



Universidad Austral de Chile

Facultad de Ciencias Forestales

Evaluación económica de cuatro regímenes silviculturales intensivos en plantaciones experimentales de *Pinus radiata* D. Don. Fundo Jauja, Comuna de Collipulli (IX Región)

Patrocinante: Sra. Rosa Alzamora M.

Trabajo de Titulación presentado como parte de los requisitos para optar al Título de **Ingeniero Forestal**.

RODRIGO EDUARDO NOVOA ANSORENA

VALDIVIA
2005

CALIFICACIÓN DEL COMITÉ DE TITULACIÓN

| | | Nota |
|---------------|------------------------------|-------------|
| Patrocinante: | Sra. Rosa Alzamora Mallea | 6,4 |
| Informante: | Sr. Mario Meneses Villanueva | 6,3 |
| Informante: | Sr. Luis Soto Fariña | 6,3 |

El patrocinante acredita que el presente Trabajo de Titulación cumple con los requisitos de contenido y de forma contemplados en el reglamento de Titulación de las Escuela. Del mismo modo, acredita que en el presente documento han sido consideradas las sugerencias y modificaciones propuestas por los demás integrantes del Comité de Titulación.

Sra. Rosa Alzamora M.

Gracias a Forestal Mininco por darme la oportunidad de elaborar este trabajo utilizando información recolectada durante mi práctica en la empresa.

Gracias a mi profesora patrocinante, Rosa Alzamora, por su disposición y paciencia.

Gracias a mis amigos Liliana Villalobos, Alvaro Jaramillo y Danny Baeza por su participación en el muestreo de datos.

A mi familia,

*Por permitirme aprender y
crecer rodeado de amor y
cariño.*

ÍNDICE DE MATERIAS

| | Página |
|--|-----------|
| 1. INTRODUCCIÓN | 1 |
| 2. MARCO TEÓRICO | 3 |
| 2.1 Evaluación económica de la silvicultura | 3 |
| 2.2 Características de la producción forestal | 3 |
| 2.2.1 Duración del período productivo | 3 |
| 2.2.2 Los árboles son fábrica y producto a la vez | 4 |
| 2.2.3 Inmovilidad de la madera en pie | 4 |
| 2.2.4 Naturaleza agregada de los bosques | 4 |
| 2.3 Evaluación económica privada de proyectos de manejo forestal | 4 |
| 2.3.1 Indicadores económicos | 5 |
| 2.3.2 La rotación económica | 7 |
| 2.4 Factores determinante de la eficiencia silvícola en <i>P. radiata</i> | 8 |
| 2.4.1 Objetivos de la eficiencia silvícola | 8 |
| 2.4.2 Regímenes silviculturales orientados a la producción de madera de alto valor | 9 |
| 2.4.3 Características de los productos podados | 10 |
| 2.4.4 Otros aspectos de calidad de la madera | 11 |
| 2.5 Análisis de sensibilidad | 12 |
| 3. DISEÑO DE INVESTIGACIÓN | 13 |
| 3.1 Descripción del ensayo | 13 |
| 3.2 Toma de datos en terreno para la caracterización del producto podado | 13 |
| 3.3 Estimación y proyección del PLI | 14 |
| 3.4 Caracterización dasométrica de los tratamientos | 15 |
| 3.5 Evaluación económica de los tratamientos | 15 |
| 3.5.1 Determinación de los ingresos | 15 |
| 3.5.2 Determinación de los costos | 16 |
| 3.5.3 Análisis de sensibilidad | 16 |
| 4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN | 17 |
| 4.1 Caracterización dasométrica de los tratamientos | 17 |
| 4.2 Proyección del volumen y distribución de productos | 18 |
| 4.3 Calidad del producto podado | 21 |
| 4.4 Evaluación económica de los tratamientos | 24 |

| | | |
|-----------|--|-----------|
| 4.4.1 | Determinación del ingreso de la cosecha | 24 |
| 4.4.2 | Eficiencia económica de los esquemas de manejo | 26 |
| 4.4.3 | Análisis de sensibilidad | 30 |
| 5. | CONCLUSIONES | 36 |
| 6. | BIBLIOGRAFÍA | 38 |

ANEXOS

| | |
|---|--|
| 1 | <i>Abstract and keywords</i> |
| 2 | Proyección del rendimientos volumétrico por producto |
| 3 | Caracterización dasométrica de los tratamientos |
| 4 | Oportunidad y frecuencia de actividades de poda y raleo |
| 5 | Valor de productos podados y rentabilidad de los regímenes silviculturales |
| 6 | Valores utilizados en la construcción de curvas de indiferencia |

ÍNDICE DE CUADROS

| | | Página |
|-----------|--|--------|
| Cuadro 1. | Descripción de los tratamientos | 13 |
| Cuadro 2. | Caracterización de los productos a obtener en la cosecha | 15 |
| Cuadro 3. | Variables dasométricas y características técnicas de los regímenes silviculturales | 17 |
| Cuadro 4. | Calidad de la troza podada de acuerdo al PLI | 22 |
| Cuadro 5. | Estructura de costos para todos los tratamientos | 26 |
| Cuadro 6. | Caracterización integral de los esquemas de manejo a su respectiva edad de rotación óptima | 28 |

ÍNDICE DE FIGURAS

| | | Página |
|-----------|---|--------|
| Figura 1. | Curvas de indiferencia y tasa marginal de sustitución entre dos bienes normales | 12 |
| Figura 2. | Rendimiento volumétrico proyectado para cada tratamiento | 18 |
| Figura 3. | Proyección y distribución de volumen para el Tratamiento 2 | 19 |
| Figura 4. | Proyección y distribución de volumen para el Tratamiento 4 | 19 |
| Figura 5. | Proyección y distribución de volumen para el Tratamiento 5 | 20 |
| Figura 6. | Proyección y distribución de volumen para el Tratamiento 6 | 20 |
| Figura 7. | PLI, DCD y D1,3 de cada tratamiento a los dieciséis años | 21 |
| Figura 8. | Proyección del PLI entre dieciséis y treinta años | 22 |

| | | |
|------------|---|----|
| Figura 9. | Calidad del producto podado en SED y PLI entre 20 y 28 años | 23 |
| Figura 10. | Comportamiento del producto podado entre 20 y 30 años en precio y volumen | 24 |
| Figura 11. | Ingreso Neto por cosecha | 25 |
| Figura 12. | Valor Potencial del Suelo por tratamiento entre veinte y treinta años | 27 |
| Figura 13. | Curvas de indiferencia entre tasa de interés y precio de trozas podadas | 30 |
| Figura 14. | Curvas de indiferencia entre el volumen de trozas podadas y la edad de rotación | 31 |
| Figura 15. | Curvas de indiferencia entre el precio de trozas pulpables y podadas | 32 |
| Figura 16. | Curvas de indiferencia entre el volumen de trozas pulpables y podadas | 34 |

RESUMEN EJECUTIVO

Se estimó la eficiencia económica de cuatro regímenes silviculturales enfocados a la obtención de rollizos podados de alto valor de *Pinus radiata* D. Don. Los esquemas de manejo evaluados presentan distintas intensidades de poda y raleo y corresponden a tratamientos pertenecientes a un ensayo de Forestal Mininco, ubicado en el fundo Jauja, cercano a la localidad de Collipulli, IX Región.

Con el fin de asignar un valor acorde a la calidad del recurso podado, se realizó un muestreo destructivo de doce trozas basales podadas por tratamiento (48 trozas en total), procedimiento necesario para la medición de características internas y el posterior cálculo del Índice de Troza Podada (*Prunned Log Index*, PLI).

La edad de los tratamientos en el momento de la medición era de dieciséis años, por lo que fue necesario utilizar herramientas de simulación para la proyección a futuro del rendimiento en volumen, la calidad de los productos podados y de características dasométricas de los regímenes silviculturales.

Se utilizó el Valor Potencial del Suelo (VPS) para determinar la edad óptima de rotación y para evaluar la eficiencia económica del manejo.

La estimación del VPS a una tasa de interés del 10% presenta sólo valores negativos, por lo que se concluye que los regímenes silviculturales son económicamente ineficientes. El valor máximo es de -18 US\$/ha y el mínimo de -726 US\$/ha.

Finalmente se realiza un análisis de sensibilidad mediante la construcción de curvas de indiferencia que representan un nivel de eficiencia económica (VPS) constante frente a distintas combinaciones de variables como: tasa de interés; período de rotación; precio y volumen de productos podados; precio y volumen de productos pulpables.

Palabras clave: Índice de troza podada – Valor potencial del suelo

1. INTRODUCCIÓN

La importancia de las plantaciones de *Pinus radiata* D. Don en el sector maderero chileno es indiscutible, así, actualmente esta especie ocupa una superficie de 14,5 millones de ha, lo que equivale a 71% de los 2 millones de ha que conforman el total de plantaciones. Por otro lado, durante el año 2004 las exportaciones forestales alcanzaron una cifra record de US\$ 3.397 millones, de los cuales US\$ 2.144 millones provienen de productos derivados de *P. radiata*. La madera aserrada y madera cepillada de pino totalizan US\$ 479 millones, lo que representa un 14% de las exportaciones del sector (INFOR, 2005).

Por otra parte, en el plano de la investigación privada, los esfuerzos de las empresas están enfocados a generar información que les permita maximizar la rentabilidad de las plantaciones, a través de decisiones certeras en materia de manejo y planificación. Por ello, cobra mucha importancia la implementación de ensayos que respondan a interrogantes de eficiencia silvícola, evaluando minuciosamente la aplicación de podas y raleos que aumenten la calidad de los rollizos de pino. Así, la consigna actual es utilizar la tecnología silvícola para cumplir objetivos de calidad y valor, y no como un fin en sí misma. Por otro lado, igual de importante es identificar, clasificar y valorar los productos del manejo, de acuerdo a los requerimientos industriales, asignando precios más justos que reflejen su verdadera potencialidad para generar productos de alta calidad.

En tal sentido Forestal Mininco, Empresa CMPC, tiene por misión formar y administrar un patrimonio forestal que sustente en forma rentable el desarrollo industrial de su empresa matriz. Parte importante de este patrimonio está constituido por plantaciones de *P. radiata*, a las que se aplican estrategias silvícolas en el bosque y de aserrío en las plantas de proceso, orientadas al flujo de productos de mayor calidad y precio, vale decir los genéricamente llamados productos de apariencia *clear* y estructurales.

Con este marco de información que resalta la importancia de lograr calidad y valor en las plantaciones de pino mediante silvicultura, y de la necesidad de la investigación experimental para estos fines, es que se plantea el presente trabajo donde el objetivo es comparar, desde el punto de vista de la eficiencia económica, cuatro esquemas aplicados en un ensayo de Forestal Mininco. Dicho ensayo presenta distintas intensidades y oportunidades en las prácticas de poda y raleo.

Para dicha tarea, se requerirá información detallada que permita clasificar los potenciales productos a extraer en la edad de rotación, la que será obtenida a partir de procedimientos de simulación. Aunque los resultados esperados se enfocan a determinar la rentabilidad y sensibilidad que demuestren los esquemas evaluados, se realizará un análisis detallado del diseño de los esquemas y de los atributos físicos en los productos que se generen.

De lo anterior se desprenden los siguientes objetivos específicos:

- Caracterización de los diseños de manejo intensivo del ensayo, en relación a pautas silvícolas, variables dasométricas y expectativas de calidad de rollizos.

- Proyección de los rendimientos volumétricos mediante procedimientos de simulación.
- Evaluación económico- privada de los esquemas representados en el ensayo.
- Sensibilización de los resultados económicos.

2. MARCO TEÓRICO

2.1 Evaluación Económica de la Silvicultura

En términos financieros, el bosque, compuesto por árboles y el suelo que los sostiene, conforman un capital cuyo objetivo es entregar satisfacción a su propietario o a la sociedad. Desde esta perspectiva, puede ser destinado a la producción de bienes y servicios que pueden ser aprovechados por el dueño del suelo para obtener beneficios (Klemperer, 1995).

La forma en que este capital debe ser administrado para la optimización del ciclo productivo debe acotarse a diversas restricciones como el tiempo y el costo de oportunidad. El análisis financiero ofrece herramientas apropiadas para guiar la toma de ciertas decisiones en la producción forestal, como por ejemplo; cuanto pagar por un bosque; cuando cosecharlo; que actividades silviculturales se justifican, con que severidad, periodicidad, etc.(Klemperer, 1995).

Para la adecuada evaluación económica de la silvicultura no basta con mirar el bosque como un capital productivo, también debe restringirse el manejo forestal a conceptos relacionados a las fuerzas del mercado como, disponibilidad de recursos, demanda, precios, etc. (Duerr, 1960).

2.2 Características de la producción forestal

Lo que diferencia a la economía forestal de otras ramas de la economía, está directamente influenciado por características de la producción forestal, que deben ser bien comprendidas y consideradas, ya que la toma de cualquier decisión en materia de manejo forestal esta supeditada a estas particularidades.

2.2.1 Duración del período productivo

La producción de madera involucra un largo período de tiempo, el que depende de la especie, la productividad del sitio y los objetivos de producción. “Debe considerarse que la producción de cualquier producto, forestal o no, requiere tiempo, la diferencia principal es la prolongación de éste, que para el primer caso es muy superior” (Gregory, 1972).

En Chile, los esquemas silvícolas de *P. radiata* menos extensos son los destinados a la producción de trozas pulpables. Con rotaciones, en promedio, de dieciocho años. (Meneses y Guzmán, 2000a)

El mayor problema que presenta el largo plazo de los proyectos forestales de plantación, es la dificultad para tomar decisiones certeras en el presente, para observar resultados que se obtendrán varios años en el futuro. Por lo tanto, es imprescindible considerar el tiempo como uno de los factores más importantes al momento de evaluar proyectos forestales.

2.2.2 Los árboles son fábrica y producto a la vez

Esta característica se conoce como “naturaleza dual del bosque” y se refiere a que los árboles que lo constituyen son, además del producto final, la fábrica que lo produce. Se desprende de esta condición, la existencia de un costo de oportunidad asociado a la extracción parcial o total de árboles del bosque, ya que la remoción de un árbol no sólo significa extracción del producto “madera”, sino que también la eliminación de parte de la “fábrica” que la produce, que si no es sacada, sigue con el proceso productivo (Gregory, 1972).

Esto también se relaciona a la prolongación de la rotación y la decisión de convertir el proceso en producto.

2.2.3 Inmovilidad de la madera en pie

“Una vez establecido un bosque, queda fijo en el espacio” esta afirmación denota la importancia de la ubicación respecto a los centros de comercialización de madera. Mientras mayor sea la distancia entre un bosque y la industria, mayor será el costo de transportar los productos, por lo que el retorno neto de la cosecha está directamente relacionado a la ubicación del rodal (Gregory, 1972).

Esta condición denota la importancia de obtener trozas de calidad y alto valor en la cosecha, ya que mientras mayor sea el precio de los productos comercializados, se puede compensar el efecto negativo de la distancia, obteniendo un valor de madera en pie más alto.

2.2.4 Naturaleza agregada de los bosques

Los árboles componen una comunidad, por lo tanto, las condiciones ambientales en las que se desarrolla cada individuo están directamente influenciadas por los individuos adyacentes. Es por esto, que al momento de tomar decisiones de manejo es imprescindible considerar los factores ecológicos que rigen el crecimiento de los árboles y afectan ineludiblemente características de los productos finales como sanidad, forma, tamaño, tiempo de espera para la cosecha, etc. (Gregory, 1972).

Debe considerarse que la toma de decisiones en proyectos forestales es particularmente delicada, debido a que el objeto de trabajo es un ecosistema natural, en el que las intervenciones de manejo representan cambios en las condiciones ambientales en las que se desarrollan los árboles, afectando directamente las características de los productos que se espera obtener (Gregory, 1972).

2.3 Evaluación económica privada de proyectos de manejo forestal

La evaluación de un proyecto se puede diferenciar entre privada y social, dependiendo generalmente de quien es el propietario del capital productivo. Por ejemplo, si se pretende intervenir un parque nacional, propiedad del Estado, la evaluación pertinente será de carácter social, en la que a diferencia de la evaluación privada, se considera la producción de otros bienes y servicios que no necesariamente poseen un valor de

mercado definido, como: recreación, hábitat para la vida silvestre, valor paisajístico, etc. Mientras que las motivaciones del propietario forestal privado frecuentemente están relacionadas a la rentabilidad que puedan llegar a alcanzar (Davis y Johnson, 1987).

Un proyecto es la fuente de ingresos y costos que ocurren en distintos períodos de tiempo (Fontaine, 1983), este conjunto de valores esperados se llama flujo de caja, esquema que se ajusta a la secuencia de actividades silviculturales que se realizan durante el desarrollo de un rodal, conocida como régimen silvicultural. Cada una de estas intervenciones se caracteriza por tres elementos: oportunidad, intensidad y atributos técnicos. De esta manera, “Los posibles regímenes son una consecuencia de las combinaciones factibles de tiempo e intensidad de las actividades silvícolas” (Bown, 1998).

La realización de cada actividad contemplada dentro del régimen silvicultural tiene asociada un costo directo, que dentro del flujo de caja esta representado por una pérdida de dinero que posteriormente debe ser, de una u otra forma, contrarrestada. Para los regímenes silviculturales destinados a la obtención de trozas de *P. radiata* libres de nudos, los costos de las numerosas intervenciones de poda y raleo necesarias para este objetivo, deben ser compensados por un aumento en la calidad, y con ella, el precio de los productos finales, incrementando así el valor de la madera en pie al final de la rotación y la rentabilidad del proyecto. Por ello, la selección del régimen silvicultural más adecuado para un determinado rodal y para objetivos predefinidos de producción es una tarea compleja, donde interactúan las características de la producción forestal, la industria y el mercado (Bown, 1998).

2.3.1 Indicadores económicos

Para encontrar la combinación ideal de intensidad y oportunidad de cada actividad, el evaluador debe definir los objetivos del manejo para justificar sus decisiones, Davis y Johnson (1987) destacan como uno de estos objetivos la eficiencia económica, definida como la elección del nivel de insumos y productos que maximiza el ingreso neto o el valor neto presente (VNP) del proyecto.

El VNP es una buena herramienta para evaluar los resultados de un proyecto forestal de plantación, ya que en el flujo de caja se consideran todas las actividades contempladas dentro del régimen silvicultural. Además, a diferencia de otros modelos, a través de la tasa de interés, se toma en cuenta el costo de oportunidad de no destinar el capital a la realización del mejor proyecto alternativo.

En otras palabras, al maximizar el valor presente del flujo de caja, descontado a una tasa de interés que representa el costo de oportunidad del capital productivo, se logra el objetivo de eficiencia económica.

La forma de estimar el VNP es la siguiente:

$$(1) \quad VNP = \sum_{t=0}^n \frac{I_t}{(1+i)^t} - \sum_{t=0}^n \frac{C_t}{(1+i)^t}$$

Donde:

I_t : Ingreso en el período t (\$/ha)
 C_t : Costo en el período t (\$/ha)
 i : Tasa de interés anual

Téngase presente que a mayor tasa de interés y mayor tiempo de espera para recibir los ingresos, menor será el VNP (Ghebremichael *et. al.* 1996).

Otro indicador de eficiencia económica es el Valor Potencial del Suelo (VPS), enfoque desarrollado por el alemán Martin Faustmann en 1849, y que consiste en determinar el valor actual de infinitas rotaciones sobre un suelo desnudo. El cálculo del VPS se basa en la clásica fórmula de descuento para obtener el valor presente de un pago periódico perpetuo, sin embargo, deben considerarse los siguientes supuestos para su aplicación (Straka y Bullard, 1996):

- El suelo está desnudo.
- El suelo será forestado a perpetuidad.
- El valor de todos los ingresos y costos es idéntico para todas las rotaciones, cada uno de estos valores es capitalizado al final de la rotación para obtener el valor final de una rotación, lo que corresponde al monto recibido cada “t” años.
- El valor del suelo no entra en el cálculo, el valor del suelo es el resultado.

La forma de estimar el VPS es la siguiente:

$$(2) \quad VPS = \frac{P_t * Q_t - \sum_j SC_j * (1+i)^{t-j} - C}{(1+i)^t - 1} - C_o - \frac{a}{i}$$

Donde:

P_t : Valor de la madera en pie en la edad de rotación t (\$/m³)
 Q_t : Rendimiento del rodal a la edad t (m³/ha)
 SC_j : Costos silvícolas (podas, raleos, fertilización, etc.) a la edad j (\$/ha)
 C : Costo de reforestación (\$/ha)
 C_o : Costo de forestación (\$/ha)
 a : Costo de administración anual (\$/ha /año)
 i : Tasa de interés anual expresada en decimal

El VPS expresado como pagos periódicos anuales a perpetuidad se conoce como renta del suelo (RS), la forma de calcularlo es la siguiente:

$$(3) \quad RS = VPS * i$$

Donde:

RS : Renta del suelo (\$/ha/año)
 VPS : Valor potencial del suelo (\$/ha)
 i : Tasa de interés anual

2.3.2 La Rotación Económica

Históricamente se han utilizado varios modelos económicos para determinar la edad óptima de cosecha de un bosque, entre los que se pueden nombrar, ordenados del menos al más exigente, de acuerdo a la cantidad de factores que consideran, de la siguiente manera: modelos biológicos, renta forestal, valor neto presente y valor potencial del suelo (Chang, 1984), téngase presente que los dos primeros no consideran el costo de oportunidad del capital.

El criterio para determinar la edad de rotación óptima con los dos últimos modelos citados se basa en la maximización de cada uno respecto al tiempo.

La condición de óptimo del VNP

Según el criterio de maximización del VNP, la rotación económicamente óptima ocurre cuando el incremento marginal en valor del bosque iguala al costo de oportunidad del capital:

$$(4) \quad \frac{V'(t)}{V(t)} = r$$

Donde:

$V(t)$: Valor de madera en pie en el período t
 $V'(t)$: Incremento periódico en valor de la madera en pie
 r : Costo de oportunidad del capital

La condición de óptimo del VPS

A diferencia del VNP, el criterio del VPS involucra en su análisis marginal el costo de oportunidad del vuelo y el costo de oportunidad del suelo, los dos capitales más importantes de la producción forestal a nivel de bosque.

Chang (1984), a partir de análisis marginal del modelo continuo del VPS explica que el punto óptimo en el tiempo para cosechar un bosque ocurre en el momento en que el beneficio iguala al costo de dejarlo en pie un período adicional, la demostración de la condición de óptimo se presenta a continuación:

$$(5) \quad \frac{V'(t)}{V(t) - C} = \frac{re^{rt}}{e^{rt} - 1}$$

Donde:

| | | |
|------------------------------|---|---|
| C | : | Costo de forestación (\$/ha) |
| r | : | Tasa de interés en decimales |
| $\frac{V'(t)}{V(t) - C}$ | : | Tasa marginal de incremento en valor del bosque (TMIVB) |
| $\frac{re^{rt}}{e^{rt} - 1}$ | : | Tasa de interés ajustada (TIA) |

El análisis de estática comparativa de la condición marginal para evaluar el óptimo, desarrollado también por Chang (1984), demuestra que la rotación se prolonga frente a un aumento en los costos de forestación, mientras que frente a un alza en la tasa de interés o en los precios de los productos, la rotación se acorta.

2.4 Factores determinantes de la eficiencia silvícola en *P. radiata*

Con el marco teórico y conceptual hasta aquí analizado, el Valor de Faustmann o VPS es la metodología correcta para evaluar la eficiencia económica de un diseño de manejo, bajo condiciones de propiedad del suelo y maximización de retornos descontados. Así, la pertinencia y eficiencia de las decisiones de manejo a nivel de rodal, se calificará en función de la rotación y las utilidades reflejadas en éste indicador.

Por lo anterior, las características que determinan un régimen silvicultural son únicas para cada sitio, especie y objetivo de producción (Maclaren, 1993). A partir de esta afirmación se deduce que existe sólo un régimen eficiente para cada situación.

Al considerar el VPS como un fiel reflejo de la eficiencia de un régimen silvicultural, cada factor incluido en su cálculo es un determinante de la eficiencia.

Para incrementar el VPS es necesario que las intervenciones silviculturales tiendan a aumentar el valor de la madera en pie al final de la rotación.

Ciertos factores pueden ser parcialmente controlados mediante silvicultura, tales como las características de los productos finales o la tasa de crecimiento del bosque, mientras que otros como los precios, están, según la teoría microeconómica, determinados por el mercado.

2.4.1 Objetivos de eficiencia silvícola

En silvicultura de *P. radiata*, las características del régimen deben adecuarse a la productividad del sitio, esperando una rentabilidad proporcional a la calidad de éste (Meneses y Guzmán, 2000b). Por ejemplo, en regímenes destinados a obtener productos pulpables se obtienen rentas que rara vez superan los 50 US\$/ha/año, y por lo general se aplican en sitios de baja calidad ($IS \leq 22$ m). Los sitios entre 22 y 28 metros se asocian a regímenes aserrables y los rangos de rentabilidad esperada fluctúan entre 50 y 100 US\$/ha/año. Finalmente, los regímenes más rentables son aquellos destinados a la obtención de trozas de grandes dimensiones y libres de nudos, se justifican para un índice de sitio superior a 28 m, pudiendo obtener rentabilidades sobre 100 US\$/ha/año.

Se asume que en sitios buenos ($IS \geq 32$ m), y ocasionalmente en sitios de calidad media ($32 \text{ m} > IS \geq 29$ m), es justificable la aplicación de regímenes destinados a la obtención de madera libre de nudos de alta calidad (Meneses y Guzmán, 2000a). La razón es que la alta intensidad y severidad de las intervenciones de poda, necesarias para la obtención de estos productos, prolonga el tiempo de espera para la cosecha final, debido a que perjudica el incremento en diámetro, y por lo tanto, la obtención de las dimensiones necesarias para la comercialización de trozas libres de nudos. El plazo de espera sería aún más notorio en sitios de baja productividad.

2.4.2 Regímenes silviculturales orientados a la producción de madera de alto valor

Conocidos como regímenes directos o intensivos, destinados a la obtención de trozas de grandes dimensiones y alto valor, mediante un intenso manejo de la densidad caracterizado por raleos a desecho, y la temprana y frecuente ejecución de podas, principalmente en la troza basal (Morales, 1999).

A continuación, se revisan brevemente algunos aspectos de la poda y el raleo, actividades más características de los regímenes directos.

Consideraciones para la decisión de podar

La poda es indispensable en el manejo intensivo de *P. radiata*, a través de esta actividad se remueven las ramas de la troza basal promoviendo la producción de madera libre de nudos (Maclaren, 1993).

El régimen de podas afecta el comportamiento y magnitud del diámetro del cilindro con defectos (DCD) y en alguna medida tiene influencia sobre el diámetro a la edad de cosecha (Meneses y Guzmán, 2000a). El DCD es una variable de especial interés al momento de evaluar la calidad de los productos podados, ya que la diferencia entre la magnitud de éste y el diámetro de la troza define el manto de madera libre de nudos posible de obtener en el aserrío, es deseable maximizar esta diferencia manteniendo un DCD pequeño mediante la aplicación de podas tempranas y frecuentes. Teniendo presente que estas intervenciones tienen una influencia negativa sobre el tamaño de los árboles a la edad de cosecha, limitándolo más de lo conveniente en el caso de podas muy severas.

En la planificación de las podas se evalúan los siguientes aspectos: número de árboles a podar, altura de poda, oportunidad de las podas y frecuencia de las mismas (Meneses y Guzmán, 2000a).

Es importante señalar que tanto la oportunidad como frecuencia de estas intervenciones deben planificarse considerando la productividad del sitio, debido a que la variable DCD está correlacionada con el tamaño de los árboles al momento de la poda.

Consideraciones para la decisión de ralear

Los raleos son cortas hechas en masas forestales inmaduras con el fin de estimular el crecimiento de los árboles que quedan en el rodal y de aumentar la producción de material utilizable (Hawley y Smith, 1972; citado por Morales, 1999).

Para situaciones en que la meta es obtener trozas aserrables de gran calidad en cortas rotaciones, los objetivos del raleo son mantener el incremento de los árboles podados y asegurar que éstos no sean dominados por individuos de más pobre forma y de un potencial comercial menor (Brown, 1963; citado por Rodríguez, 1996). Los tipos de raleo aplicados para estos fines son preferentemente a desecho, realizando la primera intervención en forma simultánea a la primera poda.

El raleo cambia la estructura del rodal favoreciendo el crecimiento de la copa, aumentando el incremento diamétrico, principalmente en la base del fuste en árboles jóvenes, y en forma más homogénea en árboles de mayor edad. Este mayor crecimiento diametral reduce el tiempo en el que el árbol podado produce madera libre de nudos.

2.4.3 Características de los productos podados

Los productos obtenidos en la cosecha presentan distintos precios en el mercado, los que están determinados por las características de las trozas. Al comercializarlos se evalúan los siguientes atributos: Largo mínimo y máximo aceptable (o bien fijo), diámetro menor mínimo y máximo y, calidad de la troza medida en diferentes atributos (Bown, 1998).

Las combinaciones de los atributos citados pueden determinar una amplia gama de productos, los que para el caso de *P. radiata*, pueden agruparse groseramente en tres grandes grupos: trozas pulpables, aserrables y podadas. Siendo generalmente los últimos, los de mayor valor de mercado.

Las trozas basales podadas merecen especial atención al momento de evaluar la eficiencia de regímenes silviculturales directos, no sólo por concentrar una gran proporción del valor total del fuste, si no que además, las características que determinan su calidad y potencial productivo dependen en gran medida de características internas, considerablemente más difíciles de determinar que en otros tipos de trozas.

El valor de los productos podados depende del diámetro menor y de su calidad, la que a su vez está determinada por la potencialidad de las trozas podadas para ser aserradas y obtener piezas largas libres de nudos.

La presencia de nudos es controlada mediante la ejecución oportuna de podas, sin embargo, existen otros defectos que afectan la calidad de las trozas, los que generalmente se manifiestan como manchas y marcas indeseables, cuya presencia es motivo de descalificación como producto *clear* (libre de defectos) después del aserrío. Las posibles causas de la ocurrencia de estos defectos son la resinación de los árboles, la retención de acículas, presencia de conos en el fuste y brotes epicórnicos. Algunos

de estos defectos pueden ser manifestaciones orgánicas en respuesta a factores climáticos o a prácticas silviculturales (Cown, 2001).

Para la realización de este trabajo no se consideran los defectos recién mencionados, sólo se toma en cuenta la potencialidad para generar piezas largas libres de nudos, a través del índice de troza podada (*Pruned Log Index*, PLI), desarrollado por Park (1989).

$$(6) \quad PLI = (D_{1,3} - DCD)^{0,5} * (D_{1,3} / DCD) * (CVOL / LVOL)^{1,6}$$

Donde:

$D_{1,3}$: Diámetro a 1,3 m de la base de la troza (cm.)
 DCD : Diámetro del cilindro con defectos (cm.)
 $CVOL$: Volumen de madera común (m³)
 $LVOL$: Volumen total de la troza (m³)

El PLI considera el tamaño de la troza al incorporar la variable $D_{1,3}$, que está correlacionada con el volumen; la forma de la troza, con el cociente $CVOL / LVOL$; y las características internas a través del DCD .

2.4.4 Otros aspectos de calidad de la madera

Definiendo “calidad de la madera” como el conjunto de atributos que le asignan valor para un determinado uso, no sólo el volumen libre de nudos merece atención en la evaluación de la de los productos del manejo. Así, un producto podado puede ver seriamente reducido su valor si presenta manchas o bolsillos de resina.

Es así como los productos troza presentan características deseables –*atributos*- e indeseables –*defectos*-, que se deben evaluar de modo de tratar de potenciar los atributos y reducir los defectos, ya sea para fines de madera estructural o de apariencia.

Estos atributos pueden ser: densidad de la madera; largo y orientación de las fibras; tamaño, disposición y cantidad de nudos, durabilidad, ausencia de manchas de resina o marcas de acículas, etc. Tales cualidades pueden ser inherentes a la naturaleza de algunas especies, no obstante también hay una gran influencia de las condiciones ambientales en las que se desarrollen los árboles, las que parcialmente pueden ser controladas a través de la silvicultura. Así, la profesión forestal debería aplicar el concepto de calidad de madera con mayor énfasis en las decisiones de establecimiento, manejo y cosecha de modo de realizar los objetivos de calidad y valor que impulsarán y mantendrán el negocio futuro¹.

¹ R.Alzamora, comunicación personal.

2.5 Análisis de sensibilidad

El objetivo del análisis de sensibilidad en el campo de la economía, es apoyar la toma de decisiones a través de la manipulación de las variables que afectan el resultado de un proyecto, lo que puede realizarse modificándolas en una dirección favorable, desfavorable, o una combinación de ambas (Canada, 1980).

Para proyectos forestales, que por su naturaleza se prolongan durante varios años, es útil considerar, por ejemplo, que tan sensible es un indicador de rentabilidad como el VPS frente a cambios en los precios de los productos, en el volumen de éstos, o bien, en que medida cambia el indicador ante fluctuaciones en los costos directos.

Existen varios métodos para analizar la sensibilidad de un proyecto, uno de ellos consiste en la construcción de curvas de indiferencia, similares a las empleadas por la teoría del consumidor y la producción. Sólo que en lugar de comparar las preferencias del consumo o niveles de producción, se muestran distintas combinaciones entre dos elementos relevantes para un nivel dado de eficiencia económica (Canada, 1980).

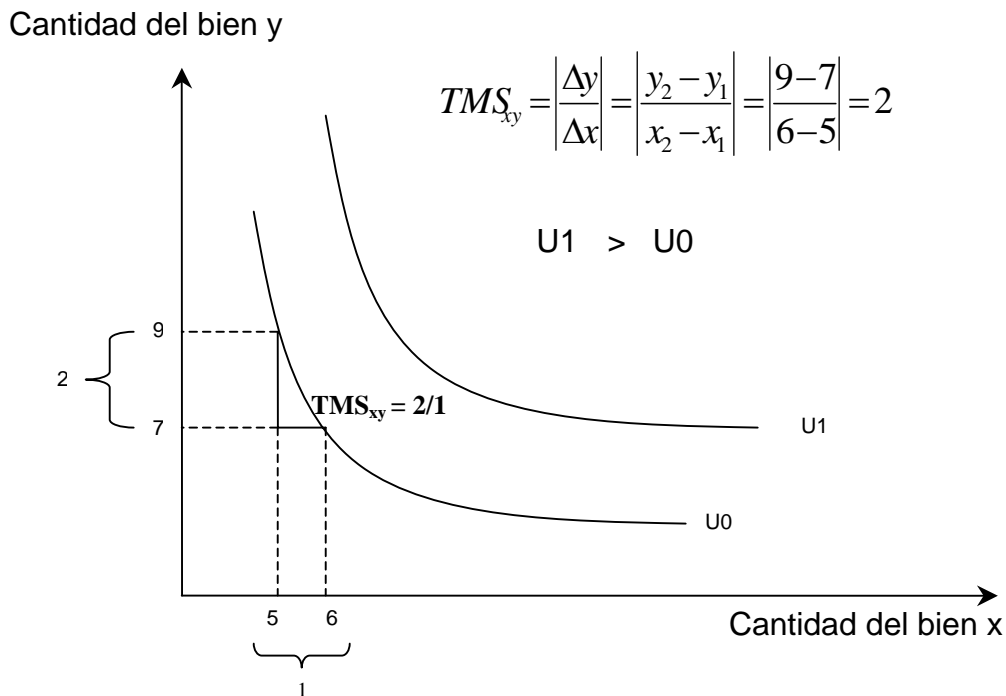


Figura 1. Curvas de indiferencia y tasa marginal de sustitución entre dos bienes normales.

La figura 1 presenta el modelo básico de las curvas de indiferencias entre dos bienes. La curva de utilidad U_0 representa una menor satisfacción por consumir (Utilidad) que la curva U_1 , ya que en la primera las cantidades consumidas son menores y el individuo se encuentra en una situación menos favorable.

Tanto en la teoría del consumo como de la producción, la pendiente de las curvas se denomina Tasa Marginal de Sustitución (TMS), y para el caso de la figura 1, corresponde a la tasa a la que un individuo está dispuesto a reducir su consumo de un bien cuando recibe una unidad adicional de otro (Nicholson, 2001).

3. DISEÑO DE INVESTIGACIÓN

3.1 Descripción del ensayo

El ensayo forma parte del proyecto Modelo Nacional de Simulación de *P. radiata* y se encuentran en el fundo Jauja, de Forestal Mininco, aproximadamente a 50 kilómetros al este de la localidad de Collipulli, IX región.

El ensayo está plantado con pino desde el año 1988. En 1993 se establecieron parcelas permanentes para someterlas a tratamientos simultáneos de raleo, poda y fertilización, con el fin de obtener información que permita hacer inferencias estadísticamente válidas respecto a las respuestas obtenidas de los distintos esquemas aplicados.

El diseño experimental del ensayo es de tipo factorial con tres niveles de raleo y dos niveles de poda, incluyendo en cada repetición dos parcelas con fertilización, una parcela con raleo comercial sin poda y dos testigos.

Los cuatro tratamientos a evaluar fueron seleccionados por la empresa y se describen a continuación.

Cuadro 1. Descripción de los tratamientos

| Tratamiento | Copa Residual (% de copa viva) | Periodicidad de poda (años) | Stock Inicial (N/ha) | Raleos | Seguidores | Stock Final (N/ha) | N Actual (N/ha) |
|-------------|--------------------------------|-----------------------------|----------------------|---------------------|------------|--------------------|-----------------|
| 2 | 40 | 1 | 750 | 3 (5, 11 y 15 años) | 0 | 400 | 403 |
| 4 | 60 | 1 | 400 | 2 (5 y 15 años) | 0 | 200 | 199 |
| 5 | 60 | 1 | 750 | 2 (5 y 13 años) | 0 | 400 | 393 |
| 6 | 60 | 1 | 750 | 3 (5, 11 y 15 años) | 500 | 200 | 164 |

Cabe señalar que la forma de registrar la información de las podas en el ensayo fue incompleta, lo que dificultó el análisis, ya que los rodales se intervinieron entre seis y nueve ocasiones, posiblemente cumpliendo criterios de altura de copa viva residual o de diámetro sobre muñón. Por lo tanto, no se conoce la frecuencia con que cada árbol fue podado. Esta falta de información provoca problemas al momento de evaluar la eficiencia del manejo, haciendo necesaria la utilización de algunos supuestos, que en todo caso se clarificarán en el avance de los resultados.

3.2 Toma de datos en terreno para la caracterización del producto podado

La potencialidad de las trozas podadas para ser aserradas y obtener piezas largas libres de nudos se evalúa a través del PLI, para determinarlo se realizó un muestreo destructivo, ya que se necesita conocer características internas de las trozas.

El método se conoce como *Cross Section*, y consiste en la extracción de rodela a la altura de cada verticilo para el posterior registro de diámetros y radios ubicados sobre

dos ejes perpendiculares (entiéndanse “X” e “Y”) que se intersectan en el centro geométrico de la troza previamente definido.

Por tratarse de un ensayo bajo estudio para otros propósitos, sólo se consideraron árboles de las zonas buffer. Cada tratamiento está representado por tres parcelas rectangulares, de las cuales se midió un árbol por lado, alcanzando doce trozas evaluadas por tratamiento, lo que corresponde a cuarenta y ocho trozas en total.

Contando además con la distancia que separa a los verticilos de la base de la troza, se puede representar el perfil bidimensional de ésta para los planos “X” e “Y”, información necesaria para la determinación del volumen local y común, variables que definen el cociente CVOL/LVOL requerido en la fórmula de PLI.

Para la obtención del DCD, el procedimiento es similar, salvo que en este caso la medición sobre los ejes “X” e “Y” se realizó hasta el punto en que la cicatrización de la poda se encontraba ocluida, punto desde el cual el árbol comienza a producir madera libre de nudos.

En resumen, las variables medidas en terreno para el cálculo de PLI fueron:

- Diámetro de la troza a 1,3 m desde la base inferior de la troza
- Diámetro y radio respecto al centro geométrico de la troza, de cada verticilo en dos planos perpendiculares
- Longitud de la zona nudosa de cada verticilo
- Separación longitudinal entre verticilos

3.3 Estimación y Proyección del PLI

Los datos obtenidos en el muestreo permiten calcular el PLI en el momento en que fueron registrados, es decir, a los dieciséis años, sin embargo, fue necesario proyectar las características del producto podado para evaluarlo entre los dieciséis y treinta años.

Para la proyección del PLI se utilizaron los siguientes supuestos:

- La única variable que se mantiene constante en el tiempo es el DCD, ya que queda fijo una vez terminada la oclusión de la poda.
- Para estimar el incremento anual de la variable $D_{1,3}$ se utilizó el incremento anual corriente del diámetro medio cuadrático (DMC) de cada parcela, obtenido mediante herramientas de simulación.
- El cociente CVOL/LVOL aumenta con la edad, para su proyección se utilizó una función estimadora que lo relaciona con la edad y el índice de sitio.

$$(7) \quad CVOL/LVOL = - 0.46 + 0.171 \text{ LOG } (E) + 0.1642 \text{ LOG } (IS)$$

Donde:

E : Edad (años)
 IS : Índice de sitio (m)

3.4 Caracterización dasométrica de los tratamientos

A partir de datos de inventario facilitados por la empresa, se construyeron tablas de rodal con el fin de caracterizar el estado actual de los tratamientos y su respuesta al manejo, en ellas se consideraron las variables D1,3, altura total, DMC, área basal y volumen total.

Para la determinación de la calidad de los productos podados se obtuvo el valor de PLI a nivel de tratamiento, es decir, el promedio de PLI de los doce árboles evaluados en cada uno de ellos.

Para evaluar el efecto de la intensidad de podas y raleos se compararon los valores de PLI a la edad de cosecha de cada tratamiento con el número, periodicidad, oportunidad y severidad de las intervenciones.

3.5 Evaluación económica de los tratamientos

Para la obtención de indicadores económicos, la información dasométrica se proyectó en el tiempo mediante herramientas de simulación, ya que los tratamientos a la edad de medición tenían dieciséis años, probablemente, lejos aún de la edad de rotación óptima, la que fue determinada mediante maximización del VPS.

Se utilizó el programa computacional Simulador Insigne V 1.0, el que permite introducir la información en formato de tablas de rodal. La proyección se realizó entre los dieciséis y treinta años, edades entre las que se estima, puede encontrarse el punto económicamente óptimo para la corta final.

Se comparó la rentabilidad de cada tratamiento con la intensidad del manejo, es decir, el VPS con las variables que caracterizan tanto a las intervenciones de poda, como el manejo de la densidad.

3.5.1 Determinación de los ingresos

Uno de los objetivos de la simulación es obtener el volumen de cada uno de los diez productos a definir para cada período de tiempo (año) y tratamiento, el que junto al respectivo precio por metro cúbico, determina el ingreso total de la cosecha. Los productos predefinidos en la simulación se agruparon en cuatro clasificaciones generales: podado, pulpable y dos categorías de productos aserrables.

Cuadro 2. Caracterización de los productos a obtener en la cosecha

| Producto | SED (cm) | Largo (m) | Precio (US\$/m ³) |
|-------------|----------|-----------|-------------------------------|
| Podado | >26 | 5,05 | Según función (8) |
| Aserrable 1 | >24 | 4,10 | 48 |
| Aserrable 2 | >18 | 4,10 | 26 |
| Pulpable | >10 | 2,10 | 15 |

Fuente: MININCO Concepción, 2004.

El precio de los productos será trabajado en dólares estadounidenses (US\$) por metro cúbico, y para trozas podadas se determinará a partir de una función construida a partir de tablas que utilizan como variables de entrada el diámetro menor (*Small end diameter*; SED) y el PLI (Anexo 5).

$$(8) \quad P_x = 10,8 * PLI + 0,7 * SED + 15,4$$

Donde:

P_x : Precio por metro cúbico de troza podada (US\$/m³)
 PLI : Índice de troza podada
 SED : Diámetro del extremo menor de la troza (cm.)

Para productos aserrables no podados, el valor es asignado de acuerdo al diámetro menor, mientras que los productos pulpables presentarán un precio fijo por unidad de volumen.

3.5.2 Determinación de los costos

Serán considerados todos los costos incurridos en el período de rotación, desde el establecimiento, hasta el transporte hacia los centros de comercialización, pasando por los tratamientos silviculturales de poda y raleo. La información referente a costos fue proporcionada por la empresa Forestal Mininco.

3.5.3 Análisis de sensibilidad

Se construyeron curvas de indiferencia entre variables que afectan la eficiencia del régimen silvicultural más eficiente.

Cada curva representa combinaciones entre dos variables que determinan un mismo nivel de rentabilidad. En cada figura presentada se destacó la curva equivalente a un nivel de eficiencia igual a cero (VPS=0), siendo así, que cualquier combinación de las variables sobre esta línea de indiferencia significa que la realización del proyecto bajo esas condiciones (valor de las variables en combinación) sería rentable, mientras que una combinación de valores bajo la curva descartaría la inversión. Cada combinación de factores que sobrepase la curva de VPS igual a cero, pertenece a una curva de indiferencia mayor, por lo tanto, representa una mayor rentabilidad.

Para el análisis de las curvas de indiferencia construidas, se evaluó la pendiente con el enfoque microeconómico de la Tasa Marginal de Sustitución, TMS, sólo que en lugar de definir el sacrificio del consumo de un bien por otro, se considera la relación entre los factores relevantes dentro de una curva de indiferencia que representa un resultado de rentabilidad -VPS- constante.

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 Caracterización dasométrica de los tratamientos

Al asumir que las condiciones de sitio son similares para los cuatro tratamientos, la caracterización dasométrica de cada uno ellos refleja el resultado de las distintas intervenciones silviculturales realizadas hasta el momento de la medición (Detalles de oportunidad y frecuencia de podas y raleos en Anexo 4).

Cuadro 3. Variables dasométricas y características técnicas de los regímenes silviculturales.

| Tratamiento | 2 | 4 | 5 | 6 |
|--|---------------------|-----------------|-----------------|---------------------|
| árboles/ha | 403 | 199 | 393 | 164 |
| Área basal (m ² /ha) | 23,9 | 16,2 | 26,7 | 10,1 |
| Diámetros mínimo y máximo (cm) | 18 – 38 | 24 – 40 | 20 – 34 | 18 – 40 |
| Diámetro medio cuadrático (cm) | 27,5 | 32,2 | 29,4 | 28,1 |
| Altura media (m) | 18,1 | 17,6 | 18,2 | 14,8 |
| Índice de sitio (m) | 25 | 27 | 26 | 24 |
| Volumen total (m ³ /ha) | 152,1 | 101,8 | 175,9 | 62,0 |
| Volumen promedio (m ³ /árbol) | 0,38 | 0,51 | 0,45 | 0,38 |
| Copa Residual (% de copa viva) | 40 | 60 | 60 | 60 |
| Periodicidad de poda (años) | 1 | 1 | 1 | 1 |
| Nº de podas | 6 | 7 | 9 | 9 |
| Stock Inicial (N/ha) | 750 | 400 | 750 | 750 |
| Raleos (nº y edad) | 3 (5, 11 y 15 años) | 2 (5 y 15 años) | 2 (5 y 13 años) | 3 (5, 11 y 15 años) |
| Seguidores | 0 | 0 | 0 | 500 |
| Stock Final (N/ha) | 400 | 200 | 400 | 200 |

El cuadro 3 muestra variables dasométricas de interés para la caracterización de los tratamientos a los dieciséis años, edad en que fue realizado el muestreo de PLI (La información en formato de tablas de rodal se presenta en Anexo 3). Es importante considerar que a esta fecha ya no quedan intervenciones de poda ni raleo por realizar.

La densidad, en términos de árboles por hectárea, muestra los tratamientos en su densidad final, es decir; 200 árboles/ha para los tratamientos 4 y 6; y 400 árboles/ha para los tratamientos 2 y 5. Aparentemente, esta diferencia en número de individuos explicaría la notable diferencia en área basal.

Al observar el cuadro 3, llama la atención el tratamiento 6, inferior en: área basal, altura total, y muy marcadamente, en volumen total, con 62 m³/ha. Lo que representa sólo un 35% del valor máximo (tratamiento 5 con 175,9 m³/ha). Debe considerarse que el tratamiento 6 es el único en que se dejaron árboles seguidores después del primer raleo, lo que pudo haber afectado negativamente el crecimiento de los árboles objetivo.

En relación al tamaño de los árboles, el DMC y el volumen promedio por árbol, favorecen al tratamiento 4 (32 cm. y 0,51 m³ respectivamente), siendo su particularidad y posible explicación, el manejo de la densidad, con un stock inicial de 400 árboles/ha, y final de 200 mediante la ejecución dos raleos, a los cinco y quince años. Pese a no presentar un gran volumen por hectárea, al momento de la cosecha el tamaño de las trozas es un factor importante que afecta tanto la calidad como el precio de los productos.

Respecto a las podas, el tratamiento 2 es el más severo, con un 40% de copa viva residual, por lo que es esperable un efecto negativo sobre el volumen total y en el tamaño de los árboles. Al compararlo con el tratamiento 5, que posee la misma cantidad de árboles por hectárea, se observa una diferencia de 23,8 m³/ha a favor de éste último.

La productividad expresada en el índice de sitio presenta su valor mínimo en el tratamiento 6 con 24 metros, y el máximo, de 27 metros en el tratamiento 4. Según Meneses y Guzmán (2000b), este rango de índices de sitio se asocia a regímenes silviculturales destinados a obtener productos aserrables con nudos de baja calidad. Por esto, es posible que la alta intensidad del manejo *clear* aplicado en este ensayo provoque una respuesta indeseable del rodal en términos de volumen, calidad y finalmente, de rentabilidad.

4.2 Proyección del volumen y distribución de productos

Para la posterior evaluación económica se debe contar con los rendimientos volumétricos de cada esquema de manejo dentro de un período de tiempo razonable. El período evaluado va de los dieciséis años, edad en la que se realizó el muestreo de PLI, hasta los treinta años.

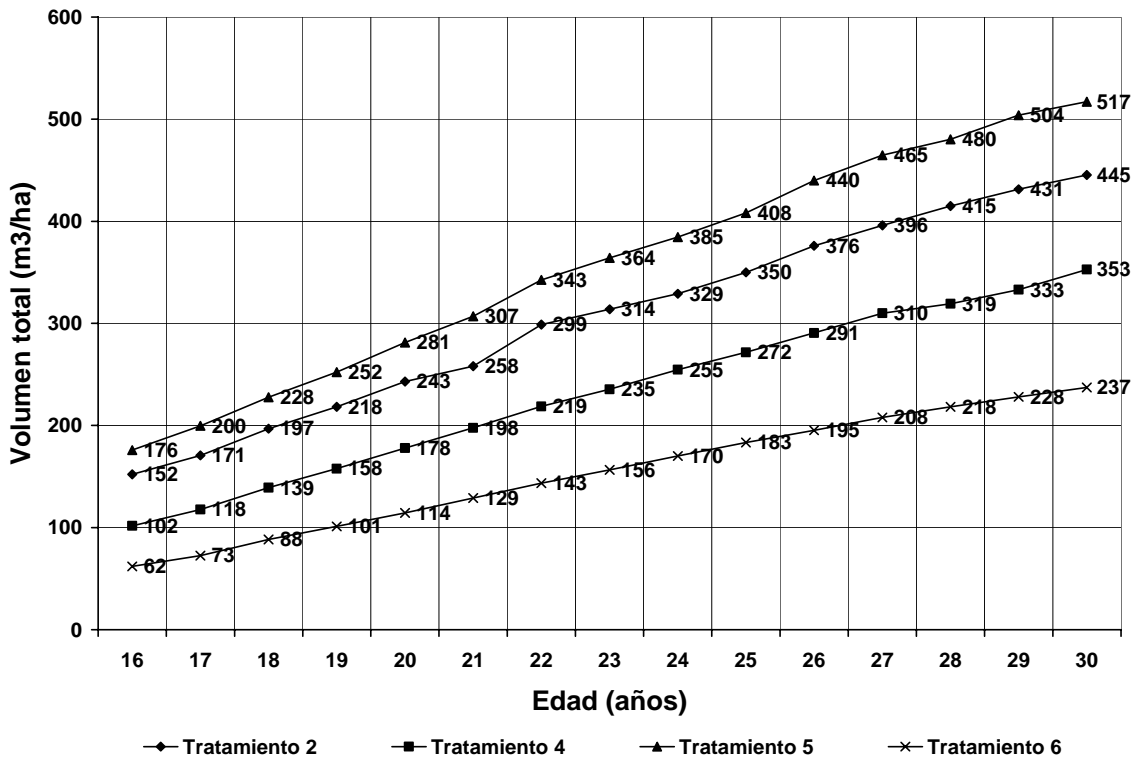


Figura 2. Rendimiento volumétrico proyectado para cada tratamiento

La figura 2 muestra un bajo rendimiento en volumen total para todos los tratamientos, existiendo sólo un caso en que se superan los 500 m³/ha a los veintinueve años. Los

casos más extremos son los tratamientos 5 y 6, éste último prácticamente duplica al primero en todos los períodos.

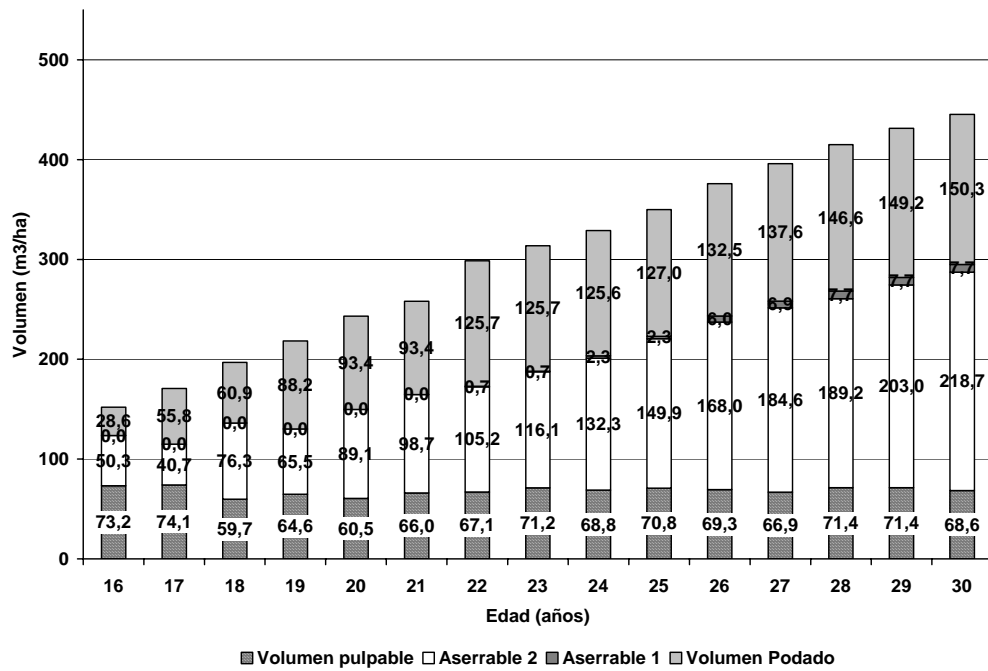


Figura 3. Proyección y distribución de volumen para el Tratamiento 2

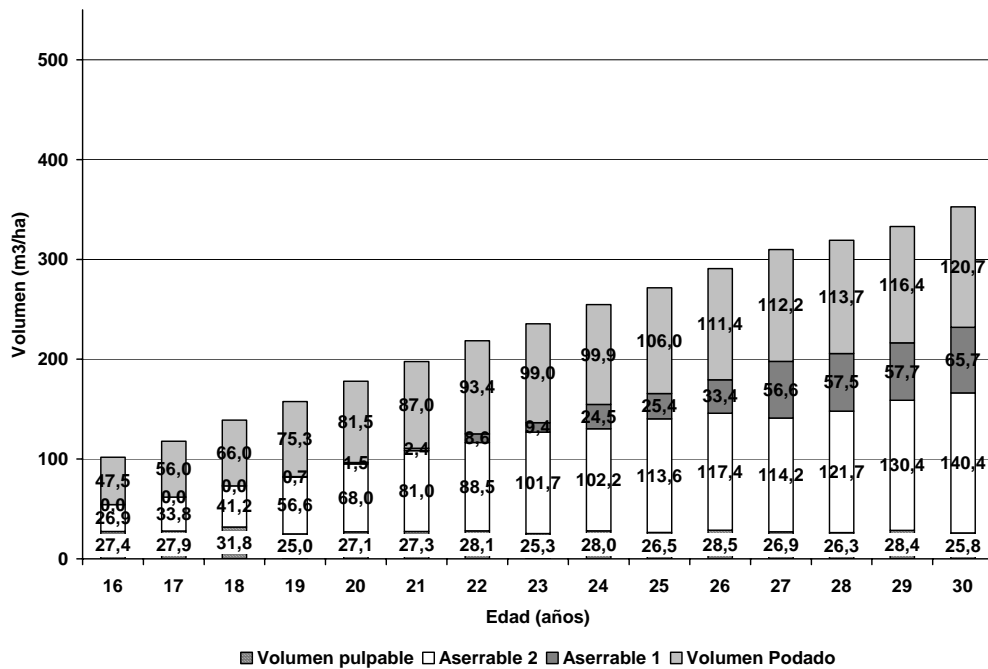


Figura 4. Proyección y distribución de volumen para el Tratamiento 4

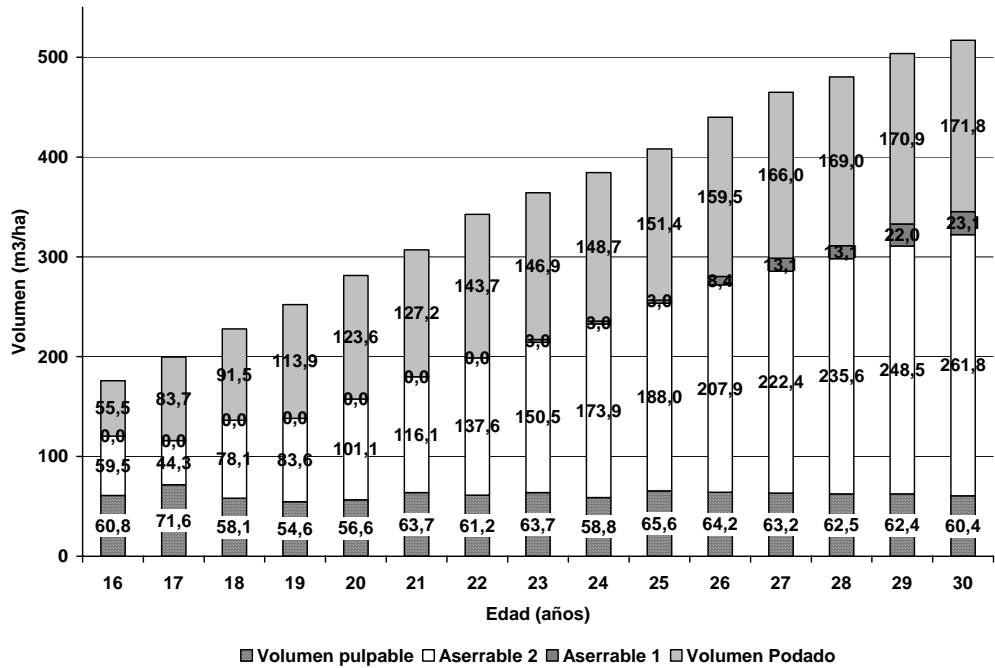


Figura 5. Proyección y distribución de volumen para el Tratamiento 5

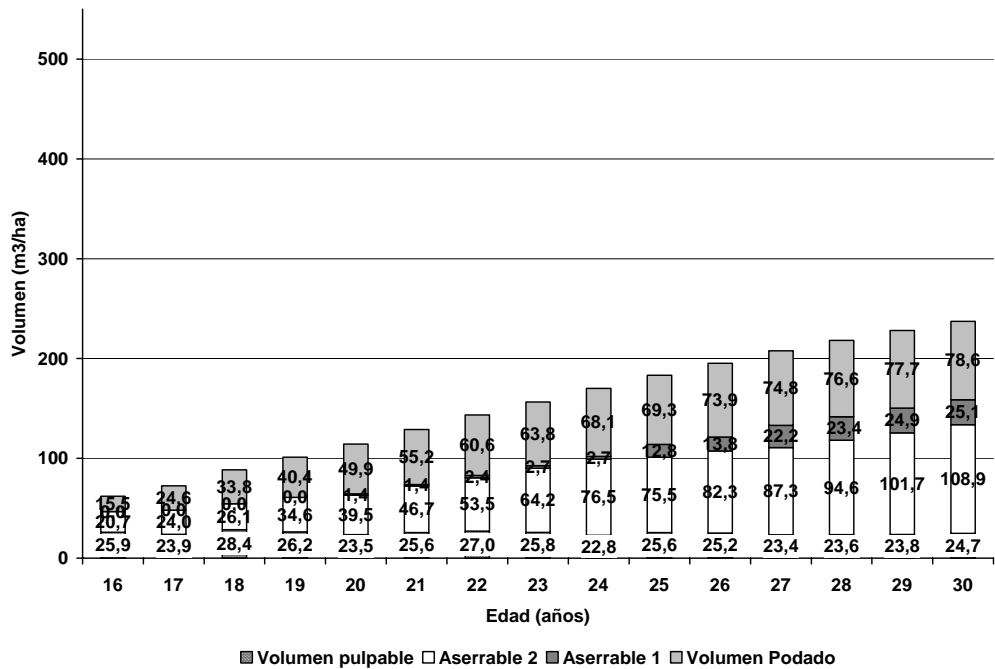


Figura 6. Proyección y distribución de volumen para el Tratamiento 6

Las figuras 3, 4, 5 y 6 muestran en forma detallada como se desarrollan los distintos productos troza (formato de cuadros en Anexo 2). Respecto al volumen pulpable, prácticamente se mantiene constante en el tiempo con una incipiente tendencia a disminuir en algunos tratamientos.

La participación del producto aserrable 1 es casi despreciable en todos los casos, salvo en los tratamientos 4 y 6, donde apenas supera los 20 m³/ha después de los veinticinco años.

El estancamiento en el desarrollo del producto pulpable junto al tardío y débil repunte del aserrable 1, muestran que el crecimiento se concentra principalmente en los productos aserrable 2 y podado en todos los tratamientos.

En términos relativos, es decir, la proporción de cada producto respecto al rendimiento total, la tendencia es aparentemente similar para todos los casos.

4.3 Calidad del producto podado

Se presentan a continuación los valores arrojados por el muestreo de datos en terreno para la estimación de la calidad del recurso podado.

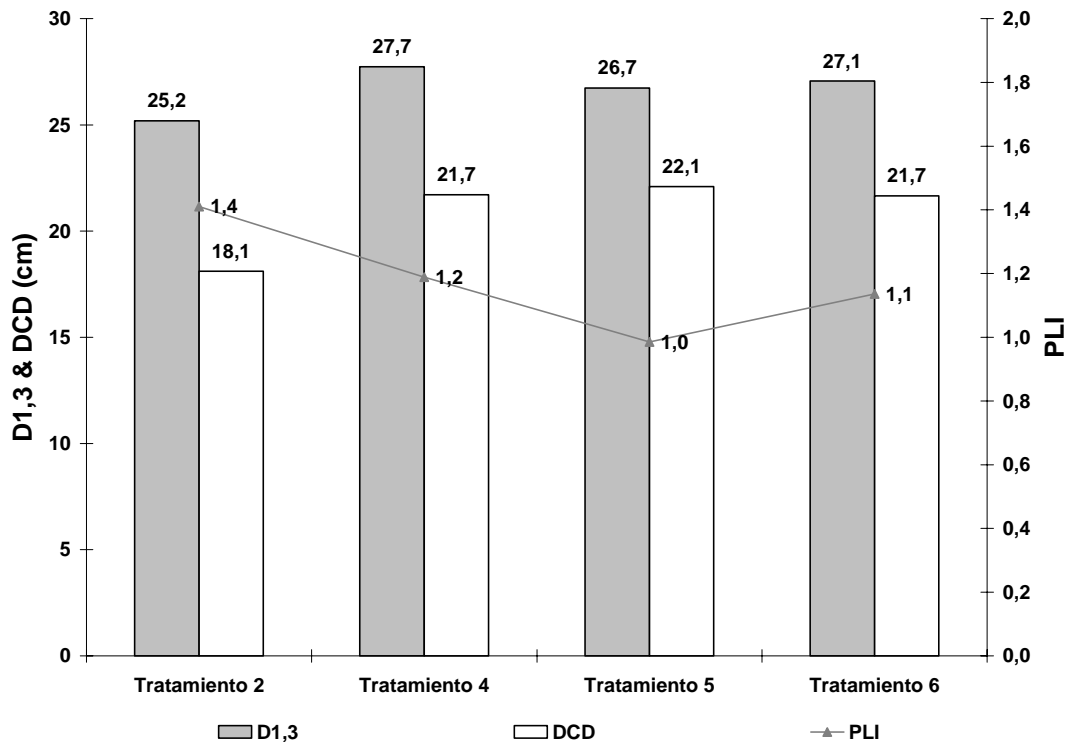


Figura 7. PLI, DCD y D1,3 de cada tratamiento a los dieciséis años

La figura 7 presenta valores promedio de las variables necesarias para la estimación del PLI de cada tratamiento. Es deseable que la variable D1,3 alcance el mayor valor posible, ya que está correlacionado al tamaño de la troza. A la inversa de lo que se espera de la variable DCD, ya que mientras más alta sea la diferencia entre ambas, mayor será la magnitud del manto de madera libre de nudos posible de obtener.

De las tres variables mostradas en la figura 7 sólo el DCD se mantiene constante en el tiempo una vez concluida la oclusión de la poda, no así la forma (CVOL/LVOL) y el D1,3 que aumentan con la edad del rodal, incrementando también el PLI.

El trabajo elaborado por Baeza (2005), en el que se evalúa detalladamente el efecto de las podas y raleos sobre el PLI de los mismos tratamientos analizados en éste informe, muestra conclusiones importantes: A los dieciséis años la variable CVOL/LVOL no se ve afectada por el manejo; el diámetro sobre muñón (*Diameter Over Stubs, DOS*), variable estrechamente relacionada al DCD, es la única que presenta diferencias estadísticamente significativas a un 95%; el análisis factorial del DOS demuestra que la severidad de poda es la actividad que determina esta diferencia.

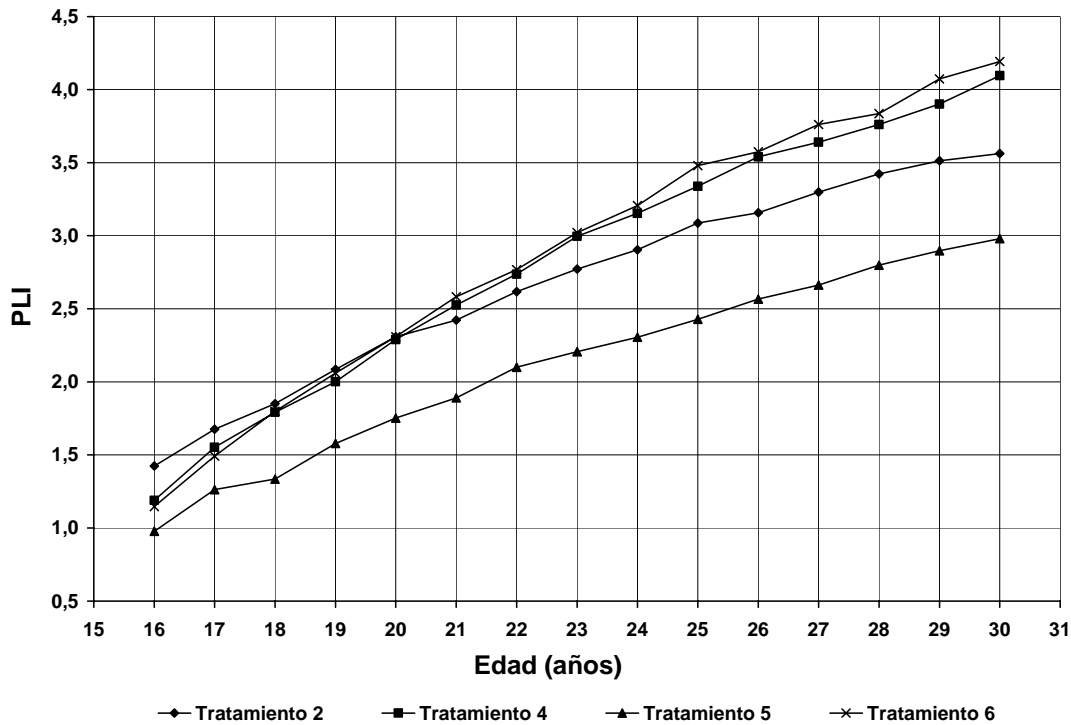


Figura 8. Proyección del PLI entre dieciséis y treinta años

Cuadro 4. Calidad de la troza podada de acuerdo al PLI

| PLI | Calidad de la troza podada |
|---------|-----------------------------|
| 0 - 1,9 | La poda no ha sido efectiva |
| 2 - 3,9 | Pobre |
| 4 - 5,9 | Satisfactoria |
| 6 - 7,9 | Buena |
| 8 - 9,9 | Muy Buena |
| 10 + | Excelente |

Fuente: Park, 1989

Interpretando la figura 8, a partir del cuadro 4 se ve que a los dieciséis años todos los tratamientos caen dentro de la categoría de “poda no efectiva”.

A los diecinueve años recién se alcanza una calidad “pobre”, a excepción del tratamiento 5, que sólo llega a esta categoría a los veintidós años.

Sólo los tratamientos 4 y 6 logran una calidad del producto podado “satisfactoria”, pero a edades muy tardías, a los treinta y veintinueve años respectivamente. De acuerdo a la figura 8, estos tratamientos presentarían una tasa de incremento anual en PLI muy parecida. En cuanto a las características de los esquemas de manejo que podrían explicar esta similitud, destaca la densidad final, ya que ambos tratamientos presentan un stock final de 200 árboles por hectárea, mientras que los restantes tratamientos (2 y 5), llegan a la cosecha con 400 árboles por hectárea. La posible causa, sería que los recursos del sitio se concentran en menos árboles, mejorando el estado de variables relacionadas con la calidad, como el tamaño y la forma de las trozas.

A continuación se presentan variables estrechamente relacionadas al potencial industrial de los productos podados.

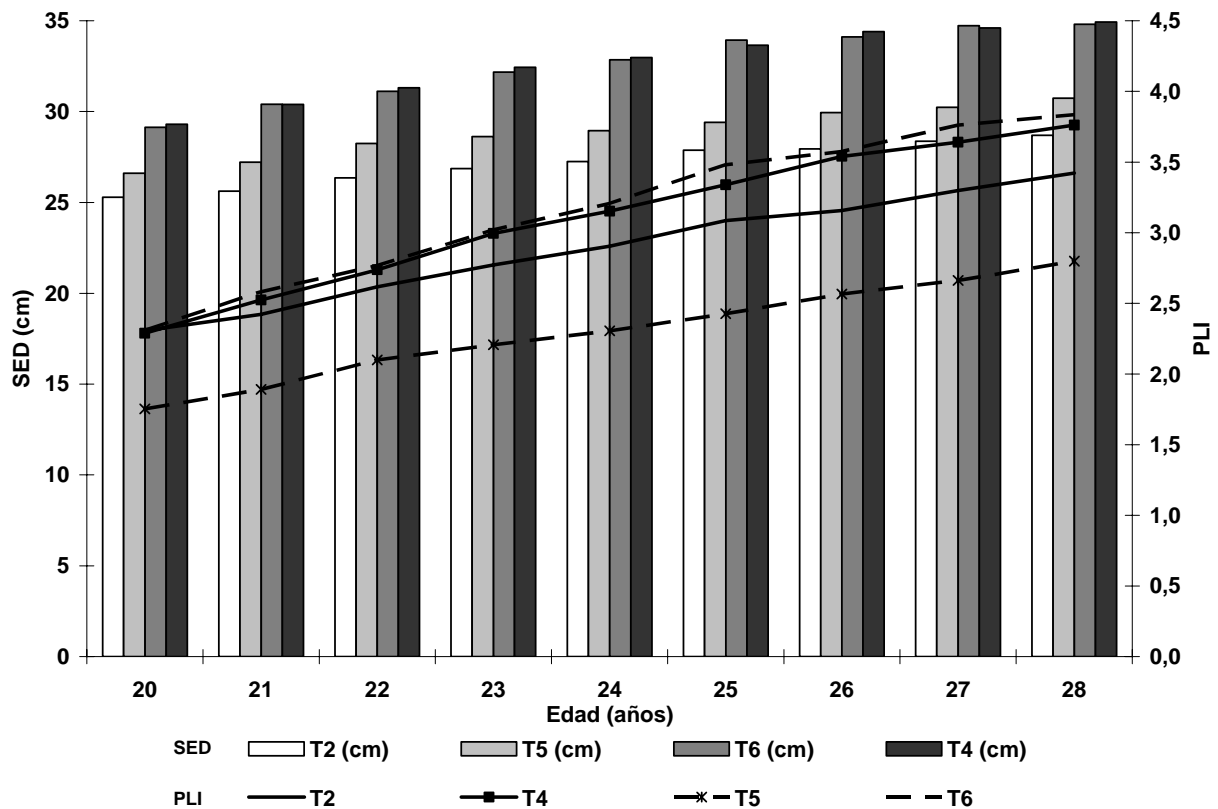


Figura 9. Calidad del producto podado en SED y PLI entre 20 y 28 años.

La figura 9 presenta el comportamiento de las variables SED y PLI dentro de un rango temporal en el que se espera encontrar el momento óptimo de la cosecha.

El incremento anual en SED para todos los tratamientos es, en promedio, 0,5 cm., por lo que se espera un incremento total para el período evaluado de sólo 4 cm.

Los valores más pobres de SED los presenta el tratamiento 2, con 25 cm. a los veinte años y 29 cm. a los veintiocho. En cuanto al PLI, sólo supera al tratamiento 5.

El tratamiento 5 es, notoriamente, el más bajo en PLI. Respecto al SED, aumenta de 27 a 31cm. entre los veinte y veintiocho años. Superando por 2 cm. al tratamiento 2 en cada período.

El comportamiento de las variables PLI y SED es muy parecido entre los tratamientos 4 y 6. El SED de ambos tratamientos aumenta de 29 a 35 cm. dentro del período analizado, superando por 4 cm. al de menor rendimiento en este aspecto (tratamiento 2). Los PLI también son los más altos, presentando un valor mínimo de 2,3 a los veinte años, y 3,8 a los veintiocho. Pese a ser los mayores valores de PLI, se mantienen dentro de la categoría de calidad del producto podado “pobre”.

4.4 Evaluación económica de los tratamientos

En esta sección se busca determinar la eficiencia económica de los distintos esquemas de manejo representados en cada tratamiento.

4.4.1 Determinación del ingreso de la cosecha

Se asumen precios constantes para los productos pulpable (15 US\$/m3), aserrable 1 (48 US\$/m3), y aserrable 2 (26 US\$/m3), no así para los productos podados, para los cuales se considera un precio proporcional a su calidad y tamaño (fórmula 8).

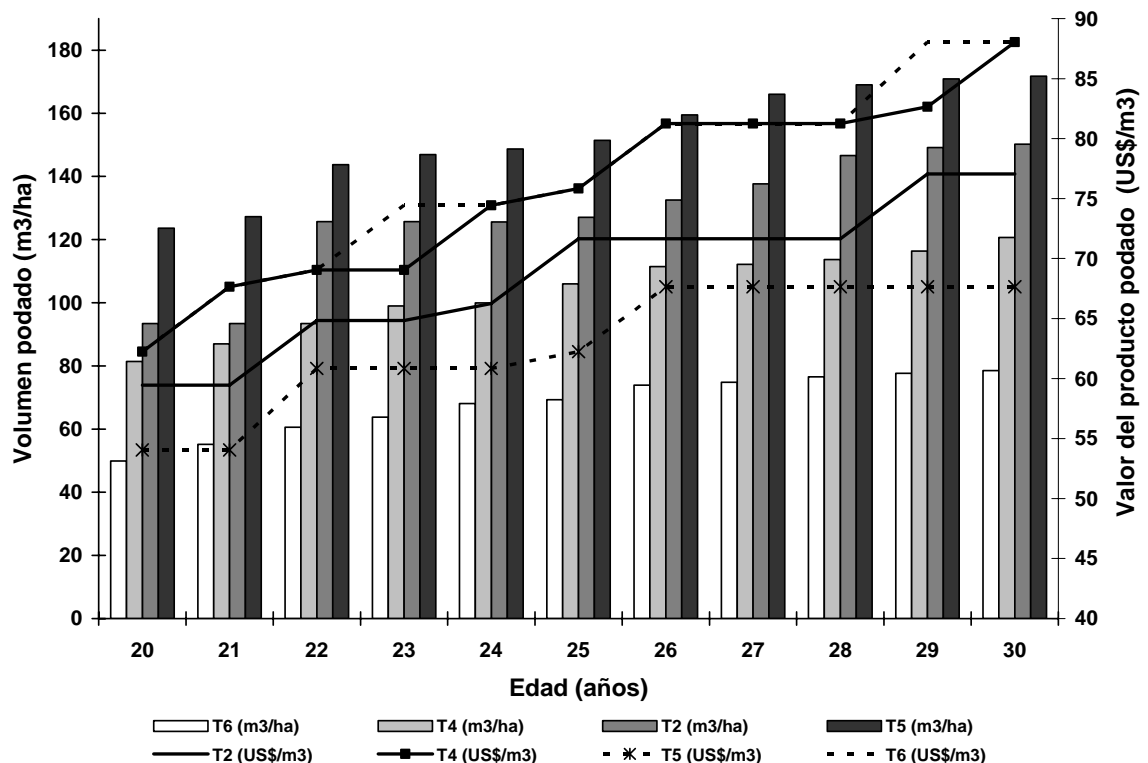


Figura 10. Comportamiento del producto podado entre 20 y 30 años en precio y volumen

La figura 10 muestra como el valor de los productos podados aumenta con la edad, reflejando el incremento en calidad para cada caso. Las tendencias en precio son homologables a las presentadas en la figura 8, donde se observa una estrecha igualdad entre la potencialidad “clear” de los tratamientos 4 y 6. Posiblemente, debido a la densidad final de 200 árboles por hectárea.

Otra situación destacable es la del tratamiento 5, que presenta los valores más pobres en calidad y valor del recurso podado, pero en lo que respecta a rendimiento volumétrico es superior al resto (Figuras 3, 4, 5 y 6). Ocurre lo contrario con el tratamiento 6, con precios más altos y una marcada inferioridad volumétrica.

En general, se observa una relación negativa entre volumen y calidad del producto podado. Lo que en términos de manejo, manifiesta la importancia de conjugar adecuadamente la productividad del sitio con la oportunidad, intensidad y severidad de las intervenciones de poda y raleo, al existir un sacrificio de volumen al ejecutar actividades destinadas a incentivar la calidad.

A continuación se presenta el retorno neto de la cosecha, por año y para todos los tratamientos. Se considera un costo de producción de 15 US\$/m³.

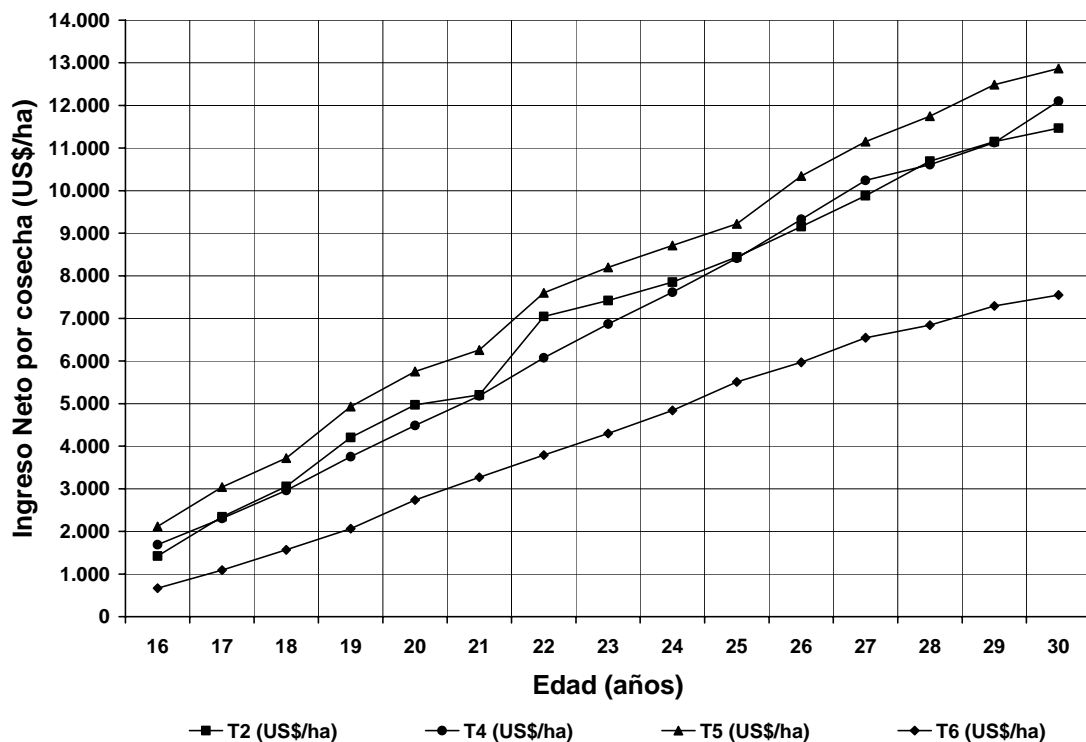


Figura 11. Ingreso Neto por cosecha

Se observa en la figura 11 que el tratamiento 5 presenta los mayores retornos en todos los períodos, pese a ser el más pobre en calidad de trozas podadas frente al resto de los tratamientos. La ventaja más clara de este esquema de manejo es su superioridad en volumen, lo que representa un mayor ingreso al momento de la cosecha, pese a que

sólo puede optar a precios menores para sus trozas basales. Este tratamiento llega a la cosecha con 400 árboles por hectárea luego de dos raleos (5 y 13 años).

Lo que ocurre con el tratamiento recién citado es drásticamente opuesto a la situación del tratamiento 6, que presenta mejores niveles de calidad en trozas podadas, pero es muy pobre en volumen y llega a la cosecha con 200 árboles por hectárea, después de la ejecución de tres raleos (5, 11 y 15 años), además se dejaron 500 seguidores por hectárea, lo que pudo haber afectado el desarrollo de los árboles objetivo.

4.4.2 Eficiencia económica de los esquemas de manejo

Para el planteamiento de los flujos de caja necesarios para la estimación de la rentabilidad se utilizaron los siguientes costos.

Cuadro 5. Estructura de costos para todos los tratamientos

| Actividad | Edad (años) | Costo US\$ (fijo o variable) |
|--------------------|-------------|------------------------------|
| Establecimiento | 0 | 273 /ha |
| Control de malezas | 1 | 93 /ha |
| Poda 1 | 4 | 105 /ha |
| Poda 2 | 5 | 82 /ha |
| Poda 3 | 6 | 70 /ha |
| Poda 4 | 7 | 58 /ha |
| Raleo 1 | 5 | 53 /ha |
| Raleo 2 | variable | 8 /m3 |
| Raleo 3 | variable | 9 /m3 |
| Cosecha final | variable | 7 /m3 |
| Transporte | variable | 8 /m3 |
| Administración | Anual | 20 /ha |

Debido al desconocimiento respecto al verdadero número de podas ejecutadas, se planteó que las podas totales por árbol fueron 4. Esta decisión es relevante para realizar la evaluación económica, ya que el costo de las podas es un componente de peso en el flujo de caja de este proyecto.

El Cuadro 5, presenta los costos de todas las actividades ejecutadas durante el desarrollo del régimen silvicultural. Se observa que el costo de las podas disminuye con cada intervención.

El primer raleo presenta un costo fijo de 53 US\$/ha, mientras que las siguientes intervenciones tienen un costo variable por metro cúbico.

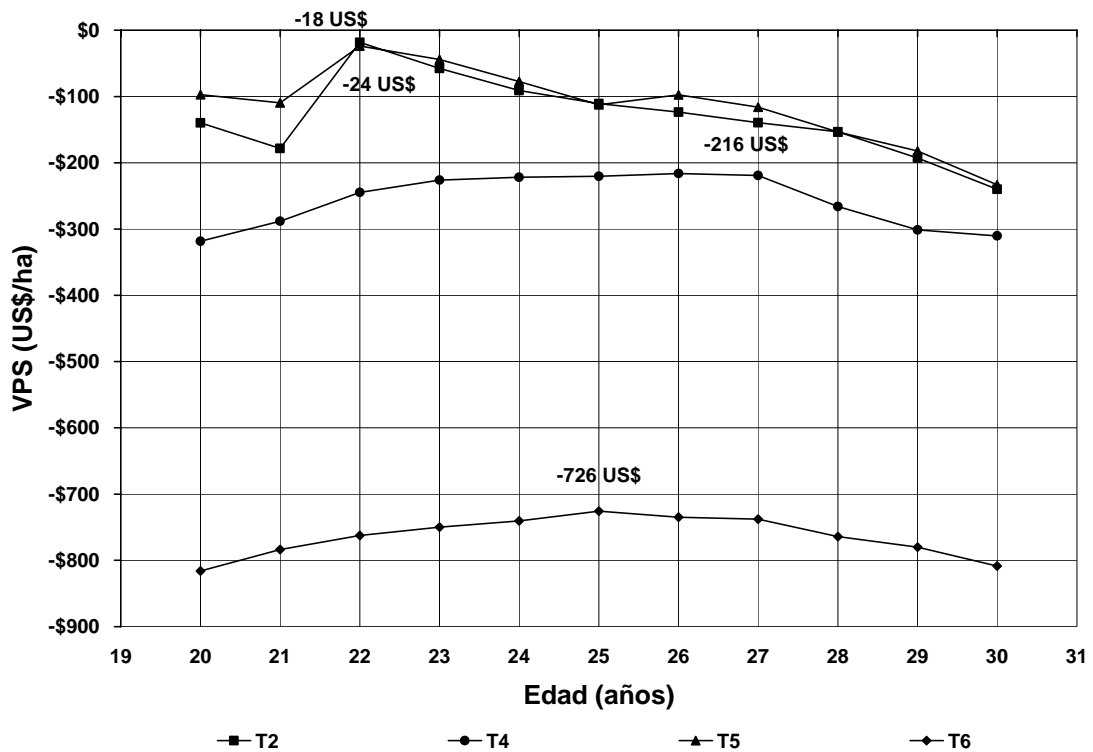


Figura 12. Valor Potencial del Suelo por tratamiento entre veinte y treinta años

La figura 12 muestra que el comportamiento del VPS para los tratamientos 2 y 5 es bastante parecido, ambos esquemas alcanzan la edad de rotación óptima a los veintidós años con -18 y -24 US\$/ha respectivamente. Se está hablando de valores negativos, por lo tanto, la apreciación que se debe tener de éstos esquemas es como el de “los menos malos”. Además de presentar los VPS más altos, estos esquemas de manejo son lo de mayor rendimiento volumétrico.

El tratamiento 2 es el de mayor severidad de poda, pese a ello su rentabilidad es la menos baja.

El tratamiento 4 presenta su mayor VPS a los veintiséis años con -216 US\$/ha, mientras que el tratamiento 6, con una rentabilidad considerablemente más baja que los restantes esquemas de manejo, alcanza su rotación a los veinticinco años con -726 US\$/ha.

Todos los esquemas de manejo presentan VPS menores a cero, por lo tanto, ninguno cumple el objetivo de eficiencia económica esperado. De acuerdo al método de evaluación utilizado, ninguno de estos regímenes silviculturales debe aplicarse en este sitio.

Al conocer la edad óptima de rotación de cada régimen silvicultural es posible acotar el análisis de cada uno a la caracterización física correspondiente a ese momento del tiempo.

Cuadro 6. Caracterización integral de los esquemas de manejo a su respectiva edad de rotación óptima.

| Tratamiento (rotación óptima) | | 2 (22 años) | 4 (26 años) | 5 (22 años) | 6 (25 años) |
|-------------------------------|----------------------------------|---------------------|-----------------|-----------------|---------------------|
| Variables dasométricas | N/ha | 403 | 199 | 393 | 164 |
| | Área basal (m ² /ha) | 34,3 | 30,7 | 38,1 | 19,6 |
| | Altura promedio (m) | 26 | 30,5 | 26,4 | 28,2 |
| | DMC (cm.) | 32,9 | 44,3 | 35,1 | 39 |
| | DAP min. & máx. (cm.) | 22 – 46 | 32 - 56 | 24 - 44 | 22 - 46 |
| | Índice de sitio (m) | 25 | 27 | 26 | 24 |
| Calidad producto podado | PLI | 2,6 | 3,5 | 2,1 | 3,5 |
| | Precio (US\$/m ³) | 61,7 | 77,2 | 57,3 | 76,3 |
| Volumen | Podado (m ³ /ha) | 125,7 | 111,4 | 143,7 | 69,3 |
| | Aserrable 1 (m ³ /ha) | 0,7 | 33,4 | 0 | 12,8 |
| | Aserrable 2 (m ³ /ha) | 105,2 | 117,4 | 137,6 | 75,5 |
| | Pulpable (m ³ /ha) | 67,1 | 28,5 | 61,2 | 25,6 |
| | Total (m ³ /ha) | 298,8 | 290,7 | 342,5 | 183,2 |
| | Promedio (m ³ /árbol) | 0,74 | 1,46 | 0,87 | 1,12 |
| Eficiencia Económica | VNP (US\$/ha) | -17,4 | -215,2 | -22,8 | -724,8 |
| | VPS (US\$/ha) | -18,4 | -216,2 | -23,8 | -725,8 |
| | RS (US\$/ha/año) | -1,8 | -21,6 | -2,4 | -72,6 |
| Características del manejo | Copa Residual (% de copa viva) | 40 | 60 | 60 | 60 |
| | Nº de podas | 6 | 7 | 9 | 9 |
| | Stock Inicial (N/ha) | 750 | 400 | 750 | 750 |
| | Raleos | 3 (5, 11 y 15 años) | 2 (5 y 15 años) | 2 (5 y 13 años) | 3 (5, 11 y 15 años) |
| | Seguidores | 0 | 0 | 0 | 500 |

La información presentada en el cuadro 6 permite comparar la eficiencia económica de los tratamientos con distintos aspectos del manejo y variables de estado del rodal a la edad de cosecha.

A continuación se presenta, a nivel de tratamiento, una breve discusión de algunas de las características más relevantes presentadas en el cuadro 6.

Tratamiento 2

Tomando como referencia las características del manejo, este tratamiento es el más severo en podas con un 40% de copa residual. En cuanto a la cantidad de podas, el rodal se intervino seis veces, lo que es poco en comparación al resto de los regímenes evaluados. Respecto al manejo de la densidad, se efectuaron tres raleos, dejando un stock final de 400 árboles/ha. El tamaño promedio de los árboles es el más bajo, con un DMC de 33 cm. y 0,7 m³/árbol.

El resultado de este régimen silvicultural, en cuanto a calidad de los productos podados, se ve reflejado en el PLI, que con un valor de 2,6, cae dentro de la categoría de calidad de poda “pobre”, según la clasificación de Park (cuadro 4).

El nivel de eficiencia de la silvicultura que presenta este esquema de manejo, expresado en el VPS, es de -18 US\$/ha a los veintidós años. El que pese a ser un valor negativo, es el mayor de los cuatro tratamientos evaluados.

Tratamiento 4

El VPS de este esquema de manejo es de -216 US\$/ha a los veintiséis años. La severidad de las podas fue de 60% de copa residual y se realizaron siete intervenciones. Se llega a la cosecha con 200 árboles/ha luego de dos raleos, con un tamaño promedio por árbol de 1,46 m³ y un DMC de 44 cm., notablemente mayor a los restantes regímenes.

La calidad de los productos podados expresada en el PLI, es de 3,5, la más alta junto al tratamiento 6, sin embargo, de acuerdo a la clasificación de Park, cae dentro de la categoría “pobre”.

Tratamiento 5

Este régimen silvicultural es, considerando las características del manejo en conjunto, el menos intenso. La severidad de la poda es de 60% de copa viva residual, y se ejecutaron dos raleos, dejando un stock final de 400 árboles/ha. Es esperable que la baja intensidad del manejo se vea reflejada positivamente en el volumen total.

La calidad de los productos podados es la más baja, apenas llega a la categoría “pobre”, con un PLI de 2,1. Sin embargo, la baja calidad es compensada con volumen, alcanzando un total de 342 m³/ha, la más alta en comparación a los restantes tratamientos.

La eficiencia del manejo en VPS es de -24 US\$/ha a los veintidós años, un poco más baja que el tratamiento 2.

Tratamiento 6

La principal distinción de este régimen silvicultural es la presencia de árboles seguidores hasta los quince años. Por lo que se espera un bajo rendimiento en volumen considerando los 163 árboles/ha que llegan al final de la rotación.

En cuanto a la calidad de los productos podados, el PLI promedio a la edad de cosecha es de 3,5, considerada “pobre”. Lo que en comparación a los restante esquemas, no es bajo. La principal deficiencia de este tratamiento es el volumen total, que sólo alcanza 183 m³/ha.

La eficiencia económica del régimen silvicultural es las más baja de las cuatro, con un VPS de -724 US\$/ha.

4.4.3 Análisis de sensibilidad

El análisis de sensibilidad se acotó al tratamiento 2, ello fue decidido en razón a qué este sería el de mayor eficiencia económica (mayor VPS). El método utilizado consiste en la construcción de curvas de indiferencia que representan un nivel de rentabilidad constante, para distintas combinaciones de dos variables de interés. Para expresar la rentabilidad se utilizaron tres niveles de VPS: cero, 500 y 1.000 US\$/ha.

La edad de rotación óptima del régimen silvicultural analizado es de veintidós años, situación que cambiaría al modificar ciertas variables como la tasa de interés anual, costos, etc. Sin embargo, al efectuar este análisis mediante curvas de indiferencia se utilizó la edad de rotación ya citada, salvo en algunos casos que serán debidamente señalados en la presentación de resultados, por ejemplo, aquellos en que la rotación es una de las variables comparadas.

Valor del producto aserrable podado y tasa de interés

Se presenta a continuación un análisis de sensibilidad con curvas de indiferencia relacionando el precio de los productos aserrables podados con la tasa de interés.

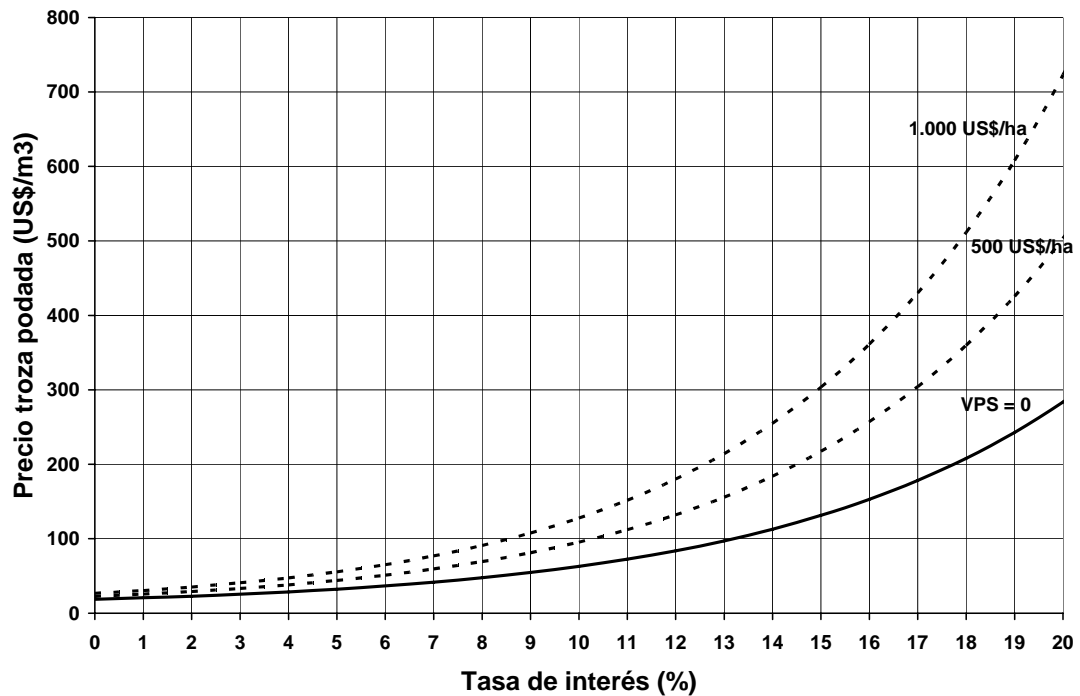


Figura 13. Curvas de indiferencia entre tasa de interés y precio de trozas podadas.

La figura 13 muestra combinaciones de tasa de interés y precio de trozas podadas para tres niveles distintos de rentabilidad. La curva de indiferencia que representa un VPS igual a cero determina el valor mínimo que deben tener los productos podados para optar a una rentabilidad positiva a la correspondiente tasa de interés. Estos valores que mantienen el VPS en cero son precios de equilibrio.

Se observa que para tasas de interés bajas, los precios necesarios para alcanzar cualquiera de los tres niveles de rentabilidad planteados son bajos y con pocas diferencias entre ellos. La pendiente de las curvas de indiferencia, o la TMS de la tasa de interés por precio de trozas podadas aumenta con el costo de oportunidad del capital.

Citando algunos ejemplos puntuales de este incremento de la pendiente en la curva de indiferencia que representa un VPS igual a cero, un aumento en la tasa de interés de 5 a 6%, requiere un aumento de precio de 4 US\$/m³. El cambio de 9 a 10% necesita que el precio del producto podado suba 8 US\$/m³, mientras que un cambio marginal en la tasa de interés de 19 a 20% representa un aumento en el precio de 40 US\$/m³ para mantener una rentabilidad nula.

Para una tasa de interés del 10% anual, que fue utilizada anteriormente para calcular la rentabilidad del manejo; se necesita un precio mínimo de 63 US\$/m³ para un VPS igual a cero; para optar a un VPS de 500 US\$/ha, el precio de la troza podada debe ser 95 US\$/m³; y para una rentabilidad de 1.000 US\$/m³, el precio necesario es 128 US\$/m³, es decir, más del 100% del precio requerido para obtener un VPS igual a cero.

Volumen de rollizos podados y edad de rotación

El siguiente análisis muestra el volumen por hectárea que deben presentar los productos aserrables podados a edades de rotación entre los veinte y treinta años para mantener niveles de rentabilidad constantes.

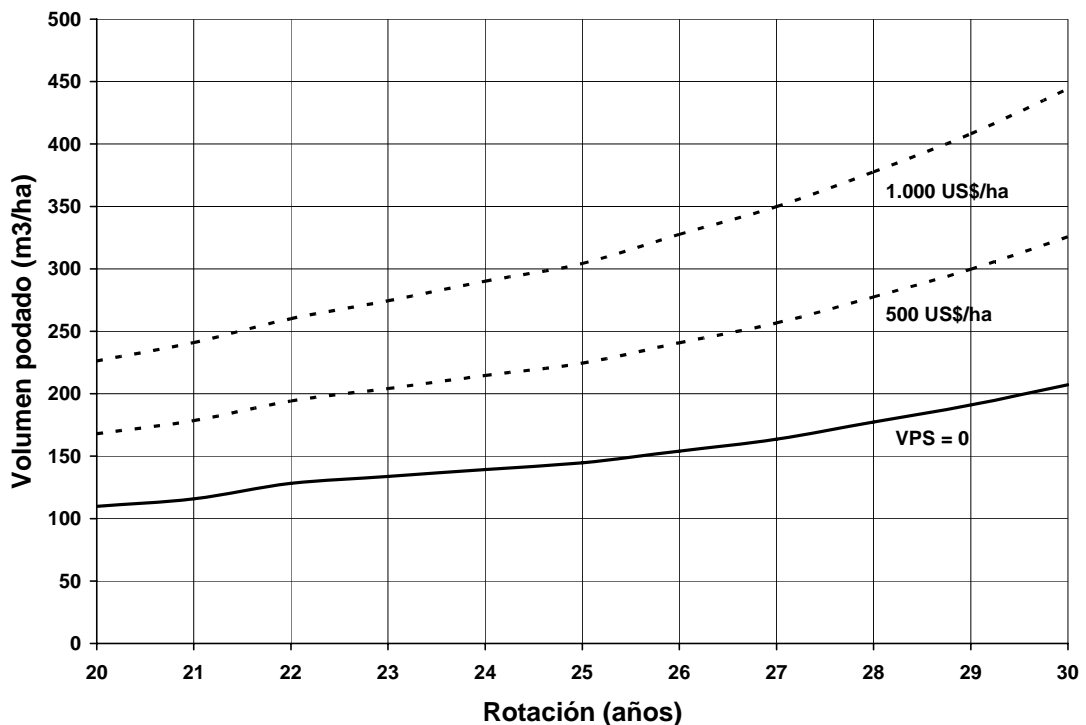


Figura 14. Curvas de indiferencia entre el volumen de trozas podadas y la edad de rotación.

Se observa en la figura 14 que existe una relación positiva entre el volumen podado requerido para mantener un VPS constante y la edad de rotación. Es decir, a medida que aumenta el plazo de la rotación se necesita más volumen de productos podados.

Para mantener un VPS igual a cero dentro del rango de años evaluado los volúmenes de equilibrio varían entre los 110 y 207 m³/ha, a los veinte y treinta años respectivamente. Cada combinación de volumen entre ambos productos ubicada bajo esta curva representa una renta del suelo negativa.

En la curva de indiferencia que representa un VPS de 500 US\$/ha, el volumen fluctúa entre 168 y 326 m³/ha; y para la curva de 1.000 US\$/ha, el volumen mínimo requerido a los veinte años es de 226 m³/ha, y para los treinta años de 444 m³/ha.

Se ve que la TMS de la edad de rotación por el volumen podado es heterogénea dentro del rango de años evaluado. En la curva de indiferencia que representa un VPS igual a cero, al aumentar la edad de rotación de veintiuno a veintidós años se necesita un aumento en el volumen de productos podados de 12,4 m³/ha; de veinticuatro a veinticinco años el incremento debe ser de 5,4 m³/ha; y entre los veintinueve y treinta años la TMS es de 16 m³/ha.

Productos pulpables y aserrables podados

A continuación se presenta el análisis de sensibilidad con curvas de indiferencia entre productos pulpables y aserrables podados, primero se realiza la comparación en función de los precios y luego respecto al volumen.

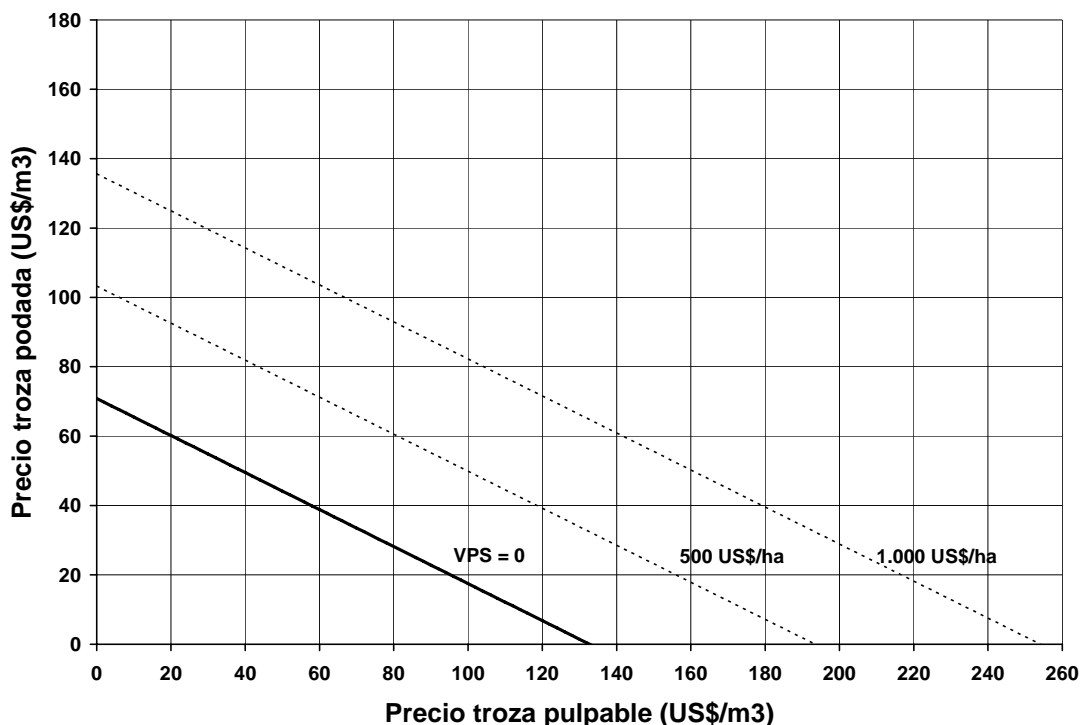


Figura 15. Curvas de indiferencia entre el precio de trozas pulpables y podadas.

Las curvas de indiferencia de la figura 15 presentan una relación negativa entre el precio de las trozas podadas y pulpables, a mayor valor de las últimas, menor es el precio de los productos podados necesario para mantener un mismo nivel de rentabilidad.

Se destaca en la figura 15 la curva de indiferencia que representa un VPS igual a cero, o de precios de equilibrio, ya que cualquier combinación de valores bajo ella, se traduce en un manejo no rentable. Es de particular interés la intersección de esta curva con el eje de precios de las trozas pulpables, o sea, cuando el valor de las trozas podadas es cero. Este punto representa el valor mínimo que deberían tener los productos pulpables para desechar la decisión de enfocar el manejo a la obtención de trozas aserrables libres de nudos.

En otras palabras, la intersección de cada curva con los ejes representa la completa sustitución entre ambos productos. Por ejemplo, para un VPS igual a cero y un precio de troza podada cero, el valor de las trozas pulpables debería ser al menos de 133 US\$/m³, entre ocho y nueve veces su valor en el mercado. A este precio no se justificaría la aplicación de un manejo con objetivos de producción de madera aserrada sin nudos, al considerar esta afirmación debe tenerse presente que estos resultados se obtuvieron a partir de la distribución de volumen original, en la que el producto pulpable suma apenas 67 m³/ha. Si el régimen silvicultural fuera enfocado exclusivamente a la obtención de éstos productos, el precio de equilibrio crítico, al que no se justifica la producción de trozas podadas sería mucho más bajo.

Para obtener un VPS de 500 US\$/ha, el valor de la pulpa debe ser 193 US\$/m³; mientras que para un VPS de 1.000 US\$/ha el precio de los productos pulpables debe ser 254 US\$/m³.

Dado el caso en que los productos pulpables presenten un valor en el mercado igual a cero, el valor de las trozas podadas, para obtener una rentabilidad cero, debe ser 71 US\$/m³; para mantener un VPS de 500 US\$/ha es necesario un precio de 103 US\$/m³; y para un VPS de 1.000 US\$/ha, se requiere un precio de troza podada de 136 US\$/m³.

La pendiente de estas curvas de indiferencia es constante para los tres niveles de eficiencia graficados y representa la TMS entre los precios de ambos productos. Es decir, cuanto se puede sacrificar en el valor de un producto por una variación marginal en el precio del otro para mantener un mismo nivel de eficiencia económica. De esta manera, la TMS del precio de las trozas pulpables por el precio de las trozas podadas es -0,53, es decir, por cada aumento unitario en el precio pulpable se puede permitir una disminución de 0,53 US\$/m³ en el precio de trozas podadas.

El cambio admisible en el precio de las trozas pulpables frente a un cambio unitario en el precio de las trozas podadas es de 1,87 US\$/m³ para mantener un mismo nivel de eficiencia

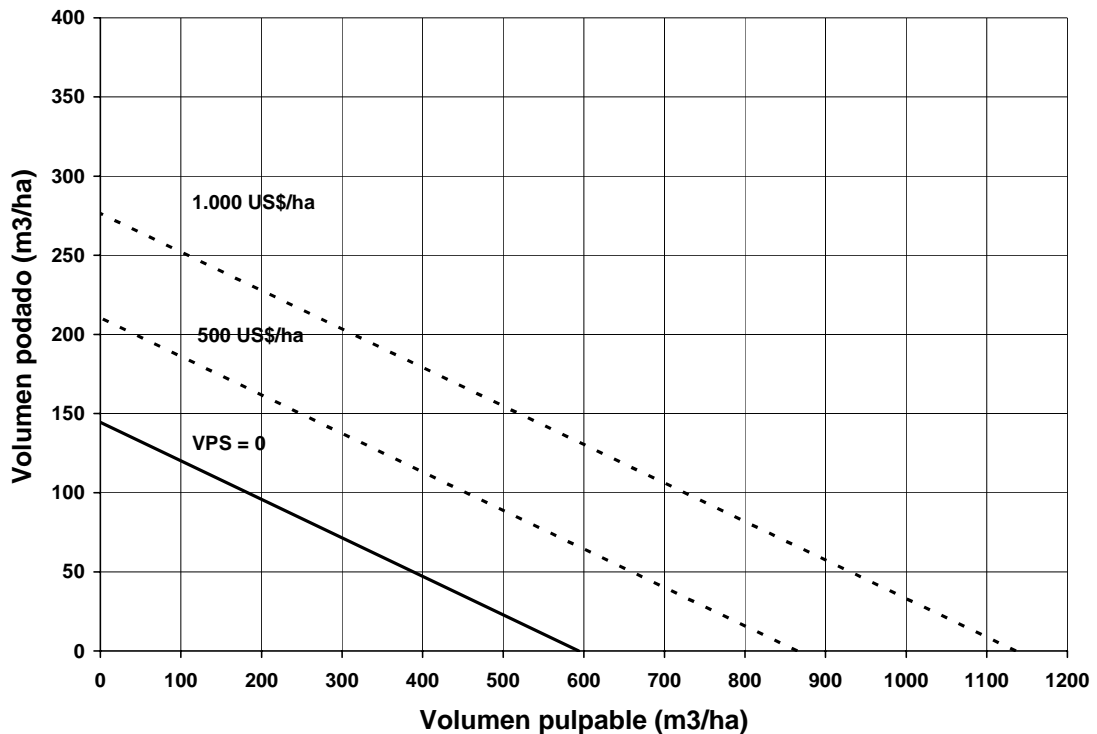


Figura 16. Curvas de indiferencia entre el volumen de trozas pulpables y podadas.

En la figura 16 se observa una relación negativa entre ambos volúmenes, así a medida que aumenta el volumen pulpable se requiere menos volumen podado para compensar la eficiencia y mantener constante la rentabilidad

El área bajo la curva de VPS cero representa todas las combinaciones de volumen pulpable y podado que entregan una rentabilidad negativa. Por ello, esta es la curva de volúmenes de equilibrio.

El análisis es similar al presentado en la figura 15, en que las intersecciones con los ejes representan la perfecta sustitución de un producto por el otro. Entonces, al asumir un volumen de productos podados igual a cero, y para mantener un VPS nulo, el volumen pulpable debe ser 594 m³/ha; para un VPS de 500 US\$/ha el volumen de pulpa necesario es 865 m³/ha; y para obtener un VPS de 1.000 US\$/ha se debe alcanzar un volumen de trozas pulpables de 1.136 m³/ha.

En cambio, cuando el volumen pulpable es igual a cero, el volumen podado necesario para mantener un VPS cero es 145 m³/ha; para un VPS de 500 US\$/ha se requieren 210 m³/ha; y para un VPS de 1.000 US\$/ha, el volumen es de 277 m³/ha.

La TMS de volumen pulpable por volumen podado es de -0,24, es decir, por cada metro cúbico de variación en el volumen de trozas pulpables, el volumen de producto podado puede disminuir en 0,24 m³/ha para mantener el VPS constante igual a cero.

Mientras que la TMS de volumen podado por pulpable es de 4,1, en otras palabras, por cada unidad de volumen adicional del producto podado se requiere un aumento de 4,1 m³/ha de volumen pulpable para mantener un VPS constante. Estas TMS son constantes para los tres niveles de VPS graficados.

5. CONCLUSIONES

- Según la simulación proyectada entre los dieciséis y treinta años, el rendimiento volumétrico total de los tratamientos evaluados es bajo. Sólo el tratamiento 5 supera los 500 m³/ha, a los veintinueve años.
- Existe una marcada diferencia en volumen total entre algunos esquemas, así el tratamiento 5 duplica al tratamiento 6 en todos los períodos evaluados.
- La proyección del volumen por producto muestra que éste se concentra principalmente en trozas podadas y aserrable 2. El volumen de rollizos pulpables se mantiene constante en el tiempo, mientras que el aserrable 1 tiene una participación muy pequeña dentro de la distribución de volumen.
- A la edad del análisis cross-section, 16 años, los valores de PLI fluctuaron entre 1,0 y 1,4, lo que pese a no ser un momento de cosecha, delata una poda poco efectiva.
- Al proyectar el PLI hasta los treinta años, sólo los tratamientos 4 y 6 alcanzan una calidad de troza podada “satisfactoria”, el primero con un PLI de 4,1 a los treinta años y el segundo, presenta el mismo valor a los veintinueve años.
- El tratamiento 5 presenta los valores más bajos en calidad de productos podados, con un PLI de 2,1 a la edad óptima de rotación (veintidós años) no obstante, es el de mayor volumen podado y total al momento de la cosecha (144 y 343 m³/ha respectivamente). En tal sentido, cabe señalar que este régimen silvicultural es, en general, el menos intensivo, con una severidad de poda de 60% de copa viva residual y la ejecución de dos raleos (5 y 13 años), dejando un stock final de 400 árboles por hectárea.
- El tratamiento 6 es marcadamente, el de menor rendimiento en volumen en todos los períodos evaluados. En cuanto a calidad del producto podado, es el de mejor desempeño, junto al tratamiento 4, presentando ambos un PLI 3,5 a sus correspondientes edades de rotación óptima (veinticinco y veintiséis años respectivamente).
- Existe una deficiencia de información respecto a la frecuencia con que cada árbol fue podado en los tratamientos. Esta situación dificultó en forma significativa el análisis respecto al desempeño de los regímenes, tanto en calidad de productos como en rentabilidad del manejo.
- Todos los VPS evaluados a una tasa de interés del 10% son negativos, por lo tanto, son económicamente ineficientes para el objetivo de maximizar la Renta del Suelo.
- Los tratamientos 2 y 5 presentan los mayores VPS, lo que coincide con un rendimiento superior en volumen total. Sin embargo, su desempeño en calidad de trozas podadas es inferior, presentando a la edad de rotación, valores de PLI

2,6 y 2,1 respectivamente. Ambos regímenes presentan una edad óptima de rotación de veintidós años.

- El análisis de sensibilidad entre las variables “valor del producto podado” y “tasa de interés anual”, muestra que los precios de equilibrio aumentan con la tasa de interés para mantener un VPS igual a cero.
- El volumen podado de equilibrio debe aumentar a medida que la rotación se extiende.

6. BIBLIOGRAFÍA

- Baeza, D. 2005. Análisis del efecto de podas y raleos sobre el DOS, D1.3 y PLI en plantaciones de *Pinus radiata* D. Don. Fundo Jauja, Comuna de Collipulli. Tesis Ingeniería Forestal. Valdivia, Universidad Austral de Chile, Fac. de Cs. Forestales. 39 p.
- Bown, H. 1998. Selección y Evaluación Técnico-Financiera de Regímenes Silviculturales para Pino Radiata. Chile Forestal. Documento Técnico N° 122. p. 10
- Canada, J. 1980. Intermediate economic analysis for management and engineering. Estados Unidos. North Carolina State University. p. 430
- Chang, S.J. 1984. Determination of the optimal rotation: A theoretical analysis. For. Ecol. Management 8: pp. 137 – 147.
- Cown. 2001. Wood densitometry of 10 *Pinus radiata* families at seven constrasting sites: influence of tree age, site and genotype. New Zealand Journal of Forestry Science 31 (1): pp. 88 – 100
- Davis, L; K. Jonson. 1987. Forest Management. Ed. Mc Graw-Hill. p. 729
- Duerr, W. 1960. Fundamentals of forestry economics. Estados Unidos, Mc Graw-Hill. p. 565
- Fontaine, E. 1983. Evaluación Social de Proyectos. 2ª ed. Chile. Ediciones Universidad Católica de Chile. p. 403
- Ghebremichael, A.; J. Williams; J.M. Vasievich. 1996. A manager's guide to forestry investment analysis. Canada, Northern Ontario Development Agreement, Northern Forestry Program and United States Department of Agriculture Forest Service. p. 68
- Gregory, G. 1972. Forest Resource Economics. Estados Unidos, John Wiley & Sons, Inc. p. 539
- INFOR. 2005. Boletín Estadístico 99. Exportaciones Forestales Chilenas. Enero - Diciembre 2004. INTERNET: http://www.infor.cl/webinfor/estadisticas_Forestales/estadisticas.htm#boletin (Junio 28, 2005)
- Klemperer, D. 1995. Forest resource economics and finance. Estados Unidos, Mc Graw-Hill Series in forest resources. p. 538
- Maclaren, J.P. 1993. Radiata pine grower's manual. FRI Bulletin N° 184. Nueva Zelanda. p. 140

- Meneses, M.; S. Guzmán. 2000a. Análisis de la eficiencia de la silvicultura destinada a la obtención de madera libre de nudos en plantaciones de pino radiata en Chile. *Bosque (Chile)* 21(2): 85-93 pp.
- Meneses, M.; S. Guzmán. 2000b. Productividad y eficiencia en la producción forestal basada en plantaciones de pino radiata. *Bosque (Chile)* 21(2): 3-11
- Morales, A. 1999. Evaluación técnico-económica de dos regímenes silviculturales aplicados a *Pinus radiata* D. Don para la producción de madera libre de nudos en sitios de alta calidad en Chile. Tesis Ing. For. Valdivia, Universidad Austral de Chile, Fac. de Cs. Forestales. 99 p.
- Nicholson, W. 2001. Microeconomía intermedia y sus aplicaciones. Trad. por Mildred Ciociano. 8ª ed. Colombia, Mc Graw-Hill. p. 602
- Park, J. 1989. Pruned Log Index (PLI). *N.Z. J. For. Sci. Rotorua. New Zealand* 19(1): pp 41-53.
- Rodríguez, C. 1996. Prácticas silvícolas en Plantaciones de *Pinus radiata* D. Don en Chile. *In: Curso Internacional O.E.A Ecología Forestal y Silvicultura. Valdivia (Chile), Octubre de 1996. Valdivia, Universidad Austral de Chile. p. 57*
- Straka, T; S. Bullard. 1996. Land expectation value calculation in timberland valuation. *Appraisal journal. INTERNET:*
<http://static.highbeam.com/a/appraisaljournal/october011996/landexpectationvaluecalculationintimberlandvaluati/> (Abril 20, 2005)

Anexo 1

Abstract and keywords

ABSTRACT

The main objective of this work is to estimate the economic efficiency of four silvicultural designs focused in the production of high value *Pinus radiata* D. Don logs. Each management schedule presents different levels of pruning and thinning. The silvicultural treatments belong to Forestal Mininco and are located in the Jauja forest, close to Collipulli, IX region.

To achieve a proper value for the pruned logs, a destructive sampling of twelve butt-logs on each treatment (48 logs) was necessary. This method is required to determine the value of some internal characteristics, needed for the estimation of the Pruned Log Index (PLI).

At the moment of sampling, the stand was sixteen years old; this situation forced the use of simulation tools for the time projection of the wood volume and pruned logs quality.

The Land Expected Value (LEV) was used to determine the optimal rotation age and to evaluate the economic efficiency of the silvicultural designs.

The estimation of the LEV at a 10% interest rate, shows only negative values, demonstrating that none of the four evaluated silvicultural designs are economically efficient. The highest LEV is -18 US\$/ha, and the lowest is -726 US\$/ha.

Finally, a sensitivity analysis is developed by the construction of indifference lines that represent constant levels of economic efficiency (LEV) for different combinations of several variables, such as: interest rate; rotation length; price and volume of pruned logs; price and volume of pulpable logs.

Keywords: Pruned log index – Land Expected Value

Anexo 2

Proyección del rendimiento volumétrico por producto

Proyección y distribución del volumen por producto

| Tratamiento | Edad | Volumen pulpable | Aserrable 2 | Aserrable 1 | Volumen Podado | Total |
|-------------|------|------------------|-------------|-------------|----------------|-------|
| 2 | 16 | 73,2 | 50,3 | 0,0 | 28,6 | 152,1 |
| 2 | 17 | 74,1 | 40,7 | 0,0 | 55,8 | 170,6 |
| 2 | 18 | 59,7 | 76,3 | 0,0 | 60,9 | 197,0 |
| 2 | 19 | 64,6 | 65,5 | 0,0 | 88,2 | 218,3 |
| 2 | 20 | 60,5 | 89,1 | 0,0 | 93,4 | 243,0 |
| 2 | 21 | 66,0 | 98,7 | 0,0 | 93,4 | 258,1 |
| 2 | 22 | 67,1 | 105,2 | 0,7 | 125,7 | 298,8 |
| 2 | 23 | 71,2 | 116,1 | 0,7 | 125,7 | 313,7 |
| 2 | 24 | 68,8 | 132,3 | 2,3 | 125,6 | 329,0 |
| 2 | 25 | 70,8 | 149,9 | 2,3 | 127,0 | 350,0 |
| 2 | 26 | 69,3 | 168,0 | 6,0 | 132,5 | 375,9 |
| 2 | 27 | 66,9 | 184,6 | 6,9 | 137,6 | 396,0 |
| 2 | 28 | 71,4 | 189,2 | 7,7 | 146,6 | 415,0 |
| 2 | 29 | 71,4 | 203,0 | 7,7 | 149,2 | 431,3 |
| 2 | 30 | 68,6 | 218,7 | 7,7 | 150,3 | 445,2 |
| 4 | 16 | 27,4 | 26,9 | 0,0 | 47,5 | 101,8 |
| 4 | 17 | 27,9 | 33,8 | 0,0 | 56,0 | 117,7 |
| 4 | 18 | 31,8 | 41,2 | 0,0 | 66,0 | 139,0 |
| 4 | 19 | 25,0 | 56,6 | 0,7 | 75,3 | 157,7 |
| 4 | 20 | 27,1 | 68,0 | 1,5 | 81,5 | 178,0 |
| 4 | 21 | 27,3 | 81,0 | 2,4 | 87,0 | 197,6 |
| 4 | 22 | 28,1 | 88,5 | 8,6 | 93,4 | 218,6 |
| 4 | 23 | 25,3 | 101,7 | 9,4 | 99,0 | 235,5 |
| 4 | 24 | 28,0 | 102,2 | 24,5 | 99,9 | 254,6 |
| 4 | 25 | 26,5 | 113,6 | 25,4 | 106,0 | 271,5 |
| 4 | 26 | 28,5 | 117,4 | 33,4 | 111,4 | 290,7 |
| 4 | 27 | 26,9 | 114,2 | 56,6 | 112,2 | 310,0 |
| 4 | 28 | 26,3 | 121,7 | 57,5 | 113,7 | 319,2 |
| 4 | 29 | 28,4 | 130,4 | 57,7 | 116,4 | 332,9 |
| 4 | 30 | 25,8 | 140,4 | 65,7 | 120,7 | 352,7 |
| 5 | 16 | 60,8 | 59,5 | 0,0 | 55,5 | 175,9 |
| 5 | 17 | 71,6 | 44,3 | 0,0 | 83,7 | 199,6 |
| 5 | 18 | 58,1 | 78,1 | 0,0 | 91,5 | 227,7 |
| 5 | 19 | 54,6 | 83,6 | 0,0 | 113,9 | 252,2 |
| 5 | 20 | 56,6 | 101,1 | 0,0 | 123,6 | 281,3 |
| 5 | 21 | 63,7 | 116,1 | 0,0 | 127,2 | 307,1 |
| 5 | 22 | 61,2 | 137,6 | 0,0 | 143,7 | 342,5 |
| 5 | 23 | 63,7 | 150,5 | 3,0 | 146,9 | 364,2 |
| 5 | 24 | 58,8 | 173,9 | 3,0 | 148,7 | 384,5 |
| 5 | 25 | 65,6 | 188,0 | 3,0 | 151,4 | 408,1 |
| 5 | 26 | 64,2 | 207,9 | 8,4 | 159,5 | 439,9 |
| 5 | 27 | 63,2 | 222,4 | 13,1 | 166,0 | 464,8 |
| 5 | 28 | 62,5 | 235,6 | 13,1 | 169,0 | 480,2 |
| 5 | 29 | 62,4 | 248,5 | 22,0 | 170,9 | 503,8 |
| 5 | 30 | 60,4 | 261,8 | 23,1 | 171,8 | 517,0 |
| 6 | 16 | 25,9 | 20,7 | 0,0 | 15,5 | 62,0 |
| 6 | 17 | 23,9 | 24,0 | 0,0 | 24,6 | 72,5 |
| 6 | 18 | 28,4 | 26,1 | 0,0 | 33,8 | 88,3 |
| 6 | 19 | 26,2 | 34,6 | 0,0 | 40,4 | 101,2 |
| 6 | 20 | 23,5 | 39,5 | 1,4 | 49,9 | 114,3 |
| 6 | 21 | 25,6 | 46,7 | 1,4 | 55,2 | 128,9 |
| 6 | 22 | 27,0 | 53,5 | 2,4 | 60,6 | 143,5 |
| 6 | 23 | 25,8 | 64,2 | 2,7 | 63,8 | 156,4 |
| 6 | 24 | 22,8 | 76,5 | 2,7 | 68,1 | 170,1 |
| 6 | 25 | 25,6 | 75,5 | 12,8 | 69,3 | 183,2 |
| 6 | 26 | 25,2 | 82,3 | 13,8 | 73,9 | 195,2 |
| 6 | 27 | 23,4 | 87,3 | 22,2 | 74,8 | 207,8 |
| 6 | 28 | 23,6 | 94,6 | 23,4 | 76,6 | 218,2 |
| 6 | 29 | 23,8 | 101,7 | 24,9 | 77,7 | 228,1 |
| 6 | 30 | 24,7 | 108,9 | 25,1 | 78,6 | 237,3 |

Anexo 3

Caracterización dasométrica de los tratamientos

Tablas de rodal para todos los tratamientos a los 16 años

| Clase DAP | Tratamiento 2 | | | | Tratamiento 4 | | | | Tratamiento 5 | | | | Tratamiento 6 | | | |
|-----------|---------------|--------|------|---------|---------------|--------|------|---------|---------------|--------|------|---------|---------------|--------|------|---------|
| | N/ha | Altura | G | Volumen | N/ha | Altura | G | Volumen | N/ha | Altura | G | Volumen | N/ha | Altura | G | Volumen |
| 18 | 4 | 5,5 | 0,1 | 0,6 | | | | | | | | | 2 | 5,4 | 0,1 | 0,3 |
| 20 | 4 | 12,3 | 0,1 | 0,8 | | | | | 4 | 5,8 | 0,1 | 0,8 | 6 | 11,8 | 0,2 | 1,1 |
| 22 | 19 | 11,8 | 0,7 | 4,2 | | | | | | | | | 12 | 12,2 | 0,5 | 2,7 |
| 24 | 69 | 18,2 | 3,1 | 18,7 | 2 | 6,2 | 0,1 | 0,5 | 14 | 19,0 | 0,6 | 3,9 | 31 | 12,6 | 1,4 | 8,4 |
| 26 | 90 | 19,0 | 4,8 | 29,6 | 10 | 12,5 | 0,5 | 3,2 | 46 | 13,4 | 2,4 | 16,1 | 20 | 18,4 | 1,1 | 6,3 |
| 28 | 108 | 19,9 | 6,7 | 43,4 | 25 | 19,9 | 1,5 | 9,4 | 122 | 19,7 | 7,3 | 46,8 | 37 | 19,3 | 2,3 | 14,3 |
| 30 | 67 | 19,8 | 4,8 | 30,6 | 21 | 13,0 | 1,5 | 8,8 | 54 | 14,0 | 3,8 | 26,0 | 22 | 13,2 | 1,6 | 9,6 |
| 32 | 23 | 13,8 | 1,9 | 12,3 | 59 | 20,4 | 4,7 | 29,8 | 117 | 21,0 | 9,0 | 60,4 | 8 | 12,6 | 0,6 | 3,8 |
| 34 | 12 | 14,0 | 1,1 | 7,6 | 37 | 13,3 | 3,4 | 20,4 | 17 | 13,3 | 1,5 | 9,6 | 22 | 13,9 | 2,0 | 12,3 |
| 36 | 4 | 14,5 | 0,4 | 2,8 | 39 | 20,6 | 3,8 | 24,7 | 19 | 21,9 | 1,8 | 12,3 | | | | |
| 38 | 2 | 7,3 | 0,2 | 1,6 | | | | | | | | | | | | |
| 40 | | | | | 6 | 15,1 | 0,7 | 5,0 | | | | | 4 | 7,2 | 0,5 | 3,3 |
| 42 | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Total | 403 | 18,1 | 23,9 | 152,1 | 199 | 17,6 | 16,2 | 101,8 | 393 | 18,2 | 26,7 | 175,9 | 164 | 14,8 | 10,1 | 62,0 |

Tablas de rodal por tratamiento a su respectiva edad de rotación óptima

| Tratamiento 2 (22 años) | | | | |
|-------------------------|------|------------------------|------------------|------------------------------------|
| Clase DAP | N/ha | G (m ² /ha) | Altura total (m) | Volumen total (m ³ /ha) |
| 22 | 12 | 0,4 | 22,0 | 3,2 |
| 24 | 5 | 0,2 | 23,5 | 2,0 |
| 26 | 26 | 1,4 | 23,5 | 11,1 |
| 28 | 61 | 3,8 | 24,2 | 32,2 |
| 30 | 80 | 5,6 | 25,1 | 50,6 |
| 34 | 96 | 8,8 | 26,1 | 73,3 |
| 36 | 60 | 6,1 | 26,4 | 52,9 |
| 38 | 31 | 3,5 | 27,3 | 31,6 |
| 40 | 16 | 2,1 | 27,8 | 19,7 |
| 42 | 5 | 0,7 | 28,8 | 7,2 |
| 44 | 5 | 0,8 | 28,3 | 7,1 |
| 46 | 5 | 0,9 | 29,0 | 8,0 |
| TOTAL | 403 | 34,3 | 26,0 | 298,8 |

| Tratamiento 4 (26 años) | | | | |
|-------------------------|------|------------------------|------------------|------------------------------------|
| Clase DAP | N/ha | G (m ² /ha) | Altura total (m) | Volumen total (m ³ /ha) |
| 32 | 3 | 0,3 | 28,1 | 2,7 |
| 34 | 7 | 0,6 | 27,1 | 5,3 |
| 36 | 12 | 1,2 | 28,0 | 11,1 |
| 38 | 14 | 1,6 | 29,1 | 14,9 |
| 40 | 23 | 2,8 | 30,2 | 27,0 |
| 42 | 24 | 3,4 | 29,0 | 29,9 |
| 44 | 35 | 5,3 | 30,6 | 50,4 |
| 46 | 24 | 4,0 | 30,8 | 39,6 |
| 48 | 19 | 3,5 | 31,3 | 32,3 |
| 50 | 14 | 2,8 | 31,4 | 26,5 |
| 52 | 17 | 3,7 | 33,0 | 34,8 |
| 54 | 3 | 0,8 | 32,9 | 7,8 |
| 56 | 3 | 0,8 | 34,5 | 8,2 |
| TOTAL | 199 | 30,7 | 30,5 | 290,7 |

| Tratamiento 5 (22 años) | | | | |
|-------------------------|------|------------------------|------------------|------------------------------------|
| Clase DAP | N/ha | G (m ² /ha) | Altura total (m) | Volumen total (m ³ /ha) |
| 24 | 9 | 0,4 | 22,9 | 3,3 |
| 28 | 10 | 0,6 | 24,9 | 5,6 |
| 30 | 57 | 4,0 | 25,7 | 37,8 |
| 32 | 43 | 3,5 | 25,9 | 29,3 |
| 34 | 77 | 7,0 | 26,2 | 61,6 |
| 36 | 81 | 8,2 | 27,1 | 73,1 |
| 38 | 56 | 6,4 | 27,9 | 61,2 |
| 40 | 39 | 4,9 | 27,3 | 43,3 |
| 42 | 8 | 1,2 | 27,7 | 10,4 |
| 44 | 13 | 2,0 | 28,8 | 17,1 |
| TOTAL | 393 | 38,1 | 26,4 | 342,5 |

| Tratamiento 6 (25 años) | | | | |
|-------------------------|------|------------------------|------------------|------------------------------------|
| Clase DAP | N/ha | G (m ² /ha) | Altura total (m) | Volumen total (m ³ /ha) |
| 26 | 4 | 0,2 | 24,5 | 1,6 |
| 28 | 8 | 0,5 | 26,8 | 4,5 |
| 30 | 10 | 0,7 | 26,0 | 6,4 |
| 32 | 8 | 0,6 | 27,3 | 5,9 |
| 34 | 26 | 2,4 | 26,8 | 21,0 |
| 36 | 18 | 1,8 | 27,6 | 16,5 |
| 38 | 8 | 0,9 | 28,4 | 8,5 |
| 40 | 30 | 3,8 | 28,9 | 34,7 |
| 42 | 17 | 2,4 | 29,4 | 23,4 |
| 46 | 24 | 3,9 | 29,7 | 36,1 |
| 50 | 4 | 0,8 | 32,1 | 7,8 |
| 52 | 8 | 1,7 | 31,4 | 16,7 |
| TOTAL | 164 | 19,6 | 28,2 | 183,2 |

Anexo 4

Oportunidad y frecuencia de actividades de poda y raleo

Oportunidad y frecuencia de podas y raleos

| Tratamiento | Poda | | Raleo | | Densidad | | Volumen removido |
|-------------|--------------|------|--------------|------|----------|----------|------------------|
| | Intervención | Edad | Intervención | Edad | inicial | residual | |
| 2 | 1 | 4 | 1 | 5 | 1163 | 750 | 2 |
| 2 | 2 | 5 | 2 | 11 | 744 | 563 | 16,3 |
| 2 | 3 | 6 | 3 | 15 | 563 | 400 | 41,6 |
| 2 | 4 | 7 | | | | | |
| 2 | 5 | 8 | | | | | |
| 2 | 6 | 9 | | | | | |
| 4 | 1 | 4 | 1 | 5 | 1175 | 388 | 6,4 |
| 4 | 2 | 5 | 2 | 15 | 388 | 200 | 93,3 |
| 4 | 3 | 6 | | | | | |
| 4 | 4 | 7 | | | | | |
| 4 | 5 | 8 | | | | | |
| 4 | 6 | 9 | | | | | |
| 4 | 7 | 10 | | | | | |
| 5 | 1 | 4 | 1 | 5 | 1294 | 750 | 3,1 |
| 5 | 2 | 5 | 2 | 13 | 738 | 400 | 74,4 |
| 5 | 3 | 6 | | | | | |
| 5 | 4 | 7 | | | | | |
| 5 | 5 | 8 | | | | | |
| 5 | 6 | 9 | | | | | |
| 5 | 7 | 10 | | | | | |
| 5 | 8 | 11 | | | | | |
| 5 | 9 | 12 | | | | | |
| 6 | 1 | 4 | 1 | 5 | 1144 | 744 | 2,2 |
| 6 | 2 | 5 | 2 | 11 | 744 | 469 | 61,6 |
| 6 | 3 | 6 | 3 | 15 | 469 | 200 | 149,4 |
| 6 | 4 | 7 | | | | | |
| 6 | 5 | 8 | | | | | |
| 6 | 6 | 9 | | | | | |
| 6 | 7 | 10 | | | | | |
| 6 | 8 | 11 | | | | | |
| 6 | 9 | 12 | | | | | |

Anexo 5

Valor de productos podados y rentabilidad de los regímenes silviculturales

Tabla de precios para los productos podados (US\$/m³)

SED (cm)

| | 22 | 24 | 26 | 28 | 30 | 32 | 34 | 36 | 38 | 40 | 42 |
|------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 1,0 | 41,6 | 43,0 | 44,4 | 45,8 | 47,1 | 48,5 | 49,9 | 51,3 | 52,7 | 54,1 | 55,5 |
| 1,5 | 47,0 | 48,4 | 49,8 | 51,2 | 52,6 | 54,0 | 55,4 | 56,8 | 58,2 | 59,6 | 61,0 |
| 2,0 | 52,4 | 53,8 | 55,2 | 56,6 | 58,0 | 59,4 | 60,8 | 62,2 | 63,6 | 65,0 | 66,4 |
| 2,5 | 57,9 | 59,3 | 60,7 | 62,1 | 63,5 | 64,9 | 66,2 | 67,6 | 69,0 | 70,4 | 71,8 |
| 3,0 | 63,3 | 64,7 | 66,1 | 67,5 | 68,9 | 70,3 | 71,7 | 73,1 | 74,5 | 75,9 | 77,3 |
| 3,5 | 68,7 | 70,1 | 71,5 | 72,9 | 74,3 | 75,7 | 77,1 | 78,5 | 79,9 | 81,3 | 82,7 |
| 4,0 | 74,2 | 75,6 | 77,0 | 78,4 | 79,8 | 81,2 | 82,6 | 84,0 | 85,3 | 86,7 | 88,1 |
| 4,5 | 79,6 | 81,0 | 82,4 | 83,8 | 85,2 | 86,6 | 88,0 | 89,4 | 90,8 | 92,2 | 93,6 |
| 5,0 | 85,1 | 86,4 | 87,8 | 89,2 | 90,6 | 92,0 | 93,4 | 94,8 | 96,2 | 97,6 | 99,0 |
| 5,5 | 90,5 | 91,9 | 93,3 | 94,7 | 96,1 | 97,5 | 98,9 | 100,3 | 101,7 | 103,1 | 104,5 |
| 6,0 | 95,9 | 97,3 | 98,7 | 100,1 | 101,5 | 102,9 | 104,3 | 105,7 | 107,1 | 108,5 | 109,9 |
| 6,5 | 101,4 | 102,8 | 104,2 | 105,6 | 106,9 | 108,3 | 109,7 | 111,1 | 112,5 | 113,9 | 115,3 |
| 7,0 | 106,8 | 108,2 | 109,6 | 111,0 | 112,4 | 113,8 | 115,2 | 116,6 | 118,0 | 119,4 | 120,8 |
| 7,5 | 112,2 | 113,6 | 115,0 | 116,4 | 117,8 | 119,2 | 120,6 | 122,0 | 123,4 | 124,8 | 126,2 |
| 8,0 | 117,7 | 119,1 | 120,5 | 121,9 | 123,3 | 124,7 | 126,0 | 127,4 | 128,8 | 130,2 | 131,6 |
| 8,5 | 123,1 | 124,5 | 125,9 | 127,3 | 128,7 | 130,1 | 131,5 | 132,9 | 134,3 | 135,7 | 137,1 |

PLI

Fuente: Forestal Mininco (Febrero, 2004)

Flujo de caja e indicadores de eficiencia económica para rotaciones entre veinte y treinta años para el Tratamiento 2

| EDAD | 20 | 21 | 22 | 23 | 24 | 25 | 26 | 27 | 28 | 29 | 30 |
|------------|----------------|----------------|---------------|---------------|---------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| 0 | -273 | -273 | -273 | -273 | -273 | -273 | -273 | -273 | -273 | -273 | -273 |
| 1 | -113 | -113 | -113 | -113 | -113 | -113 | -113 | -113 | -113 | -113 | -113 |
| 2 | -20 | -20 | -20 | -20 | -20 | -20 | -20 | -20 | -20 | -20 | -20 |
| 3 | -20 | -20 | -20 | -20 | -20 | -20 | -20 | -20 | -20 | -20 | -20 |
| 4 | -125 | -125 | -125 | -125 | -125 | -125 | -125 | -125 | -125 | -125 | -125 |
| 5 | -155 | -155 | -155 | -155 | -155 | -155 | -155 | -155 | -155 | -155 | -155 |
| 6 | -90 | -90 | -90 | -90 | -90 | -90 | -90 | -90 | -90 | -90 | -90 |
| 7 | -78 | -78 | -78 | -78 | -78 | -78 | -78 | -78 | -78 | -78 | -78 |
| 8 | -20 | -20 | -20 | -20 | -20 | -20 | -20 | -20 | -20 | -20 | -20 |
| 9 | -20 | -20 | -20 | -20 | -20 | -20 | -20 | -20 | -20 | -20 | -20 |
| 10 | -20 | -20 | -20 | -20 | -20 | -20 | -20 | -20 | -20 | -20 | -20 |
| 11 | -150,4 | -150,4 | -150,4 | -150,4 | -150,4 | -150,4 | -150,4 | -150,4 | -150,4 | -150,4 | -150,4 |
| 12 | -20 | -20 | -20 | -20 | -20 | -20 | -20 | -20 | -20 | -20 | -20 |
| 13 | -20 | -20 | -20 | -20 | -20 | -20 | -20 | -20 | -20 | -20 | -20 |
| 14 | -20 | -20 | -20 | -20 | -20 | -20 | -20 | -20 | -20 | -20 | -20 |
| 15 | -352,8 | -352,8 | -352,8 | -352,8 | -352,8 | -352,8 | -352,8 | -352,8 | -352,8 | -352,8 | -352,8 |
| 16 | -20 | -20 | -20 | -20 | -20 | -20 | -20 | -20 | -20 | -20 | -20 |
| 17 | -20 | -20 | -20 | -20 | -20 | -20 | -20 | -20 | -20 | -20 | -20 |
| 18 | -20 | -20 | -20 | -20 | -20 | -20 | -20 | -20 | -20 | -20 | -20 |
| 19 | -20 | -20 | -20 | -20 | -20 | -20 | -20 | -20 | -20 | -20 | -20 |
| 20 | 4951,72 | -20 | -20 | -20 | -20 | -20 | -20 | -20 | -20 | -20 | -20 |
| 21 | | 5183,77 | -20 | -20 | -20 | -20 | -20 | -20 | -20 | -20 | -20 |
| 22 | | | 7025,76 | -20 | -20 | -20 | -20 | -20 | -20 | -20 | -20 |
| 23 | | | | 7399,23 | -20 | -20 | -20 | -20 | -20 | -20 | -20 |
| 24 | | | | | 7832,44 | -20 | -20 | -20 | -20 | -20 | -20 |
| 25 | | | | | | 8423,2 | -20 | -20 | -20 | -20 | -20 |
| 26 | | | | | | | 9136,18 | -20 | -20 | -20 | -20 |
| 27 | | | | | | | | 9863,58 | -20 | -20 | -20 |
| 28 | | | | | | | | | 10672,2 | -20 | -20 |
| 29 | | | | | | | | | | 11132,8 | -20 |
| 30 | | | | | | | | | | | 11447,5 |
| VAN | -\$ 139 | -\$ 177 | -\$ 17 | -\$ 57 | -\$ 90 | -\$ 110 | -\$ 122 | -\$ 138 | -\$ 152 | -\$ 192 | -\$ 239 |
| VPS | -\$ 140 | -\$ 178 | -\$ 18 | -\$ 58 | -\$ 91 | -\$ 111 | -\$ 123 | -\$ 139 | -\$ 153 | -\$ 193 | -\$ 240 |
| RS | -\$ 14 | -\$ 18 | -\$ 2 | -\$ 6 | -\$ 9 | -\$ 11 | -\$ 12 | -\$ 14 | -\$ 15 | -\$ 19 | -\$ 24 |

Flujo de caja e indicadores de eficiencia económica para rotaciones entre veinte y treinta años para el Tratamiento 4

| EDAD | 20 | 21 | 22 | 23 | 24 | 25 | 26 | 27 | 28 | 29 | 30 |
|------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| 0 | -273 | -273 | -273 | -273 | -273 | -273 | -273 | -273 | -273 | -273 | -273 |
| 1 | -143 | -143 | -143 | -143 | -143 | -143 | -143 | -143 | -143 | -143 | -143 |
| 2 | -20 | -20 | -20 | -20 | -20 | -20 | -20 | -20 | -20 | -20 | -20 |
| 3 | -20 | -20 | -20 | -20 | -20 | -20 | -20 | -20 | -20 | -20 | -20 |
| 4 | -125 | -125 | -125 | -125 | -125 | -125 | -125 | -125 | -125 | -125 | -125 |
| 5 | -178 | -178 | -178 | -178 | -178 | -178 | -178 | -178 | -178 | -178 | -178 |
| 6 | -102 | -102 | -102 | -102 | -102 | -102 | -102 | -102 | -102 | -102 | -102 |
| 7 | -90 | -90 | -90 | -90 | -90 | -90 | -90 | -90 | -90 | -90 | -90 |
| 8 | -20 | -20 | -20 | -20 | -20 | -20 | -20 | -20 | -20 | -20 | -20 |
| 9 | -20 | -20 | -20 | -20 | -20 | -20 | -20 | -20 | -20 | -20 | -20 |
| 10 | -20 | -20 | -20 | -20 | -20 | -20 | -20 | -20 | -20 | -20 | -20 |
| 11 | -20 | -20 | -20 | -20 | -20 | -20 | -20 | -20 | -20 | -20 | -20 |
| 12 | -20 | -20 | -20 | -20 | -20 | -20 | -20 | -20 | -20 | -20 | -20 |
| 13 | -20 | -20 | -20 | -20 | -20 | -20 | -20 | -20 | -20 | -20 | -20 |
| 14 | -20 | -20 | -20 | -20 | -20 | -20 | -20 | -20 | -20 | -20 | -20 |
| 15 | -766,4 | -766,4 | -766,4 | -766,4 | -766,4 | -766,4 | -766,4 | -766,4 | -766,4 | -766,4 | -766,4 |
| 16 | -20 | -20 | -20 | -20 | -20 | -20 | -20 | -20 | -20 | -20 | -20 |
| 17 | -20 | -20 | -20 | -20 | -20 | -20 | -20 | -20 | -20 | -20 | -20 |
| 18 | -20 | -20 | -20 | -20 | -20 | -20 | -20 | -20 | -20 | -20 | -20 |
| 19 | -20 | -20 | -20 | -20 | -20 | -20 | -20 | -20 | -20 | -20 | -20 |
| 20 | 4468,16 | -20 | -20 | -20 | -20 | -20 | -20 | -20 | -20 | -20 | -20 |
| 21 | | 5162,79 | -20 | -20 | -20 | -20 | -20 | -20 | -20 | -20 | -20 |
| 22 | | | 6054,71 | -20 | -20 | -20 | -20 | -20 | -20 | -20 | -20 |
| 23 | | | | 6848,06 | -20 | -20 | -20 | -20 | -20 | -20 | -20 |
| 24 | | | | | 7595,68 | -20 | -20 | -20 | -20 | -20 | -20 |
| 25 | | | | | | 8395,37 | -20 | -20 | -20 | -20 | -20 |
| 26 | | | | | | | 9305,45 | -20 | -20 | -20 | -20 |
| 27 | | | | | | | | 10219,4 | -20 | -20 | -20 |
| 28 | | | | | | | | | 10587,7 | -20 | -20 |
| 29 | | | | | | | | | | 11107,8 | -20 |
| 30 | | | | | | | | | | | 12082,2 |
| VAN | -\$ 318 | -\$ 287 | -\$ 244 | -\$ 225 | -\$ 221 | -\$ 219 | -\$ 215 | -\$ 218 | -\$ 265 | -\$ 300 | -\$ 309 |
| VPS | -\$ 319 | -\$ 288 | -\$ 245 | -\$ 226 | -\$ 222 | -\$ 220 | -\$ 216 | -\$ 219 | -\$ 266 | -\$ 301 | -\$ 310 |
| RS | -\$ 32 | -\$ 29 | -\$ 24 | -\$ 23 | -\$ 22 | -\$ 22 | -\$ 22 | -\$ 22 | -\$ 27 | -\$ 30 | -\$ 31 |

Flujo de caja e indicadores de eficiencia económica para rotaciones entre veinte y treinta años para el Tratamiento 5

| EDAD | 20 | 21 | 22 | 23 | 24 | 25 | 26 | 27 | 28 | 29 | 30 |
|------------|---------------|----------------|---------------|---------------|---------------|----------------|---------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| 0 | -273 | -273 | -273 | -273 | -273 | -273 | -273 | -273 | -273 | -273 | -273 |
| 1 | -143 | -143 | -143 | -143 | -143 | -143 | -143 | -143 | -143 | -143 | -143 |
| 2 | -20 | -20 | -20 | -20 | -20 | -20 | -20 | -20 | -20 | -20 | -20 |
| 3 | -20 | -20 | -20 | -20 | -20 | -20 | -20 | -20 | -20 | -20 | -20 |
| 4 | -125 | -125 | -125 | -125 | -125 | -125 | -125 | -125 | -125 | -125 | -125 |
| 5 | -155 | -155 | -155 | -155 | -155 | -155 | -155 | -155 | -155 | -155 | -155 |
| 6 | -90 | -90 | -90 | -90 | -90 | -90 | -90 | -90 | -90 | -90 | -90 |
| 7 | -78 | -78 | -78 | -78 | -78 | -78 | -78 | -78 | -78 | -78 | -78 |
| 8 | -20 | -20 | -20 | -20 | -20 | -20 | -20 | -20 | -20 | -20 | -20 |
| 9 | -20 | -20 | -20 | -20 | -20 | -20 | -20 | -20 | -20 | -20 | -20 |
| 10 | -20 | -20 | -20 | -20 | -20 | -20 | -20 | -20 | -20 | -20 | -20 |
| 11 | -20 | -20 | -20 | -20 | -20 | -20 | -20 | -20 | -20 | -20 | -20 |
| 12 | -20 | -20 | -20 | -20 | -20 | -20 | -20 | -20 | -20 | -20 | -20 |
| 13 | -615,2 | -615,2 | -615,2 | -615,2 | -615,2 | -615,2 | -615,2 | -615,2 | -615,2 | -615,2 | -615,2 |
| 14 | -20 | -20 | -20 | -20 | -20 | -20 | -20 | -20 | -20 | -20 | -20 |
| 15 | -20 | -20 | -20 | -20 | -20 | -20 | -20 | -20 | -20 | -20 | -20 |
| 16 | -20 | -20 | -20 | -20 | -20 | -20 | -20 | -20 | -20 | -20 | -20 |
| 17 | -20 | -20 | -20 | -20 | -20 | -20 | -20 | -20 | -20 | -20 | -20 |
| 18 | -20 | -20 | -20 | -20 | -20 | -20 | -20 | -20 | -20 | -20 | -20 |
| 19 | -20 | -20 | -20 | -20 | -20 | -20 | -20 | -20 | -20 | -20 | -20 |
| 20 | 5733,01 | -20 | -20 | -20 | -20 | -20 | -20 | -20 | -20 | -20 | -20 |
| 21 | | 6238,66 | -20 | -20 | -20 | -20 | -20 | -20 | -20 | -20 | -20 |
| 22 | | | 7580,28 | -20 | -20 | -20 | -20 | -20 | -20 | -20 | -20 |
| 23 | | | | 8178,72 | -20 | -20 | -20 | -20 | -20 | -20 | -20 |
| 24 | | | | | 8691,89 | -20 | -20 | -20 | -20 | -20 | -20 |
| 25 | | | | | | 9201,8 | -20 | -20 | -20 | -20 | -20 |
| 26 | | | | | | | 10324,5 | -20 | -20 | -20 | -20 |
| 27 | | | | | | | | 11131,7 | -20 | -20 | -20 |
| 28 | | | | | | | | | 11729,6 | -20 | -20 |
| 29 | | | | | | | | | | 12467,5 | -20 |
| 30 | | | | | | | | | | | 12847,1 |
| VAN | -\$ 96 | -\$ 108 | -\$ 23 | -\$ 43 | -\$ 76 | -\$ 111 | -\$ 96 | -\$ 115 | -\$ 152 | -\$ 181 | -\$ 232 |
| VPS | -\$ 97 | -\$ 109 | -\$ 24 | -\$ 44 | -\$ 77 | -\$ 112 | -\$ 97 | -\$ 116 | -\$ 153 | -\$ 182 | -\$ 233 |
| RS | -\$ 10 | -\$ 11 | -\$ 2 | -\$ 4 | -\$ 8 | -\$ 11 | -\$ 10 | -\$ 12 | -\$ 15 | -\$ 18 | -\$ 23 |

Flujo de caja e indicadores de eficiencia económica para rotaciones entre veinte y treinta años para el Tratamiento 6

| EDAD | 20 | 21 | 22 | 23 | 24 | 25 | 26 | 27 | 28 | 29 | 30 |
|------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| 0 | -273 | -273 | -273 | -273 | -273 | -273 | -273 | -273 | -273 | -273 | -273 |
| 1 | -143 | -143 | -143 | -143 | -143 | -143 | -143 | -143 | -143 | -143 | -143 |
| 2 | -20 | -20 | -20 | -20 | -20 | -20 | -20 | -20 | -20 | -20 | -20 |
| 3 | -20 | -20 | -20 | -20 | -20 | -20 | -20 | -20 | -20 | -20 | -20 |
| 4 | -102 | -102 | -102 | -102 | -102 | -102 | -102 | -102 | -102 | -102 | -102 |
| 5 | -155 | -155 | -155 | -155 | -155 | -155 | -155 | -155 | -155 | -155 | -155 |
| 6 | -90 | -90 | -90 | -90 | -90 | -90 | -90 | -90 | -90 | -90 | -90 |
| 7 | -78 | -78 | -78 | -78 | -78 | -78 | -78 | -78 | -78 | -78 | -78 |
| 8 | -20 | -20 | -20 | -20 | -20 | -20 | -20 | -20 | -20 | -20 | -20 |
| 9 | -20 | -20 | -20 | -20 | -20 | -20 | -20 | -20 | -20 | -20 | -20 |
| 10 | -20 | -20 | -20 | -20 | -20 | -20 | -20 | -20 | -20 | -20 | -20 |
| 11 | -512,8 | -512,8 | -512,8 | -512,8 | -512,8 | -512,8 | -512,8 | -512,8 | -512,8 | -512,8 | -512,8 |
| 12 | -20 | -20 | -20 | -20 | -20 | -20 | -20 | -20 | -20 | -20 | -20 |
| 13 | -20 | -20 | -20 | -20 | -20 | -20 | -20 | -20 | -20 | -20 | -20 |
| 14 | -20 | -20 | -20 | -20 | -20 | -20 | -20 | -20 | -20 | -20 | -20 |
| 15 | -1215,2 | -1215,2 | -1215,2 | -1215,2 | -1215,2 | -1215,2 | -1215,2 | -1215,2 | -1215,2 | -1215,2 | -1215,2 |
| 16 | -20 | -20 | -20 | -20 | -20 | -20 | -20 | -20 | -20 | -20 | -20 |
| 17 | -20 | -20 | -20 | -20 | -20 | -20 | -20 | -20 | -20 | -20 | -20 |
| 18 | -20 | -20 | -20 | -20 | -20 | -20 | -20 | -20 | -20 | -20 | -20 |
| 19 | -20 | -20 | -20 | -20 | -20 | -20 | -20 | -20 | -20 | -20 | -20 |
| 20 | 2716,71 | -20 | -20 | -20 | -20 | -20 | -20 | -20 | -20 | -20 | -20 |
| 21 | | 3249,29 | -20 | -20 | -20 | -20 | -20 | -20 | -20 | -20 | -20 |
| 22 | | | 3769,64 | -20 | -20 | -20 | -20 | -20 | -20 | -20 | -20 |
| 23 | | | | 4281,69 | -20 | -20 | -20 | -20 | -20 | -20 | -20 |
| 24 | | | | | 4822,61 | -20 | -20 | -20 | -20 | -20 | -20 |
| 25 | | | | | | 5486,68 | -20 | -20 | -20 | -20 | -20 |
| 26 | | | | | | | 5948,82 | -20 | -20 | -20 | -20 |
| 27 | | | | | | | | 6526,56 | -20 | -20 | -20 |
| 28 | | | | | | | | | 6820,55 | -20 | -20 |
| 29 | | | | | | | | | | 7274,26 | -20 |
| 30 | | | | | | | | | | | 7529,73 |
| VAN | -\$ 815 | -\$ 783 | -\$ 761 | -\$ 749 | -\$ 740 | -\$ 725 | -\$ 734 | -\$ 737 | -\$ 763 | -\$ 779 | -\$ 807 |
| VPS | -\$ 816 | -\$ 784 | -\$ 762 | -\$ 750 | -\$ 741 | -\$ 726 | -\$ 735 | -\$ 738 | -\$ 764 | -\$ 780 | -\$ 808 |
| RS | -\$ 82 | -\$ 78 | -\$ 76 | -\$ 75 | -\$ 74 | -\$ 73 | -\$ 73 | -\$ 74 | -\$ 76 | -\$ 78 | -\$ 81 |

Anexo 6

Valores utilizados en la construcción de curvas de indiferencia

Precios críticos del producto podado para tres niveles de VPS a distintas tasas de interés

| Tasa de interés anual (i%) | Precio del producto podado (US\$/m3) | | |
|----------------------------|--------------------------------------|-------------------|--------------------|
| | VPS = 0 | VPS = 500 US\$/ha | VPS = 1000 US\$/ha |
| 0 | 18,6 | 22,6 | 26,6 |
| 1 | 20,6 | 25,5 | 30,5 |
| 2 | 22,8 | 29,0 | 35,1 |
| 3 | 25,5 | 33,1 | 40,8 |
| 4 | 28,6 | 38,1 | 47,5 |
| 5 | 32,3 | 43,9 | 55,6 |
| 6 | 36,6 | 50,9 | 65,3 |
| 7 | 41,7 | 59,3 | 76,9 |
| 8 | 47,6 | 69,3 | 90,9 |
| 9 | 54,6 | 81,1 | 107,6 |
| 10 | 62,8 | 95,2 | 127,6 |
| 11 | 72,5 | 112,0 | 151,5 |
| 12 | 83,9 | 132,0 | 180,1 |
| 13 | 97,2 | 155,7 | 214,3 |
| 14 | 112,9 | 183,9 | 255,0 |
| 15 | 131,3 | 217,4 | 303,5 |
| 16 | 152,9 | 257,1 | 361,2 |
| 17 | 178,2 | 304,1 | 429,9 |
| 18 | 208,0 | 359,7 | 511,4 |
| 19 | 242,8 | 425,5 | 608,2 |
| 20 | 283,6 | 503,2 | 722,8 |
| 21 | 331,4 | 595,0 | 858,6 |
| 22 | 387,3 | 703,2 | 1019,1 |
| 23 | 452,7 | 830,7 | 1208,8 |
| 24 | 529,1 | 980,8 | 1432,6 |
| 25 | 618,2 | 1157,3 | 1696,4 |
| 26 | 722,2 | 1364,6 | 2007,0 |
| 27 | 843,5 | 1607,9 | 2372,3 |
| 28 | 984,7 | 1893,1 | 2801,4 |
| 29 | 1149,1 | 2227,1 | 3305,1 |
| 30 | 1340,3 | 2617,9 | 3895,5 |

Volumen crítico de producto podado para tres niveles de VPS y distintas edades de rotación.

| Rotación | VPS = 0 | VPS = 500 US\$/ha | VPS = 1000 US\$/ha |
|----------|---------|-------------------|--------------------|
| 20 | 109,7 | 168,0 | 226,3 |
| 21 | 115,8 | 178,4 | 241,0 |
| 22 | 128,1 | 194,1 | 260,2 |
| 23 | 133,8 | 204,1 | 274,4 |
| 24 | 139,3 | 214,7 | 290,1 |
| 25 | 144,7 | 224,5 | 304,3 |
| 26 | 154,0 | 240,8 | 327,6 |
| 27 | 163,6 | 256,7 | 349,8 |
| 28 | 177,3 | 277,5 | 377,7 |
| 29 | 191,1 | 299,6 | 408,1 |
| 30 | 207,1 | 325,6 | 444,2 |

Relación entre precios de productos podados y pulpables para tres niveles constantes de VPS

| VPS = 0 | | VPS = 500 US\$/ha | | VPS = 1000 US\$/ha | |
|-----------------|------------------|-------------------|------------------|--------------------|------------------|
| pulpa (US\$/m3) | podado (US\$/m3) | pulpa (US\$/m3) | podado (US\$/m3) | pulpa (US\$/m3) | podado (US\$/m3) |
| 0 | 71 | 0 | 103 | 0 | 136 |
| 133 | 0 | 193 | 0 | 254 | 0 |

Relación entre volumen de productos podados y pulpables para tres niveles constantes de VPS

| VPS = 0 | | VPS = 500 US\$/ha | | VPS = 1000 US\$/ha | |
|---------------|----------------|-------------------|----------------|--------------------|----------------|
| pulpa (m3/ha) | podado (m3/ha) | pulpa (m3/ha) | podado (m3/ha) | pulpa (m3/ha) | podado (m3/ha) |
| 594 | 0 | 865 | 0 | 1136 | 0 |
| 0 | 144 | 0 | 210 | 0 | 276 |