Universidad Austral de Chile
Facultad de Ciencias Forestales

# Determinación de la edad de rotación óptima para dos variedades híbridas del género *Populus* ubicadas en el valle central de la Región del Maule.

Profesor Guía: Sr. Mario Meneses

Tesis de Grado presentada como parte de los requisitos para optar al Titulo de **Ingeniero Forestal.**

**LUIS HUMBERTO VILLACURA ZAPATA**

**VALDIVIA**

**2012**

Universidad Austral de Chile
Facultad de Ciencias Forestales

# Determinación de la edad de rotación óptima para dos variedades híbridas del género *Populus* ubicadas en el valle central de la Región del Maule.

Profesor Guía: Sr. Mario Meneses

Tesis de Grado presentada como parte de los requisitos para optar al Titulo de **Ingeniero Forestal.**

**LUIS HUMBERTO VILLACURA ZAPATA**

**VALDIVIA**

**2012**

# CALIFICACION DEL COMITE DE TITULACION

| | | **NOTA** |
|---|---|---|
| Profesor Guía: | Sr. Mario Meneses López | 5,6 |
| Informante: | Sr. Gonzalo Paredes Veloso | 6,0 |
| Informante: | Sr. Mario Niklitschek | 5,8 |

El profesor guía acredita que la presente Tesis de Grado cumple con los requisitos de contenido y forma contemplados en el reglamento de Titulación de la 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.

Sr. Mario Meneses López

*A MIS QUERIDOS PADRES y HERMANO*

**Por su Ejemplar Educación, Eterno Amor**
**y Prolongado Sacrificio**

# Agradecimientos

El desarrollo de este trabajo no hubiera sido posible sin el respaldo, apoyo profesional y humano de muchas personas que han colaborado con el desarrollo de este trabajo, como: la empresa Compañía Agrícola y Forestal El Alamo Ltda., que colaboró facilitando los datos, al Sr. Sergio Sáenz por su valiosa colaboración brindada en esta última etapa y al profesor Mario Meneses, por su paciencia y dirección de la tesis.

Comparto esta alegría con mis padres, quienes con su esfuerzo lograron inculcar profundamente sus altos valores y que con su eterno amor, dieron forma a la persona que desearon; gracias mamá por tu infinito amor y por ser la mejor del mundo, gracias papá ya que sin tu dedicado esfuerzo, trabajo y empeño, no sé si hoy estaría redactando estas palabras…gracias a mi querido hermano Cristian, por su continuo ánimo e incansable apoyo para que terminara este importante proceso después de tantos años…Esto es para toda mi familia y especialmente para ti Papá que hoy lo disfrutas desde el cielo. Finalmente, he cumplido mi compromiso, estoy feliz por lograrlo, pero muy triste a la vez, porque tú no estás conmigo para disfrutarlo, como sé que te hubiese gustado, para sentirte orgulloso de tu hijo.

Ahora cierro un ciclo, después de un largo periodo, un compromiso con mi Padre, mi Madre, mi hermano, mi familia, mi esposa y mis hijos, que nunca olvidé y que sabía que en algún momento de mi vida debía cumplir, obtener mi título profesional. Esta alegría la quiero compartir con muchas personas, pero en especial con mi familia, Marcia, mi esposa y eterna compañera, la madre de mis hijos y la mujer que me ha dado un ejemplo eterno de lo importante que es dar la pelea por lo que uno cree y quiere, sobre todo por la vida; con mis hijos Ignacio, Catalina e Isidora, quienes han sido incansables en recordarme mi responsabilidad y compromiso en obtener el título profesional y de quienes me siento tremendamente orgulloso.

# INDICE DE MATERIAS


| | | Página |
|---|---|---|
| **1.** | **INTRODUCCIÓN** | **1** |
| **2.** | **REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA** | **3** |
| **2.1** | **De la rotación biológica** | **3** |
| **2.2** | **De la rotación financiera** | **5** |
| 2.2.1 | Indicadores económicos | 6 |
| **2.3** | **Antecedentes generales de la especie** | **8** |
| 2.3.1 | Descripción de la especie | 8 |
| 2.3.2 | Requerimientos ecológicos | 9 |
| 2.3.3 | Requerimientos climáticos | 9 |
| 2.3.4 | Requerimientos hídricos | 10 |
| 2.3.5 | Requerimientos edáficos | 10 |
| 2.3.6 | Otros antecedentes | 10 |
| **2.4** | **Usos de la madera** | **11** |
| **3.** | **MATERIAL Y MÉTODO** | **13** |
| **3.1** | **Descripción área de estudio** | **13** |
| 3.1.1 | Características climáticas | 14 |
| 3.1.2 | Características de suelo | 14 |
| **3.2** | **Definición alternativas de evaluación** | **15** |
| 3.2.1 | Plantaciones de álamo | 15 |
| 3.2.2 | Cultivos agrícolas asociados | 17 |
| **3.3** | **Determinación rendimiento plantaciones de álamo** | **17** |
| **3.4** | **Función de rendimiento** | **18** |
| **3.5** | **Determinación de la edad de rotación** | 21 |
| 3.5.1 | Rotación biológica | 21 |
| 3.5.2 | Rotación económica | 21 |
| **3.6** | **Diferenciación precios de la madera** | **23** |
| **4.** | **RESULTADOS Y DISCUSIÓN** | **25** |
| **4.1** | **Determinación edad de rotación según Máximo Rendimiento Medio** | **25** |
| 4.1.1 | Esquema tradicional actual | 25 |
| 4.1.2 | Esquema rodales con proyección de rendimiento | 28 |

**4.2 Determinación edad de rotación según VPS** **30**
4.2.1 Estructura de costos régimen de manejo 31
4.2.2 Precio de la madera 31
4.2.3 Determinación rentabilidad plantaciones. Esquema tradicional. Precio fijo 32
4.2.4 Determinación rentabilidad plantaciones. Proyección de rendimiento. Precio fijo 36
4.2.5 Determinación rentabilidad plantaciones. Proyección de rendimiento. Precio variable 38
4.2.6 Edad de Rotación y rentabilidad según indicadores biológico y financiero 40
4.2.7 Análisis de sensibilidad según distancia de transporte de la madera 43
**4.3 Rentabilidad y longitud óptima de rotación** **46**
**5. CONCLUSIONES** **49**
**6. RESUMEN** **52**
**7. *SUMMARY*** **54**
**8. BIBLIOGRAFÍA** **55**
**9. ANEXOS** **57**

## INDICE DE CUADROS


| | | |
|---|---|---|
| Cuadro N$^{o}$ 1 | Esquema de manejo plantaciones de álamo | 20 |
| Cuadro N$^{o}$ 2 | Criterio de selección de arboles muestra. | 22 |
| Cuadro N$^{o}$ 3 | Descripción muestra de análisis fustales híbrido I-488. | 23 |
| Cuadro N$^{o}$ 4 | Descripción muestra de análisis fustales híbrido I-6351 | 23 |
| Cuadro N$^{o}$ 5 | Programa y estructura de costos de manejo silvícola | 25 |
| Cuadro N$^{o}$ 6 | Rendimiento debobinado en función del diámetro de troza | 26 |
| Cuadro No 7 | Valor de la madera según diámetro de troza | 27 |
| Cuadro N$^{o}$ 8 | Existencia volumétrica por edad y sitio, híbridos I-488 e I-6351 | 29 |
| Cuadro N$^{o}$ 9 | Existencia volumétrica rodales con proyección de rendimiento | 32 |
| Cuadro N$^{o}$ 10 | Estructura de costos plan de manejo | 34 |
| Cuadro N$^{o}$ 11 | Rentabilidad según VPS, índice de sitio y tasa de descuento. Sin cultivo agrícola | 35 |
| Cuadro N$^{o}$ 12 | Rentabilidad según VPS, índice de sitio y tasa de descuento. Con cultivo agrícola | 36 |
| Cuadro N$^{o}$ 13 | Rentabilidad y turno según VPS. Proyección de rendimiento. | 39 |
| Cuadro N$^{o}$ 14 | Comparación del turno y rentabilidad según esquema de manejo | 40 |
| Cuadro N$^{o}$ 15 | Comparación del turno y rentabilidad según precio de la madera. | 42 |
| Cuadro N$^{o}$ 16 | Comportamiento del turno y rentabilidad según indicadores económicos. | 43 |
| Cuadro N$^{o}$ 17 | Efecto de la distancia de transporte en el VPS | 46 |
| Cuadro N$^{o}$ 18 | Edad de rotación y rentabilidad según criterio biológico | 49 |
| Cuadro No 19 | Edad de rotación y rentabilidad según criterio financiero. | 50 |

## INDICE DE FIGURAS


| | | Página |
|---|---|---|
| Figura N° 1 | Relaciones entre curvas de volumen total, IMA e ICA | 5 |
| Figura N° 2 | Area de distribución de predios de CAF El Alamo Ltda. | 17 |
| Figura N° 3 | Fundo Copihue. Rodales muestreados | 18 |
| Figura N° 4 | Tabla y gráfico de la distribución diamétrica por rodal | 22 |
| Figura N° 5 | Rendimiento debobinado en función del diámetro de troza. | 26 |
| Figura N° 6 | Curvas de IMA e ICA. Híbridos I-488 e I-6351. I. de Sitio I y II. | 28 |
| Figura N° 7 | Curvas de crecimiento acumulado según Indice de Sitio. | 30 |
| Figura N° 8 | Tasa de disminución del crecimiento según I. de Sitio | 30 |
| Figura N° 9 | Tasa de disminución del crecimiento por edad | 31 |
| Figura N° 10 | Curvas de IMA e ICA. Rodales con proyección de rendimiento | 32 |
| Figura N° 11 | Tabla de existencia y curvas de crecimiento. Rodales cosechados a diferentes edades. | 33 |
| Figura N° 12 | Evolución VPS y edad de corta | 36 |
| Figura N° 13 | Diferencia de rentabilidad entre ambos híbridos | 37 |
| Figura N° 14 | Evolución VPS y edad de corta. | 39 |
| Figura N° 15 | Evolución VPS y edad de corta según precio de la madera | 42 |
| Figura N° 16 | Evolución edad de corta según indicador de rotación | 44 |
| Figura N° 17 | Rentabilidad y turno híbrido I-6351. | 44 |
| Figura N° 18 | Rentabilidad y turno híbrido I-488 | 46 |
| Figura N° 19 | Diferencia de rentabilidad entre ambos híbridos según VPS. | 48 |
| Figura N° 20 | Tendencia VPS híbridos I-488 e I-6351, según distancia de transporte de la madera. | 49 |
| Figura N° 21 | Comportamiento del periodo de rotación | 50 |

## 1. INTRODUCCIÓN.

En las últimas décadas, en nuestro país han adquirido gran importancia las plantaciones con especies exóticas, destacándose principalmente el Pino Insigne (*Pinus radiata* D. Don) y Eucalipto (*Eucalyptus globulus* Labill y *Eucalypus nitens* Maiden, principalmente), que imprimieron tal fuerza al desarrollo forestal chileno, que ha eclipsado cualquier eventual búsqueda de nuevas alternativas de interés económico, social, paisajista o ambiental. Así, esta especie ha tenido pocas oportunidades de mostrar sus excelentes potencialidades como rapidez y alta tasa de crecimiento volumétrico, gran plasticidad y flexibilidad para desarrollarse en una amplia distribución geográfica y variadas condiciones de sitio.

Enmarcado en esta perspectiva, el álamo tiene una oportunidad muy atractiva para potenciar fuertemente el sector forestal y agrícola chileno, debido al gran poder de integración a sistemas silvoagropecuarios, lo cual, permite diversificar la producción y capitalizar los predios de los pequeños y medianos agricultores.

Una forma de incentivar el cultivo comercial de esta especie, es generar y disponer de mayor información e investigación científica respecto del cultivo del álamo en Chile, constituyéndose, lo anterior, en la principal motivación que orientó la realización de este estudio, especialmente hacia aspectos que permitan maximizar la rentabilidad de las plantaciones de Alamos, optimizando el manejo silvícola, con regímenes orientados a la producción de madera de mayor calidad y precio, como son las trozas debobinables de alto valor.

Por ello, cobra mucha importancia la implementación de ensayos que respondan estas interrogantes, que permitan evaluar detalladamente la ejecución de podas, fertilizaciones, controles de malezas, riegos y otras labores, que permitan desarrollar una silvicultura especifica y de precisión, tendiente a lograr un aumento de la calidad de los rollizos. Por otro lado, cada vez es más importante 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.

Enmarcado en este contexto, uno de los aspectos más importantes de considerar en la planificación y evaluación de todo proyecto, corresponde al término **Rotación y Rentabilidad**, que es posible determinar a través de la aplicación de los criterios biológicos y económicos. Ambos criterios, serán estudiados y aplicados a un caso específico, considerando como alternativa de producción rollizos debobinables para las dos variedades híbridas de álamo más importantes utilizadas actualmente por la Compañía Agrícola y Forestal El Alamo Ltda., que se describirán de acuerdo a la especie, condiciones de sitio, densidad y esquema de manejo silvícola aplicado, no tradicional, como son las plantaciones de Alamo, establecidas en la comuna de Retiro, provincia de Linares, VII Región del Maule.

Basado en los conceptos anteriores, el objetivo principal del presente estudio, es determinar la edad de rotación óptima para dos variedades híbridas del genero *Populus* cultivadas por la Compañía Agrícola y Forestal El Álamo Ltda., en el valle central de la Región del Maule.

El cumplimiento del objetivo propuesto, se basa en la experiencia reportada por una empresa forestal dedicada por más de setenta años al cultivo del álamo en Chile y el cumplimiento de los siguientes objetivos específicos:

a) Determinar la existencia volumétrica por edad para los clones I-488 e I-63/51.

b) Determinar la edad de rotación de las plantaciones de álamo de acuerdo al criterio volumétrico.

c) Establecer la rentabilidad de un proyecto específico y puntual de acuerdo el esquema de manejo aplicado y a los costos de producción y a los ingresos esperados.

d) Determinar la edad de rotación óptima de acuerdo a un criterio o modelo de madurez financiera.

e) Determinar el efecto de diferenciar el precio de la madera según diámetro de la troza, en la rentabilidad y edad de rotación de cada variedad.

## 2. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA.

Numerosos han sido los tipos de criterios elaborados para decidir cuándo cortar un bosque, entre los cuales se destacan los de naturaleza Física (Técnica), Biológica (Volumétrica) y Económica. (Newman, 1988; Chacón, 1995).

Determinar y decidir cuál es la longitud óptima de rotación, que corresponde al tiempo requerido para producir los productos del tamaño y características deseadas, es un tema que ha sido debatido largamente, en el cual han existido diferencias de opinión entre economistas y biólogos.

En general el objetivo, según los biólogos, del manejo de los bosques ha sido tradicionalmente producir el máximo rendimiento de madera. Por otro lado, los economistas han cuestionado la teoría anterior, argumentando, que es demasiado larga comparada con el periodo de rotación, calculada por modelos de madurez financiera. (Yin y Newman, 1997).

Generalmente, en la práctica se comprueba el hecho que los árboles son cosechados a una edad mayor que la indicada por los modelos económico-financieros, pero más corta que lo indicado por los modelos biológicos. (Johansson y Lofgren, 1985).

### 2.1 De la Rotación Biológica.

El fundamento biológico que determina la edad de rotación, se define mediante la culminación del incremento medio anual, que a su vez define la producción total del bosque para determinadas condiciones de sitio. Corresponde al punto donde el crecimiento anual corriente se iguala al crecimiento medio anual del bosque. (Chacon, 1995)

Este modelo, para determinar la edad de cosecha, no concita discusión y es reconocido por todos los autores, aunque ignora el costo más significativo de la producción forestal, el costo del interés o lo que también es llamado el valor del dinero en el tiempo. Es decir, asume que utilizar el capital en el tiempo no significa costo para la compañía, por lo tanto, postergar la cosecha por un año más, no significa un costo adicional para la empresa. Este supuesto se podría justificar solo si la empresa no tuviera un uso alternativo para su capital, dinero y tierra.

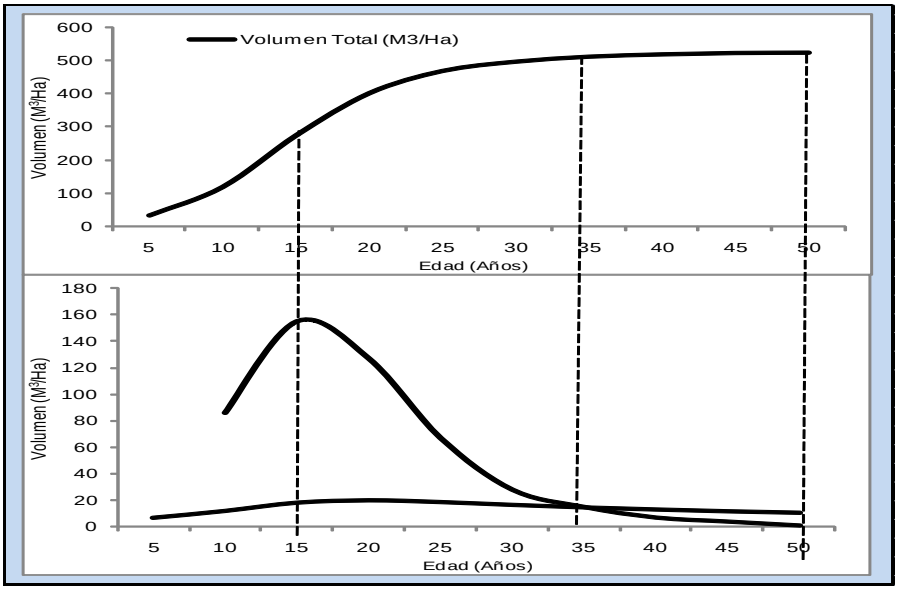



Figura N$^{o}$ 1. Relaciones entre las Curvas de Volumen Total, IMA e ICA.

El máximo de madera, se obtiene maximizando el IMA, que representa el volumen total existente en un determinado año dividido por el número de años transcurridos desde el establecimiento del rodal. La figura N$^{o}$ 1, ilustra la relación que existe entre el volumen total máximo de madera que se puede obtener cuando el incremento medio alcanza su máximo, procedimiento que ignora la existencia de la tasa de interés (Modelo de interés 0).

La maximización del volumen de extracción llevaría a cosechar el rodal, cuando se interceptan las curvas de incremento medio anual con la curva de incremento corriente anual, forma tradicional de determinar la edad de rotación, con el propósito de obtener la máxima producción de madera de la plantación.

Para aplicar este modelo de rotación biológica es necesario determinar y conocer la producción o rendimiento de la plantación a través del tiempo. Para medir el crecimiento existen técnicas que toda literatura especializada en este tema, cita como las más adecuadas, refiriéndose, específicamente a los análisis de tallo para árboles individuales y parcelas de tipo temporal o permanente para estimar el crecimiento de rodales.

Uno de los objetivos principales del estudio de crecimiento, es poder predecir y conocer estimativamente el crecimiento futuro de las plantaciones, siendo aquí donde las mediciones pasadas, son de gran importancia, como aquellas que entregan los análisis de tallos, herramienta fundamental para conocer el crecimiento histórico de los bosques, el cual, reflejará la interacción ocurrida durante el periodo de rotación, de variables tan importantes como: Tipo de clon (Genéticos), calidad de sitio (Medio ambiente), técnicas de cultivo (Manejo silvícola) y densidad (Competencia).

Para llegar a conocer el momento en que culmina el incremento medio, en este caso especifico en estudio, se necesitan aplicar técnicas que permitan proyectar el crecimiento real y conocer estimativamente el crecimiento futuro. Para esto existen métodos directos, basados en el análisis del crecimiento histórico del rodal que se desea proyectar, o indirectos basados en el estudio de rodales similares al que deseamos estudiar, pero de mayor edad.

El método indirecto, corresponde a la forma gráfica, existiendo dos formas: la primera es por medio de la prolongación de la curva de crecimiento de acuerdo al crecimiento pasado; y la segunda es, por la comparación de curvas de desarrollo del rodal con una curva determinada de acuerdo a los parámetros de otro rodal de mayor edad (curva guía).

## 2.2 De la Rotación Financiera.

Toda la bibliografía forestal consultada respecto del tema incorpora alguna discusión o debate sobre la problemática de decidir cuándo un rodal está maduro para su cosecha, con el fin de maximizar los ingresos.

En un trabajo de revisión bibliográfica, realizado por Bentley y Teeguarden (1965) sobre la madurez financiera y finalmente revisado y actualizado por Morales y Olivares (1983), fueron analizados los diferentes tipos de modelos de madurez financiera empleados en el Sector Forestal para determinar el momento óptimo de cosecha. Los modelos analizados fueron: Modelo de interés cero, modelo de valor neto presente, y los modelos de tasa interna de retorno.

En general, todos estos autores, sin hacer una elección de cuáles son los criterios para determinar el momento óptimo de la cosecha, concuerdan en que los criterios se diferencian de acuerdo a los supuestos empleados y que la solución será valida en la medida que cada supuesto sea una descripción valida de la situación o escenario donde se desarrollo el proyecto.

Un estudio realizado por Fraser *et al*. (1977), al analizar los modelos de valor neto presente (VAN) y tasa interna de retorno (TIR) concluye que no existe una unificación de criterios en el sector forestal respecto de cuál modelo es más eficiente o exacto, por lo cual, es una tema aún vigente en su discusión.

En su opinión, cree que se favorece más el uso del modelo VAN por sobre del uso de la TIR, aunque los argumentos para favorecer a un modelo no son decisivos. Convenientemente interpretados ambos modelos debieran entregar, en la mayor parte de los casos, resultados similares, por lo tanto se debe tener un claro conocimiento y habilidad para usar adecuadamente ambos modelos.

Otro trabajo interesante de analizar es el realizado por Newman (1985), donde comenta los seis criterios de rotación empleados en el Sector Forestal a lo largo de la historia. Este autor tampoco hace una elección respecto de la cual criterio resulta más apropiado para determinar la edad óptima de rotación.

En lo que sí existe un cierto grado de concordancia, es en torno a que hay que considerar el valor del dinero en el tiempo, y emplear como tasa de actualización la tasa mínima atractiva para la aceptación de proyectos, que en proyectos de largo plazo, como es el caso de la producción forestal, es el costo más significativo.

Dentro de los modelos financieros más populares y de mayor aceptación entre profesionales e investigadores relacionados con el sector forestal, son aquellos que consideran el valor del dinero en el tiempo, como el valor actual neto, la tasa interna de retorno y el valor potencial del suelo (VPS) o modelo de Faustmann, actualmente también llamado Valor Económico del Suelo (VES). (Chacon, 1995).

Este último modelo surgió como una necesidad de disponer de una herramienta financiera para realizar el avalúo del suelo forestal, modalidad empleada por el gobierno de Estados Unidos para expropiar las tierras forestales para destinarlas a la agricultura, por cuanto determina el valor máximo que se puede pagar por la tierra para obtener la máxima rentabilidad. (Newman, 1985).

Finalmente, Chang (1984), a través de un análisis de costos y retornos marginales, realiza una interpretación de las condiciones que se deben cumplir para determinar la edad de rotación óptima. La plantación debe ser cosechada cuando el retorno marginal del producto es menor o igual que la suma de los costos marginales de mantener el stock de crecimiento y los costos de mantener la tierra. Para esto realiza un análisis a través de la maximización del VPS y establece las condiciones que permiten tomar decisiones acertadas al propietario en cuanto a la continuidad de la plantación por un año más o la cosecha del rodal.

### 2.2.1 Indicadores Económicos.

- **Valor actual neto (VAN).** El VAN involucra la suma de los valores presentes de los retornos, menos la suma de los valores presentes de los costos (Davis y Johnson, 1987). Mientras tanto la TIR matemáticamente es la tasa de descuento que hace al VAN igual a cero. (Clutter *et al.*, 1992).

  El VAN es una buena herramienta para evaluar los resultados de un proyecto forestal, ya que en el flujo de caja de ingresos y costos, se consideran todas las actividades contempladas dentro del régimen silvicultural, que 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 determinar el objetivo de madurez financiera. La forma de estimar el VAN es la siguiente:

$$VAN = \sum \frac{I_{(t)}}{(1+i)t} - \sum \frac{C(t)}{(1+i)t}$$

Donde:

I(t) : Ingreso en el período t ($/Ha)
C(t) : Costos en el período t ($/Ha)
i : Tasa de Descuento (%)

- **Valor potencial del suelo (VPS).** El suelo puede ser considerado un bien de capital capaz de producir bienes y servicios, por lo tanto, el valor económico del suelo se puede definir conceptualmente como el valor actual de todos los beneficios futuros generados por el suelo, en otras palabras, corresponde al valor actual de los beneficios netos de todas las futuras rotaciones del bosque planificadas sobre dicho suelo, para una determinada tasa de interés, sin considerar el costo de utilizar el suelo y bajo un determinado esquema de manejo, lo anterior se puede expresar bajo el siguiente modelo:

$$VPS = \frac{P_{(t)} * Q_{(t)} - \sum SC_j (1+i)^{t-j} - C_r}{(1+i)^t - 1} - Cf - a / i$$

Donde:

VPS : Valor potencial del suelo ($/Ha)
$P_{(t)}$ : Valor de la madera cosechada a la edad t ($/$M^3$)
$Q_{(t)}$ : Rendimiento del rodal a la edad t ($M^3$/Ha)
$SC_j$ : Costos silvícolas (Malezas, Podas, Fertilización) a la edad j ($/Ha)
Cr : Costos de reforestación ($/Ha)
Cf : Costos de plantación inicial ($/Ha)
a : Gastos anuales de administración, protección y manejo ($/Ha/Año)
i : Tasa de descuento (%)

Este indicador de rentabilidad es el mejor desde el punto de vista económico, incluso es utilizado para determinar el esquema de manejo óptimo que maximice el aprovechamiento de un sitio determinado (Chacón, 1995), resultando ser un modelo muy consistente desde un punto de vista teórico-práctico y totalmente adecuado para determinar rotaciones óptimas en rodales coetáneos, como corresponde a los bosques de álamos en estudio que posee la Cía. Agrícola y Forestal El Álamo Ltda.

Además, permite la comparación y evaluación directa de diferentes híbridos, una especie con diferentes proyectos o distintos largos de rotación, debido que el horizonte de comparación es el mismo, es decir, infinitas rotaciones (Davis y Johnson, 1987).

En forma práctica, indica el precio máximo que se puede pagar por la tierra sobre la cual se desarrollará la plantación según determinadas variables de sitio y mercado, considerando el costo de oportunidad del capital, vuelo y suelo.

En general, la edad de 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 (Ingresos), la rotación se acorta.

- **Renta del suelo (RS).** Con un objetivo similar al que tiene el VES, se aplicó el criterio conocido como Renta del Suelo, que corresponde a la renta anual calculada a partir del Valor económico del Suelo. Se utiliza este método, para compararlo con la renta del suelo para uso agrícola. Lo anterior con el propósito de determinar si el cultivo forestal de esta especie permite pagar un arriendo del suelo para el uso de cultivos agrícolas comúnmente producidos en el área de estudio.

$$RS = VPS * i$$

Donde:

RS : Renta del suelo ($/Ha)
VPS : Valor potencial del suelo ($/Ha)
i : Tasa de descuento (%).

De acuerdo a forma matemática de cálculo, maximizar la renta del suelo, es igual a maximizar el valor potencial del suelo, diferenciándose solo por la unidad de tiempo en que se evalúa la rentabilidad del cultivo.

## 2.3 Antecedentes generales de la especie.

### 2.3.1 Descripción de la especie.

Los álamos, género *Populus*, pertenecen botánicamente al orden Salicales, Familia Salicaceae, grupo amentifloras, que a su vez pertenecen a la sub-clase monoclamídeas, clase dicotiledóneas, subdivisión angiospermas y división fanerógamas. (FAO, 1956; FAO, 1980).

La especies pertenecientes a la familia de las salicáceas tienen ciertas características muy particulares que le proporcionan un carácter original con relación a otros árboles productores de madera, tales como: su sistema de propagación es esencialmente por la vía vegetativa (Reproducción asexuada), son arboles dioicos y la hibridación es frecuente.

Este género está conformado por más de 30 especies a partir de las cuales se han obtenido una gran cantidad de híbridos de alta calidad forestal, que fundamentalmente se distribuyen en forma natural en el hemisferio Norte, principalmente en Asia, Europa y América. (FAO, 1980).

Específicamente en Chile, los álamos se han observado hasta Tierra del Fuego y desde el nivel del mar hasta los 1.600 metros sobre el nivel del mar. Las plantaciones se concentran fundamentalmente entre Aconcagua y Bío-Bío, aunque en el último tiempo se ha extendido su distribución hasta la décima región.

Las especies pertenecientes a la familia de las salicáceas tienen ciertas características muy particulares que le proporcionan un carácter original con relación a otros árboles productores de maderas, tales como: Su propagación es esencialmente por la vía vegetativa (reproducción asexuada), son árboles dioicos y la hibridación es frecuente.

Estas características son las que han permitido masificar su cultivo. Este tipo de propagación es el único medio que permite capturar en forma inmediata toda la ganancia genética de la especie o clon, por lo cual las plantaciones son muy homogéneas, al estar constituida por individuos genéticamente idénticos. (FAO, 1980).

### 2.3.2 Requerimientos ecológicos.

Los álamos tienen requerimientos ecológicos muy especiales, haciendo que su cultivo sea bastante diferente a otras especies forestales, asemejándose más a un cultivo agrícola, es mas, los suelos utilizados para su producción son de aptitud agrícola. (CONAF, 1998).

Durante el periodo de latencia o receso vegetativo se comportan como plantas rústicas de gran tolerancia a condiciones adversas del medio, en cambio en el periodo vegetativo requieren fundamentalmente de abundante agua, luz y altas temperaturas. (CONAF, 1998). Los requerimientos de la especie que se deben satisfacer para alcanzar su mejor desarrollo son aquellos relativos a factores climáticos, hídricos y edáficos.

### 2.3.3 Requerimientos climáticos.

**Necesidades de luz.** Los álamos son plantas heliófilas, que tienen altos requerimientos de luz y por lo tanto, gran actividad fotosintética. Además muestran sensibilidad al fototropismo y el fotoperiodo es fundamental para determinar el periodo de crecimiento. (FAO, 1956).

**Temperatura**. Los álamos responden sensible y positivamente a las altas temperaturas de verano. Para alcanzar un desarrollo óptimo de los álamos se requiere de altas temperaturas de primavera y verano, hasta un máximo de 35º a 40º C.

En el periodo de latencia poseen gran resistencia a temperaturas bajas y heladas fuertes, sin embargo, durante el periodo vegetativo pueden ocasionar graves daños. Los álamos, tanto, en el periodo de crecimiento como en el de receso vegetativo, necesitan la acumulación de días grados para alcanzar su óptimo desarrollo. (FAO, 1980).

### 2.3.4 Requerimientos hídricos.

Los álamos son especies con altos requerimientos hídricos (hidrófilas), los cuales fluctúan entre los 8.000 a 10.000 $m^3$ $ha^{-1}$ de agua de riego, equivalentes entre 800 a 1.000 mm., de precipitación durante los seis meses de crecimiento vegetativo, del cual, dependerá en gran medida el éxito del cultivo. Por este motivo los álamos deben ubicarse en terrenos con posibilidades de riego, en la rivera de los ríos o esteros y en aquellas zonas donde sea suficiente con el aporte del agua lluvia.

### 2.3.5 Requerimientos edáficos.

Esta especie prefiere suelos de texturas medias a livianas, es decir, de preferencia areno-limosos, o francos limo-arcillosos, bien aireados (buena permeabilidad y drenaje), no compactados y profundos (no inferior a 70 cm.). Los suelos con un contenido de arcilla superior a un 30 % no deben ser considerados para su cultivo, al igual que aquellos que presentan aguas estancadas poco oxigenadas y donde la napa freática no baja mas de 50 cm. desde la superficie del suelo. El pH del suelo debe ser cercano a la neutralidad y su óptimo se encuentra entre 6,5 y 7,0. (CONAF, 1998).

En general, al nivel radical requiere de abundante oxigeno, por lo tanto, los suelos no deben ser compactados, no soporta la salinidad, el agua detenida con altas temperaturas, ni las inundaciones por tiempo prolongado durante el periodo de actividad vegetativa. (CONAF, 1998).

### 2.3.6 Otros antecedentes.

Los cultivares más usados en este momento en Chile, por sus ventajas en términos de crecimiento, calidad de madera y adaptabilidad a variadas condiciones de sitio son el *Populus nigra* Cv. “Itálica” y los *Populus* X *Euroamericano* Cv. “I - 63/51”, “I - 488” e “I - 214”. (CONAF, 1998).

En términos generales, las plantaciones artificiales de álamo son de rotaciones cortas, que acumulan rápidamente un gran volumen de alta calidad con densidades de 278 a 312 árboles por hectárea, pueden alcanzar turnos entre 10 a 15 años con una producción de 320 a 350 $m^3$ $ha^{-1}$, con un crecimiento medio de 23 a 25 $m^3$ $ha^{-1}$ al año. Este tipo de plantaciones, con amplios espaciamientos (Mayores a 32 $M^2$), son capaces de proporcionar madera de grandes dimensiones (entre 35 a 40 cms de diámetro y una altura entre 30 a 35 mts de altura), ideal para su utilización en el proceso de debobinado con destino a la producción de chapas, fósforos, cajitas, palos de helado, schopstick, etc. (Baeyens-López, 1990).

Pero también es una especie muy sensible a la competencia y su alto requerimiento de luz los hace individuos muy intolerantes, por lo que requieren una gran distancia de plantación. (Baeyens-López, 1990).

En Chile existen aproximadamente 11.000 hectáreas plantadas con esta especie, considerando las plantaciones en bosques y las alamedas, que corresponden al 0,6 % de la superficie total de plantaciones exóticas en el ámbito nacional, constituyéndose en la sexta especie exótica más importante del país. (CONAF, 1998).

Del total de plantaciones con esta especie, aproximadamente un 30 % se encuentra localizado en la Región del Maule, un 18 % en la Región del Libertador Bernardo O'Higgins y el saldo en el resto del país, con una estructura de propiedad bastante atomizada.

## 2.4 Usos de la madera.

La madera de álamo es blanda, presenta una densidad de 270 a 420 kg $m^{-3}$, fácil de trabajar, de color claro, blanco cremoso, sin un veteado marcado, de densidad baja a media, liviana, sin olor, sin sabor y fácil de teñir.

La textura de la madera es en general fina a media, de buenas condiciones para el pulido, es decir, presenta características muy particulares, que la hacen más idónea para algunas utilizaciones concretas que otras especies, aunque se encuentra prácticamente en todas las aplicaciones en que se emplea la madera como materia prima, tales como: aserrado, debobinado, tableros de fibra, tablero de partículas, para pasta y papel y para la generación de biomasa. (Baeyens-López, 1990).

En general, se caracteriza por tener fibra corta y de alta resistencia mecánica con relación a su peso (densidad), esta madera se ubica dentro de las catalogadas como livianas que dependiendo del clon, los anillos de crecimiento pueden ser bastante visibles. La calidad de la madera varía considerablemente dependiendo de una serie de factores, como el hábito de crecimiento, manejo silvícola, estado fitosanitario y genéticos. (Baeyens-López, 1990).

Estas características de la madera, liviana, blanca, escasa presencia de resinas, estabilidad dimensional, buen acabado y pulido, escasez de olor e insípida la hacen muy apetecida e idónea para ser utilizada en la elaboración de productos que se llevan a la boca, como elementos ginecológicos y embalajes de alimentos.

Actualmente la industria del debobinado constituye la principal aplicación para la madera de álamo, por ser esta la especie más idónea para la fabricación de productos provenientes del desenrollo del fuste, resultando interesante su uso en chapas, contrachapados, palitos de helados, mondadientes, palos de fósforos y los palillos usados en las comidas orientales. (CONAF, 1998).

Los usos más corrientes de la madera de trituración están orientados a la fabricación de tableros de fibra y tableros de partículas que tienen múltiples aplicaciones en la construcción, muebles, puertas y como elementos aislantes. (CONAF, 1998).

El otro uso importante y prometedor, es el empleo de esta especie como materia prima en la industria de la celulosa y el papel. La producción de pasta mecánica es muy antigua y se emplea básicamente en la fabricación de papeles de impresión. También se produce la pasta semi-química que se emplea para casi todo tipo de papeles, salvo los muy finos. Aunque su fibra corta hace que el papel sea de menor resistencia que el fabricado con otras maderas, presenta algunas ventajas, como la mayor blancura, mejor opacidad del papel y mayor flexibilidad.

En otros países, el cultivo del álamo planificado con plantaciones a rotación corta y alta densidad ha experimentado un alto desarrollo con el objetivo de obtener materia prima para la fabricación de papel. El empleo de algunos clones ha demostrado una resistencia del papel obtenido similar al procedente de maderas de coníferas. (FAO, 1980).

La madera de álamo también tiene otras aplicaciones menos conocidas como es la viruta de madera que se utiliza para la fabricación de aislantes térmicos y acústicos y como combustible para la producción de energía calórica para las propias fábricas y para la población en zonas rurales, lo que permitirá aliviar en forma sustantiva la extracción de maderas valiosas en zonas frágiles donde existe bosque nativo.
(FAO, 1980).

Este uso, la producción de biomasa como fuente de energía renovable, en el futuro próximo se puede transformar en un desarrollo estratégico de importancia que permitiría aumentar la forestación de esta especie con fines dendroenergéticos. Las especies que más se están empleando, debido a su rapidez de crecimiento, plasticidad y capacidad de retoñación, son *E. globulus* y *Acacia melanoxylon* R. Brown (Aromo Australiano) y Acacia dealbata. En este segmento, el género *Populus* puede ocupar un lugar importante para satisfacer una alta y creciente demanda de energía que será incapaz de ser abastecida por el bosque nativo escaso e inaccesible.

## 3. MATERIAL Y MÉTODO.

La evaluación y análisis de la información, se realizó basado en los dos aspectos relevantes para determinar la edad de rotación: el criterio biológico y el criterio económico, para posteriormente combinar ambos criterios de evaluación, con el propósito de responder la interrogante planteada.

### 3.1 Descripción área de estudio.

El área de estudio se encuentra ubicada en el fundo Copihue (36° 03' Latitud sur y 71° 45' Longitud oeste), específicamente se efectuará en las plantaciones que la Cía. Agrícola y Forestal El Álamo Ltda., posee en la comuna de Retiro, provincia de Linares, región del Maule, cuyo acceso es a través de la ruta 5 Sur (Km. 333).

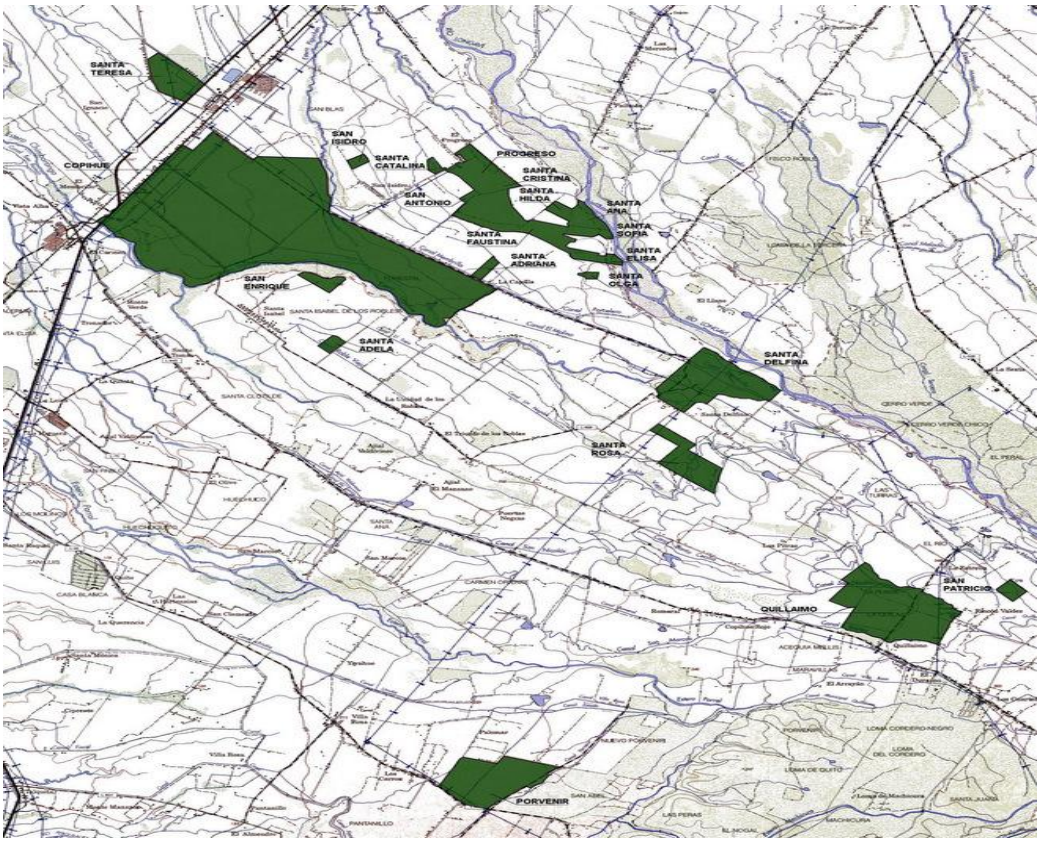



Figura N° 2. Área de Distribución de predios de CAF El Álamo Ltda.

Actualmente, la Compañía posee un patrimonio efectivo de 2.750 hectáreas de plantaciones de álamo, siendo una empresa pionera en el cultivo de esta especie en Chile. El fundo Copihue en particular tiene una superficie total de 1.778 hectáreas, la totalidad de esta superficie se encuentra con disponibilidad de agua para riego del tipo gravitacional.

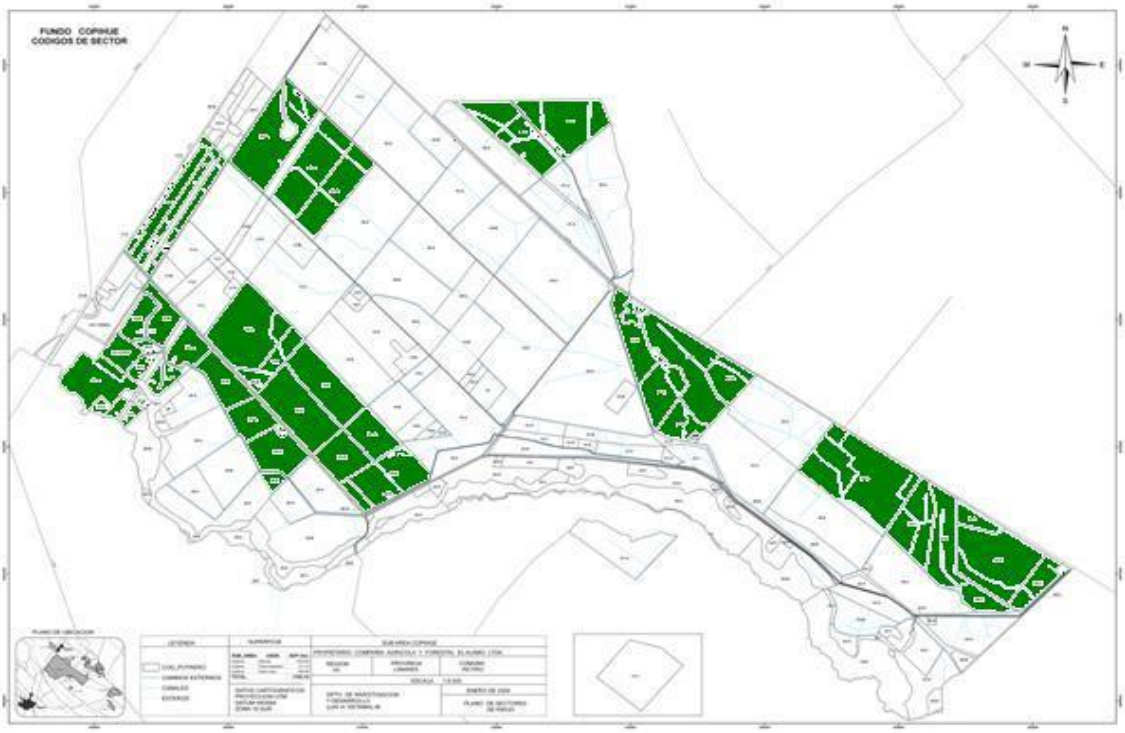



Figura N$^{o}$ 3. Fundo Copihue. Rodales muestreados.

### 3.1.1 Características climáticas.

El clima es de tipo templado-cálido (mediterráneo), con estación seca y lluviosa semejante, según la clasificación de Koeppen. El régimen hídrico presenta una precipitación media anual de 1.155 mm, aproximadamente distribuidos preferentemente entre Marzo y Septiembre, presentando un periodo seco de seis meses. Las temperaturas invernales son bajas, con alta incidencia de heladas y veranos calurosos.

El régimen térmico se caracteriza por presentar temperaturas que varían en promedio, entre una máxima media en Enero de 29,3º C y una mínima media en Julio de 3,3º C. El área de estudio registra anualmente 1.562 días-grado y 1.725 horas de frío. (Santibáñez, 1993).

### 3.1.2 Características de suelo.

Los suelos de los lugares específicamente estudiados, se clasifican en capacidad de uso II de riego, donde las características más importantes son: que se trata de suelos planos, textura franco a franco-limosa de más de un metro de profundidad, de buena capacidad productiva, excelente permeabilidad, disponibilidad de riego con ligeras limitaciones y con una pedregosidad y salinidad nula.

Estos suelos corresponden a la serie denominada “Arrayán” que corresponden a trumaos planos típicos derivados de depositaciones de cenizas volcánicas. El predio presenta una topografía general del tipo plana con pendientes que fluctúan entre los 0 y 8 % y se encuentra situado a 150 metros sobre el nivel del mar.

Los suelos son de aptitud agrícola, destinados al cultivo principal del álamo y que para el uso intensivo de este recurso, se utiliza durante los dos primeros años de formación del bosque y eventualmente en el tercer año, el sector entre hilera de las plantaciones de álamos, para la práctica de otras actividades productivas como son los cultivos agrícolas y ganadería. El cultivo agrícola asociado a la plantación de álamos es posible gracias a la ocurrencia de dos hechos, alto espaciamiento entre hileras y el bajo nivel de sombreamiento ocurrido durante los tres primeros años de la plantación.

## 3.2 Definición alternativa de evaluación.

### 3.2.1 Plantaciones de álamo.

En esta evaluación particular y dadas las condiciones de crecimiento que alcanzan las plantaciones de álamo en Chile, la empresa ha decidido orientar el objetivo de producción de los rodales hacia la obtención de productos madera debobinable libre de nudos (Trozos con diámetros mayores a 16 cm) y madera para virutilla (Trozos con diámetros entre 10 y 16 cm) como producto secundario de aprovechamiento del árbol. Para describir estas prácticas silvícolas se consideraron las técnicas aplicadas por la Compañía Agrícola y Forestal el Álamo Ltda., que se encuentran respaldadas por más de setenta años de experiencia en el cultivo y manejo intensivo del álamo en Chile.

El esquema de manejo silvícola intensivo que se aplica, está orientado a la producción de trozas de grandes dimensiones, alta calidad y alto valor (madera libre de nudos con aptitud para el debobinado), que considera la aplicación de un régimen intensivo de podas y sin la aplicación de raleo. El manejo de la densidad, en este caso, se realiza al año 0, al establecimiento de la plantación, momento en el cual se define y fija el espaciamiento inicial definitivo. En los últimos años, el área de crecimiento por árbol, ha variado desde los 32 a 36 $m^2$ por árbol, lo que permite densidades inicial y final de 312 a 278 árboles/ha. Las labores de manejo están detalladas en el cuadro N$^o$ 1.

Adicionalmente, resulta importante considerar algunos aspectos económicos, como los costos de cada labor de manejo, que en un régimen de manejo intensivo, tienden a tener un costo mayor, pudiendo provocar que el plan silvícola resulte menos rentable, en el caso que no se obtenga un ingreso mayor al costo generado por el régimen de manejo aplicado.

Cuadro N° 1. Esquema de manejo plantaciones de álamo.

| | |
|---|---|
| Espaciamiento y densidad | 4 x 8 metros, equivalente a 312 árboles/ha |
| Tipo de planta | Dos periodos de crecimiento, 1 vareta/cepa |
| Tamaño de planta | 8 metros de altura |
| Profundidad de plantación | Mínimo 80 cm. |
| Fertilización de establecimiento | 400 a 500 gr./planta |
| Poda de formación | Al término del primer periodo de crecimiento |
| Levantes de poda | 2 a 3 podas, para alcanzar siete metros de fuste libre de nudos |
| Cultivos intercalares | Primer y segundo año, principalmente maíz |
| Laboreos de suelo | dos a tres veces durante la rotación |
| Control de malezas | Anualmente, en forma mecanizada, químico, ganado y manual |
| Aporte hídrico | Riego gravitacional por surco. Un riego mensual durante el periodo de crecimiento, durante toda la rotación |
| Edad de cosecha | 12 a 13 años |

Hasta ahora los mejores resultados se han obtenido con los álamos híbridos *Populus* x *euroamericana*, que provienen del cruzamiento entre *Populus nigra* y *Populus deltoides*. Dentro de estos, los cultivares de mejor adaptación han sido los híbridos I-488, I-63/51 e I-214. Para la realización de este estudio se utilizaron los dos híbridos que presentan la mejor calidad de madera para los objetivos de la empresa (debobinado) y alta tasa de crecimiento para las condiciones de cultivo.

El régimen de manejo silvícola descrito en el cuadro N° 1, se aplica indistintamente a ambos híbridos y que bajo un escenario de baja calidad de sitio, la producción de madera de calidad disminuye fuertemente y la plantación no es rentable. En Chile, la madera aserrada y la chapa debobinada son tradicionalmente, los productos industriales finales de la madera de álamo más conocidos, habituales y solicitados.

Debido a que el estudio planteado trata del análisis de un caso específico, la única alternativa de producción, a la cual se determino la edad óptima de rotación con el correspondiente análisis económico es la producción de madera debobinable, con régimen de manejo único y para dos diferentes variedades híbridas de álamo como son el I-488 y el I-63/51.

En este estudio, los rendimientos de los rodales y la calidad de la madera obtenida, se analizaron según dos Indices de Sitio; I y II. Donde, el I. de Sitio I, representa una condición de alta producción de madera y diámetros óptimos para el proceso de debobinado. El I. de Sitio II, representa una condición de rendimiento media y tamaños de trozas menores.

### 3.2.2 Cultivos agrícolas asociados.

El esquema de manejo silvícola de las plantaciones de álamo, contempla adicionalmente y en forma paralela, el cultivo de productos agrícolas, a través del aprovechamiento del espacio intercalar existente bajo estas plantaciones de grandes espaciamientos. Algunos de los cultivos que se pueden realizar asociado e intercalado en las plantaciones de álamos son: hortalizas, cereales, maíz, trigo, remolacha, porotos, producción de plantas de vides, etc.

Para el caso especifico en estudio, la asociación de mayor éxito usada por esta empresa ha sido la combinación de plantaciones de álamos con remolacha ($1^{er}$ año) y maíz ($2^{do}$ año). Actualmente, el único cultivo agrícola usado durante los dos primeros años de la plantación es el maíz, opción que se ha considerado incorporar al análisis económico, lo cual debiera mejorar la rentabilidad de la tierra.

## 3.3 Determinación rendimiento plantaciones de álamo.

Con el propósito de que los resultados sean comparativos con el resto de las plantaciones, la determinación del volumen se realiza de acuerdo a los sistemas de inventario y estándares actualmente vigentes en la compañía y que utiliza para determinar su patrimonio volumétrico. Este sistema de inventario, se basa en una red de parcelas permanentes de muestreo, análisis fustales operacionales, una tabla de cubicación por trozas y la proyección de volumen se realiza a través de los rendimientos históricos promedios de las plantaciones en función de la edad de cosecha, calidad del sitio y variedad.

El monitoreo y caracterización cuantitativa y cualitativa de las plantaciones se ejecuta a través de un sistema de inventarios forestales, donde anualmente se realiza la medición de DAP, Altura de Poda y Altura Total y quinquenalmente un Censo de todos los arboles, procedimiento que permite reflejar los distintos estados de la plantación en su proceso de crecimiento. La información de rendimiento de las plantaciones, está respaldada por más de 20 años de registro de los rendimientos reales obtenidos de la cosecha de las plantaciones.

La revisión y comparación de estos rendimientos históricos, se realiza con la información obtenida de los Análisis Fustales o de Tallo, que se realiza a todos los rodales en cosecha, técnica que se utiliza para determinar y conocer el desarrollo histórico de los árboles y su rendimiento volumétrico por edad de cada árbol muestra, procedimiento que permitió conocer las curvas de crecimiento para cada rodal y para cada variedad, clasificado por sitio y edad.

Para el caso de conocer el crecimiento histórico por edad de los rodales en estudio, se utilizo como fuente de información los análisis fustales realizados en forma operacional a todos los rodales bajo cosecha.

Lo anterior, permite contrastar los rendimientos de las plantaciones en base a dos métodos para la obtención del volumen final y para determinar la curva de crecimiento histórica por edad para cada rodal, información fundamental para poder conocer los rendimientos máximos que se pueden obtener para las condiciones específicas de sitio y manejo donde se desarrollo el estudio.

Uno de los métodos más confiable para predecir del crecimiento futuro, es a través del empleo de una curva guía**,** la cual, fue determinada de acuerdo a los parámetros dendrométricos y crecimiento de otros rodales de mayor edad, curva con la cual se comparó el crecimiento del conjunto de rodales en estudio y también se utilizó para predecir el crecimiento volumétrico futuro a través del tiempo de plantaciones de álamo a edades de cosecha superiores a las actuales. Esta curva guía, se construyó con la información obtenida de los análisis fustales realizados anualmente a dos rodales de álamo de los clones I-488 e I-63/51, cuya edad de cosecha final se prolongó hasta los 16 años y 18 años, respectivamente, metodología calificada como la más adecuada para determinar el crecimiento histórico de árboles individuales y para determinar el momento en que la tasa de crecimiento comienza a ser decreciente.

Pese a la escasa información utilizada (dos rodales de 0.5 has, equivalentes al procesamiento de aproximadamente 150 árboles por variedad), se pudo graficar la curva de crecimiento y estimar el comportamiento futuro de las plantaciones de Alamo a edades superiores a los de cosecha operacional.

Finalmente, para poder determinar el efecto en la edad de rotación por la diferenciación de precio, según el tamaño de las trozas ingresadas al proceso de debobinado en fábrica, adicionalmente, se incorporaron al análisis dos estudios realizados con anterioridad. El primer estudio, tiene relación con la determinación de los rendimientos según diámetro menor de trozas en la etapa de debobinado industrial y el segundo estudio, tiene relación con la determinación del número de trozas producidas por rodal según diámetro menor de las troza, basados en la información obtenida de los análisis fustales.

### 3.4 Función de rendimiento.

La muestra seleccionada para el estudio, estuvo formada por aquellos rodales maduros en edad de cosecha (12 y 13 años) según los parámetros actuales de la empresa, y que no presentaban ningún daño de carácter físico, biológico, fitosanitario o alguna deficiencia nutricional visible. También reúnen características similares de edad, espaciamiento, densidad y crecimiento para permitir la comparación de resultados bajo similares condiciones. La evaluación se realizó en plantaciones a espaciamiento definitivo, sin intervenciones de raleo, de 4 x 8 m. (32 $m^2$/árbol), las cuales han sido reemplazadas a partir de 1990 por un espaciamiento de 6 x 6 m. (36 $m^2$/árbol).

Los datos dendrométricos para cada rodal se obtuvieron de la red de parcelas permanentes que tiene establecidas la empresa, las cuales, son medidas anualmente. Las parcelas permanentes de muestreo son de forma circular, cuya superficie es de 500 $m^2$ y un radio de 12,62 m. Estas parcelas, de acuerdo a su tamaño, normalmente contienen entre 15 a 17 árboles por parcela y se distribuyen sistemáticamente sobre el área a muestrear, lo cual permite aprovechar la distribución cuadrática y homogénea de la plantación.

Con la información recolectada de las parcelas permanentes de muestreo, se elaboraron las tablas de rodal (figura N° 4), con el propósito de conocer la distribución diamétrica de cada rodal, información necesaria para seleccionar las clases diamétricas y el número de árboles muestra que se utilizarán para realizar los muestreos destructivos a través de los análisis de tallo o fustal. En cada sección de fuste se midió el crecimiento entre anillos, con el fin de restituir el crecimiento en diámetro y altura a lo largo de la vida del rodal.

| Selección | DAP (cm) | Frecuencia | % | Arb/Ha |
|---|---|---|---|---|
| 1 | 26 | 1 | 1 | 3 |
| 1 | 27 | 0 | 0 | 0 |
| 1 | 28 | 5 | 5 | 16 |
| 1 | 29 | 7 | 7 | 22 |
| 2 | 30 | 14 | 14 | 44 |
| 3 | 31 | 16 | 16 | 50 |
| 2 | 32 | 14 | 14 | 44 |
| 3 | 33 | 20 | 20 | 62 |
| 3 | 34 | 17 | 17 | 53 |
| 1 | 35 | 2 | 2 | 6 |
| 1 | 36 | 2 | 2 | 6 |
| 1 | 37 | 1 | 1 | 3 |
| 1 | 38 | 1 | 1 | 3 |
| **21** | **TOTAL** | **100** | **100** | **312** |

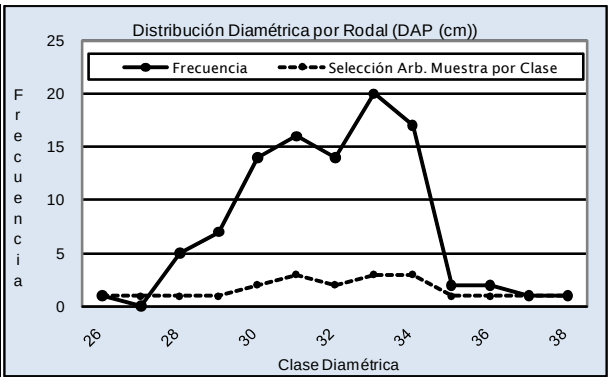



Figura N° 4. Tabla y gráfico de la distribución diamétrica por rodal.

Se seleccionaron entre 10 a 16 árboles muestra por cada rodal como muestra representativa, por considerar que se trata de bosques compuesto por individuos genéticamente idénticos (clones), es decir, son bosques muy homogéneos. Los árboles muestra para análisis fustal fueron seleccionados en forma proporcional a la frecuencia de la clase diamétrica de acuerdo al criterio establecido (cuadro N° 2).

Cuadro N° 2. Criterio de selección de arboles muestra.

| Frecuencia (%) | N° Arboles |
|---|---|
| Clase Diamétrica | Seleccionados |
| 0 a 10 | 1 Arbol Muestra |
| 10 a 15 | 2 Arboles Muestra |
| Mas de 15 | 3 Arboles Muestra |

Con el empleo de este criterio, se consiguió tener representada la totalidad de las clases diamétricas presentes en el rodal y aquellas clases diamétricas de mayor frecuencia tuvieron mayor representatividad y por lo tanto, mayor influencia en la determinación del volumen del árbol medio del rodal.

Una vez determinados y conocidos los árboles que constituirán la muestra, se regresó al bosque para voltear los individuos que fueron sometidos al procedimiento metodológico de análisis fustal. Las trozas de 3.2 m de largo en que se seccionaron todos los árboles muestras, fueron cubicadas según la tabla de volumen CAF, que corresponde a la metodología empleada por la compañía para cubicar sus bosques de álamo.

Con la información obtenida del análisis fustal, fue posible describir el crecimiento y desarrollo histórico del árbol a través del tiempo. También fue posible determinar los incrementos volumétricos del árbol a las distintas edades estudiadas. La muestra descrita en los cuadros N$^{o}$ 3 y 4, se obtuvo durante la ejecución de la faena de cosecha, momento en el cual, se secciona el árbol con el propósito de realizar el análisis de tallo correspondiente.

La realización de los análisis fustales corresponde a una actividad operacional que se ejecuta habitualmente en todos y cada uno de los rodales que se cosechan. La muestra de árboles con análisis fustales están individualizados por potrero, considerando que cada rodal presenta una distribución diamétrica diferente, con la cual se pudo extrapolar los resultados desde arboles individuales a datos por hectárea.

Cuadro N$^{o}$ 3. Descripción muestra de análisis fustales híbrido I-488.

| Potrero | Indice Sitio | Edad (años) | Superficie (ha) | N$^{o}$ Arboles Cosechados | N$^{o}$ Arboles Muestra | Espaciamiento (m) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| El Dos | 1 | 12 | 14 | 4.368 | 12 | 4 X 8 |
| La Máquina | 1 | 13 | 7,8 | 2.284 | 10 | 4 X 8 |
| San Fernando | 1 | 13 | 9,6 | 2.982 | 11 | 4 X 8 |
| La Cruz | 1 | 11 | 8,9 | 2.196 | 10 | 4 X 8 |
| Santa Elena | 1 | 12 | 8,2 | 2.510 | 9 | 4 X 8 |
| Bellavista | 1 | 11 | 11,3 | 3.234 | 9 | 4 X 8 |
| La Laguna | 2 | 12 | 25,7 | 6.488 | 9 | 4 X 8 |
| El Bosque | 2 | 13 | 8,9 | 2.598 | 10 | 4 X 8 |
| Espinal Norte | 2 | 12 | 18,8 | 5.688 | 10 | 4 X 8 |
| | | | 113,2 | 32.348 | 90 | |

Cuadro N° 4. Descripción muestra de análisis fustales híbrido I-6351.

| Potrero | Indice Sitio | Edad (años) | Superficie (ha) | N° Arboles Cosechados | N° Arboles Muestra | Espaciamiento (m) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| La Máquina | 1 | 12 | 15,2 | 3.204 | 12 | 4 X 8 |
| San Guillermo | 1 | 13 | 18,9 | 5.621 | 17 | 4 X 8 |
| La Cruz | 1 | 12 | 5,3 | 1.780 | 9 | 4 X 8 |
| San Francisco | 1 | 12 | 10,5 | 3.326 | 11 | 4 X 8 |
| San Juan | 1 | 12 | 3,1 | 832 | 10 | 4 X 8 |
| Espinal Sur | 1 | 11 | 18,1 | 5.854 | 11 | 4 X 8 |
| El Copihue | 2 | 12 | 17,5 | 5.453 | 12 | 4 X 8 |
| San Blas 4 | 2 | 12 | 3,9 | 1.189 | 12 | 4 X 8 |
| San Blas 4 | 2 | 12 | 33 | 9.430 | 10 | 4 X 8 |
| Rosario 3 | 2 | 12 | 27,4 | 7.994 | 10 | 4 X 8 |
| Espinal Sur | 2 | 13 | 9,3 | 2.228 | 8 | 4 X 8 |
| Rosario 2 | 3 | 12 | 15,2 | 4.420 | 10 | 4 X 8 |
| | | | 177,4 | 51.331 | 132 | |

Luego de aplicada la metodología de análisis fustal, se pudo determinar el volumen anual, para todos los árboles muestra de cada clon. Con esta información se calculó el incremento medio anual (IMA) y el incremento corriente anual (ICA), información que posteriormente se graficó para conocer la edad de rotación biológica de las plantaciones de álamos.

### 3.5 Determinación de la edad de rotación.

La edad óptima de rotación se evaluó utilizando criterios biológicos y económicos. La rotación biológica considera la maximización del incremento medio anual y la económica utiliza los criterios de la maximización del valor potencial del suelo y del Valor Actual Neto.

#### 3.5.1 Rotación biológica.

La información entregada por los análisis fustales, respecto al volumen total acumulado, incremento medio anual (IMA) e incremento corriente anual (ICA), se graficó con el propósito de conocer las tendencias de estos indicadores, para posteriormente intentar establecer a través de ellos, la edad de corta óptima, considerando solo los aspectos de crecimiento del rodal y formación del máximo volumen posible.

La evaluación de la edad óptima de rotación se calculó a partir de la maximización del IMA, que se obtiene donde las curvas del IMA y de incremento corriente anual (ICA) se cruzan. Para un productor forestal, la edad de rotación deberá ser aquella donde se alcance precisamente el máximo incremento medio anual, lo cual en este caso se determinará en forma gráfica.

### 3.5.2 Rotación económica.

Este tipo de indicadores permite determinar la valorización del suelo y del vuelo y la edad de rotación, además de la medición de rentabilidad para el objetivo de producción definido por la empresa, según el régimen silvicultural aplicado durante el desarrollo del rodal, lo cual, se ve reflejado en un flujo de caja.

Este tipo de indicadores, a diferencia de otros modelos de madurez, a través de la tasa de interés, toma en cuenta el costo de oportunidad del capital y los ingresos y costos en el tiempo durante toda la vida del proyecto.

El costo de producción de la madera en pie, se determina para cada año mediante la capitalización de los costos históricos que se incurren a lo largo de todo el proceso productivo, descontando posibles ingresos parciales intermedios que se pudiesen generar, que para el caso en análisis, se consideran aquellos generados por la actividad agrícola durante el año 1 y 2 del periodo de rotación.

Los valores utilizados corresponden a los costos reales ocurridos y vigentes a Junio del año 2009.

Cuadro N$^{o}$ 5. Programa y estructura de costos de manejo silvícola.

| Edad (años) | Actividad | Detalle labores | Costos ($/ha) |
|---|---|---|---|
| 0 | Preparación de terreno | Roce/limpia/quema<br>Destronque<br>Laboreo de suelos<br>Construcción de cercos<br>Gastos generales<br>Cuadratura<br>Barreneo<br>Plantas<br>Transporte de plantas<br>Reacuñado | 220.000 |
| 0 | Plantación | Gastos generales<br>Control de Malezas<br>Laboreo de suelos<br>Podas<br>Control fitosanitario<br>Riego<br>Mantención sistema de riego<br>Administración predial | 150.000 |
| 0 a Edad Cosecha | Manejo silvícola | Gastos generales<br>Gastos administrativos | 75.000 |
| 0 - Edad Cosecha | Administración | Seguros | 75.000 |

Una vez conocido el esquema de manejo, se debe asociar una tabla de rendimiento, que se obtiene del resultado de los análisis de tallo que se realizaron a las plantaciones estudiadas.

El Valor comercial del suelo, de características agrícolas ($1^{ra}$ y $2^{da}$ de riego) en la comuna de Retiro, determinado a través de las transacciones recientes efectuadas en la zona, se encuentra entre $ 2.500.000 a $ 3.000.000 por hectárea, sin considerar la posible infraestructura que pudiese existir sobre el suelo agrícola.
Posteriormente, se calcularon los flujos de caja para las edades de rotación que usa tradicionalmente la empresa. Para los datos de crecimiento se utilizó la información entregada por los análisis fustales, que representan la variación de terrenos que posee la empresa a través del índice de sitio (I y II).

De acuerdo con la revisión bibliográfica realizada, respecto a los indicadores de rentabilidad que se utilizan para la evaluación de proyectos de inversión forestal, queda claro que actualmente existe pleno consenso en torno a utilizar aquellos modelos que consideran el valor del dinero en el tiempo. En este estudio, para determinar la mejor opción para el periodo de rotación, se utilizarán los indicadores de rentabilidad VAN y VPS.

### 3.6. Diferenciación de precios de la madera.

Otra hipótesis planteada al inicio del presente estudio, considera que asignar un precio diferenciado por el efecto del diámetro de troza en el rendimiento de la planta debobinadora, mostraría diferencias apreciables con las cifras obtenidas del análisis con un precio constante de venta de la madera. Lo anterior está basado, en que una de las variables más importantes para aumentar el rendimiento actual en la industria debobinadora, es contar con diámetros de trozas grandes, idealmente mayores a 25 cm de diámetro menor.

Actualmente, la empresa vende a su filial industrial la madera trozada a un valor único de US$ 54/$M^3$. Sin embargo, se decidió analizar el efecto del aumento del diámetro de las trozas en la rentabilidad de la plantación al diferenciar el precio de la madera según el diámetro de las trozas. Para establecer los nuevos precios, se utilizó la tabla de rendimiento en la planta debobinadora.

Con esta información se establecieron los precios para los rangos diamétricos, considerando el cambio en el rendimiento de la planta producto del aumento o disminución del tamaño de la troza. Además, se consideró, que el rango de 8,5 a 9 pulgadas debía mantener el precio actual que se paga por todas las trozas, independiente de su diámetro. Lo anterior se adoptó, ya que la mayor parte de las trozas que la Compañía vende a planta industrial corresponden a este rango diamétrico.

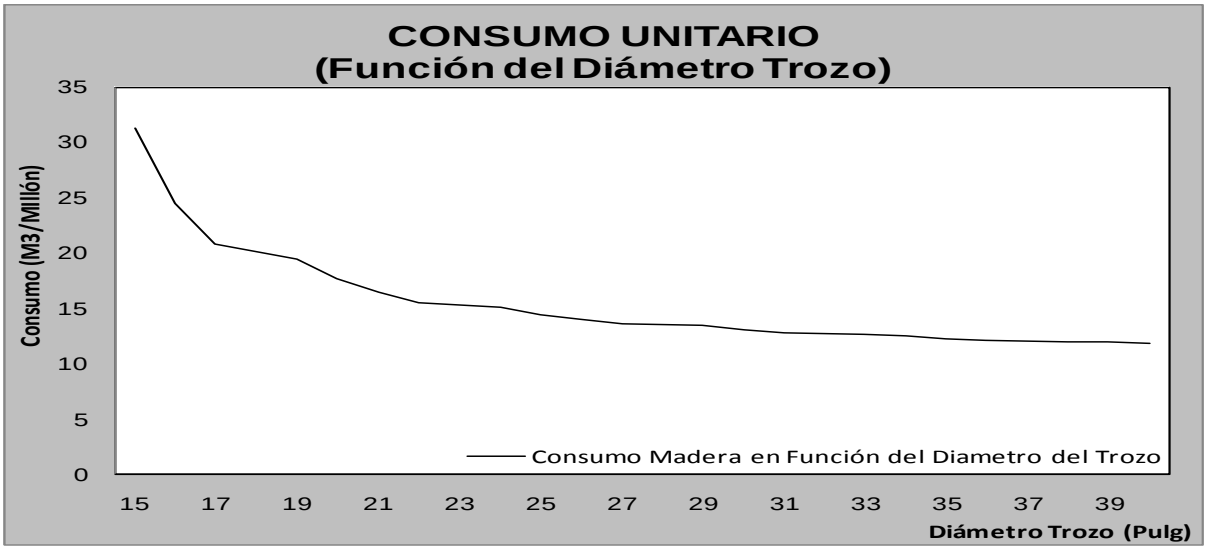



Figura 6. Rendimiento debobinado en función del diámetro de troza.

Con la información anterior se construyó una base de datos, en que para cada rodal analizado se conoce en detalle las dimensiones de las trozas que se obtendrán. Se les asignó un nuevo precio relacionado al cambio en el rendimiento de la planta debobinadora (cuadro N$^{o}$ 6), con la idea de que un mejor manejo del rodal se vea recompensado monetariamente con un ingreso superior al actual cuando se vendan productos de mayor diámetro y al contrario, el precio disminuirá cuando el diámetro de troza disminuya del rango de abastecimiento normal actual de 8,5 a 9 pulgadas.

Para determinar el precio de la madera según el tamaño de las trozas (precio variable), se acotó el análisis a los dos rodales cuya edad de cosecha se prolongo hasta los 16 años para el híbrido I-488 y hasta los 18 años para el híbrido I-6351.

Posteriormente se estructuró una base de datos, donde toda la producción de trozas por hectárea, se clasificó, según el diámetro menor de la troza y distribuida de acuerdo al rango diamétrico de la tabla de precios (cuadro N$^{o}$ 7). Esto permitió valorizar nuevamente la producción de madera, esta vez utilizando un precio variable según tamaño de las trozas.

Bajo este nuevo enfoque se calcularon nuevos flujos de caja, esta vez más específicos, ya que permiten valorizar en mayor detalle cada rodal y comparar las herramientas silviculturales aplicadas a cada uno, entre ellas la edad de corta.

Cuadro N° 7. Valor de la madera según diámetro menor de la troza.

| Rango de Diámetro (pulgadas) | | Precio Madera (US$/M$^3$) | Cambio Precio según Tamaño de Troza (%) |
|---|---|---|---|
| 6 | 6,5 | 28 | -48 |
| 6,5 | 7 | 36 | -33 |
| 7 | 7,5 | 43 | -21 |
| 7,5 | 8 | 46 | -16 |
| 8 | 8,5 | 51 | -7 |
| 8,5 | 9 | 54 | 0 |
| 9 | 9,5 | 56 | 2 |
| 9,5 | 10 | 58 | 7 |
| 10 | 10,5 | 60 | 11 |
| 10,5 | 11 | 62 | 14 |
| 11 | 11,5 | 63 | 15 |
| 11,5 | 12 | 64 | 18 |
| 12 | 12,5 | 66 | 21 |
| 12,5 | 13 | 67 | 23 |
| 13 | 13,5 | 67 | 24 |
| 13,5 | 14 | 68 | 26 |
| 14 | 14,5 | 69 | 27 |
| 14,5 | 15 | 70 | 29 |
| 15 | 15,5 | 70 | 30 |
| 15,5 | 16 | 71 | 31 |
| 16 | 16,5 | 70 | 28 |

## 4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.

Como ya se mencionó, para permitir un adecuado ordenamiento del tema, el capítulo correspondiente a la presentación de los resultados, se desarrolló en dos etapas. En una primera etapa se presentará el denominado criterio volumétrico o biológico que permitirá saber cuándo el bosque alcanza la máxima producción maderera para las condiciones específicas de desarrollo descritas. En una segunda etapa del estudio, se presentará el criterio de madurez financiera, que permitirá conocer la rentabilidad para un objetivo de producción determinado y una condición de sitio específico.

### 4.1 Determinación edad de rotación, según Máximo Rendimiento Medio.

#### 4.1.1 Esquema tradicional actual.

Basados en la información obtenida de los análisis fustales realizados, se presentan los gráficos de crecimiento por rodal, expresados sobre la base de un árbol promedio a una densidad de 312 Arboles/Ha, para las variedades I-488 e I-63/51 según índice de sitio.

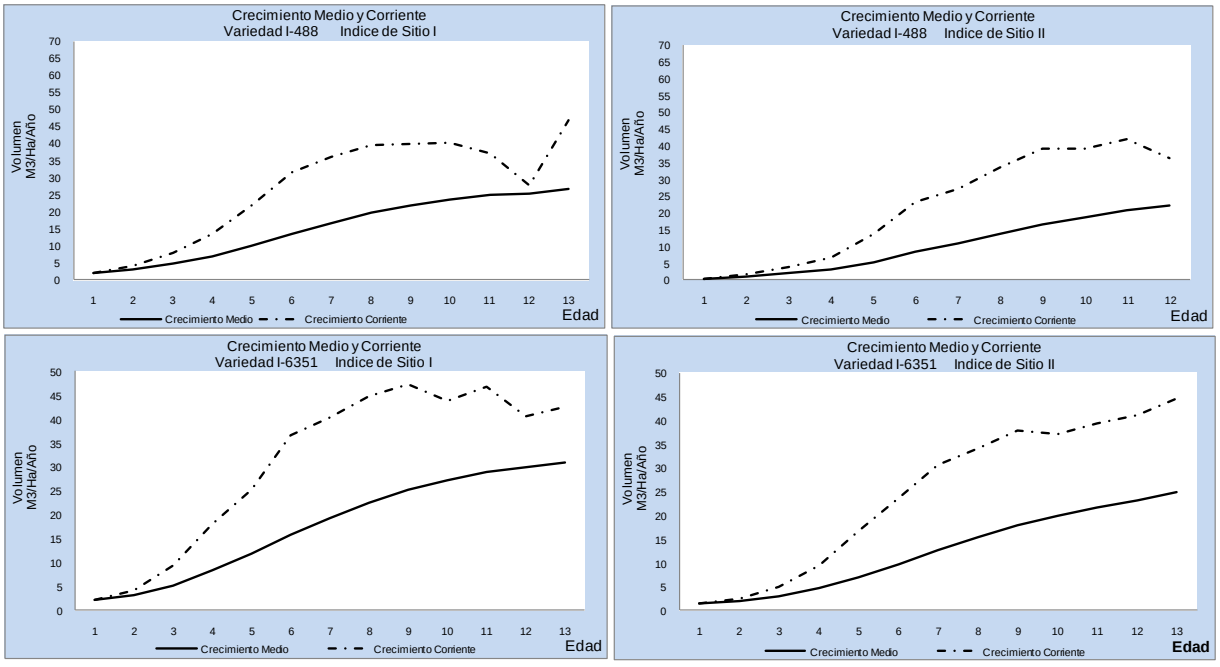



Figura N$^{o}$ 6. Curvas de IMA e ICA, Híbrido I-488 e I-6351, I. Sitio I y II.

Para ambos híbridos en las dos condiciones de sitio analizados, a través de las gráficas anteriores, se verifica nítidamente que las plantaciones continúan presentando rendimientos crecientes a tasas altas, lo cual se comprobó porque las curvas de crecimiento corriente y medio, no se interceptan, indicando que ambos híbridos, presentan un potencial de crecimiento mayor y que lo alcanzan sobre la edad de cosecha actual.

Por lo tanto, la cosecha de la plantación es prematura, antes que la plantación alcance su madurez, comprobando positivamente la hipótesis inicial, que las plantaciones se cosechan antes de alcanzar su madurez biológica. (figura N$^{o}$ 6).

Otro de los objetivos planteados al inicio de este estudio, fue determinar la existencia volumétrica de las plantaciones de álamo para las condiciones de sitio, manejo y espaciamiento existente, considerando la abundante fuente de información que entregan los análisis fustales realizados en forma operacional, lo cual, permitió acumular 267 análisis fustales entre ambos híbridos, representativos de la mayor parte de las condiciones de sitio existentes en el área de estudio, como se muestra en el cuadro N$^{o}$ 8.

Cuadro N$^{o}$ 8. Existencia volumétrica por edad y sitio, híbridos I-488 e I-6351.

Híbrido I-488

| Edad (Años) | Vol. Total ($M^3$/Ha) Sitio I | Vol. Total ($M^3$/Ha) Sitio II | Vol. Total ($M^3$/Ha) Sitio Promedio |
|---|---|---|---|
| 1 | 1,9 | 0,4 | 1,2 |
| 2 | 5,9 | 2,2 | 4,1 |
| 3 | 13,8 | 5,9 | 10,1 |
| 4 | 27,3 | 12,6 | 20,4 |
| 5 | 49,2 | 26,2 | 38,4 |
| 6 | 80,6 | 49,4 | 65,9 |
| 7 | 116,5 | 76,4 | 97,6 |
| 8 | 156 | 109,9 | 134,3 |
| 9 | 195,7 | 149 | 173,7 |
| 10 | 235,9 | 188,1 | 213,3 |
| 11 | 272,9 | 229,9 | 252,6 |
| 12 | 300,7 | 266,4 | 281,1 |
| 13 | 347,3 | | 347,3 |

Híbrido I-6351

| Edad (Años) | Vol. Total ($M^3$/Ha) Sitio I | Vol. Total ($M^3$/Ha) Sitio II | Vol. Total ($M^3$/Ha) Sitio Promedio |
|---|---|---|---|
| 1 | 2 | 1,4 | 1,6 |
| 2 | 6 | 3,9 | 4,6 |
| 3 | 15,3 | 8,8 | 10,7 |
| 4 | 33,4 | 18,1 | 22,4 |
| 5 | 58,5 | 34,7 | 41,4 |
| 6 | 95,1 | 58,4 | 68,7 |
| 7 | 135,4 | 88,9 | 101,9 |
| 8 | 180 | 122,9 | 138,7 |
| 9 | 227,4 | 160,8 | 178,9 |
| 10 | 271,2 | 197,7 | 217,6 |
| 11 | 317,9 | 237,1 | 258,5 |
| 12 | 358,4 | 278,1 | 300,9 |
| 13 | 400,8 | 322,5 | 375,0 |

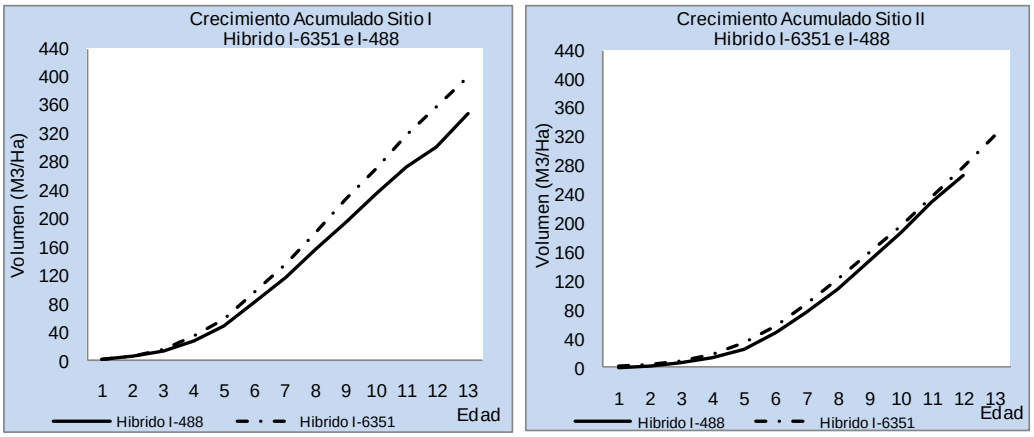



Figura N$^{o}$ 7. Curvas de crecimiento acumulado según Indice de Sitio.

En el caso de la variedad I-488, es evidente que la pérdida de crecimiento es importante debido al cambio de sitio. En promedio a la edad de cosecha actual, el híbrido I-6351 presenta un 8 % de mayor Volumen por hectárea que el híbrido I-488.

Seleccionar equivocadamente el sitio donde se debe plantar cada híbrido, puede significar importantes pérdidas de crecimiento, que para el caso de estudio alcanzan un promedio de 30 a 40 % de menor crecimiento o volumen a una misma edad por efecto del sitio. En ambas condiciones de sitio, la mejor respuesta y el mayor volumen total lo obtiene la variedad I-6351, indicando que el híbrido I-488, presenta una tasa de crecimiento menor y un menor volumen total por unidad de superficie.

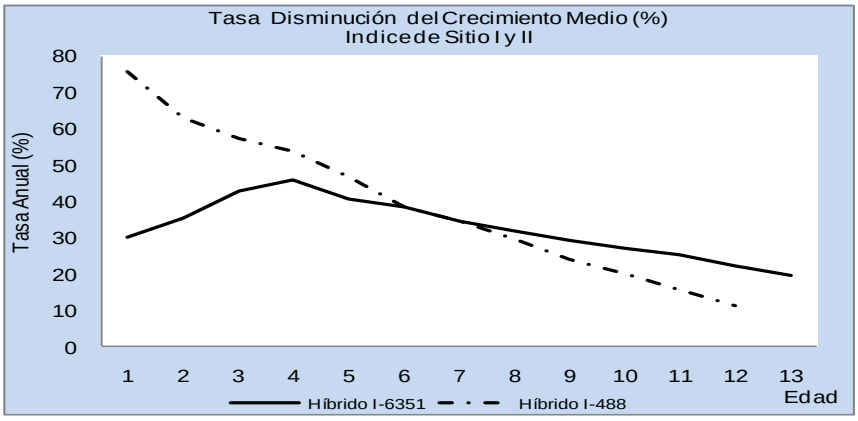



Figura N$^{o}$ 8. Tasa de disminución del crecimiento según I. de sitio.

La variedad I-488, en términos del crecimiento medio, se ve fuertemente afectada dependiendo de la condición de sitio en la cual se desarrolle. En la etapa juvenil es donde se produce el mayor diferencial de crecimiento, disminuyendo constantemente este efecto a los 12 años. Al primer año la pérdida de crecimiento entre el Indice de Sitio I y II, puede llegar a ser más de un 70 %, el cual disminuye hasta un 10 % a los12 años.

El híbrido I-6351, presenta un comportamiento más homogéneo, siendo el efecto de cultivar en una condición de sitio I o II, menor. Este efecto se manifiesta en forma más importante a la edad de 4 años, presentando una pérdida de crecimiento de 45 % hasta 20 % a los 13 años. En general, no es indiferente realizar la plantación en una calidad de sitio I o II, porque las pérdidas de crecimiento para ambas variedades son importantes y relevantes al momento de determinar la rentabilidad y la edad de rotación.

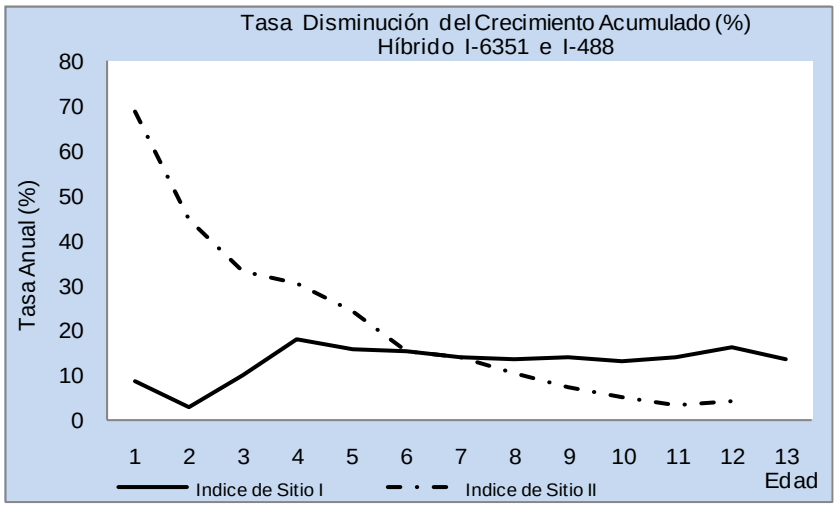



Figura N° 9. Tasa de disminución del crecimiento por edad.

En términos del crecimiento acumulado, según la figura N° 9, en la condición de sitio II, el diferencial de crecimiento entre ambos híbridos es muy alta en la etapa juvenil de crecimiento, llegando a un 70 %, disminuyendo este diferencial hasta un 8 % a la edad de 12 años. El mayor volumen de madera, en todas las edades, lo produce el híbrido I-6351. En cambio, en el índice de sitio I, la situación es más homogénea, produciéndose un diferencial menor, en torno al 20 %.

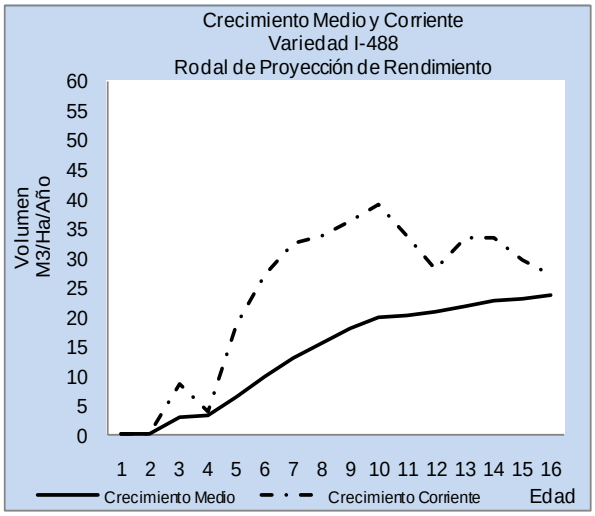
### 4.1.2 Esquema en rodales con proyección de rendimientos.

Con el propósito de conocer efectivamente, el momento en que se produce el máximo incremento medio, este estudio contemplo el prolongar la edad de cosecha a 2 rodales de las variedades en estudio. El híbrido I-488 se cosecho a los 16 años y el híbrido I-6351 se cosecho a los 18 años. A continuación se presenta la tabla de existencia volumétrica por edad, que alcanzan estos híbridos a edades superiores.

Cuadro N° 9. Existencia volumétrica rodales con proyección de rendimiento.

| Edad de Cosecha 16 años<br>I-488 | | | |
|---|---|---|---|
| Edad (Años) | Vol. Total ($M^3$/Ha) (I.U.= 10) | I.M.A ($M^3$/Ha/Año) | I.C.A ($M^3$/Ha/Año) |
| 1 | 0,0 | 0,0 | 0,0 |
| 2 | 0,0 | 0,0 | 0,0 |
| 3 | 8,8 | 2,9 | 8,8 |
| 4 | 12,7 | 3,2 | 3,9 |
| 5 | 31,4 | 6,3 | 18,7 |
| 6 | 58,5 | 9,8 | 27,1 |
| 7 | 91,2 | 13,0 | 32,7 |
| 8 | 125,0 | 15,6 | 33,8 |
| 9 | 161,2 | 17,9 | 36,2 |
| 10 | 200,3 | 20,0 | 39,1 |
| 11 | 234,1 | 20,4 | 33,8 |
| 12 | 262,2 | 20,8 | 28,1 |
| 13 | 295,8 | 21,8 | 33,6 |
| 14 | 329,1 | 22,6 | 33,3 |
| 15 | 358,8 | 23,1 | 29,7 |
| 16 | 386,1 | 23,6 | 27,3 |

| Edad de Cosecha 18 años<br>I-6351 | | | |
|---|---|---|---|
| Edad (Años) | Vol. Total ($M^3$/Ha) (I.U.= 10) | I.M.A ($M^3$/Ha/Año) | I.C.A ($M^3$/Ha/Año) |
| 3 | 15,3 | 5,1 | 9,9 |
| 4 | 35,5 | 8,9 | 20,2 |
| 5 | 60,2 | 12,0 | 24,6 |
| 6 | 94,2 | 15,7 | 34,0 |
| 7 | 133,2 | 19,0 | 39,0 |
| 8 | 175,1 | 21,9 | 41,9 |
| 9 | 219,0 | 24,3 | 43,9 |
| 10 | 265,3 | 26,5 | 46,3 |
| 11 | 313,1 | 28,5 | 47,8 |
| 12 | 354,0 | 29,5 | 41,0 |
| 13 | 404,7 | 31,1 | 50,7 |
| 14 | 451,5 | 32,3 | 46,8 |
| 15 | 495,4 | 33,0 | 43,9 |
| 16 | 535,4 | 33,5 | 40,0 |
| 17 | 572,4 | 33,7 | 37,1 |
| 18 | 604,6 | 33,6 | 35,5 |



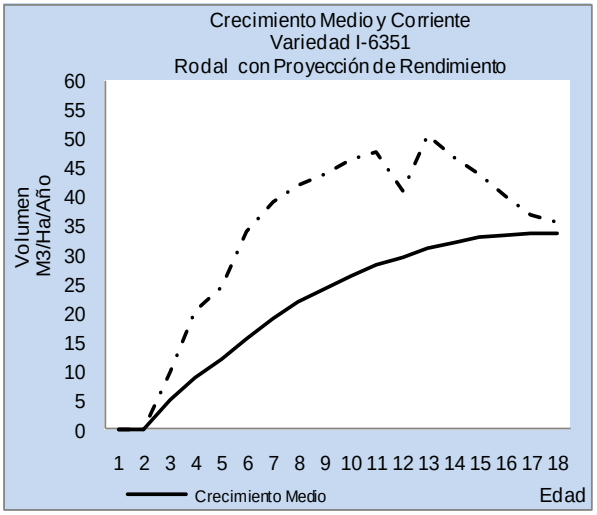




Figura N° 10. Curvas de IMA e ICA. Rodales con proyección de rendimiento.

Prolongar la edad de corta, tuvo el único propósito de conocer el comportamiento de la curva de crecimiento y descubrir el momento de inflexión de la curva. Se observa que el clon I-63/51 a la edad de 18 años alcanza su máximo incremento medio.

Bajo este criterio de evaluación, correspondería cosechar la plantación a los 18 años aproximadamente con un volumen de aprovechamiento medio individual aproximado de 1,93 $M^3$/árbol, equivalente a una producción total de 604 $M^3$ /Ha. Para el caso de la variedad I-488, la cosecha se debería producir a los 16 ó 17 años aproximadamente, con un volumen de aprovechamiento medio por árbol de 1,24 $M^3$/árbol, equivalente a una producción total de 386 $M^3$/Ha.

De acuerdo con los datos obtenidos, en esta especie existe un hecho relevante a destacar, la madera producida entre la edad de cosecha promedio actual (12 a 13 años) y los dieciocho años, edad que fue cosechado el rodal en estudio, se produce proporcionalmente más madera que durante los primeros 12 a 13 años de crecimiento. Para la variedad I-488, el volumen producido entre las edades de 12 a 16 años, corresponde al 47 % del volumen producido en los primeros 12 años de crecimiento de la plantación y para el caso de la variedad I-63/51, el volumen producido entre las edades de 12 a 18 años, corresponde al 71 % del volumen producido en los primeros 12 años de crecimiento de la plantación.

| Edad | Esquema Tradicional Vol. Total ($M^3$/Ha) | | Proyección de Rendimiento Vol. Total ($M^3$/Ha) | |
|---|---|---|---|---|
| (Años) | I-488 | I-6351 | I-488 | I-6351 |
| 1 | 1 | 2 | 0 | 2 |
| 2 | 4 | 5 | 0 | 5 |
| 3 | 10 | 11 | 9 | 15 |
| 4 | 20 | 22 | 13 | 36 |
| 5 | 38 | 41 | 31 | 60 |
| 6 | 66 | 69 | 59 | 94 |
| 7 | 98 | 102 | 91 | 133 |
| 8 | 134 | 139 | 125 | 175 |
| 9 | 174 | 179 | 161 | 219 |
| 10 | 213 | 218 | 200 | 265 |
| 11 | 253 | 258 | 234 | 313 |
| 12 | 281 | 301 | 262 | 354 |
| 13 | 347 | 375 | 296 | 405 |
| 14 | | | 329 | 452 |
| 15 | | | 359 | 495 |
| 16 | | | 386 | 535 |
| 17 | | | | 572 |
| 18 | | | | 605 |

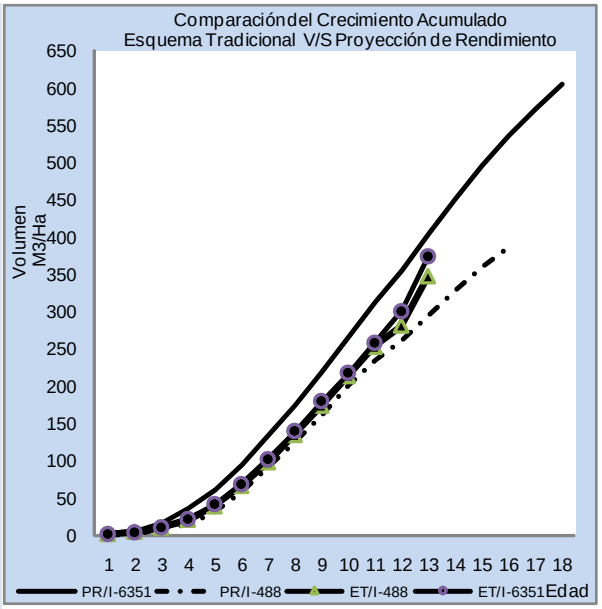



Figura 11. Tabla de existencia y curvas de crecimiento. Rodales cosechados a diferentes edades.

En la figura N$^o$ 11, se indican los volúmenes totales que alcanzan los rodales cosechados a diferentes edades. Para el capítulo siguiente, se utilizarán estas tablas de existencia para determinar los ingresos de las plantaciones de álamo cosechadas a diferentes edades.

## 4.2 Determinación edad de rotación según VPS.

Analizado el desempeño físico de cada uno de los híbridos, de acuerdo al régimen de manejo aplicado, en este capítulo, se evaluarán desde un punto de vista financiero, de modo de determinar la madurez financiera y rentabilidad de las plantaciones de Alamo.

En un primer análisis se determinará la rentabilidad de las plantaciones tratadas bajo el esquema de manejo tradicional actual y para los rodales con proyección de rendimiento, se determinará la edad óptima de rotación y su rentabilidad.

El indicador económico utilizado para determinar la rentabilidad es el Valor Potencial del Suelo (VPS), que corresponde a un ingreso neto actualizado en infinitas rotaciones, que además se utiliza para determinar la edad de rotación óptima de un rodal, como también la máxima cantidad de dinero que se puede pagar por la tierra, realizando una forestación con infinitas rotaciones. La tasa de interés ocupada para ver la respuesta económica y el análisis de los diferentes escenarios, corresponde a un 8 % real anual.

### 4.2.1 Estructura de costos régimen de manejo.

Con el propósito de estructurar el flujo de caja, se estableció la estructura de costos de todas las actividades ejecutadas durante el periodo de crecimiento de la plantación.

Cuadro N$^{o}$ 10. Estructura de costos plan de manejo.

| Actividades | Edad (Año) | Costo (US$) | Unidad |
|---|---|---|---|
| Prep. Terreno | 0 | 457 | US$/Ha |
| Plantación | 0 | 376 | US$/Ha |
| Fertilización | 0 | 83 | US$/Ha |
| Poda Formación | 1 | 25 | US$/Ha |
| Poda 1 | 3 | 31 | US$/Ha |
| Sanidad | 3 | 52 | US$/Ha |
| Poda 2 | 4 | 21 | US$/Ha |
| Poda 3 | 5 | 42 | US$/Ha |
| Sanidad | 7 | 52 | US$/Ha |
| Cosecha Final | | 4,3 | US$/M$^3$ |
| Transporte | | 0,07 | US$/M$^3$/Km |
| Control de Malezas | | 73 | US$/Ha/Año |
| Riego | | 60 | US$/Ha/Año |
| Administración | | 156 | US$/Ha/Año |

### 4.2.2 Precio madera.

El precio actual fijo de US$ 54,4/M$^3$, se utilizará para determinar los ingresos que genera la plantación bajo un régimen de manejo tradicional actual. Los precios variables se utilizarán solo para determinar los ingresos de los rodales con proyección de rendimientos, debido a que la distribución diamétrica tiene un comportamiento diferente según la edad de cosecha.

De acuerdo con la metodología señalada, se determinó que el precio variable para la madera del híbrido I-488 a la edad de 16 años fue de 61,3 US$/M$^3$ y para el híbrido I-6351 cosechado a los 18 años fue de US$ 62,7/M$^3$.

Los valores anteriores, significaron un aumento de 15 % del precio de la madera para el híbrido I-6351 y de 13 % para la variedad I-488, respecto del precio tradicionalmente utilizado por la empresa. El aumento del precio fue menor en el híbrido I-488, lo cual, es coincidente con lo esperado, debido a que su tasa de crecimiento es menor, generando diámetros de trozas menores, lo cual, se traduce en un precio promedio menor que para el híbrido I-6351, que posee una mayor capacidad de acumular volumen en el tiempo.

Los niveles de aumentos de precio anteriores, se producen a pesar que el número de trozas que están por sobre el valor actual de US$ 54,4/$M^3$ corresponde al 38 % para I-488 y el 44 % para I-63/51, la curva de rendimiento de la planta debobinadora (figura N$^o$ 5) tiende a estabilizarse para diámetros de troza altos y por lo tanto, el aumento en el valor de las trozas por sobre los 25 a 30 cms de diámetro menor de troza, tiende a estabilizarse asintóticamente. De esta manera, a pesar de la cantidad de trozas a las que se les asignó un valor superior al precio actual, la diferencia de rentabilidad es muy significativa.

### 4.2.3 Rentabilidad plantaciones esquema tradicional. Precio madera fijo.

El análisis que se presenta a continuación, representa la situación real actual del cultivo de Alamo en la empresa, donde las plantaciones son cosechadas en promedio a los 13 años y considera permanentemente el cultivar productos agrícolas durante los dos primeros años de la plantación y el precio de la madera es fijo, independiente del tamaño de las trozas y del rendimiento industrial de la madera.

Cuadro N$^o$ 11. Rentabilidad según VPS, índice de sitio y tasa de descuento. Sin Cultivo Agrícola.

| Precio Fijo | VPS Esquema Tradicional sin Cultivo Agrícola (US$/Ha) | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Tasa de | I-488 | | | | | | I-6351 | | | | | |
| Descuento (%) | I | Turno | II | Turno | Promedio | Turno | I | Turno | II | Turno | Promedio | Turno |
| 6 | 8.794 | 13 | 6.514 | 12 | 8.794 | 13 | 11.160 | 13 | 7.699 | 13 | 10.019 | 13 |
| 8 | 5.038 | 13 | 3.633 | 12 | 5.038 | 13 | 6.709 | 11 | 4.316 | 13 | 5.844 | 13 |
| 10 | 3.051 | 11 | 1.985 | 12 | 2.899 | 13 | 4.266 | 11 | 2.393 | 13 | 3.464 | 13 |

El efecto de disminución de la rentabilidad de la plantación por efecto del sitio para la condición sin cultivo agrícola puede llegar entre un 26 % hasta un 35 % dependiendo de la tasa de descuento utilizada para el híbrido I-488. Este mismo efecto para el híbrido I-6351 es mayor que en híbrido I-488 y puede llegar desde un 31 % hasta un 44 %. Siendo mayor la disminución de rentabilidad cuando la tasa de descuento utilizada aumenta. Esto significa, que el híbrido I-488 se afecta menos por efecto del sitio que la variedad I-6351, esta última resulta más sensible al cambio de sitio.

Un aumento de dos puntos en la tasa de descuento, el VPS promedio para el híbrido I-488 disminuye un 36 % y el híbrido I-6351 disminuye un 45 %. Específicamente, esta importante reducción de rentabilidad se manifiesta en el híbrido I-488, cuando el VPS calculado a una tasa de descuento del 6 %, alcanza un valor de MUS$ 8.794/Ha, el cual disminuye a MUS$ 5.038/Ha cuando la tasa de descuento es aumentada a 8 % (cuadro N$^{o}$ 10).

En términos de la edad de rotación, se destaca el hecho que la tasa de descuento, mientras es más exigente, en el índice de sitio I, para ambos híbridos, causa la anticipación de la cosecha en dos años, reduciendo la rotación en un 15 %, lo cual se explica, porque la tasa de crecimiento del rodal no compensa el aumento de la tasa alternativa de inversión del capital de un 10 %, generando la necesidad de anticipar la cosecha del híbrido I-488. Para el híbrido I-6351, sucede lo mismo, pero la anticipación de la cosecha en 2 años, comienza a ocurrir cuando la tasa alternativa es 8 %, situación que se demuestra gráficamente en la figura N$^{o}$ 11.

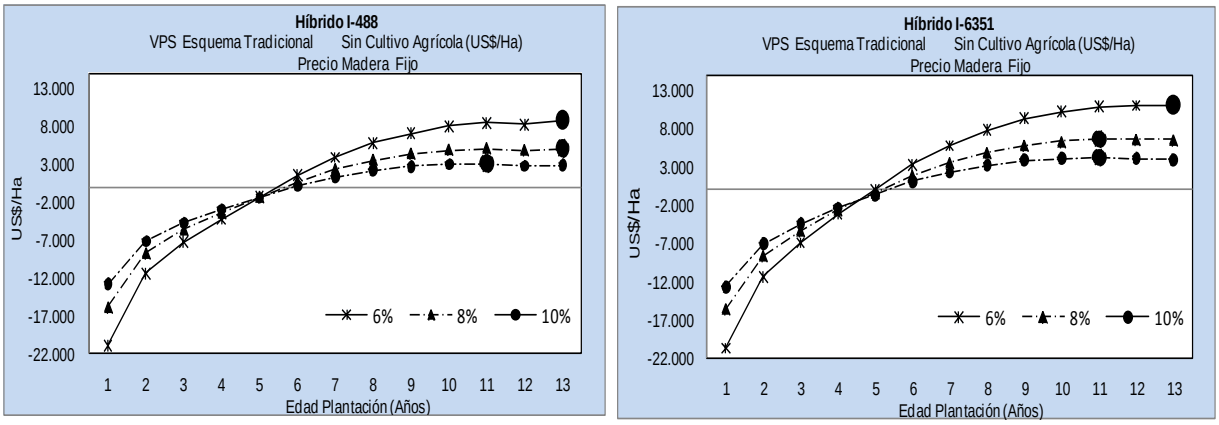



Figura N$^{o}$ 12. Evolución VPS y edad de corta.

Adicionalmente, cuando se incorpora en el análisis el cultivo agrícola bajo las plantaciones, el efecto del sitio y de la tasa de descuento disminuye, es decir, que los ingresos generados por el cultivo agrícola compensan y hace disminuir sustancialmente los efectos negativos producidos por la calidad del sitio y la tasa de descuento.

Cuadro N$^{o}$ 12. Rentabilidad según VPS, índice de sitio y tasa de descuento. Con cultivo agrícola.

| Precio Fijo | VPS Esquema Tradicional con Cultivo Agrícola (US$/Ha) | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Tasa de | I-488 | | | | | | I-6351 | | | | | |
| Descuento (%) | I | Turno | II | Turno | Promedio | Turno | I | Turno | II | Turno | Promedio | Turno |
| 6 | 12.446 | 11 | 10.296 | 12 | 12.376 | 13 | 14.953 | 11 | 11.281 | 13 | 13.600 | 13 |
| 8 | 8.282 | 10 | 6.702 | 12 | 7.964 | 13 | 9.950 | 11 | 7.243 | 13 | 8.771 | 13 |
| 10 | 5.931 | 10 | 4.661 | 11 | 5.434 | 13 | 7.042 | 10 | 4.928 | 13 | 6.000 | 13 |

En esta condición de manejo, en el híbrido I-488 la disminución de rentabilidad por efecto del índice de sitio es entre un 17 % hasta un 30 %, por lo tanto, los mayores ingresos producidos por la actividad agrícola, en los dos primeros años de la plantación permite reducir entre un 60 % hasta un 135 % aproximadamente el efecto del sitio, dependiendo de la tasa de descuento.

Para el caso del híbrido I-6351 la rentabilidad disminuye entre un 23 % hasta un 25 % dependiendo de la tasa de descuento. En este caso, la reducción del efecto sitio es reducido por el cultivo agrícola entre un 36 % hasta un 74 % dependiendo de la tasa de descuento utilizada. Lo anterior significa, que los ingresos generados por el cultivo agrícola permiten una mayor compensación de la pérdida de rentabilidad por efecto del sitio en el híbrido I-488 que en el híbrido I-6351.

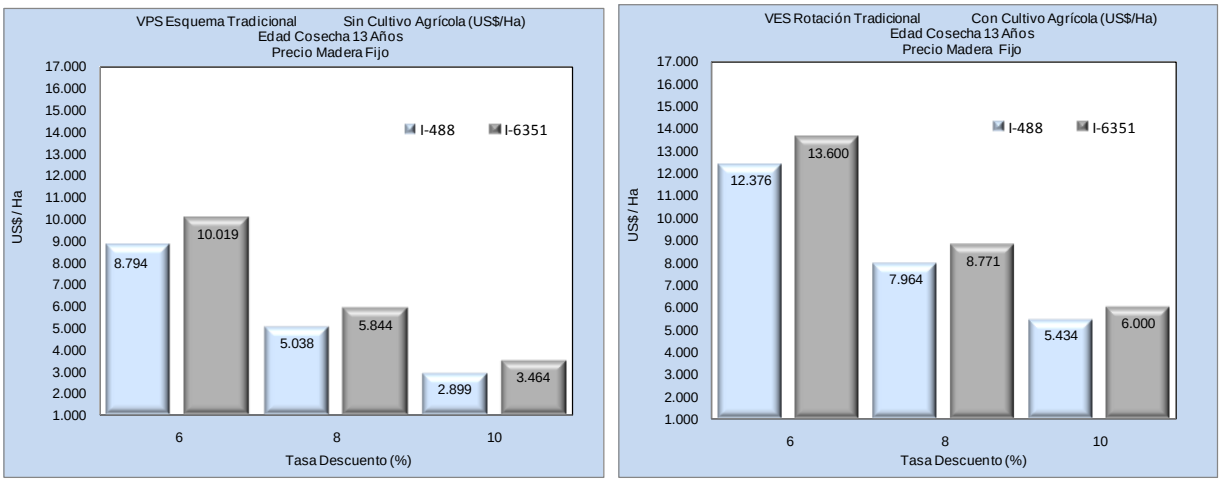



Figura N$^{o}$ 13. Diferencia de rentabilidad entre ambos híbridos.

Cuando al flujo de ingresos se adicionan US$ 1.038/Ha, por la realización de un cultivo agrícola durante los años 1 y 2 del ciclo, permite aumentar la rentabilidad forestal considerablemente. La rentabilidad del híbrido I-488 aumenta entre un 42 % hasta un 135 % dependiendo de la tasa de descuento utilizada. Este efecto es mayor a medida que la tasa de descuento aumenta. Para el híbrido I-6351, sucede lo mismo, pero el aumento de rentabilidad es menor, situándose entre un 34 % hasta un 106 % dependiendo de la tasa de descuento usada.

Lo anterior, significa que los ingresos generados por el cultivo agrícola permiten compensar la rentabilidad de la plantación en un menor grado, producto que este híbrido presenta una mayor producción de madera. En ambas variedades de Alamo, este efecto aumenta en la medida que la tasa de descuento aumenta, siendo mayor en el sitio II.

En términos de la edad de rotación, cuando en el análisis se incorporan los ingresos que genera la actividad agrícola, la edad de rotación cambia, principalmente en la condición de sitio I para ambos híbridos, produciéndose una anticipación de la edad de corta.

En este caso, los ingresos de la actividad agrícola ayudan a anticipar la edad de corta, que en la variedad I-488 la fija entre los 10 y 11 años, independiente de la tasa de descuento utilizada. Situación muy similar ocurre con el híbrido I-6351, ubicando la edad de cosecha entre los 10 y 11 años, dependiendo de la tasa de descuento.

Estas cifras, permiten observar que realizar un cultivo agrícola ayuda a mejorar la rentabilidad sustancialmente, compensando la rentabilidad de la plantación, siendo más importante e incidente en el híbrido I-488 que en el híbrido I-6351. Esto se explica fundamentalmente porque el híbrido I-488 tiene una tasa de menor crecimiento, que a la misma edad de cosecha, es capaz de producir menos madera que la variedad I-6351 y por ende menos ingresos, que se ven fuertemente mejorados por los ingresos que genera la realización de cultivo agrícola bajo las plantaciones de álamo. Por lo tanto, esta práctica de manejo es una opción que no debe ser desechada al plantar álamos en suelos de características agrícolas con riego.

Son tan importantes los efectos que causan, el aumento de los ingresos por el cultivo agrícola y la tasa de descuento, que la edad de corta en el sitio I, es anticipada en 3 años, un 23 % menor que la edad de corta tradicional actual de 13 años. Por lo tanto, para la variedad I-488 la mejor opción de cosecha es a los 11 años y en su plan de manejo silvícola debe incorporar el cultivo agrícola en los dos primeros años de la plantación, con un retorno de US$ 12.446/Ha a una tasa de descuento de 6 %. Para la variedad I-6351 los mejores resultados se obtienen cosechando la plantación a los 11 años considerando el uso agrícola en el espacio intercalar de la plantación, lo cual reportaría retornos por US$ 14.953/Ha, resultados que se verifican en el sitio I, siendo este un 18 % más alto que la variedad I-488.

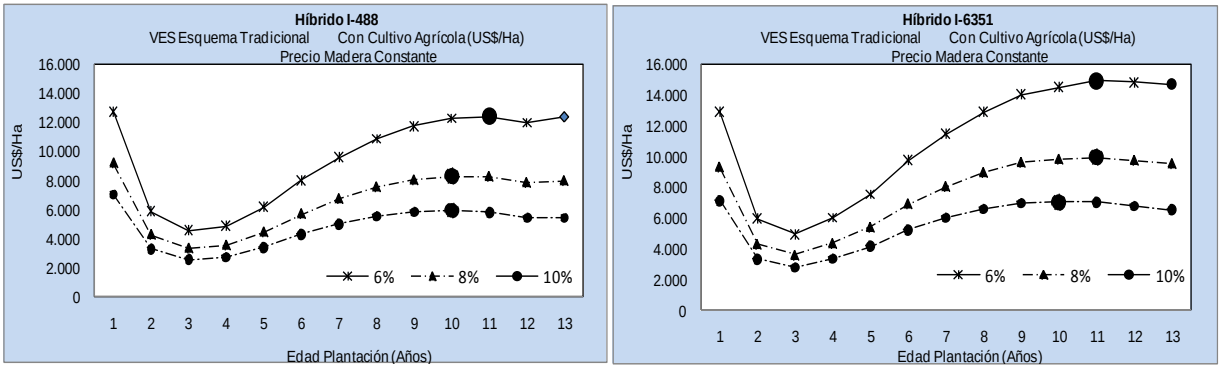


Figura N$^{o}$ 14. Evolución VPS y edad de corta según tasa de descuento. Plantación álamos con cultivo agrícola.

En la figura N$^{o}$ 14, se observa claramente el efecto que genera el incorporar los ingresos de la actividad agrícola en el flujo, haciendo que la rentabilidad sea positiva durante todo el periodo de rotación y en la anticipación de la cosecha de la plantación hasta los 10 años en ambos híbridos. Situación muy diferente a como se comporta el VPS, cuando el plan de manejo no considera la actividad agrícola (figura N$^{o}$ 14).

En consecuencia, una menor calidad de sitio, al igual que un aumento en la tasa de descuento, produce la anticipación de la edad de corta, la cual, con el aumento de los ingresos producto de la actividad agrícola, permite reducir la edad de corta aun más.

### 4.2.4 Rentabilidad plantaciones en rodales con proyección de rendimientos. Precio madera fijo.

En esta sección se determinará la rentabilidad y edad de rotación para aquellos rodales cuya edad de corta se proyectó hasta los 16 años para el híbrido I-488 y hasta los 18 años para el híbrido I-6351. Un primer análisis consiste en evaluar la rentabilidad de las plantaciones de mayor edad con la aplicación del esquema de manejo tradicional, que principalmente considera en forma permanente la realización de cultivos agrícolas en el espacio intercalar de las plantaciones durante los dos primeros años de la plantación y el precio de la madera es constante, independiente del tamaño de las trozas. Este análisis es comparable con la rentabilidad obtenida en rodales con un régimen de manejo tradicional (Punto 4.3.3).

Cuadro N$^{o}$ 13. Rentabilidad y turno según VPS. Proyección de rendimiento.

| Precio Fijo | VPS con Proyección de Rendimiento (US$/Ha) | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | Sin Cultivo Agrícola | | | | Con Cultivo Agrícola | | | |
| Tasa de Descuento (%) | I-488 | | I-6351 | | I-488 | | I-6351 | |
| | VPS | Turno | VPS | Turno | VPS | Turno | VPS | Turno |
| 6 | 6.749 | 14 | 11.613 | 14 | 10.454 | 11 | 15.069 | 13 |
| 8 | 3.709 | 11 | 6.847 | 13 | 6.949 | 11 | 9.920 | 11 |
| 10 | 2.140 | 11 | 4.275 | 11 | 4.959 | 10 | 7.048 | 11 |

Al utilizar la proyección de rendimiento, la situación cambia sustancialmente respecto de las estimaciones iniciales, las cuales tendían hacia una rotación más larga a la actualmente utilizada, pero al contrario, el turno, aunque es más variable, es consistente con la edad actual de cosecha, incluso en algunos casos el turno es más corto que el esperado y que el actualmente utilizado.

En la condición sin cultivo agrícola (cuadro N$^{o}$ 13), el turno de cosecha está entre los 11 y 14 años, lo cual, depende fundamentalmente de la tasa de descuento utilizada, mientras mayor es la tasa, el turno disminuye, lo cual, es más sensible para el híbrido I-488 que para la variedad I-6351. Esto se produce, porque la tasa de descuento más alta exige retornos más rápido y el híbrido I-6351, de mayor crecimiento, es capaz de compensar el efecto de la tasa de descuento aplicada, lo cual, permite la cosecha del rodal 2 años más tarde que el híbrido I-488. La tasa de crecimiento en volumen del rodal por sobre la edad de corta tradicional, no alcanza a compensar la tasa alternativa de retorno, lo cual, hace que la edad de corta sea más consistente con la edad actual de cosecha, que con una prolongación de la rotación por sobre los 16 años, como era lo esperado.

Cuando se incorpora el cultivo agrícola, el turno de cosecha se adelanta aun más, llegando a los 10 años para el híbrido I-488 y de 11 años para la variedad I-6351. Esto se explica básicamente por el aumento de los ingresos forestales que se obtienen por la realización de cultivos agrícolas durante los dos primeros años de la plantación, lo cual provoca la anticipación de la edad de corta de la plantación.

Estos mayores ingresos, reducen el turno, produciendo el efecto de anticipar la cosecha para volver a plantar el rodal. En términos de rentabilidad, nuevamente es importante la incidencia del cultivo agrícola. En el cuadro N$^{o}$ 14, es posible determinar que la rentabilidad mejora entre un 55 % hasta un 132 % en el híbrido I-488 y en el híbrido I-6351 la rentabilidad aumenta entre un 30 % hasta 65 % dependiendo de la tasa de descuento utilizada.

Comparativamente como se observa en el cuadro N$^{o}$ 15, en el híbrido I-488 sin cultivo agrícola, entre la utilización de una tabla de volumen hasta los 13 años y una tabla de volumen proyectada hasta los 16 años, la rentabilidad es menor cuando la edad de corta se prolonga hasta los 16 años, entre 23 % hasta un 26 % dependiendo la tasa de descuento utilizada, en cambio, la edad de corta, dependiendo de la tasa de descuento, tiende a disminuir hasta los 11 años. Este comportamiento se explica básicamente, porque al aumentar la edad de corta, el aumento de costos no alcanza a ser compensado con la tasa de crecimiento del bosque hasta los 16 años, lo cual, provoca la disminución de la rentabilidad y una anticipación de la cosecha en dos años respecto a la edad de corta actual.

Cuadro N$^{o}$ 14. Comparación del turno y rentabilidad según esquema de manejo.

| Precio | VPS sin Cultivo Agricola | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Fijo | Esquema Tradicional ($/Ha) | | | | Proyección de Volumen ($/Ha) | | | |
| Tasa de | I-488 | | I-6351 | | I-488 | | I-6351 | |
| Descuento (%) | VPS | Turno | VPS | Turno | VPS | Turno | VPS | Turno |
| 6 | 8.794 | 13 | 10.019 | 13 | 6.749 | 14 | 11.613 | 14 |
| 8 | 5.038 | 13 | 5.844 | 13 | 3.709 | 11 | 6.847 | 13 |
| 10 | 2.899 | 13 | 3.464 | 13 | 2.140 | 11 | 4.275 | 11 |

| Precio | VPS con Cultivo Agricola | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Fijo | Esquema Tradicional ($/Ha) | | | | Proyección de Volumen ($/Ha) | | | |
| Tasa de | I-488 | | I-6351 | | I-488 | | I-6351 | |
| Descuento (%) | VPS | Turno | VPS | Turno | VPS | Turno | VPS | Turno |
| 6 | 12.376 | 13 | 13.600 | 13 | 10.454 | 11 | 15.069 | 13 |
| 8 | 7.964 | 13 | 8.771 | 13 | 6.949 | 11 | 9.920 | 11 |
| 10 | 5.434 | 13 | 6.000 | 13 | 4.959 | 10 | 7.048 | 11 |

La situación para el caso del híbrido I-6351, es bastante diferente, indicando que la rentabilidad es mejorada cuando la edad de corta es prolongada hasta los 18 años, entre un 16 % hasta un 23 % dependiendo de la tasa de descuento usada y la edad de corta, en este caso, es más variable, indicando que a medida que la tasa de descuento aumenta, la edad de corta se anticipa.

Cuando en el análisis se incorpora los ingresos que genera el cultivo agrícola, sugiere que la edad de corta se anticipe aun más que lo indicado para el caso sin cultivo agrícola. Aunque desde el punto de vista del criterio financiero, sugiere anticipar la cosecha entre los 10 y 11 años, no es un caso aplicable, debido a que el objetivo de producción de la empresa está orientado hacia la obtención de mayores diámetros que los obtenidos actualmente, para la industria del debobinado, lo cual se obtiene aumentando la edad de corta o disminuyendo los costos de producción.

Sorprende la tendencia a anticipar la cosecha de la plantación, a pesar del mayor volumen que se obtiene a los 18 años, el cual prácticamente duplica el volumen cosechado a los 13 años y en consecuencia debería aumentar significativamente el rendimiento industrial de la madera, situación que deberá profundizarse con otros estudios teniendo una mayor cantidad de datos de rodales de edades mayores a las actuales.

La determinación de la edad de rotación de acuerdo a los criterios financieros, debe considerarse como una guía y confrontarse con otras variables que pudieran afectar en la decisión de la edad de cosecha, por ejemplo, la demanda de madera, la variabilidad en los precios, criterios operativos y por supuesto el tipo y calidad de los productos que se quieran obtener.

### 4.2.5 Rentabilidad plantaciones en rodales con proyección de rendimiento. Precio madera variable.

Otra de las hipótesis planteadas, tenía relación con que las plantaciones de corta rotación, de alta productividad y destinadas a la producción de grandes diámetros para la industria del debobinado, deben incentivar al productor, fundamentalmente a través del precio de la madera, a invertir en un plan de manejo orientado hacia la producción de diámetros de gran tamaño, lo cual evidentemente tiene costos mayores, que deben ser compensados a través del precio de la madera.

Para demostrar lo anterior, como se indicó anteriormente, la metodología aplicada en términos de determinar el precio de la madera, en base al rendimiento de la industria según diámetro procesado, significo que el precio fijo utilizado históricamente por la empresa, aumentara en un 15 % para el híbrido I-6351 y un 13 % para la variedad I-488. Como es conocido, la variable precio de la madera, es muy importante al momento de determinar los ingresos de la plantación. En este capítulo, se tratará de determinar cómo afecta, el aumento del precio de la madera, en la determinación de la edad de corta y rentabilidad del cultivo forestal. Tal como se indico en la metodología, cuando el precio se fija en función del tamaño de las trozas y del rendimiento industrial de la madera, este aumenta en forma importante, cuyo efecto en la rentabilidad de la plantación es importante de evaluar.

De acuerdo con los resultados observados en el cuadro N$^{o}$ 16, el aumento del precio de la madera, produce un aumento sustancial de la rentabilidad. Para el híbrido I-488 sin cultivo agrícola, este aumento es entre un 32 % hasta un 49 % y para el híbrido I-6351 la rentabilidad mejora entre un 26 % hasta un 33 % dependiendo de la tasa de descuento utilizada. En cambio, la edad de corta no se ve afectada, manteniéndose entre los 11 y 14 años, dependiendo del híbrido y la tasa de descuento.

Cuadro N$^{o}$ 15. Comparación del turno y rentabilidad según precio de la madera.

| Precio Fijo | VPS con Proyección de Rendimiento (US$/Ha) | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | Sin Cultivo Agrícola | | | | Con Cultivo Agrícola | | | |
| Tasa de Descuento (%) | I-488 | | I-6351 | | I-488 | | I-6351 | |
| | VPS | Turno | VPS | Turno | VPS | Turno | VPS | Turno |
| 6 | 6.749 | 14 | 11.613 | 14 | 10.454 | 11 | 15.069 | 13 |
| 8 | 3.709 | 11 | 6.847 | 13 | 6.949 | 11 | 9.920 | 11 |
| 10 | 2.140 | 11 | 4.275 | 11 | 4.959 | 10 | 7.048 | 11 |

| Precio Variable | VPS con Proyección de Rendimiento (US$/Ha) | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | Sin Cultivo Agrícola | | | | Con Cultivo Agrícola | | | |
| Tasa de Descuento (%) | I-488 | | I-6351 | | I-488 | | I-6351 | |
| | VPS | Turno | VPS | Turno | VPS | Turno | VPS | Turno |
| 6 | 8.550 | 14 | 14.586 | 14 | 12.252 | 13 | 18.034 | 13 |
| 8 | 4.922 | 11 | 8.800 | 13 | 8.182 | 11 | 11.871 | 11 |
| 10 | 3.012 | 11 | 5.678 | 11 | 5.826 | 11 | 8.450 | 11 |

Cuando se consideran los ingresos agrícolas, la rentabilidad también aumenta en forma importante, aunque en menor porcentaje que para el caso sin cultivo agrícola, alcanzando ambos híbridos un aumento en torno al 20 %. En este caso, la edad de corta cambia producto del aumento de precio de la madera, solo para el híbrido I-488, manifestando una tendencia hacia la prolongación de la rotación entre 1 y 2 años dependiendo de la tasa de descuento.

En general, para el tipo de manejo tradicional que se aplica actualmente a las plantaciones de Alamo, la mayor rentabilidad la obtiene el híbrido I-6351 por sobre la variedad I-488, en todos los casos analizados, tasa de descuento, con y sin cultivo agrícola, lo cual, es directamente proporcional a tasa de crecimiento y rendimiento de madera a la edad de cosecha.

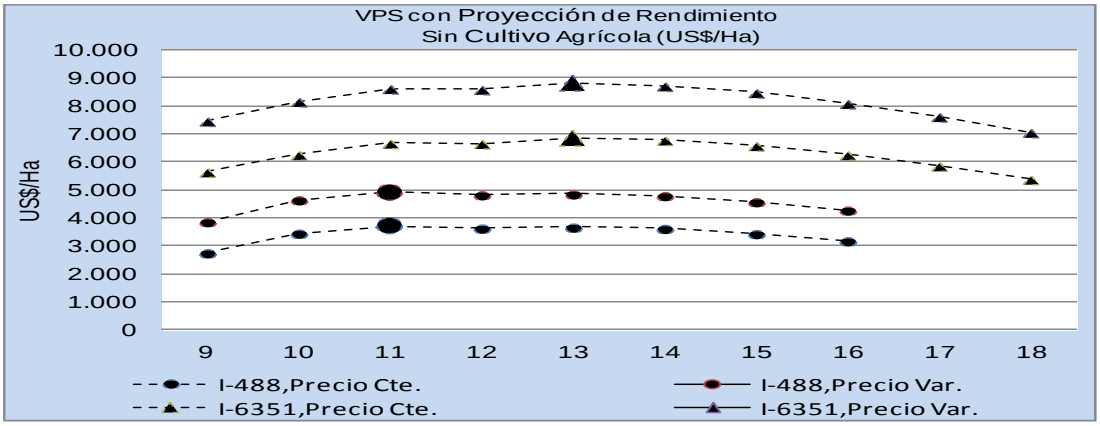



Figura N° 15. Evolución VPS y edad de corta según precio de la madera.

En la figura N° 15, se observa la evolución del VPS (US$/Ha), donde el efecto del aumento de precio de la madera produce un aumento de rentabilidad importante para ambos híbridos. La máxima rentabilidad se obtiene a los 11 años para el híbrido I-488 y a los13 años para el híbrido I-6351.

### 4.2.6 Determinación edad de rotación y rentabilidad, según indicadores biológico y financiero.

Utilizando la tabla de volumen de los rodales con proyección de rendimiento, se presentan los resultados obtenidos en relación a la rentabilidad y edad de corta, al aplicar diferentes tipos de indicadores y el efecto de la diferenciación del precio de la madera según el diámetro de troza.

Cuadro 16. Comportamiento del turno y rentabilidad según indicadores económicos.

| Edad (Años) | Plantacion de Alamo, Sin Cultivo Agricola y Tasa de Descuento de 8 % | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | Precio de la Madera Fijo | | | | | | Precio de la Madera Variable | | | | | |
| | I-6351 | | | I-488 | | | I-6351 | | | I-488 | | |
| | VPS (US$/Ha) | VNP (US$/Ha) | IMA ($M^3$/Ha/Año) | VPS (US$/Ha) | VNP (US$/Ha) | IMA ($M^3$/Ha/Año) | VPS (US$/Ha) | VNP (US$/Ha) | IMA ($M^3$/Ha/Año) | VPS (US$/Ha) | VNP (US$/Ha) | IMA ($M^3$/Ha/Año) |
| 9 | 5.655 | 2.826 | 24,3 | 2.756 | 1.377 | 17,9 | 7.474 | 3.735 | 24,3 | 3.869 | 1.933 | 17,9 |
| 10 | 6.268 | 3.365 | 26,5 | 3.456 | 1.855 | 20,0 | 8.168 | 4.384 | 26,5 | 4.649 | 2.495 | 20,0 |
| 11 | 6.680 | 3.815 | 28,5 | 3.709 | 2.118 | 20,4 | 8.631 | 4.929 | 28,5 | 4.922 | 2.811 | 20,4 |
| 12 | 6.668 | 4.020 | 29,5 | 3.638 | 2.193 | 20,8 | 8.603 | 5.187 | 29,5 | 4.830 | 2.912 | 20,8 |
| 13 | 6.847 | 4.329 | 31,1 | 3.673 | 2.323 | 21,8 | 8.800 | 5.564 | 31,1 | 4.860 | 3.073 | 21,8 |
| 14 | 6.792 | 4.480 | 32,3 | 3.626 | 2.392 | 22,6 | 8.727 | 5.756 | 32,3 | 4.799 | 3.165 | 22,6 |
| 15 | 6.592 | 4.514 | 33,0 | 3.442 | 2.357 | 23,1 | 8.485 | 5.810 | 33,0 | 4.581 | 3.137 | 23,1 |
| 16 | 6.266 | 4.437 | 33,5 | 3.184 | 2.254 | 23,6 | 8.098 | 5.734 | 33,5 | 4.282 | 3.032 | 23,6 |
| 17 | 5.870 | 4.283 | 33,7 | | | | 7.629 | 5.567 | 33,7 | | | |
| 18 | 5.392 | 4.042 | 33,6 | | | | 7.067 | 5.298 | 33,6 | | | |

Es fácil observar que los indicadores económicos siguen un comportamiento similar en todas las condiciones evaluadas, donde invariablemente el VPS es el indicador que entrega como resultado una rotación más temprana, le sigue el VNP y finalmente el IMA (Indicador de crecimiento), por lo tanto, el indicador económico utilizado y el objetivo que persigue el propietario, corresponden a variables muy relevantes a considerar al momento de determinar el turno de cosecha de una plantación. Para este caso específico de estudio, el indicador más adecuado a ser aplicado, corresponde al Valor Potencial del Suelo, por tratarse de terrenos dedicados en forma permanente al uso forestal en sucesivas rotaciones por más de 70 años.

En términos de la edad de corta (figura N$^{o}$ 16), se puede ver gráficamente la variación de la edad de corta, la cual, puede variar hasta entre 4 y 5 años, entre un indicador de características biológicas respecto de un indicador de tipo financiero, dependiendo del precio de la madera.

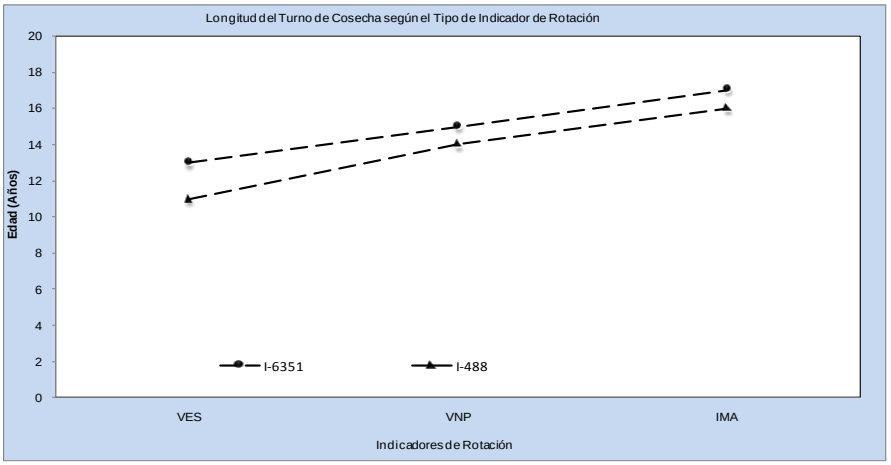



Figura N$^{o}$ 16. Evolución edad de corta según indicador de rotación.

Independiente del indicador utilizado, el híbrido I-6351 siempre está por sobre la curva de la variedad I-488, indicando que este híbrido debe ser cosechado en forma posterior a la variedad de menor crecimiento. Es decir, para las mismas condiciones de manejo, costos de producción y precio de la madera, mientras mayor volumen produce la plantación, la longitud de la rotación tiende aumentar.

Según los resultados que se muestran en el cuadro N$^{o}$ 16 y considerando el VPS como el indicador idóneo para ser aplicado en este tipo de evaluaciones, la edad de rotación para el híbrido I-6351 es de 13 años, plenamente coincidente con la edad de cosecha aplicada actualmente. En el caso del híbrido I-488, la edad de rotación es de 11 años, que respecto de la edad de corta tradicional, se anticipa en dos años, lo cual, es totalmente contradictorio con lo que sucede actualmente.

Lo anterior se explica porque el híbrido I-488 tiene una tasa menor de crecimiento, presentando en todas las condiciones de sitio un menor volumen, por lo tanto, la menor tasa de crecimiento del bosque, no es capaz de compensar la tasa de descuento que justifica el proyecto.

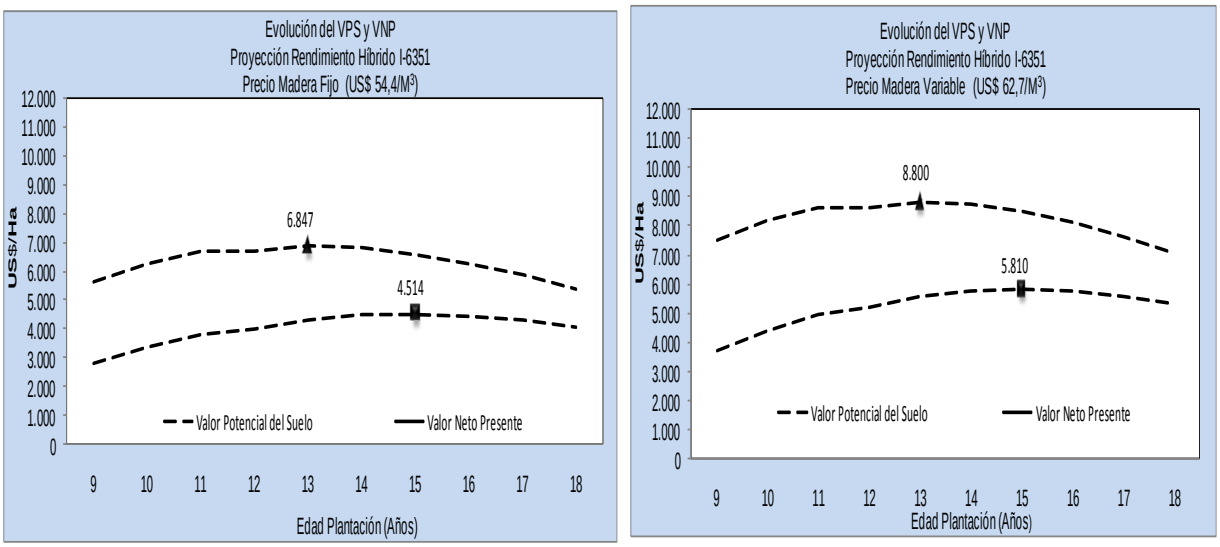



Figura N$^{o}$ 17. Rentabilidad y turno híbrido I-6351.

Al comparar ambos indicadores económicos, bajo el escenario de precio fijo de la madera, el VNP es consistente en entregar una edad de rotación mayor que el VPS en ambos híbridos. En la variedad I-6351, el turno de cosecha se prolonga por 2 años y la rentabilidad disminuye un 34 % respecto del VPS. En el híbrido I-488 el turno de cosecha se prolonga en 3 años y la rentabilidad disminuye un 35 % respecto del VPS. Está disminución de la rentabilidad, es atribuible al hecho que el VNP evalúa solo una rotación, mientras que el VPS se utiliza para sucesivas rotaciones o ciclos de corta. En la figura N$^{o}$ 17, se observa gráficamente, que el nivel de aumento en el precio de la madera, en ambos híbridos, no produce cambios en la edad de cosecha, en cambio produce un aumento significativo de la rentabilidad, independiente del indicador económico utilizado en la evaluación.

El comportamiento del híbrido I-488, es completamente diferente. Este híbrido presenta una rentabilidad de un 48 % menor que el híbrido I-6351 y presenta un turno de 11 años, anticipando la cosecha en 2 años respecto de la variedad I-6351. Aunque puede resultar interesante la anticipación de los retornos, en la práctica, especialmente en este híbrido no es aplicable, porque tanto su rendimiento volumétrico como su bajo diámetro, producen bajas fuertes en el rendimiento del debobinado.

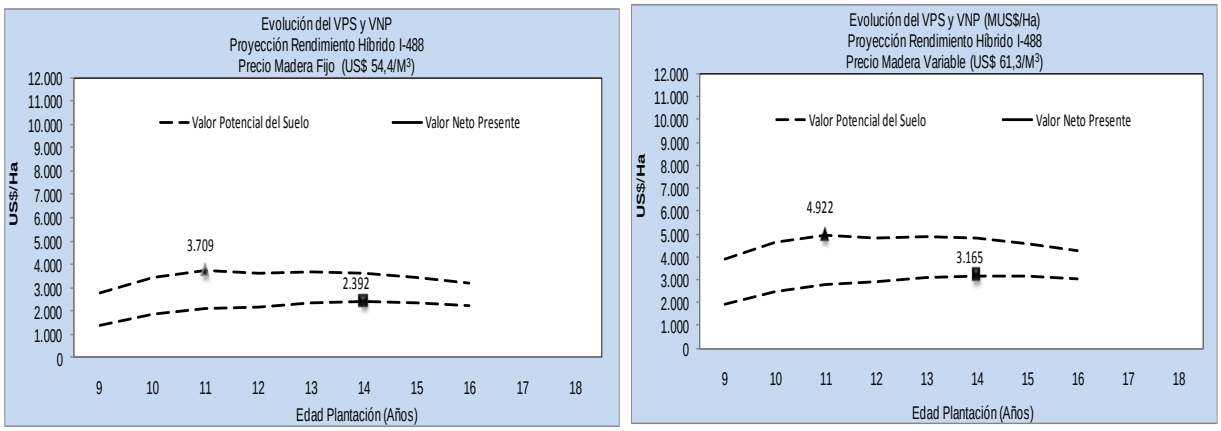



Figura N$^{o}$ 18. Rentabilidad y turno híbrido I-488.

En ambos híbridos, I-6351 e I-488, se pueden apreciar importantes diferencias en los retornos que se obtienen para una misma edad de rotación, al valorizar los productos según el diámetro de las trozas despachadas a la planta, resaltando la importancia de valorizar la madera según su rendimiento industrial, lo que permite obtener una mejora importante del negocio. La variedad I-488, muestra un aumento en el VPS que varía entre un 32 % hasta un 40 % y para el híbrido I-6351 los retornos aumentan entre un 28 % hasta un 32 % respecto al análisis con precio fijo de la madera (cuadro N$^{o}$ 16). Aquellos híbridos que presenten menores crecimientos y diámetro bajos, para una misma condición de sitio, esquema de manejo y edad de cosecha y para las mismas condiciones de precio de la madera, es más conveniente vender la madera sin considerar la diferenciación de precio de la madera, en este caso, el factor diferenciador de precio termina afectando negativamente la rentabilidad de la variedad.

Finalmente, para una tasa de descuento de 6 % y una edad de corta de 13 años, la mayor rentabilidad se obtiene cuando se realiza un cultivo agrícola y el precio de la madera es variable, alcanzando los US$ 18.034/Ha en el híbrido I-6351 y de US$ 12.420/Ha para el híbrido I-488, presentando este último híbrido un 31 % de menor rentabilidad que el híbrido I-6351.

### 4.2.7 Análisis de sensibilidad según distancia de transporte de la madera.

Otra variable importante de sensibilización corresponde a la distancia de transporte al centro de consumo de la madera. Las distancias de transporte utilizadas fueron 20, 50 y 100 Kms.

Cuadro N° 17. Efecto de la distancia de transporte sobre el VPS.

| | VPS con Precio Madera Fijo (US$/Ha) | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | Sin Cultivo Agrícola | | | | Con Cultivo agrícola | | | |
| Distancia Transporte 0 Km | | | | | | | | |
| Tasa de Descuento (%) | Turno (Años) | I-488 | Turno (Años) | I-6351 | Turno (Años) | I-488 | Turno (Años) | I-6351 |
| 6 | 14 | 6.749 | 14 | 11.613 | 11 | 10.454 | 13 | 15.069 |
| 8 | 11 | 3.709 | 13 | 6.847 | 11 | 6.949 | 11 | 9.920 |
| 10 | 11 | 2.140 | 11 | 4.275 | 10 | 4.959 | 11 | 7.048 |
| Distancia Transporte 20 Km | | | | | | | | |
| Tasa de Descuento (%) | Turno (Años) | I-488 | Turno (Años) | I-6351 | Turno (Años) | I-488 | Turno (Años) | I-6351 |
| 6 | 14 | 6.384 | 14 | 11.112 | 11 | 10.089 | 13 | 14.569 |
| 8 | 11 | 3.462 | 13 | 6.517 | 11 | 6.702 | 11 | 9.591 |
| 10 | 11 | 1.964 | 11 | 4.039 | 10 | 4.783 | 11 | 6.812 |
| Distancia Transporte 50 Km | | | | | | | | |
| Tasa de Descuento (%) | Turno (Años) | I-488 | Turno (Años) | I-6351 | Turno (Años) | I-488 | Turno (Años) | I-6351 |
| 6 | 14 | 5.836 | 14 | 10.360 | 11 | 9.542 | 13 | 13.819 |
| 8 | 11 | 3.093 | 13 | 6.023 | 11 | 6.333 | 11 | 9.097 |
| 10 | 11 | 1.698 | 11 | 3.684 | 10 | 4.519 | 11 | 6.457 |
| Distancia Transporte 100 Km | | | | | | | | |
| Tasa de Descuento (%) | Turno (Años) | I-488 | Turno (Años) | I-6351 | Turno (Años) | I-488 | Turno (Años) | I-6351 |
| 6 | 14 | 4.922 | 14 | 9.107 | 11 | 8.629 | 13 | 12.569 |
| 8 | 11 | 2.478 | 13 | 5.199 | 11 | 5.718 | 11 | 8.274 |
| 10 | 11 | 1.256 | 11 | 3.093 | 10 | 4.079 | 11 | 5.866 |

| | VPS con Precio Madera Variable (US$/Ha) | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | Sin Cultivo Agrícola | | | | Con Cultivo agrícola | | | |
| Distancia Transporte 0 Km | | | | | | | | |
| Tasa de Descuento (%) | Turno (Años) | I-488 | Turno (Años) | I-6351 | Turno (Años) | I-488 | Turno (Años) | I-6351 |
| 6 | 14 | 8.550 | 14 | 14.586 | 11 | 12.252 | 13 | 18.034 |
| 8 | 11 | 4.922 | 13 | 8.800 | 11 | 8.162 | 11 | 11.871 |
| 10 | 11 | 3.012 | 11 | 5.678 | 10 | 5.826 | 11 | 8.450 |
| Distancia Transporte 20 Km | | | | | | | | |
| Tasa de Descuento (%) | Turno (Años) | I-488 | Turno (Años) | I-6351 | Turno (Años) | I-488 | Turno (Años) | I-6351 |
| 6 | 14 | 8.185 | 14 | 14.084 | 11 | 11.887 | 13 | 17.534 |
| 8 | 11 | 4.675 | 13 | 8.471 | 11 | 7.916 | 11 | 11.542 |
| 10 | 11 | 2.835 | 11 | 5.441 | 10 | 5.650 | 11 | 8.214 |
| Distancia Transporte 50 Km | | | | | | | | |
| Tasa de Descuento (%) | Turno (Años) | I-488 | Turno (Años) | I-6351 | Turno (Años) | I-488 | Turno (Años) | I-6351 |
| 6 | 14 | 7.637 | 14 | 13.332 | 11 | 11.340 | 13 | 16.784 |
| 8 | 11 | 4.306 | 13 | 7.977 | 11 | 7.546 | 11 | 11.048 |
| 10 | 11 | 2.570 | 11 | 5.086 | 10 | 5.386 | 11 | 7.859 |
| Distancia Transporte 100 Km | | | | | | | | |
| Tasa de Descuento (%) | Turno (Años) | I-488 | Turno (Años) | I-6351 | Turno (Años) | I-488 | Turno (Años) | I-6351 |
| 6 | 14 | 6.723 | 14 | 12.079 | 11 | 10.428 | 13 | 15.534 |
| 8 | 11 | 3.691 | 13 | 7.153 | 11 | 6.931 | 11 | 10.225 |
| 10 | 11 | 2.128 | 11 | 4.495 | 10 | 4.946 | 11 | 7.268 |

De acuerdo a lo observado en el cuadro N° 17, en la condición sin cultivo agrícola, una tasa de descuento de 8 % y el precio de la madera fijo, la rentabilidad en el híbrido I-488 se ve afectada por la distancia de transporte de la madera, la cual, disminuye entre un 7 % hasta 50 % y de un 5 % hasta un 32 % para el híbrido I-6351. Nuevamente, la variedad I-6351 es la menos afectada por la distancia de transporte, es decir, este híbrido es capaz de soportar una mayor distancia de transporte que la variedad I-488.

En general, la distancia de transporte de la madera al centro de consumo, es una variable que afecta negativamente la rentabilidad del cultivo, en la medida que la industria procesadora se aleja del área donde se ubican las plantaciones. Este efecto, en general, es inversamente proporcional a la distancia de transporte, a mayor distancia y dependiendo de la tasa de descuento que se utilice, el VPS disminuye.

Cuando el precio de la madera aumenta en función del tamaño de la troza, el efecto de la distancia de transporte disminuye. Para el híbrido I-488 esta disminución de la rentabilidad está entre 5 % hasta un 33 % y para el híbrido I-6351 varía entre un 4 % hasta un 23 %, dependiendo de la distancia de transporte, siendo en todos los casos analizados un comportamiento similar, donde a mayor distancia de transporte de la madera, la disminución de la rentabilidad aumenta fuertemente.

Cuando en el plan de manejo de la plantación se considera la realización del cultivo agrícola, la rentabilidad de la plantación mejora sustancialmente, pero que dependiendo de la distancia de transporte y la tasa de descuento, el VPS disminuye entre un 6 % hasta un 18 % en ambos híbridos. Es decir, el mejor flujo de ingresos por el cultivo agrícola mejora más la rentabilidad de la variedad I-488 que el de la variedad I-6351.

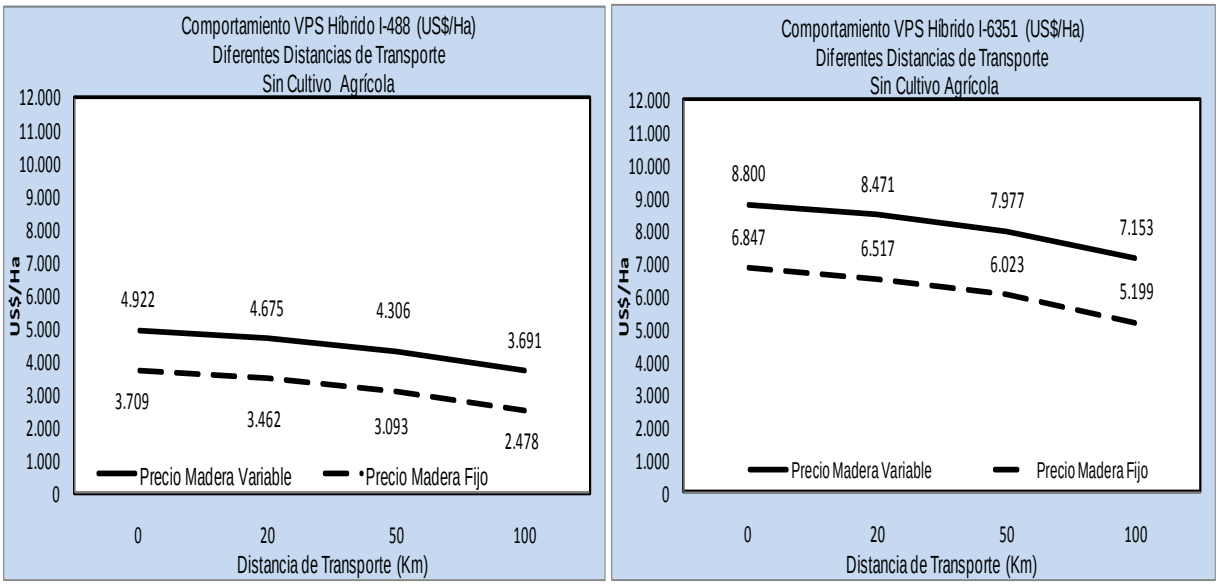



Figura N$^{o}$ 19. Diferencia de rentabilidad entre ambos híbridos según VPS.

Como se observa en el cuadro N$^{o}$ 20, el híbrido más afectado por la distancia de transporte es el I-488 que en este caso la rentabilidad disminuye desde un 44 % respecto del híbrido I-6351. En esta situación, el cultivo agrícola atenúa la diferencia de rentabilidad entre ambos híbridos, llegando a 31 %. En ambas condiciones de manejo, la diferencia de rentabilidad es muy importante y que debe ser considerada al momento de elegir el híbrido a cultivar.

Para ambos híbridos, el nivel de rentabilidad disminuye fuertemente según la tasa de descuento utilizada en el proyecto y en relación con la distancia de transporte de la madera, la rentabilidad disminuye gradualmente y será decisión del propietario determinar la distancia óptima de transporte, considerando no afectar en forma importante la rentabilidad de la plantación.

En los casos analizados, la distancia de transporte no modificó el largo del turno. En la figura N$^{o}$ 21, se muestra que bajo un régimen sin cultivo agrícola, existe una diferencia de 2 años en la edad de rotación entre ambos híbridos, indicando que el híbrido I-6351 se debe cosechar a los 13 años.

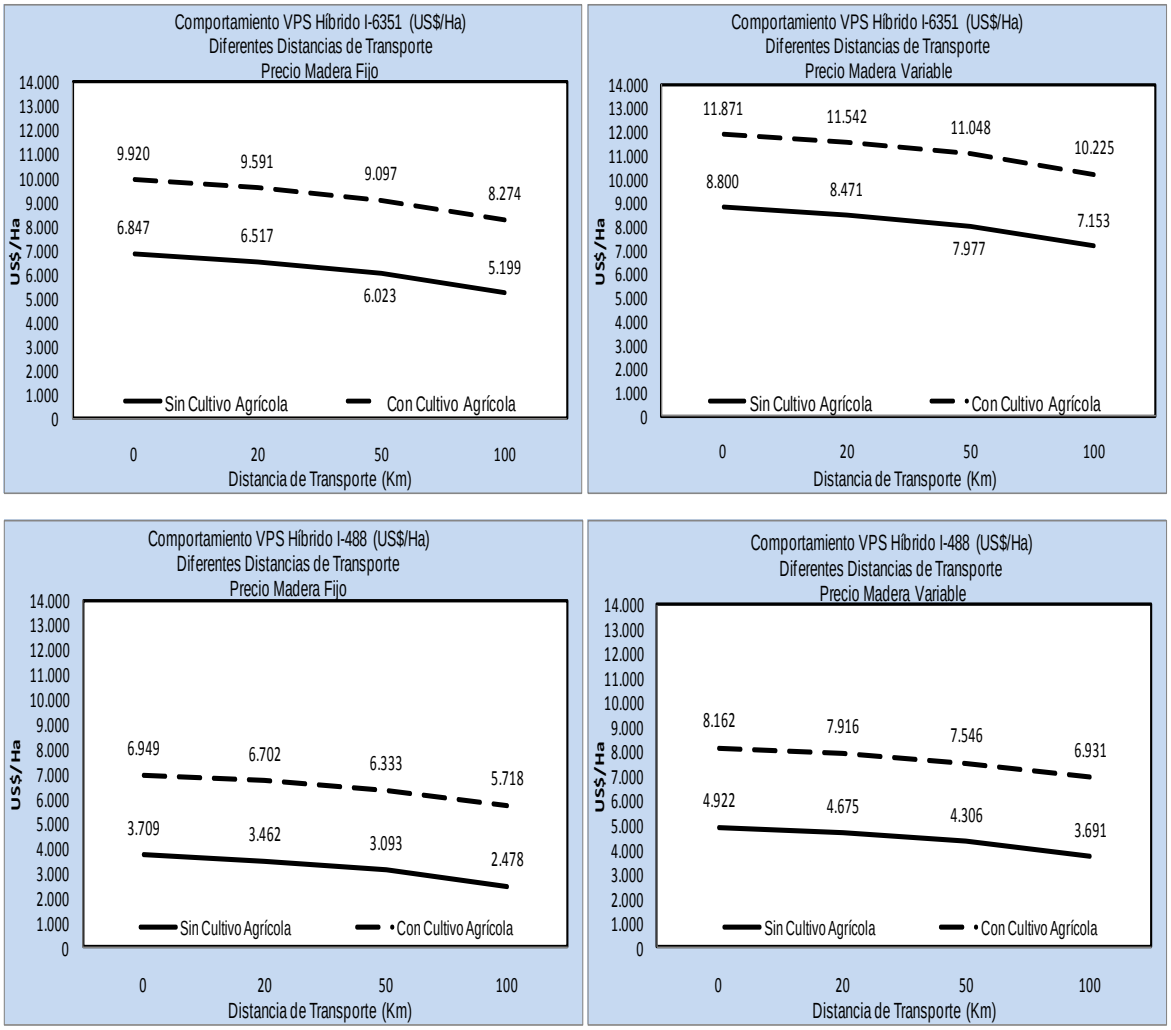



Figura N$^{o}$ 20. Tendencia VPS, híbridos I-488 e I-6351 según distancia de transporte de la madera.

Finalmente, en todas las condiciones de manejo analizadas, la recomendación de cosecha óptima para el híbrido I-488 es a los 11 años y para el híbrido I-6351 para la condición de manejo sin cultivo agrícola la cosecha se debe realizar a los 13 años. En cambio, cuando se incorpora en el flujo los ingresos que genera la actividad agrícola, se recomienda cosechar la plantación a los 11 años, es decir, se debe anticipar en 2 años la cosecha para maximizar la rentabilidad del cultivo.

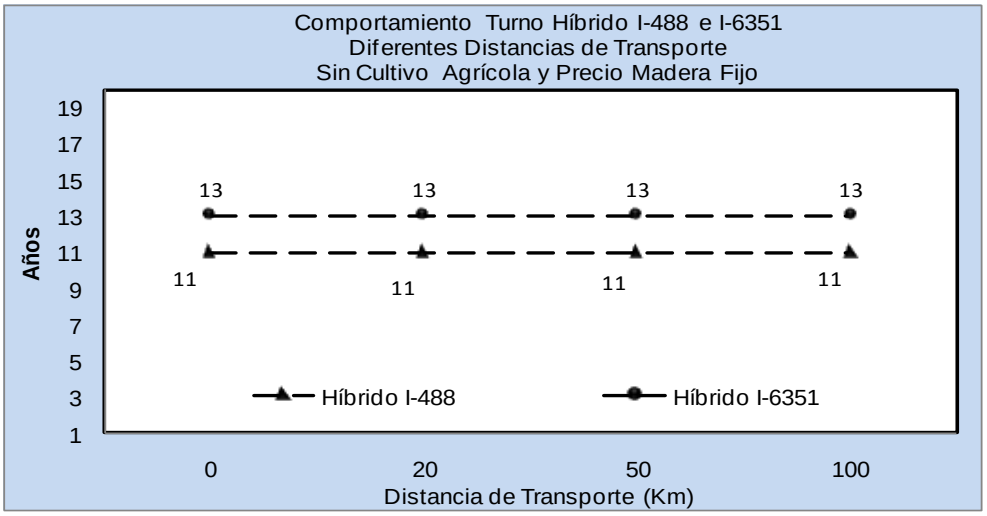



Figura N° 21. Comportamiento del periodo de rotación.

De acuerdo, al análisis de sensibilidad realizado, tanto, la tasa de descuento, la distancia de transporte como el aumento del precio de la madera, no producen modificación en la edad de rotación, solo la realización o no del cultivo agrícola, produce la reducción en 2 años del periodo de rotación en el híbrido I-6351.

## 4.3 Rentabilidad y longitud óptima de rotación.

Con la información y análisis de resultados desarrollados en los capítulos anteriores, permiten establecer las siguientes tablas resúmenes, donde se presenta la rentabilidad y turnos de rotación para dos híbridos de Alamo, determinados a través de la aplicación de criterios de evaluación biológico y financiero para diferentes esquemas de manejo.

Cuadro N° 18. Edad de rotación para 2 híbridos según criterio biológico.

| Variedad | CRITERIO BIOLOGICO | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | Esquema Tradicional | | | Con Proyección de Rendimiento | | |
| | Rendimiento $M^3$/Ha | IMA ($M^3$/Ha/Año) | Turno (Años) | Rendimiento $M^3$/Ha | IMA ($M^3$/Ha/Año) | Turno (Años) |
| I-488 | 343 | 26,7 | 13 | 386 | 23,6 | 16 |
| I-6351 | 375 | 28,8 | 13 | 605 | 33,7 | 17 |

Desde el punto de vista de la aplicación del criterio biológico para determinar el momento óptimo de cosecha, el cual, pretende determinar el momento de máxima producción de madera, ambos híbridos se cosechan a una edad promedio de 13 años. Según los resultados del cuadro N° 19, la máxima producción de madera para el híbrido I-488 se produce a la edad de 16 años con un volumen de 386 $M^3$/Ha que resulta ser un 12,5 % mayor que el obtenido a los 13 años (edad actual de cosecha) pero con un IMA menor en 11,6 % respecto del obtenido en plantaciones bajo el régimen de cosecha tradicional actual.

En cambio, el híbrido I-6351 es evidente, que desde el punto de vista biológico, la máxima producción de madera se produce a los 17 años, obteniendo un 61 % de mayor volumen que a los 13 años en que se cosechan actualmente las plantaciones de este híbrido y con un IMA 17 % mayor, lo cual, indica que el híbrido I-6351 debe ser cosechado a los 17 años, para maximizar el volumen de madera por hectárea.

En el cuadro N$^{o}$ 19, se muestran los resultados de rentabilidad y edad de rotación obtenidos según la aplicación del criterio financiero. En el caso de los rodales en que se mantuvo la plantación por sobre las edades en que comúnmente se cosechan las plantaciones, muestran en el caso de la variedad I-488 un VPS inferior al calculado para la misma variedad a la edad de cosecha habitual de doce o trece años. Esto está señalando que el aumento en el volumen a cosechar a los dieciséis años, no alcanza a compensar el efecto de la tasa de descuento sobre los ingresos. Por lo tanto, desde el punto de vista de los indicadores económicos no es aconsejable mantener la plantación hasta los dieciséis años.

En el caso de la variedad I-63/51, sucede exactamente lo mismo y no se recomienda mantener creciendo la plantación hasta los dieciocho años, incluso se recomienda cosechar la plantación a los 11 años, que es 2 años antes de la edad actual de cosecha.

Cuadro N$^{o}$ 19. Edad de rotación y rentabilidad según criterio financiero.

| CRITERIO FINANCIERO / Esquema Tradicional | | | | |
|---|---|---|---|---|
| **Precio Madera Fijo** | Sin Cultivo Agrícola | | Con Cultivo Agrícola | |
| Variedad | Turno (Años) | VPS (US$/Ha) | Turno (Años) | VPS (US$/Ha) |
| I-488 | 12 | 5.038 | 13 | 7.964 |
| I-6351 | 13 | 5.844 | 13 | 8.771 |

| CRITERIO FINANCIERO / Esquema con Proyección de Rendimiento | | | | |
|---|---|---|---|---|
| **Precio Madera Fijo** | Sin Cultivo Agrícola | | Con Cultivo agrícola | |
| Variedad | Turno (Años) | VPS (US$/Ha) | Turno (Años) | VPS (US$/Ha) |
| I-488 | 11 | 3.709 | 11 | 6.949 |
| I-6351 | 13 | 6.847 | 11 | 9.920 |

| CRITERIO FINANCIERO / Esquema con Proyección de Rendimiento | | | | |
|---|---|---|---|---|
| **Precio Madera Variable** | Sin Cultivo Agrícola | | Con Cultivo agrícola | |
| Variedad | Turno (Años) | VPS (US$/Ha) | Turno (Años) | VPS (US$/Ha) |
| I-488 | 11 | 4.922 | 11 | 8.182 |
| I-6351 | 13 | 8.800 | 11 | 11.871 |

La variedad I-63/51 muestra un IMA en crecimiento con respecto al año anterior, aun a los 18 años. Sin embargo, debido a la modalidad de pago por la madera, en la cual no se diferencia por el volumen de la troza entregada a pesar de estas altas tasas de crecimiento, los beneficios económicos que se obtienen al cosechar a los 18 años no justifican su mantención, ya que la maximización de los ingresos se obtiene a los 13 años.

La diferenciación en el precio de las trozas, claramente es un tema importante de continuar estudiando para su implementación definitiva. El producir trozas que aumenten el rendimiento de los procesos industriales es el objetivo de la planta industrial, lo cual debería fomentar un manejo dirigido a este tipo de productos.

Finalmente es concluyente, el hecho que los resultados obtenidos manifiestan una concordancia con la edad de cosecha actual de 13 años en el caso del híbrido I-6351 y de 11 años para el híbrido I-488, que en este caso, no coincide con la edad actual de cosecha de 13 años, sino que al contrario, anticipa la cosecha en 2 años con un VPS 2 % mayor que la rentabilidad que se obtiene cosechando la plantación a los 13 años. Sin embargo, al considerar los ingresos económicos que genera la realización del cultivo agrícola, la edad de rotación se iguala para ambos híbridos, estableciéndose en 11 años, lo cual, produce un mejoramiento sustantivo de la rentabilidad entre un 35 % hasta un 87 %, dependiendo de la realización o no de un cultivo agrícola.

Todo cultivo que utilice como bien de capital el suelo tiene un costo de oportunidad, que en este caso, corresponde al uso del suelo en cultivos agrícolas versus el uso forestal con especies de rápido crecimiento. Una forma de verificar que el cultivo forestal es competitivo respecto del uso agrícola, es utilizando como indicador la renta de la tierra.

La renta del suelo para el híbrido I-488 es de $ 160.000/Ha y para la variedad I-6351 es de $ 300.000/Ha, valores que permiten compararlos con los valores actuales de arriendo de tierras para uso agrícola de $ 200.000/Ha a $ 250.000/Ha. de acuerdo a los precios actuales de arriendo de tierras en la zona. La variedad I-6351 es competitiva frente al uso alternativo de tierras agrícolas de alta productividad. En cambio, el híbrido I-488 no es capaz de producir una renta superior al precio actual de arriendo de tierras, lo cual limita fuertemente la calidad de tierras que puede acceder, resultando más rentable destinar la tierra al cultivo agrícola que a la plantación del híbrido I-488 mientras no supere los rendimiento actuales.

## 5. CONCLUSIONES.

### 1. Criterio Volumétrico.

- De acuerdo con la aplicación de este criterio, ambos híbridos presentan edades óptimas de cosecha superiores a las aplicadas en la actualidad, que como promedio es de 12 a 13 años, es decir, la cosecha de las plantaciones está siendo anticipada, debido a que la plantación continua presentando un rendimiento creciente a edades superiores a las de cosecha actual.

- Al analizar la proyección de rendimiento, se pudo establecer que la edad óptima de cosecha de acuerdo a criterios volumétricos o biológicos, en el caso del híbrido I-488 está más cercana a los 16 años y para la variedad I-63/51, está más próxima a los 18 años, cuando el objetivo de producción es maximizar la cantidad de madera de características debobinable por hectárea.

- Se determinó que la producción promedio para el híbrido I-488 es de 347,3 $M^3$/Ha y para el híbrido I-6351 es de 375 $M^3$/Ha a los 13 años de edad, presentando esta última variedad un 8 % de mayor productividad que el híbrido I-488. Esta diferencia de productividad se mantiene en las diferentes calidades de sitio estudiadas, en el índice de sitio I la diferencia alcanza el 15 % y en el índice de sitio II, esta diferencia se reduce a 5 %, a favor del híbrido I-6351.

- Dentro de la variedad también se manifiestan diferencias de rendimiento importantes según el índice de sitio. El híbrido I-488, en el sitio I presenta un 13 % de mayor rendimiento a los 12 años respecto del sitio II. Plantar la variedad I-6351 en un sitio I, aumenta el rendimiento en 24 %.

- En la situación de proyección de rendimientos, el híbrido I-6351 correspondería cosechar la plantación a los 18 años aproximadamente, con un volumen de aprovechamiento medio individual aproximado de 1,93 $M^3$/árbol, equivalente a una producción total de 605 $M^3$ /Ha. Para el caso de la variedad I-488, la cosecha se debería producir a los 16 ó 17 años aproximadamente, con un volumen de aprovechamiento medio por árbol de 1,24 $M^3$/árbol, equivalente a una producción total de 386 $M^3$ /Ha.

## 2. Criterio Económico.

- Al considerar las variables económicas para determinar la rentabilidad del proyecto forestal, la variedad I-63/51 supera a la variedad I-488 en todas las condiciones analizadas, convirtiendo a esta variedad en la más conveniente de ser cultivada desde el punto de vista económico.

- La edad de cosecha se estableció en los 13 años para el híbrido I-6351 y de 11 años para el híbrido I-488, edades donde se producen los máximos retornos, siendo plenamente coincidente con la edad actual de cosecha de la variedad I-6351, pero en el caso del híbrido I-488 el turno se adelanta en 2 años respecto a la edad actual de cosecha.

- También se estableció que la rentabilidad del proyecto aumenta sustancialmente al aplicar un precio variable según el tamaño de las trozas producidas, respaldando la hipótesis planteada, que es más conveniente discriminar el precio de venta de la madera por diámetro de troza. Actualmente, el Area Forestal de la compañía está recibiendo un 28 % en el caso del I-6351 o de un 39 % para el híbrido I-488, de menos ingresos por la venta de su madera, por no aplicar la diferenciación del precio de la madera en función del rendimiento de las trozas.

- La sensibilización de la rentabilidad en función de la distancia de transporte de la madera al centro de consumo, determinó que mientras la distancia de transporte de la madera al centro de consumo aumenta, la rentabilidad del cultivo forestal disminuye.

- Cuando se incorpora el cultivo agrícola en el análisis, la rentabilidad del cultivo forestal mejora sustancialmente. La rentabilidad del híbrido I-488 aumenta entre un 42 % hasta un 135 % y en el híbrido I-6351 la rentabilidad aumenta entre un 34 % hasta un 106 %, por lo tanto, el plan de manejo de las plantaciones de Alamo bajo riego, debe considerar siempre realizar un cultivo agrícola durante los 2 primeros años de la plantación, porque permite adicionar un flujo importante de ingresos.

## 3. Indicadores Económicos.

- Al comparar los resultados que entregaron los diferentes indicadores económicos evaluados, la edad de rotación cambia en forma importante, siendo el VPS el indicador que entrega como resultado una rotación más temprana, le sigue el VNP y finalmente el IMA (Indicador de tipo Biológico), por lo tanto el indicador económico utilizado, es una variable relevante a considerar al momento de determinar el turno de cosecha de una plantación.

- La renta del suelo para el híbrido I-488 es de $ 160.000/Ha y para la variedad I-6351 es de $ 300.000/Ha, que de acuerdo a los precios actuales de arriendo de tierras, la variedad I-6351 es competitiva frente al uso alternativo de tierras agrícolas de alta productividad. En cambio, el híbrido I-488 no es capaz de producir una renta superior al precio actual de arriendo de tierras, lo cual, limita fuertemente la calidad de tierras que puede acceder para su cultivo.

## 4. Comentarios Generales.

- El estudio evidencia la importancia de conocer el crecimiento de las especies de interés comercial a utilizar en los proyectos de reforestación, para mejorar la planificación forestal y facilitar la toma de decisiones que proporcionen los máximos beneficios para los productores.

- La decisión de cosecha analizada en el estudio permitió establecer que la rotación para el híbrido I-488, sin cultivo agrícola, está en un rango entre 11 y 15 años. La edad de rotación para la variedad I-6351, está en un rango entre los 13 y los 18 años, en ambas variedades la rotación más larga fue obtenida usando el criterio biológico y las más cortas con el indicador económico VPS.

- Para obtener los máximos beneficios económicos, la planificación de los proyectos de reforestación en las condiciones específicas del estudio, debería considerar el uso de rotaciones de 11 años para el híbrido I-488 y de 13 años para la variedad I-6351, obtenidas a través del criterio de maximización del VPS, el cual tiene en cuenta los costos de oportunidad del suelo y del capital en su cálculo.

- Finalmente, de acuerdo a los importantes resultados obtenidos, es recomendable continuar este estudio, con el propósito de mejorar la base de información, en relación con dejar nuevos rodales que se cosechen a una edad superior a la actual, lo mismo ocurre para la tabla de precios de la madera diferenciada por diámetro, la cual debe ser actualizada y ajustar con una mayor base de información el criterio diferenciador de precio de la madera.

## 6. RESUMEN.

Se investigó la edad óptima de rotación para dos variedades híbridas de álamo, ubicadas en el valle central de la Región del Maule, Chile.

Los dos híbridos de Álamos analizados en este estudio fueron el I-488 y el I-63/51, los más comúnmente utilizados por la Compañía Agrícola y Forestal El Álamo, en sus plantaciones comerciales ubicadas en la Comuna de Retiro.

Para intentar dilucidar cuál es la edad óptima para cosechar las plantaciones de Alamo, se utilizaron criterios del tipo biológico y económico. Se realizaron análisis de tallo para rodales cosechados a distintas edades y a edades superiores a las comúnmente utilizadas por la Empresa. De esta forma se pudo conocer el rendimiento volumétrico y asociarle un valor de mercado con el que se establecieron flujos de caja de acuerdo al esquema de manejo utilizado por la Empresa.

De acuerdo al criterio biológico, se encontró que las dos variedades analizadas (I-488 e I-63/51) no alcanzaban aún su máximo Incremento Medio Anual (IMA) a las edades habituales de cosecha (12 a 13 años) sino que, dependiendo de la calidad del sitio, lo alcanzan a edades superiores que en este caso específico de estudio, fue a los16 y 17 años respectivamente.

En relación al análisis económico, la edad de cosecha se estableció en los 13 años para el híbrido I-6351 y de 11 años para el híbrido I-488, edades donde se producen los máximos retornos, siendo plenamente coincidente con la edad actual de cosecha de la variedad I-6351, pero en el caso del híbrido I-488 el turno se adelanta en 2 años respecto a la edad actual de cosecha.

La aplicación de la diferenciación de precio de la madera, produce un aumento importante de los retornos económicos, modalidad que actualmente no aplica la empresa para vender su madera. La rentabilidad del cultivo forestal se ve fuertemente mejorada con la realización de cultivos agrícolas.

Es indudable que para continuar mejorando la rentabilidad de las plantaciones como su edad de corta, se deben continuar investigando aspectos como: nuevos regímenes de manejo (Controles de Malezas, Fertilización y Riego), actualizando y mejorando el rendimiento industrial de la madera, producción de madera a edades superior a la actual, la estructura de costos del régimen de manejo y mejorar sistema de valorización de la madera según diámetro de las trozas, con el propósito de alinear el objetivo de producción con los resultados obtenidos.

Palabras claves: Álamo, rotación, criterio biológico, criterio económico.

## 7. *SUMMARY.*

It was investigated the optimal rotation age for two hybrid poplar varieties, located in the central valley of the Maule Region, Chile.

The two poplar hybrids analyzed in this study were I-488 and I-63/51, which are the most commonly used by the Compañía Agrícola y Forestal el Álamo in commercial plantations located in Retiro, central Chile.

Trying to clarify what is the optimum age to harvest the poplar plantations, biological and economic criteria were used. Stem analysis were conducted for stands harvested at different ages and older than those commonly used by the Company. Through this the volumetric efficiency could be learnt and associated with the market value which established cash flows according to the management scheme used by the company.

According to the biological criteria, it was found that the two varieties analyzed (I-488 e I-63/51) do not reach its maximum Mean Annual Increment ( MAI ) to the usual age of harvest ( 12- 13 years ) that is to say, depending on the quality of the site, are reached to older ages. In this specific study was at 16 and 17 years respectively.

In relation economic analysis, the age of harvest was set at 13 years for the hybrid I-6351 and 11 years for the hybrid I-488, ages which produce the highest returns, being intirely consistent with the current age of harvest of the variety I-6351, but in the case of the hybrid I-488 times move forward at 2 years for the current age of harvest.

The application of price differentiation of wood produces a significant increase in economic returns, a practice that currently does not apply the company to sell its timber. The profitability of tree farming has been greatly improved due to the implementation of agricultural crops.

There is no doubt that further enhancing the profitability of plantations as young age should continue to investigate aspects such as new management regimes (weed control, fertilization and irrigation), updating and improving the industrial performance of wood production wood older than the current cost structure of the management regime and improve recovery system according to diameter wood logs in order to align the production target with the results.

Keywords: Poplar, rotation, biological criteria, economic criteria.

## 8. BIBLIOGRAFÍA.


Baeyens-López, A. 1990. Chopos para el desenrollo. España. 579 p.

Bentley, W. R.; D. E. Teeguarden. 1965. Financial maturity: A theoretical review. Forest Science. 11: 76-87.

Chacon, I. 1995. Decisiones económico-financieras en el manejo forestal. Universidad de Talca, Talca. Chile. 248 p.

Chang, S., J. 1984. Determination of the optimal rotation age: A theoretical Analysis. Forest Ecology and Management. 8: 137-147.

Clutter, J. L., J. C. Fortson, L. V. Pienaar, G. H. Brister, R. L. Bailey. 1992. Timber management: a quantitative approach. Krieger Publishing Company. Florida. 333 p.

CONAF. 1998. Cultivo del Álamo. *Populus* spp. CONAF, Santiago, Chile. 214 p.

Davis, L., K. Johnson. 1987. Forest management. 3nd ed. McGraw-Hill, New York. 790 p.

FAO 1956. Los álamos y los sauces. En la producción de madera y la utilización de las tierras. Roma. 309 p.

FAO. 1980. Los álamos y los sauces. En la producción de madera y la utilización de las tierras. Roma. 349 p.

INFOR, ET AL. 1997. Monografía del Álamo. Santiago. Chile. 145 p.

Johansson, P.; K. Lofgren. 1985. The economics of forestry and natural resources. New York: Basil Blackwell Inc. 292 p.

Morales, E.; B. Olivares. 1983. Objetivos financieros del la producción de madera. Valdivia, Chile. 35 p.

Newman D. 1985. A discusión of the concept to the optimal forest rotation and a review of recent literature. Southeastern Center of Forest Economic Research, Research Triangle Park. North Carolina. SCFER Working Paper. Nº 1. 39 p.

Newman, D. 1988. The optimal forest rotation: A discusión and annotated bibliography. Gen. Tech. Rep. SE-48. Department of Agriculture Forest Service Southern Forest Experiment Station. 47 p.

Santibáñez, F., J. Uribe. 1993. Atlas agroclimático de Chile. Regiones sexta, séptima, octava y novena. Universidad de Chile. Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales, Laboratorio de Agroclimatología. Departamento de Ingeniería de Suelos. 99 p.

Yin, R.; D. Newman. 1997. When to cut a stand of trees? Natural Resource Modeling. 10(3): 251-271.

# Anexos

## Anexo 1.

## Memoria de Cálculo Híbrido I-488.

| Indice de Sitio | Promedio | m |
|---|---|---|
| Edad Rodal | 13 | Años |
| Tasa de Descuento | 0,1 | |
| Costo Anual Administración + C.Malezas + Costo Riego | 280 | US$/Ha |
| Superficie | 2.750 | Ha |
| Valor Dólar | 481,84 | $/US$ |

| Actividades | Año | Costo | Unidad | Precios (US$/$M^3$) | |
|---|---|---|---|---|---|
| **Cultivo Maíz** | **1** | **1.038** | **US$/Ha** | Edad | Debobinable |
| **Cultivo Maíz** | **2** | **1.038** | **US$/Ha** | 1 | 54,4 |
| Prep. Terreno | 0 | 457 | US$/Ha | 2 | 54,4 |
| Plantación | 0 | 376 | US$/Ha | 3 | 54,4 |
| Fertilización | 0 | 83 | US$/Ha | 4 | 54,4 |
| Poda Formación | 1 | 25 | US$/Ha | 5 | 54,4 |
| Poda 1 | 3 | 31 | US$/Ha | 6 | 54,4 |
| Control de Enfermedades | 3 | 52 | US$/Ha | 7 | 54,4 |
| Poda 2 | 4 | 21 | US$/Ha | 8 | 54,4 |
| Poda 3 | 5 | 42 | US$/Ha | 9 | 54,4 |
| Control de Enfermedades | 7 | 52 | US$/Ha | 10 | 54,4 |
| Cosecha Final | | 4,3 | US$/$M^3$ | 11 | 54,4 |
| Transporte | | 0,07 | US$/M3/Km | 12 | 54,4 |
| Distancia | | 100 | Km | 13 | 54,4 |

| Rendimiento ($M^3$/Ha) | | Valor Esperado del Suelo | | |
|---|---|---|---|---|
| Edad | Debobinable | Ingresos (US$) | Costos (US$) | VPS (US$/Ha) |
| 1 | 1 | 2.032 | -1.005 | 6.640 |
| 2 | 4 | 2.357 | -1.022 | 2.720 |
| 3 | 10 | 2.831 | -1.041 | 1.775 |
| 4 | 20 | 3.515 | -1.062 | 1.651 |
| 5 | 38 | 4.554 | -1.085 | 2.049 |
| 6 | 66 | 6.030 | -1.110 | 2.742 |
| 7 | 98 | 7.715 | -1.138 | 3.298 |
| 8 | 134 | 9.645 | -1.168 | 3.778 |
| 9 | 174 | 11.728 | -1.202 | 4.117 |
| 10 | 213 | 13.862 | -1.239 | 4.286 |
| 11 | 253 | 16.022 | -1.279 | 4.321 |
| 12 | 281 | 17.765 | -1.324 | 4.054 |
| 13 | 347 | 21.180 | -1.373 | 4.443 |

## Memoria de Cálculo Híbrido I-6351.

| | | |
|---|---|---|
| Indice de Sitio | Promedio | m |
| Edad Rodal | 13 | Años |
| Tasa de Descuento | 0,1 | |
| Costo Anual Administración + C.Malezas + Costo Riego | 280 | US$/Ha |
| Superficie | 2.750 | Ha |
| Valor Dólar | 481,84 | $/US$ |

| Actividades | Año | Costo | Unidad | Precios (US$/$M^3$) | |
|---|---|---|---|---|---|
| **Cultivo Maíz** | **1** | **0** | **US$/Ha** | Edad | Debobinable |
| **Cultivo Maíz** | **2** | **0** | **US$/Ha** | 1 | 54,4 |
| Prep. Terreno | 0 | 457 | US$/Ha | 2 | 54,4 |
| Plantación | 0 | 376 | US$/Ha | 3 | 54,4 |
| Fertilización | 0 | 83 | US$/Ha | 4 | 54,4 |
| Poda Formación | 1 | 25 | US$/Ha | 5 | 54,4 |
| Poda 1 | 3 | 31 | US$/Ha | 6 | 54,4 |
| Control de Enfermedades | 3 | 52 | US$/Ha | 7 | 54,4 |
| Poda 2 | 4 | 21 | US$/Ha | 8 | 54,4 |
| Poda 3 | 5 | 42 | US$/Ha | 9 | 54,4 |
| Control de Enfermedades | 7 | 52 | US$/Ha | 10 | 54,4 |
| Cosecha Final | | 4,3 | US$/$M^3$ | 11 | 54,4 |
| Transporte | | 0,07 | US$/M3/Km | 12 | 54,4 |
| Distancia | | 100 | Km | 13 | 54,4 |

| Rendimiento ($M^3$/Ha) | | Valor Esperado del Suelo | | |
|---|---|---|---|---|
| Edad | Debobinable | Ingresos (US$) | Costos (US$) | VPS (US$/Ha) |
| 1 | 2 | 70 | -1.005 | -12.983 |
| 2 | 5 | 197 | -1.022 | -7.564 |
| 3 | 11 | 463 | -1.041 | -5.381 |
| 4 | 22 | 967 | -1.062 | -3.839 |
| 5 | 41 | 1.782 | -1.085 | -2.492 |
| 6 | 69 | 2.961 | -1.110 | -1.235 |
| 7 | 102 | 4.392 | -1.138 | -204 |
| 8 | 139 | 5.977 | -1.168 | 570 |
| 9 | 179 | 7.709 | -1.202 | 1.158 |
| 10 | 218 | 9.376 | -1.239 | 1.471 |
| 11 | 258 | 11.137 | -1.279 | 1.685 |
| 12 | 301 | 12.965 | -1.324 | 1.809 |
| 13 | 375 | 16.156 | -1.373 | 2.394 |

## Memoria de Cálculo Híbrido I-488 e I-6351 con Proyección de Rendimientos.

| Indice de Sitio | Promedio | m |
|---|---|---|
| Tasa de Descuento | 0,08 | |
| Costo Anual Administración + C.Malezas + Costo Riego | 280 | US$/Ha |
| Superficie | 2.750 | Ha |
| Valor Dólar | 481,84 | $/US$ |

| Actividades | Año | Costo | Unidad | Precios (US$/$M^3$) | |
|---|---|---|---|---|---|
| **Cultivo Maíz** | **0** | **0** | **US$/Ha** | Edad | Debobinable |
| **Cultivo Maíz** | **0** | **0** | **US$/Ha** | 9 | 54,4 |
| Prep. Terreno | 0 | 457 | US$/Ha | 10 | 54,4 |
| Plantación | | 376 | US$/Ha | 11 | 54,4 |
| Control de Enfermedades | 3 | 46 | US$/Ha | 12 | 54,4 |
| Control de Enfermedades | 7 | 62 | US$/Ha | 13 | 54,4 |
| Fertilización | 1 | 73 | US$/Ha | 14 | 54,4 |
| Poda Formación | 1 | 10 | US$/Ha | 15 | 54,4 |
| Poda 1 | 3 | 31 | US$/Ha | 16 | 54,4 |
| Poda 2 | 4 | 52 | US$/Ha | 17 | 54,4 |
| Poda 3 | 5 | 62 | US$/Ha | 18 | 54,4 |
| Cosecha Final | | 4,3 | US$/$M^3$ | | |
| Transporte | | 0,07 | US$/$M^3$/Km | | |
| Distancia | | 50 | Km | | |

| Rendimiento ($M^3$/Ha) | | | Valor Esperado del Suelo | | |
|---|---|---|---|---|---|
| Edad | I-6351 | I-488 | Ingresos (US$) | Costos (US$) | VPS (US$/Ha) |
| 9 | 161 | 161 | 7.510 | -1.197 | 1.985 |
| 10 | 200 | 200 | 9.332 | -1.226 | 2.660 |
| 11 | 234 | 234 | 10.909 | -1.257 | 2.913 |
| 12 | 262 | 262 | 12.219 | -1.291 | 2.863 |
| 13 | 296 | 296 | 13.784 | -1.328 | 2.909 |
| 14 | 329 | 329 | 15.336 | -1.368 | 2.876 |
| 15 | 359 | 359 | 16.720 | -1.410 | 2.713 |
| 16 | 386 | 386 | 17.992 | -1.457 | 2.481 |
| 17 | 572 | | 26.675 | -1.507 | 4.987 |
| 18 | 605 | | 28.174 | -1.561 | 4.548 |