

REGÍMENES SILVÍCOLAS Y RETORNO FINANCIERO PARA *Pinus taeda* EN LAS ZONAS LITORAL OESTE Y NORESTE DE URUGUAY

Bussoni A.¹; Cabris J. ²

Recibido: 20/03/06 Aceptado: 24/11/06

RESUMEN

La industria forestal en Uruguay, *i.e.* aserrado, fabricación de pastas celulósicas, tableros MDF y de contrachapado están en rápida expansión. *Pinus taeda* se ha cultivado tanto para la producción de pulpa como de madera de aserrío. Los productos de aserradero incluyen varias categorías de calidad, desde tablas de encofrado y pallets hasta tablas sin nudos y defectos. La producción de mayor calidad supone aumentar la complejidad de sistemas silvícolas, las tasas de inversión y la duración de rotaciones, con diferentes niveles de riesgo. En el presente trabajo se diseñaron tres sistemas silvícolas para *P. taeda* cultivado en dos zonas de producción forestal, el Litoral Oeste (lat. 32°40'–33°S; long. 57–58°W) y el Noreste (lat. 31°–32°20'S; long. 55–55°30'W). Los sistemas difieren en podas, raleos y duración de la rotación y fueron denominados *extensivo*, para producción de trozas pequeñas (pulpa o tableros de partículas), *intermedio* e *intensivo*, para obtener trozas aserrables de alta calidad. Para cada sistema se simuló crecimiento y rendimiento; estos volúmenes fueron separados en cinco clases de trozas, según diámetro apical y longitud podada. Se compararon según criterios de evaluación financiera, Valor Esperado de la Renta Forestal Anual (RFA) y Valor Esperado de la Tasa Interna de Retorno (TIR). La probabilidad de retorno negativo fue calculada usando simulación Montecarlo y se determinaron perfiles de riesgo productivo para cada zona. En el Litoral Oeste, el sistema I produce 196m³ha⁻¹, 61% en trozas pequeñas, 37% trozas aserrables intermedias; pese a su viabilidad económica, la probabilidad de retorno negativo es 70%. El sistema II presenta bajo rendimiento (154m³ha⁻¹, rotación 24 años) y alta probabilidad de retorno negativo. El sistema III produce 219m³ha⁻¹ en rotación 24 años; 60% en trozas aserrables podadas. La TIR promedio es 6,4% y la probabilidad de retorno negativo es baja (5%). En el Noreste, los tres sistemas son viables técnica y financieramente. El sistema II fue el más eficiente, con 309m³ha⁻¹ en rotación 24 años; sólo 9% se cosecha en trozas pequeñas. El Litoral Oeste presenta baja aptitud para la producción de trozas aserrables de calidad. El Noreste es la zona más apta para la producción forestal en general, puesto que la producción con cualquier sistema es factible. El retiro de subsidios a la plantación no alteró la viabilidad de los regímenes simulados, excepto el sistema extensivo en el Litoral Oeste. Las técnicas de simulación empleadas pueden ser aplicadas a la toma de decisiones sobre carteras de inversión adecuadas al perfil de riesgo del inversor forestal. A medida que se desarrolle la industria local, las desventajas de distancia a mercados se reducirán y los sistemas silvícolas intensivos deberían resultar comparativamente más competitivos.

PALABRAS CLAVE: Valor Esperado del Suelo, evaluación financiera, sistemas silvícolas, raleo, poda.

SUMMARY

SILVICULTURAL REGIMES AND FINANCIAL RETURN FOR PINUS TAEDA WITHIN TWO FORESTRY ZONES IN URUGUAY

Forest industry in Uruguay, namely sawmilling, pulping, MDF and plywood manufacturing processes are rapidly expanding. *Pinus taeda* has been grown for both pulpwood and sawlog production. Sawmill products include several quality classes, from scaffolding boards and pallets to clearwood lumber. Higher grade obtention involves increased silvicultural complexity, investment rates and rotation lengths. Financial risk levels may

¹ Docente de Gestión Forestal. Departamento de Ciencias Sociales. Facultad de Agronomía. UDELAR.

² Docente de Manejo y Ordenamiento Forestal. Departamento de Producción Forestal y Tecnología de la Madera. Facultad de Agronomía. UDELAR, Avda. E. Garzón 780. CP 12900. Montevideo, Uruguay. .

also be altered. Three silvicultural systems were devised for loblolly pine grown in two forestry zones, West Litoral (lat. 32°40'–33°S; long. 57–58°W) y el Noreste (lat. 31°–32°20'S; long. 55–55°30'W). Proposed systems differed in pruning, thinning and rotation lengths and were accordingly termed *extensive*, for pulpwood or particleboard logs, *intermediate* and *intensive* for high-quality sawlog production. Growth and yield were simulated for each system; volumes were graded in 5 small-end diameter and total pruned length. Financial assessment criteria were Expected Annual Forest Rent (AFR) and Expected Internal Return Rate (IRR) values. Probability of negative returns was computed using Montecarlo simulation; risk productive profiles were determined for each zone. On West Litoral sites, system I yields 196m³ha⁻¹, 61% pulpwood or MDF logs, 37% small sawlogs; in spite of its economic feasibility, negative return likelihood is 70%. System II yield was low (154m³ha⁻¹, 24 yr. rotation) and probability of negative returns was high. System III yields 219m³ha⁻¹ on a 24 yr. rotation; 60% is harvested as pruned sawlogs. Average IRR is 6.4% and the likelihood of negative returns is 5%. On Northeast sites, all systems were technically and financially feasible. System II was the most efficient, with 309 m³ha⁻¹ on a 24-yr. rotation; only 9% harvested as small logs. System II seems financially preferable to system III, possibly because of earlier income and lower treatment costs. Intensive feasible regimes are less likely to result in negative returns than extensive systems. West Litoral sites show poor aptitude for high quality sawlog production. Northeast sites are more versatile, as both MDF log (system I) and sawlog (systems II and III) production is feasible. The withdrawal of plantation subsidies as incentive to forestry have not altered simulated regime viability, except for the extensive system in West Litoral. Simulation techniques used may be applied to making portfolio allocation decisions suited to forestry investor's risk profile. As regionally-based industry develops, disadvantages of distance to markets will decrease and intensive silvicultural systems should become comparatively more competitive.

KEY WORDS: Land Expectation Value, financial assessment, silvicultural regimes, thinning, pruning

INTRODUCCIÓN

El sector forestal en Uruguay se encuentra en una etapa de profunda transformación. La década de los 90 se caracterizó por el establecimiento y la expansión de las plantaciones en el país. Esto se dio en un marco de política sectorial que estimuló la inversión a través del crédito destinado a plantaciones, del subsidio directo a las mismas y de beneficios fiscales. Sólo entre los años 1995 y 1999 el país recibió en inversión extranjera directa un promedio anual de 330 millones de dólares, de los cuales un 70% correspondió a empresas del sector forestal (Bittencourt & Domingo, 2000). Éste se encuentra en una fase de expansión industrial, tanto en el área de pulpa y papel como en la de aserrío y tableros, con importantes proyectos de inversión.

Las decisiones sobre tratamiento silvícola y rotación, a efectos de este trabajo el período de tiempo comprendido entre la plantación y la corta final, son determinantes en la adecuación de la oferta de la materia prima a la demanda actual y futura. Niveles más intensivos de tratamiento silvícolas no siempre implican mayor rentabilidad y existe un punto más allá del cual se caerá en la zona de beneficios marginales decrecientes.

Aunque una parte relevante de la capacidad industrial será abastecida por empresas integradas verticalmente, se estima que parte de la demanda será satisfecha por empresas no integradas.

En el presente trabajo se procuró evaluar rendimientos, calidad y retornos económicos de la aplicación de tres re-

gímenes silvícolas para *Pinus taeda*, cultivado en dos zonas de aptitud forestal.

MATERIALES Y MÉTODOS

Se diseñaron tres sistemas silvícolas genéricos para el cultivo de *Pinus taeda*, en adelante denominados Sistema I (extensivo), Sistema II (intermedio) y Sistema III (intensivo). Los dos primeros se basaron en regímenes ya propuestos para Suelos CONEAT 7 en Tacuarembó y Rivera, evaluados en investigación previa (Bussoni & Cabris, 2005). Estos sistemas fueron modificados según los crecimientos simulados con el software P-LOB (Baldwin y Feduccia, 1987) para las zonas Noreste (Rivera, Tacuarembó) y Litoral Oeste (Paysandú, Río Negro). La información necesaria para formular calendarios de poda y raleo fue tomada de tablas locales de volumen y curvas de índice de sitio (Bugarín, 1983; Sorrentino, 1991; Sorrentino *et al.*, 1992) y de estudios de crecimiento en el Noreste (Cardozo, Ocaño y Torres, 1984; Balparda, 1988) y en el Litoral Oeste (González & Silveira, 1984). Se trabajó con índices de sitio definidos en suelos 7.31 y 9.3 según información de inventario nacional (Sorrentino *et al.*, 1992). Los productos a cosechar se definieron en base a categorías comerciales vigentes (Cuadro 1). La calidad se definió según dimensiones de las trozas (diámetro apical y longitud) y aplicación de poda sistemática. Así, el volumen comercial fue discriminado, en orden decreciente de calidad, en cinco clases de diámetro apical y contenido de madera

Cuadro 1. Categorías de trozas a cosechar.

Categorías de uso	Diámetro apical de la troza (cm; pulgadas)	Largo de troza (m)
	Aserrío 25cm; 10 “.	4,5
De aserrío de Tamaño Superior	Aserrío 25cm; 10 “	4,2
	Aserrío 23cm; 9 “	3,3
De aserrío de Tamaño Inferior	Aserrío 20cm; 8 “	2,4
	Aserrío 18cm; 7 “	2,4
	Aserrío 15cm; 6 “	2,4
Partículas (chips) o Pulpa	Trozas pequeñas < 15cm; 6 “	2,4

libre de defectos, a saber $\varnothing > 25\text{cm}$ podadas; $\varnothing > 25\text{cm}$ no podadas; $\varnothing 15\text{-}25\text{cm}$ podadas; $\varnothing 15\text{-}25\text{cm}$ no podadas y $\varnothing 12\text{-}15\text{cm}$ trozas para pulpa y tableros.

El sistema I tiene como propósito principal obtener madera de pequeños diámetros, destinada a pastas celulósicas o a tableros de partículas (Cuadro 2 y Cuadro 3). Se caracteriza por una rotación breve ($R = 12$ años). Los productos esperados son de bajo valor monetario; se da prioridad al incremento en volumen por unidad de tiempo en desmedro de calidad de la madera y tamaño de los rollizos a cosechar. Los principales costos se asocian al establecimiento de la plantación. La corta intermedia se limita a una poda baja sistemática (0 – 2,5 m), que en este caso tiene como objetivos mejorar el acceso a la plantación a los efectos de mensura, cosecha y eventualmente al combate de incendios y prever cambios en el objetivo de producción en el corto plazo. Se supone que al cabo de la primera rotación se planta nuevamente, dando inicio a otra rotación de igual

duración y con rendimiento equivalente a la primera. No es un sistema en uso corriente en Uruguay, aunque lo aplicarían de hecho, en rotaciones más prolongadas, aquellos productores que no hubieran previsto disponibilidad financiera para cortas intermedias. El sistema I se analiza aquí como referencia, a los efectos de comparación con los otros sistemas.

El sistema II tiene como propósito productivo las trozas de aserrío con un diámetro apical de más de 15cm con corteza (c/c). En una rotación de 24 años las cortas intermedias incluyen dos operaciones de poda sistemática hasta una altura de 5 m y dos raleos comerciales (Cuadro 2 y Cuadro 3). La edad y la severidad con la cual se aplican podas y raleos están condicionadas por las funciones de crecimiento en diámetro a la altura del pecho (*dap*) y en altura para cada sitio. Así, se definió que la poda baja debe realizarse cuando el *dap* medio de clases de copa dominante y codominante no exceda los 6 a 8cm, a los efectos

Cuadro 2. Sistemas silvícolas, *Pinus taeda*; Suelos CONEAT 9.3, Litoral Oeste.

Raleo/Cosecha final	Sistema I		Sistema II				Sistema III				
	12	5	10	15	24	5	9	13	16	24	
Edad (años)											
Número de árboles (ha)	Inicial	1.100	1.100	900	600	240	1.100	900	700	400	200
	Retirados	0	200	300	360	240	200	200	300	200	200
Edad de poda (años)	3	4	7			4	7	9			
Número árboles (ha)	1.100	900	250			900	700	400			
Altura de poda (m)	2,5	2,5	5			3	5	7,5			

Cuadro 3. Sistemas silvícolas, *Pinus taeda*. Suelos CONEAT 7.31, Noreste, Rivera.

Raleo/Cosecha final		Sistema I		Sistema II			Sistema III				
		12	5	10	15	24	3	7	12	16	24
Número de árboles (ha)	Inicial	1.100	1.100	900	700	250	1.100	900	700	550	200
	Retirados	0	200	300	450	250	200	200	150	350	200
Edad de poda (años)		3	3	4			3	4	7	9	
Número árboles (ha)		1.100	900	700			900	720	570	250	
Altura de poda (m)		2,5	2,5	5			3	5	7,5	10	

de limitar el diámetro del volumen central en las trozas basales conteniendo madera con defectos. Respecto a la severidad de poda, se procuró que la longitud de fuste podado no excediera en ninguna instancia 50% de la copa viva (Stöhr, Emerenciano & Faber, 1986).

En el Litoral Oeste, sobre sitios de menor productividad, el inicio del ciclo de podas se retrasaría un año (Cuadro 2). Los raleos comienzan por el apeo pre-comercial de 18% de los árboles a los 5 años, a los efectos de liberar de competencia a los individuos que recibirán poda alta a la edad de 7 años hasta el primer raleo comercial, aplicado a la edad de 10 años.

El sistema III se diferencia del anterior por incluir dos raleos pre-comerciales, dos raleos comerciales y cuatro operaciones de poda (Cuadro 2 y Cuadro 3). El propósito productivo es obtener mayor volumen de trozas de aserrío de calidad superior en la misma rotación.

Costos y precios

El costo de plantación se determinó para la zona Noreste en base al tipo de suelo predominante, realizando laboreo con rastra de discos en franjas. Para el Litoral Oeste, se planteó laboreo total con rastra de disco de tiro excéntrico, con el objetivo de combatir malezas. El precio de la mano de obra se consideró inferior para la zona Noreste respecto al Litoral. En esta última se constata una mayor presión de demanda para realizar diferentes labores en el rubro agropecuario, lo que eleva el precio de la mano de obra para todas las actividades. Las trozas de diámetros menores se destinaron a pulpa en Paysandú (Litoral) y se consideró un precio medio de 12US\$ m⁻³ puesto en planta, a una distancia de 80 km. En zona Noreste las trozas pequeñas se destinaron a fábrica de tablero de partículas a un precio de 17US\$ m⁻³, considerando la misma distancia. Los precios adoptados para trozas de tamaño superior en puerta

de aserradero son de 40US\$ m⁻³ y 32US\$ m⁻³, podada y no podada respectivamente. Para trozas de aserrío de tamaño inferior se utilizó 36 US\$ m⁻³ y 28,8US\$ m⁻³ para podadas y no podadas respectivamente. La tasa de descuento usada fue 10% .

Los costos de plantación y mantenimiento, así como los costos de manejo y cosecha para las dos zonas se resumen en el Cuadro 4 y en el Cuadro 5. Finalmente el tipo de cambio asumido en el trabajo es de 24,75\$U US\$⁻¹.

Análisis financiero

El análisis financiero se realizó en base a la Esperanza de Renta Forestal Anual (RFA) y Esperanza de Tasa Interna de Retorno (TIR).

La primera se deduce del concepto derivado de Faustmann (Samuelson, 1976) Valor Esperado del Suelo (VES) que se calcula como:

$$VES = \frac{[M + D - \sum_{n=0}^t C_n (1+r)^{t-n}]}{[1+r]^t - 1} - \frac{a}{r}$$

donde:

M es el ingreso por cosecha cuando el rodal alcanza la edad de rotación *t*,

D es el valor de raleos comerciales llevados a la edad de rotación,

C_n es el costo de plantación y costos de inversión en los sucesivos años *n*,

r es la tasa de descuento

a es el costo de administración anual.

La RFA se deduce de la anterior ecuación y expresa el beneficio equivalente anual de la actividad. Permite comparar con otras rentas obtenidas de la actividad agropecuaria a la misma tasa de interés.

Cuadro 4. Costos de Plantación y mantenimiento al año para Litoral y Noreste.

Costos de Plantación	Costo Total Promedio (US\$/ha)	Unidades
Laboreo		
Rastra tiro excéntrica + Surcador	44	1
Rastra tiro excéntrica + Laboreo en franjas	33	1
Subsolador+Surcador	0	1
Control de Hormiga	28	1
Aplicación herbicida	16	1
Fertilizante (75 Kg/ha)	19	75
Plantines	139	1111
Plantación	61	1111
Caminería	12	1
Reparación alambrados	5	1
Proyecto	12	1
Ejecución y Administración	3	1
Total Costo de Plantación Laboreo Total + 10% Mano Obra	371	
Total Costo de Plantación Laboreo Franjas	326	
Costos de Mantenimiento 1º año		
Reposición (20%)	22	222
Mano Obra reposición	18	222
Control de Hormigas	5	1
Total Costos de Mantenimiento	45	
Total Costos de Mantenimiento + 10% Mano Obra	49	

Fuente: Elaboración propia, en base a informantes.

$$RFA = VES \cdot r$$

El segundo indicador es la TIR, que presenta la ventaja de poder ser comparada con el costo de oportunidad del inversor. Los flujos a ser analizados presentan más de una variación de signo, por lo que puede existir más de una raíz para la solución del polinomio y el uso de la TIR no ser confiable. Este inconveniente fue solucionado aplicando el Teorema de Vincent, donde a través de la construcción de la matriz y la obtención de la primera diagonal (de Faro, 1985) se concluyó que existe una única raíz en cada uno de los flujos estimados.

Riesgo

Existen muchos tipos de riesgo a considerar en una inversión forestal. El productor puede no lograr comercia-

lizar una o más categorías de productos cosechados u obtener precios inferiores a los proyectados inicialmente, lo que puede resultar en un retorno negativo de la inversión. Otros factores que afectan la viabilidad son los riesgos financieros, entre los que se destaca el tipo de cambio. La economía uruguaya es muy sensible a esta variable macroeconómica; así la rentabilidad de la economía ha sido afectada de una manera drástica en las últimas décadas y en particular en el anterior quinquenio. Sin embargo para el presente trabajo asumimos este valor como estable (*ceteris paribus*) por lo que el poder de compra del retorno de la inversión no varía en términos generales a lo largo del período considerado. Indudablemente una tasa de devaluación por encima de la tasa de inflación doméstica traería como consecuencia un mayor poder de compra sobre los bienes no transables de la economía y vice-

Cuadro 5. Costos de Raleo Pre-comercial, Raleo Comercial, Costos de Manejo y Cosecha.

Operación	Precio (US\$)	Unidad
Raleo Pulpa(Apeo, Trozado y Sacar)	1,3	metro estéreo (mst)
Pulpa	1,9	ton verde
Raleo Aserrable (Apeo, Trozado y Sacar)	5,2	tonelada
Carga a camión (grapo)	1,1	tonelada
Raleo a pérdida (US\$ ha ⁻¹)	55	US\$ ha ⁻¹
Poda baja (hasta 2,5m)	0,1	US\$ árbol
Poda intermedia (hasta 5 m)	0,2	US\$ árbol
Poda alta	0,2	US\$ árbol
Cosecha	10,3	US\$ m ⁻³
Apilado y carga a camión	2	US\$ m ⁻³
Cosecha pulpa	7,5	US\$ m ⁻³

Fuente: Elaboración propia a base de informantes.

versa. Nuestro modelo se centra en la variabilidad del costo de oportunidad así como el de insumos y productos considerados claves en el proceso, con el objetivo de tratar de averiguar el componente riesgo-rentabilidad de los sistemas.

A los efectos de este trabajo se consideró los riesgos de mercado, a partir de la variación de precios de los productos a obtener y el riesgo de variación del costo energético, que pueden representar entre 50 y 75% de los costos totales de producción. Se definió un precio central del costo de cosecha, según productos y se asignó distribución triangular de $\pm 20\%$, precio de flete en US\$/km m³ con distribución normal (0,05; 0,01), tasa de descuento con distribución normal (0,10;0,01).

Los valores de las muestras se generan a partir de un número aleatorio entre cero y uno con distribución uniforme, este se relaciona con la función inversa de la distribución de probabilidad de la muestra y se genera el valor de variable aleatoria. Finalmente se realizaron 250 simulaciones de 1500 iteraciones. El resultado de cada simulación genera una distribución de probabilidad de resultados económicos. Se obtuvieron los valores medios de las simulaciones así como la probabilidad de que el valor del parámetro RFA, caiga debajo del nivel positivo.

A los efectos del análisis de los resultados, se parte del supuesto que el inversor es adverso al riesgo, lo que equivale a decir que su función de utilidad es cóncava y que preferirá aquella inversión para la cual la esperanza de re-

torno $E(U)$ es mayor. Así dadas dos inversiones A y B , la inversión A es preferida a B solo si $E(U_A) > E(U_B)$.

Se asumió que los sistemas silvícolas son adoptados por inversores no integrados verticalmente y que no se presentan dificultades asociadas a la baja escala de producción, por lo cual los costos medios están en el entorno de un mínimo.

Los titulares de las plantaciones forestales, tanto en bosques de rendimiento como protectores, tuvieron acceso a un subsidio equivalente al 50% del costo ficto de plantación. El incentivo se retiró, primero parcialmente a partir del año 2002 y luego se eliminó a partir del año 2005. Todas las simulaciones se realizaron en las dos situaciones de inversión: con subsidio, recibido al tercer año de plantación y sin recibir el subsidio, que sería la situación de las nuevas plantaciones.

Función de ahusamiento

Se estimaron diferentes funciones de ahusamiento sobre una muestra de 252 mediciones provenientes de 19 árboles, sobre los que se midió *dap*, diámetro a diferentes alturas (d_i), altura (h_i) y altura total (H_i). Se seleccionó la función polinomio de quinto grado (Scolforo, 1998, Zhang, 2002) en base a tres estadígrafos: Raíz del Error Cuadrático Medio (RECM), Sesgo Medio o Diferencia Agregada (DA) y Error Medio Absoluto (EMA). La función utilizada, los valores de los parámetros y las medidas de sesgo se presentan en la siguiente ecuación y en el Cuadro 6.

$$\phi(\text{DAP}, h, H) := \left[\text{DAP} \cdot \left[a + b \cdot \left(\frac{h}{H} \right) + c \cdot \left(\frac{h}{H} \right)^2 + d \cdot \left(\frac{h}{H} \right)^3 + e \cdot \left(\frac{h}{H} \right)^4 + g \cdot \left(\frac{h}{H} \right)^5 \right] \right]$$

Cuadro 6. Valores de parámetros y estadígrafos de la función de ahusamiento.

Valores de los parámetros*					
a	b	c	D	E	f
1,1773	-4,5487	25,376	-68,143	80,937	-35,711
Estadígrafos			Valores		
RECM*			2,5514612		
EMA**			1,8815923		
DA***			-0,0218191		

Fuente: Elaboración propia.

♣ Valores F para todos los parámetros altamente significativo ($p < 0,001$)

*RECM = Raíz del Error Cuadrático Medio

**EMA = Error Medio Absoluto

***DA = Diferencia Agregada

O = Valores Observados

E = Valores Esperados

$$* RECM = \sqrt{\frac{(O - E)^2}{n - 1}}$$

$$** EMA = \frac{|O - E|}{n - 1}$$

$$*** DA = \frac{\sum (O - E)}{n - 1}$$

Para el esquema de trozado fue implementada una rutina que permite calcular el volumen de las trozas obtenidas en función del diámetro a la altura del pecho (**DAP**), altura específica del árbol (**h**) y altura total de árbol (**H**) en metros. El algoritmo define el número y tipo de productos obtenidos y calcula el volumen por troza y el volumen de cada categoría por unidad de superficie.

El volumen de troza se obtiene resolviendo la siguiente integral:

$$v(h_{\text{inf}}, h_{\text{sup}}) := \frac{\pi}{4} \cdot \left(\int_{h_{\text{inf}}}^{h_{\text{sup}}} \phi(\text{DAP}, h, Ht)^2 dh \right)$$

Donde:

v es el volumen de la troza en metros cúbicos,

h_{sup} y **h_{inf}** son altura del fuste en el extremo apical y en la base de la troza, respectivamente, expresadas en metros,

Ht es altura total del árbol en metros.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En el Litoral Oeste, el sistema I resulta en un volumen comercial de 196 m³ ha⁻¹ en rotación de 12 años (R = 12); de este volumen, 61% se cosecha en trozas para pulpa y 37% en trozas de aserrío con diámetro apical < 25cm. Este sistema dio como resultado una TIR promedio de 4,4% con una probabilidad de obtener retornos negativos de la RFA P ≥ 70%. En el sistema II, el único raleo comercial es el realizado a los 15 años (Cuadro 7), lo que resulta en bajo volumen de cosecha para toda la rotación (154 m³ ha⁻¹, R = 24). Si bien la TIR promedio es 5,8% la probabilidad de obtener retornos negativos (RFA) es de P ≥ 90% (Cuadro

11). En el sistema III se cosechan 219 m³ ha⁻¹ comerciales (R = 24), de los cuales sólo 11% se destina a pulpa. El 60% se cosecha en trozas de aserrío podadas de tamaño intermedio y tamaño mayor (Cuadro 9). La TIR para este sistema es 6,4% y la probabilidad de retornos negativos P ≤ 10% (Cuadro 11).

En el Noreste, los tres sistemas parecen ser viables técnica y financieramente. El sistema más eficiente es el II; de 309 m³ ha⁻¹ (R = 24), se obtiene 44% en trozas de aserrío podadas y sólo 9% destinado a tablero de partículas (Cuadro 8). Este sistema es financieramente superior al sistema III, por presentar ingresos más tempranos, menores costos de tratamiento silvícola y mejor resultado económico (Cuadro 10).

Cuadro 7. Sistema I extensivo para la zonas Litoral Oeste y Noreste.

SISTEMA I	Suelos CONEAT 9.3 Litoral Oeste					Suelos CONEAT 7.31 Noreste						
	Cosecha Final					TOTAL	Aserrables		Aserrables		TOTAL	
	Calidad Superior		calidad inferior		Pulpa		Calidad Superior		calidad inferior			Tableros
	podado	sin podar	podado	sin podar			podado y sin podar	podado	sin podar	podado y sin podar		
Trozas ha ⁻¹	0	32	289	863	3748	4932	0	174	389	1805	4025	6393
Cosecha m ³ ha ⁻¹	0	4,2	16,9	55,4	119,8	196	0	28,2	23,0	68,5	238,5	358
Volumen (%)	0	2,2	8,6	28,2	61,0	100%	0	7,9	6,4	19,1	66,6	100%

Cuadro 8. Sistema II, intermedio, para las zonas Litoral Oeste y Noreste.

SISTEMA II	Suelos CONEAT 9.3 Litoral Oeste					Suelos CONEAT 7.31 Noreste						
	Primer raleo: 10 años					TOTAL	Aserrables		Aserrables		TOTAL	
	Calidad Superior		calidad inferior		Pulpa		Calidad Superior		calidad inferior			Tableros
	podado	sin podar	podado	sin podar			podado y sin podar	podado	sin podar	podado y sin podar		
Trozas ha ⁻¹	0	0	0	0	0	0	0	174	389	1805	4025	6393
Cosecha m ³ ha ⁻¹	0	0	0	0	0	0	0,0	0,0	12,8	5,1	18,0	36
Volumen (%)	0	0	0	0	0	--	0,0	0,0	35,6	14,3	50,1	100%
Segundo raleo: 15 años												
Trozas ha ⁻¹	0	0	370	0	148	518	132	145	379	328	696	1680
Cosecha m ³ ha ⁻¹	0	0	14,3	0	14,7	29	31,3	27,4	23,9	17,7	8,4	109
Volumen (%)	0	0	49,2	0	50,8	100%	28,8	25,2	22,0	16,3	7,8	100%
Cosecha final 24 años												
Trozas ha ⁻¹	332	174	100	476	306	1388	384	185	0	318	187	1074
Cosecha m ³ ha ⁻¹	55,2	11,9	7,7	35,2	14,9	125	65,5	77,2	2,4	17,5	1,4	164
Volumen (%)	44,2	9,6	6,1	28,2	11,9	100%	39,9	47,0	1,5	10,7	0,9	100%
SISTEMA												
Trozas ha ⁻¹	332	174	470	476	454	1906	516	504	768	2451	4908	9147
Cosecha m ³ ha ⁻¹	55,2	11,9	22,0	35,2	29,7	154	96,9	104,6	39,1	40,4	27,9	309
Volumen (%)	35,9	7,8	14,3	22,9	19,3	100%	31,4	33,9	12,7	13,1	9,0	100%

Cuadro 9. Sistema III, intensivo, para las zonas Litoral Oeste y Noreste.

SISTEMA III	Suelos CONEAT 9.3 Litoral Oeste					Suelos CONEAT 7.31 Noreste					TOTAL	
	Primer raleo comercial: 13 años											
	Aserrables Calidad Superior		Aserrables calidad inferior		Pulpa	Aserrables Calidad Superior		Aserrables calidad inferior		Tableros		
	podado	sin podar	podado	sin podar	podado y sin podar	podado	sin podar	podado	sin podar	podado y sin podar		
Trozos ha ⁻¹	0	0	588	0	219	807	103	0	382	206	250	941
Cosecha m ³ ha ⁻¹	0	0	40	0	3	43	6,4	0,0	23,2	0,0	10,6	40
Volumen (%)	0	0	93	0	7	1	15,8	0,0	57,8	0,0	26,3	100%
Segundo raleo comercial: 16 años												
Trozos ha ⁻¹	0	0	367	0	0	367	170	0	910	133	338	1551
Cosecha m ³ ha ⁻¹	0	0	24,0	0	9,8	34	31,8	0,0	66,2	7,8	12,0	118
Volumen (%)	0	0	71,0	0	29,0	100%	27,0	0,0	56,2	6,6	10,2	100%
Cosecha final 24 años												
Trozos ha ⁻¹	182	118	208	398	242	1148	384	185	0	318	187	1074
Cosecha m ³ ha ⁻¹	48,4	21,1	19,4	32,5	11,4	133	102,7	26,8	0,0	23,4	7,6	161
Volumen (%)	36,4	15,9	14,6	24,5	8,5	100%	64,0	16,7	0,0	14,6	4,7	100%
SISTEMA												
Trozos ha ⁻¹	182	118	1163	398	461	2322	657	185	1292	657	775	3566
Cosecha m ³ ha ⁻¹	48,4	21,1	83,4	42,3	24,0	219	140,8	26,8	89,5	31,2	30,2	319
Volumen (%)	22,1	9,6	38,1	19,3	10,9	100%	44,2	8,4	28,1	9,8	9,5	100%

Fuente: Elaboración propia.

Cuadro 10. Retornos financieros para la zona Noreste con y sin subsidio a la plantación.

	Valores Medios con subsidio			Valores Medios sin subsidio		
	VES	RFA	TIR	VES	RFA	TIR
	(US\$ ha ⁻¹)	(US\$ ha ⁻¹)	(US\$ ha ⁻¹)	(US\$ ha ⁻¹)	(US\$ ha ⁻¹)	(US\$ ha ⁻¹)
Sistema I	494	49	7,7%	369	37	7,2%
Sistema II	1411	141	11,8%	1286	129	11,3%
Sistema III	998	100	10,4%	874	87	9,9%

Fuente: Elaboración propia.

Desde una perspectiva global el Litoral Oeste presenta una baja aptitud para la producción de trozas de aserrado de calidad superior, mientras que el Noreste es más versátil, con aptitud para la producción tanto de trozas para tableros (sistema I) como de madera de aserrío (sistemas II y III).

En ambas zonas productivas el Sistema I, genera más del 60% del volumen comercial en trozas de pequeño diámetro y bajo valor relativo (Cuadro 7). Dado que la altura total podada es 2,5 m, las trozas de aserrío con longitud mayor a 2,4 m contienen nudos y defectos que reducen su valor comercial. El Sistema I, menos intensivo, presenta menor retorno financiero para las dos zonas (Cuadro 10 y Cuadro 11) considerando el indicador TIR. Estos resulta-

dos deben ser interpretados considerando además la probabilidad de obtener retornos negativos.

El sistema II concentra entre 44 y 65% del volumen cosechado en las categorías de aserrío más valiosas, tanto podadas como sin podar. El volumen en trozas de calidad superior con poda representa 36 y 31% del volumen comercial en Litoral Oeste y Noreste, respectivamente.

En cuanto al Sistema III, la categoría más relevante es la de aserrío podada. Sin embargo, mientras que en Rivera el 44% del volumen comercial cosechado es en trozas de calidad superior, en Paysandú predominan trozas de aserrío de calidad inferior, que representan 38% de dicho volumen.

Cuadro 11. Retornos financieros para la zona Litoral con y sin subsidio a la plantación.

	Valores Medios con subsidio			Valores Medios sin subsidio		
	VES (US\$ ha ⁻¹)	RFA (US\$ ha ⁻¹)	TIR (US\$ ha ⁻¹)	VES (US\$ ha ⁻¹)	RFA (US\$ ha ⁻¹)	TIR (US\$ ha ⁻¹)
Sistema I	35	3,5	4,4%	-90	-9	3,8%
Sistema II	-35,5	-3,5	5,8%	-161	-16	5,4%
Sistema III	184	18	6,4%	60	6	5,9%

Fuente: Elaboración propia.

Como se observa en Cuadro 10 y Cuadro 11, la disminución en la rentabilidad media por efecto del retiro del subsidio varía entre 4% a 6% para los valores de TIR, y entre el 9% a 24% para los valores de RFA con la misma relación ordinal en los valores de retorno. En el Litoral Oeste y con los parámetros empleados, el sistema extensivo, cuyo producto principal son trozas para pulpa, pasa de viable con subsidio a no viable sin subsidio a la plantación.

CONCLUSIONES

En comparación con el sistema II, el sistema III en la zona Noreste resulta en valores menores de los indicadores de resultado financiero. Mayores niveles de intensidad en el tratamiento silvícola no necesariamente implican mayores retornos económicos. No se observó una relación evidente entre mayores niveles de inversión y mayor riesgo de retorno de la inversión.

Un sistema intermedio en intensidad en el Litoral Oeste resulta en rendimientos pobres en volumen y calidad, que a su vez generan un mal desempeño económico y alta probabilidad de retorno negativo.

El retiro del subsidio como incentivo a la forestación no alteró la viabilidad o el orden en los valores de retorno para las inversiones simuladas, a excepción del sistema extensivo, destinado a la producción de trozas para pulpa en el Litoral Oeste.

El estudio en profundidad de las complejas interacciones entre volúmenes de productos, calidad, precios y retornos financieros que resultan de estos sistemas permitirán avanzar en la adaptación de regímenes silvícolas al desarrollo futuro del sector forestal en Uruguay.

CONSIDERACIONES FINALES

En la medida que se desarrollen industrias regionales, la desventaja de acceso a mercados se reducirá, por lo que los sistemas silvícolas tendientes a la obtención de pro-

ductos con mayor valor agregado serán cada vez más competitivos.

La combinación de la simulación de sistemas silvícolas con la obtención de probabilidades de riesgo, puede ser utilizada para diseñar y corregir los mismos.

Si aplicamos la perspectiva de la plantación forestal como la de una posible cartera de inversiones, se puede optar por diversos regímenes alternativos y obtener diferentes combinaciones de productos.

Esta metodología puede ser una herramienta útil en la toma de decisiones y para definir la silvicultura adecuada, permitiendo orientarse hacia productos más o menos riesgosos en función de los retornos esperados y de la probabilidad de caer en la zona de retornos negativos definir la silvicultura adecuada.

BIBLIOGRAFÍA

- BALDWIN, V. C., JR. & FEDUCCIA, D. P. 1987. Loblolly pine growth and yield prediction of managed West Gulf plantations. Res. Pap. SO-236. New Orleans, La. US Department of Agriculture, Forest Service. Southern Forest Experiment Station. 27 p.
- BALPARDA, A. 1988. Estudio sobre el crecimiento de *Pinus taeda* L. en la zona 7 de CIDE, Rivera. Tesis Ing. Agr. Montevideo, Uruguay. Facultad de Agronomía. 145 p.
- BITTENCOURT, G. & DOMINGO, R. Inversión extranjera directa y empresas transnacionales en Uruguay en los 90. Tendencias, Determinantes e Impactos. Departamento de Economía, Facultad de Ciencias Sociales. Universidad de la República. www.redmercosur.org.uy/conferencia/documentos/2/Uruguay.doc 14 de julio de 2004.
- BUGARÍN, J. J. 1983. Inventario sistemático en fajas y Cuadros de volumen local en *Pinus taeda* L. y *Pinus elliottii* Engelm. Caja de Jubilaciones Bancarias, Piedras Coloradas, Departamento de Paysandú. Tesis Ing. Agr. Montevideo, Uruguay. Facultad de Agronomía. 113 p.
- BUSSONI A. & CABRIS J. 2004. Evaluación de prácticas silvícolas para *Pinus Taeda* cultivado en el Norte de

- Uruguay. In: Anales del 1° Congreso Regional de Economistas Agrarios. 3-5 de Nov, Mar del Plata, Argentina.
- CARDOZO, H.; OCAÑO, J. & TORRES, G. 1986. Influencia del espaciamiento en el crecimiento diametral anual de *Pinus taeda* L. sobre suelos de la Unidad Tacuarembó. Tesis Ing. Agr. Montevideo, Uruguay. Facultad de Agronomía. 114 p.
- DE FARO, C. 1985. A Eficiência Marginal do Capital como critério de Avaliação Econômica de Projetos de Investimentos. IBMEC/PNPE, Rio de Janeiro.
- GONZÁLEZ, A. & SILVEIRA, D. 1984. Estudio del incremento medio anual en diámetro y altura de *Pinus taeda* y *Pinus elliottii* var. *elliottii* en la Unidad Algorta. Piedras Coloradas, Departamento de Paysandú. Tesis Ing. Agr. Montevideo, Uruguay. Facultad de Agronomía. 63 p.
- SAMUELSON, P.A. Economics of forestry in an evolving society. *Economic Inquiry*, v.14, p.466-492, 1976.
- SCOLFORO, J.R.; RIOS, M.S. & DE OLIVEIRA, A.D. 1998. Acuracidade de Equações de afilamento para representar o perfil do fuste de *Pinus elliottii*. *CERNE*. v.4, n.1, p. 100-122.
- SORRENTINO, A. 1991. Índices de sitio preliminares para las principales especies forestales cultivadas en el Uruguay. Facultad de Agronomía, Universidad de la República. Boletín de Investigación N°33. Montevideo, Uruguay.
- SORRENTINO, A.; AROCENA, R.; ZORRILLA DE SAN MARTÍN, M.; BARDANCA, A. & VOLA, A. 1992. Proyecto: Índices de sitio, volumetría y crecimiento de pinos y eucaliptos en el Uruguay. Informe Final: Documento Completo. Proyecto PNUD-FAO URU/90/005 BIRF UR-3131. 228p.
- STÖHR, G.W.D.; EMERENCIANO, D. B. & FABER, J. 1987. Green pruning of *Pinus taeda* and its influence on growth in Paraná-Brazil. in Stella, R. (ed.), Simposio sobre Silvicultura y Mejoramiento Genético de Especies Forestales. Actas del Simposio. Tomo IV. CIEF. Buenos Aires, Argentina, 6-10 de abril de 1987. pp. 197-204.
- ZHANG, Y.; BORDERS, B. & BAILEY, R. 2002. A Compatible Stem Taper-Volume-Weight System for Intensively Managed Fast Growing Loblolly Pine. In: *Gen Tech. Rep. SRS-48*, p.454-459. SRS-USDA Forest Service.