal). Estos valores fueron los empleados para todas las edades, si bien la densidad básica es un parámetro que varía con la edad.

¹Se puede acceder a una descripción más detallada de ambos programas en el sitio: <http://164.73.52.13/iah/textostesis/2010/3653and2.pdf>

Cuadro 2. Precios y coeficientes utilizados.

Ítem	Unidad	Valor
Madera puesta en puerta de fábrica	US\$/m ³	33
Distancia ZLO - ZC	km	125 ^a - 200 ^b
Tarifa flete	US\$/m ³ /km	0,08 ^a - 0,07 ^b
Precio combustible gasoil	US\$/l	1,39
Plantines	US\$/plantin	0,10 ^c - 0,11 ^d y 0,20 ^e
Precio divisa	\$/US\$	20
Densidad Básica	g/cm ³	0,414 ^c - 0,419 ^d y 0,4568 ^e
Rendimiento Depurado	(%)	49,8 ^c - 49,1 ^d y 51 ^e

^aZLO, ^bZC, ^cBM, ^dI₁, ^eMC.

Para los cálculos financieros se utilizó una tasa de descuento del 3,5 %, la que representa el costo de oportunidad del capital en el mediano a largo plazo. Se estimaron para los diferentes modelos, el Valor Esperado del Suelo en base anual que denominamos Renta Forestal Anual (RFA) y la Tasa Interna de Retorno (TIR) (Cuadro 2).

Se calculó la cantidad de celulosa anual por unidad de superficie considerando el valor tiempo. Aplicando el concepto de Valor Esperado del Suelo que actualiza las rentas forestales a perpetuidad, se utilizó el mismo para el rendimiento calculado de celulosa en fábrica. La Tonelada de Celulosa anual Equivalente (TCE), representa la cantidad anual de producción industrial por unidad de superficie, como se muestra en la Ecuación 2.

$$TCE = \text{celulosa} / \text{ha} * \left[\frac{(1+i)^n i}{(1+i)^n - 1} \right] \quad \text{Ecuación 2}$$

donde: *celulosa/ha* = cantidad de celulosa (Mg/ha) actualizada al año 0 de la rotación, *i* = tasa de descuento anual (%) y *n* = rotación (años). Los turnos forestales más tempranos tendrán en proporción un rendimiento de celulosa anual mayor que los más tardíos, penalizando los valores más alejados en el tiempo con una tasa de descuento anual.

La ganancia genética se define como el incremento productivo de los materiales; se estimó como la diferencia entre los clones (MC) y entre estos y el material testigo para la ZLO y como la diferencia entre material I₁ y BM para la ZC. Los valores que se comparan son: rendimiento volumétrico (m³/ha), rendimiento de celulosa por unidad de superficie (Mg/ha), TCE (Mg/ha/año). A esos valores obtenidos se calcula la RFA (US\$/ha/año) y TIR (%); finalmente, todos los valores se expresan en dólares 2010.

Resultados y discusión

De las entrevistas realizadas resulta que en la preparación del sitio, el 80 % de las empresas realizan control de hormigas sistemático y control de malezas en cobertura total con una dosis de glifosato que varía entre 3,5 a 5 l/ha. Con respecto a las labores de preparación del suelo, el ancho de trabajo varía entre 1 m a 1,5 m y en todos los casos se realizan dos pasadas de rastra de tiro excéntrica a 20 cm de profundidad, un subsolado a profundidades variables entre 50-70 cm según tipo de suelo, una pasada de rastra de disco liviana, y alomado para preparar la incorporación del plantín.

El método de plantación es manual aplicando fertilizante a los lados del plantín, comúnmente denominada fertilización de fondo. Luego de la plantación, en todos los casos se realiza mantenimiento que consta de: control de hormiga, control químico de malezas en la entrefila y en la fila de plantación hasta cierre de copa. Los marcos de plantación y densidades utilizadas fueron 3,5 m x 2 m y 1.429 plantas/ha para los materiales I₁ y BM y 3 m x 3 m y 1.111 plantas/ha, para MC y S3586.

Los costos de preparación de suelo, plantación y mantenimiento inicial, resultaron entre 728-919 US\$/ha para MC en la ZL; entre 675-763 US\$/ha para I₁ en la ZC y 658-746 US\$/ha para BM entre las escalas de plantación de 100 ha a más de 700 ha respectivamente. La diferencia de costos debido a la escala de plantación para MC es de 26 % y para I₁ y para BM de 13 %.

La diferencia entre los materiales se debe principalmente al costo de los plantines (Figura 2) ya que la profundidad de subsolado no tiene incidencia relevante en los costos de preparación del suelo.

De los datos de las entrevistas surge que el material utilizado no incide en las labores de preparación del suelo,

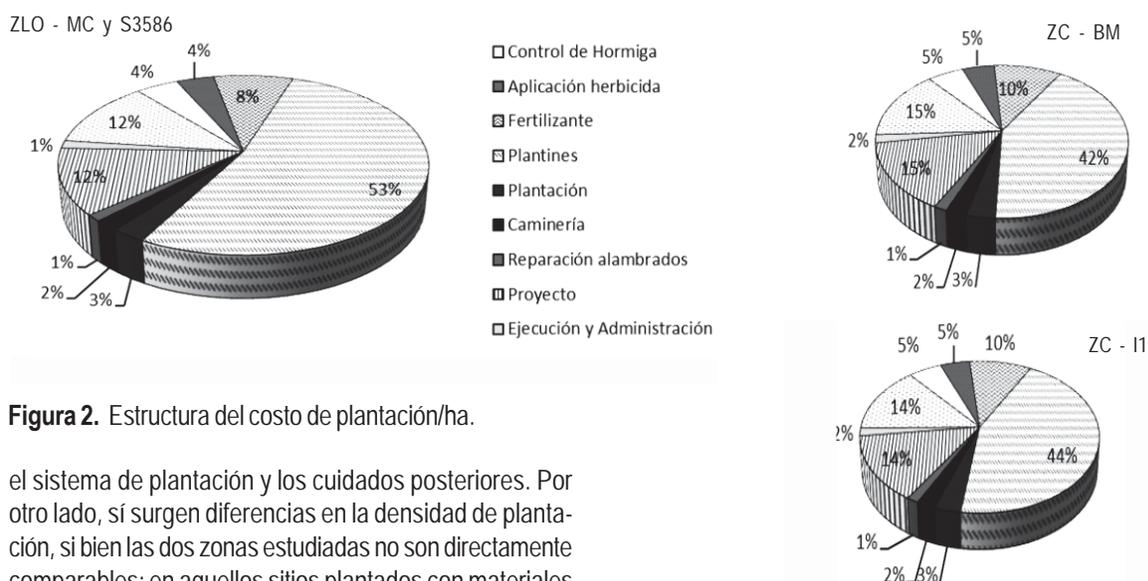


Figura 2. Estructura del costo de plantación/ha.

el sistema de plantación y los cuidados posteriores. Por otro lado, si surgen diferencias en la densidad de plantación, si bien las dos zonas estudiadas no son directamente comparables; en aquellos sitios plantados con materiales provenientes de semilla se emplea mayor densidad que en los que se emplea material clonal. El largo de troza empleado en la cosecha es diferente: para *MC* fue de 7,20 m y 3,60 m, con un descortezado de hasta 90 %, lo que reduce sensiblemente los tiempos operativos de la faena. En los materiales *I1* y *BM* el largo de troza empleado fue de 3,6 m y se utiliza descortezado total, lo que incide en los costos de producción.

El material *MC* es el que presenta mayor volumen de madera cosechada por hora y por lo tanto menor costo por unidad de volumen, debido a la mayor homogeneidad, la menor cantidad de ramas y el mayor volumen medio por árbol. El costo de cosecha más bajo resultó en 10,73 U\$/m³ para *MC*, 12,39 U\$/m³ para *I1*, y 13,52 U\$/m³ para *BM*.

Con respecto al volumen proyectado de madera en plantación, el material clonal de mejor comportamiento en la ZLO fue el C1 y el de más bajo el C6 con una diferencia en volumen de madera de 36 m³/ha y 29,4 m³/ha a los 9 y 12 años respectivamente, la diferencia en el incremento medio anual (IMA) fue de 4 m³/ha año y 2,5 m³/ha año, respectivamente. Comparando el C1 con el testigo, la diferencia fue de 66 m³/ha y de 60,3 m³/ha a los 9 y 12 años, respectivamente (Cuadro 3), con una diferencia en el IMA de 7,3 m³/ha año y 5 m³/ha año, respectivamente.

En la ZC el material de mejor comportamiento fue *I1*, comparado con *BM*, con una diferencia en volumen de madera de 25 m³/ha y 18 m³/ha a los 9 y 12 años, respectivamente y una diferencia de IMA de 2,8 m³/ha año y 1,5 m³/ha año, respectivamente.

En cuanto al rendimiento industrial en la ZLO, comparando el material clonal C1 de mejor comportamiento con el

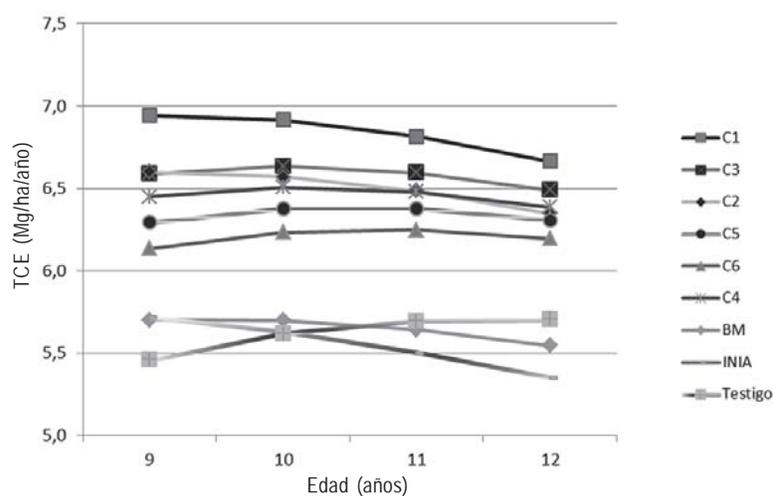
de más bajo resultado C6, el incremento logrado es de 8 Mg/ha y 7 Mg/ha a los 9 y 12 años, respectivamente. Esto representa una diferencia en el IMA de celulosa de 0,93 Mg/ha/año y 0,57 Mg/ha/año. Si esta diferencia la calculamos como TCE (Figura 3), obtenemos que la ganancia industrial anual medida como la diferencia entre el mejor y el peor material es de 0,8 Mg/ha/año en un ciclo de corta de 9 años y 0,47 Mg/ha/año en un ciclo de corta de 12 años. Comparando el C1 con el testigo, la diferencia fue de 15 Mg/ha/año y 14 Mg/ha/año a los 9 y 12 años, respectivamente (Cuadro 3), lo que representa una diferencia en el IMA de celulosa de 1,67 Mg/ha/año y 1,17 Mg/ha/año. La diferencia de TCE es de 1,48 Mg/ha/año en un ciclo de corta de 9 años y 0,97 Mg/ha/año en un ciclo de corta de 12 años.

En la ZC a los 9 años no existió diferencia en rendimiento de celulosa entre el material *I1* y *BM*. A los 12 años el material de mejor comportamiento fue *BM* con una diferencia en rendimiento con *I1* de 3 Mg/ha, lo que representa una diferencia en el IMA de celulosa de 0,24 Mg/ha/año. Si esta diferencia la llevamos a TCE la diferencia es de 0,2 Mg/ha/año.

El material *I1* presenta una ganancia promedio de 6 % en volumen, con respecto al testigo *BM*. A pesar de esto, el rendimiento en celulosa del material *I1* es en promedio ligeramente menor (2 %) con respecto al testigo. La razón es que a pesar de que la densidad básica es mayor para *I1*, la ganancia en volumen no alcanza a compensar el menor rendimiento depurado de 49,1 % para *I1* y de 49,8 para *BM*. De esto podemos deducir que un productor que venda la madera le convendrá el material *I1* a pesar de un menor rendimiento en celulosa.

Cuadro 3. Resultados proyectados entre los 9 y los 12 años de edad.

Material Edad	C1	C2	C3	C4	C5	C6	Testigo	INIA	BM
Volumen madera (m³/ha)									
9	309	294	293	287	280	273	243	328	303
10	348	331	334	328	321	314	283	365	343
11	385	359	372	366	360	353	321	400	380
12	418	394	407	400	395	388	358	433	415
Rendimiento celulosa (Mg/ha)									
9	72	68	68	67	65	64	57	59	59
10	81	77	78	76	75	73	66	66	67
11	90	84	87	85	84	82	75	72	74
12	97	92	95	93	92	90	83	78	81
IMA celulosa (Mg/ha/año)									
9	8,00	7,61	7,59	7,43	7,25	7,07	6,29	6,59	6,57
10	8,11	7,71	7,78	7,63	7,48	7,32	6,59	6,60	6,69
11	8,14	7,61	7,88	7,74	7,62	7,47	6,80	6,57	6,74
12	8,11	7,65	7,90	7,77	7,67	7,54	6,94	6,51	6,75
TCE (Mg/ha/año)									
9	6,94	6,60	6,59	6,45	6,29	6,14	5,46	5,72	5,70
10	6,92	6,57	6,63	6,51	6,38	6,24	5,62	5,63	5,70
11	6,82	6,37	6,59	6,48	6,38	6,25	5,69	5,50	5,64
12	6,67	6,29	6,49	6,39	6,31	6,20	5,70	5,35	5,55

**Figura 3.** Producción anual equivalente de pulpa de celulosa (Mg/ha/año) para ZLO y ZC.

La ganancia en términos monetarios se mide como la diferencia de renta forestal anual (RFA). En la ZLO el material C1 obtuvo los mayores valores y el C6 los más bajos resultados. La máxima diferencia entre ambos resultó en la escala ≥ 700 ha, siendo de 89 U\$/ha/año y 53 U\$/ha/año a los 9 y 12 años, respectivamente. Comparando el C1 con el testigo, en la misma escala la diferencia entre ambos

resultó de 132 U\$/ha/año y 85 U\$/ha/año a los 9 y 12 años, respectivamente (Cuadro 3). En la ZC la mayor RFA la presentó el material I_1 ; la diferencia entre I_1 y BM fue 45,1 U\$/ha/año a los 9 años en la escala $\geq 300 < 700$ ha y 32,4 U\$/ha/año a los 12 años en la escala $\geq 100 < 300$ ha (Cuadro 4).

Cuadro 4. Resultados de los indicadores financieros.

<i>Material Edad</i>	<i>C1</i>	<i>C2</i>	<i>C3</i>	<i>C4</i>	<i>C5</i>	<i>C6</i>	<i>Testigo</i>	<i>INIA</i>	<i>BM</i>
RFA (U\$/ha/año) escala ≥ 700 ha									
9	313	280	279	265	234	226	183	73	29,4
10	313	278	285	272	245	239	199	78	45,4
11	306	274	285	273	250	245	209	80	48,3
12	297	266	280	270	251	246	215	81	49,6
RFA (U\$/ha/año) escala $\geq 300 < 700$ ha									
9	302	268	267	253	222	214	171	64	18,9
10	302	268	274	262	235	228	188	69	35,8
11	297	264	275	263	241	235	199	72	39,4
12	288	257	271	261	242	237	205	73	41,3
RFA (U\$/ha/año) escala $\geq 100 < 300$ ha									
9	288	255	254	240	209	199	156	51	6,6
10	290	256	262	249	222	214	174	58	24,5
11	285	253	263	252	229	222	186	62	29,0
12	278	246	260	250	231	225	193	64	31,6
TIR (%) escala ≥ 700 ha									
9	20	19	19	19	19	18	17	10,3	6,7
10	19	18	18	19	18	17	17	10,3	8,0
11	18	17	18	17	18	17	16	10,2	8,1
12	17	16	17	16	17	16	16	9,9	8,0
TIR (%) escala $\geq 300 < 700$ ha									
9	19	18	18	17	17	16	15	9,1	5,5
10	18	17	17	17	17	16	15	9,3	6,9
11	17	16	16	16	16	15	15	9,2	7,0
12	16	15	16	15	16	15	15	9,1	7,1
TIR (%) escala $\geq 100 < 300$ ha									
9	18	16	16	16	15	15	14	7,8	4,1
10	17	16	16	16	15	15	14	8	5,7
11	16	15	15	15	15	14	14	8,1	6,0
12	15	14	15	14	14	14	13	8,1	6,1

La escala según los resultados, incide en un aumento de costos de 5 % y 6 % cuando se utiliza MC; 5 % y 9 % en S3586; 11 % y 16 % en /1 y por último en BM 23 % y 32 %. Partiendo de que la ganancia en volumen de madera es apropiable por parte de un productor y que es un elemento determinante en la rentabilidad de la plantación forestal, el material /1 es el que presenta mejor comportamiento en la ZC y los materiales clonales (MC) en la ZL.

Conclusiones

En las dos zonas estudiadas los programas de mejoramiento genético analizados en *Eucalyptus grandis* produjeron un aumento en producción de madera por hectárea, generando por lo tanto una mayor producción de celulosa por hectárea. Si bien el uso de material mejorado implica en todos los casos un aumento de los costos de producción, el aumento en la producción de madera implica una mejora en los retornos económicos.

En la ZLO, en un ciclo de corta de 10 años, con el uso MC se produce un aumento en la producción de madera de 46 m³/ha y un aumento en la producción de celulosa de 10,5 Mg/ha, lo que representa un 16 % con respecto al testigo. En un ciclo de corta de 10 años, el uso de clones produce en promedio un aumento de U\$S 50/ha año.

En la ZC, en un ciclo de corta de 10 años, con el uso de una fuente de semilla mejorada se produce un aumento en la producción de madera de 22,8 m³/ha y un aumento en la producción de celulosa de 4,6 Mg/ha, lo que representa un aumento de producción de celulosa de un 7 %. En promedio se produce un aumento de U\$S 30/ha/año.

De los resultados obtenidos en el trabajo se constata que la diferenciación de los niveles tecnológicos utilizados por diferentes empresas está dada por el material de propagación utilizado. La escala de plantación influye en los costos, los que junto a la productividad de cada material inciden en el turno óptimo financiero de corte.

Por parte de los productores no integrados, la mejor opción es la que reporta mayor volumen. Los beneficios que se derivan de los programas analizados se pueden agrupar por un lado en los beneficios apropiables por parte del productor forestal como el volumen en madera, y en las mejores condiciones de cosecha debido fundamentalmente a la homogeneidad de la plantación. En la etapa de transporte, si bien no se consideraron las posibles diferencias, el material más homogéneo en rectitud y mayor densidad redundan en un transporte más eficiente.

Los beneficios apropiables por parte de la industria claramente marcan un aumento del rendimiento en industria para el MC.

Para un productor integrado el rendimiento de celulosa por unidad de superficie es el indicador más relevante. Es esperable que a mayor edad se obtenga mayor volumen aunque no es indiferente el tiempo para producir esa cantidad.

Agradecimientos

Las autoras quisieran agradecer al Ing. Agr. (*PhD*) Gustavo Balmelli por toda la cooperación, dedicación y apoyo para producir este material, al Ing. Agr. (*MSc*) Fernando Resquin por la colaboración permanente y los datos proporcionados. A los Ing. Agr. (*MSc.*) Luis Gallo y Juan Cabris del Departamento Forestal por las sugerencias. Finalmente, al profesor Ing. Agr. (*PhD*) José García de León, fallecido tempranamente, por toda la formación y conocimiento brindado sin el cual no se hubiera podido concretar este trabajo.

Bibliografía

- Balmelli G. 2001. Estimación de parámetros genéticos para características de crecimiento en *Eucalyptus grandis*: algunas implicaciones para el mejoramiento genético y para la producción de semilla comercial. Montevideo: INIA 10p. (Serie Técnica; 121).
- Bennadji Z. 2011. Retrospectiva de dos décadas de mejoramiento genético de especies forestales en el sector público: experiencia del INIA. En: Seminario técnico Mejoramiento genético de especies de rápido crecimiento. Montevideo: INIA. (Actividades de Difusión; 653). pp. 13 - 25.
- Bettinger P, Clutter M, Siry J, Kanes M, Pait J. 2009. Broad implications of Southern United States pine clonal forestry on planning and management of forests. *International Forestry Review*, 11(3): 331 - 345.
- Brussa C. 1994. *Eucalyptus*: especies de cultivo más frecuente en Uruguay y regiones de clima templado. Montevideo: Hemisferio Sur. 325p.
- Caamaño L, Stirling M. 2009. Evaluación del crecimiento de clones de *Eucalyptus grandis* en el litoral del Uruguay [Tesis de grado]. Montevideo: Facultad de Agronomía. 118p.
- Carrere R, Lohmann L. 1997. El papel del Sur; plantaciones forestales en la estrategia papelería internacional [En línea]. Montevideo: Movimiento Mundial por los Bosques Tropicales. 253p. Consultado 20 noviembre 2013. Disponible en: <http://www.cdca.it/IMG/pdf/PapelSur.pdf>.
- Coronel E. 1994. Fundamentos de las propiedades físicas y mecánicas de las maderas; aspectos teóricos y prácticos para la determinación de las propiedades y sus aplicaciones. Santiago del Estero: El Liberal. 187p.
- Cubbage F, Wear D, Bennadji Z. 2006. Economic prospects and policy framework of forest biotechnology in the Southern U.S.A. and South America. En: Williams CG [Ed.]. Landscapes, genomics and transgenic conifers. Dordrecht: Springer. pp. 191 - 207.
- FAO 2012. Productos Forestales 2008-2012. Consultado 2 Mayo 2014. disponible en: <http://www.fao.org/docrep/019/i3732m/i3732m.pdf>.

- Gaspar M, Boralho N, Lopes A.** 2003. Comparison between field performance of cuttings and seedlings of *Eucalyptus globulus*. *Scientia Forestalis*, 13: 19 - 23.
- GIT.** 2009. Eucalyptologics: Information resources on eucalyptus cultivation around the world [En línea]. Consultado 5 mayo de 2012. Disponible en: <http://git-forestry-blog.blogspot.com/2008/09/eucalyptus-global-map-2008-cultivated.htm>.
- Králl J.** 1987. Introducción de especies y orígenes de Pinos y Eucalyptus en el Uruguay. En: Simposio sobre Silvicultura y Mejoramiento genético de especies forestales. Buenos Aires: CIEF. pp. 97 - 109.
- Mason E, Methol R, Cochran H.** 2011. Hybrid mensurational and physiological modelling of growth and yield of *Pinus radiata* D. Don. using potentially useable radiation sums. *Forestry*, 84(2): 99 - 108.
- MEC.** 1979. Segundas jornadas forestales. Montevideo: Facultad de Agronomía. 61p.
- Methol R.** 2006. SAG *grandis*: sistema de apoyo a la gestión de plantaciones de *Eucalyptus globulus*. Montevideo: INIA. 33p. (Serie Técnica ; 158).
- MGAP.** 2010. Monitoreo de los recursos forestales: inventario forestal nacional [En línea]. Montevideo: Ministerio de Ganadería Agricultura y Pesca. Consultado 4 junio 2013. Disponible en: <http://www.mgap.gub.uy/portal/hgxp001.aspx?7,20,441,O,S,O,MNU;E;134;2;MNU;>
- MGAP.** 2009. El proceso de desarrollo forestal y agroforestal en el Uruguay [En línea]. Montevideo: Ministerio de Ganadería Agricultura y Pesca. Consultado 5 Septiembre 2012. Disponible en: <http://www.mgap.gub.uy/Forestal/DGF.htm>.
- Pérez C.** 2000. Plantaciones forestales en la pradera uruguaya [En línea]. Montevideo: Grupo Guayubira. 20p. Consultado 3 noviembre 2013. Disponible en: <http://www.grain.org/es/article/entries/903-impacto-de-las-plantaciones-forestales-en-uruguay>.
- Resquin F.** 2007. ¿Es posible modificar las propiedades de la madera y la pasta de celulosa de *Eucalyptus* a través del momento de cosecha? *Revista INIA*, (11): 31 - 34.
- Resquin F.** 2006. Propiedades de la madera y la pasta de varias fuentes de semilla de *Eucalyptus grandis*. En: 30 años de investigación en areniscas. Montevideo: INIA. (Serie técnica ; 159). pp. 335 - 347.
- Resquin F, De Mello J, Faria I, Mieres J, Assandri L.** 2005. Caracterización de la celulosa de especies del género *Eucalyptus* plantadas en Uruguay. Montevideo: INIA. 82p. (Serie Técnica ; 152).
- Sanjuan A, Bacha C.** 2007. Estructura de mercado e desempenho da Indústria Brasileira de Celulosa: período de 1980 a 2005. *Pesquisa e Debate (SP)*, 18(1): 83 - 104.
- Vanclay JK, Skovsgaard JP.** 1997. Evaluating forest growth models. *Ecological Modelling*, 98: 1 - 12.
- Zobel B, Talbert J.** 1988. Técnicas de mejoramiento genético de árboles forestales. México: Limusa. 545p.