Universidad Austral de Chile
Facultad de Ciencias Forestales

Análisis económico de los precios sombra de un modelo de programación lineal para la planificación estratégica de una empresa forestal

Patrocinante: Sr. Gonzalo Paredes V.

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

JOSÉ IGNACIO GONZÁLEZ VALDÉS

VALDIVIA
2007

CALIFICACIÓN DEL COMITÉ DE TITULACIÓN

		Nota
Patrocinante:	Sr. Gonzalo Paredes V.	6,6
Informante:	Sra. Rosa María Alzamora M.	6,4
Informante:	Sra. Mariana Löbel D.	6,5

El Patrocinante acredita que el presente Trabajo de Titulación cumple con los requisitos de contenido y de forma contemplados en el reglamento de Titulación de 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. Gonzalo Paredes V.

A mis madres Yoly y Ester, símbolos de abnegación, por su amor, constante apoyo y preocupación.

A Carlos Andrés, por ser mi hermano

Por último y en forma especial a mi padre Carlos Jara que se encuentra junto a Dios y que siempre me ha acompañado.

Agradezco el apoyo, orientación y paciencia de mi profesor guía Sr. Gonzalo Paredes, por guiarme por las sombras…. de los precios, a Mariana Löbel, a quien he molestado en demasía y ya debe tenerme como *spam* en su correo electrónico, y en forma muy especial a mi amiga y profesora Rosa María Alzamora, quien desde la distancia ha sido un constante apoyo. A todos uds. muchas gracias.

Agradezco a todos mis amigos y amigas de la generación 2002, y remanentes de generaciones anteriores que me acompañaron hasta el final. En forma especial a..., No, mejor que no!!!, porque son muchos y si me olvido de alguno o alguna se pueden sentir, así que gracias a todos.

Quiero agradecer la compañía de una mujer maravillosa que ha estado junto a mí en estos últimos pasos…gracias Sole.

Quiero dar un agradecimiento especial a la Familia Cerda Garay por estos años de amistad y cariño (ojalá con esto me den permiso para salir hasta tarde).

Para finalizar, agradezco a todas las personas que permitieron la realización de mi trabajo de titulación y que me han acompañado en estos años de “estudio”.

ÍNDICE DE MATERIAS

		Página
1.	**INTRODUCCIÓN**	1
2.	**MARCO TEÓRICO**	3
2.1	Planificación de la Producción	3
2.2	La programación matemática y su aplicación en decisiones de producción forestal	3
2.2.1	La programación lineal	4
2.2.2	Formulación matemático – económica de la programación lineal	5
2.2.3	Los precios sombra, interpretación y utilidad	6
3	**DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN**	7
3.1	Material	7
3.2	Metodología	9
3.2.1	Parámetros a utilizar	9
3.2.2	Proyección de rendimientos	9
3.2.3	Generación de parámetros económicos	10
3.2.4	Planteamiento del modelo de planificación patrimonial	11
3.2.5	Estructura de análisis de precios sombra	18
4	**RESULTADOS Y DISCUSIÓN**	20
4.1	Proyección de la información patrimonial	20
4.2	Valores resultantes para la función objetivo	22
4.3	Restricción de Flujo mínimo de Ingresos Netos	25
4.3.1	Efecto de los precios sombra en la edad de corta del bosque	27
4.4	Restricción de abastecimiento	28
4.4.1	Comparación de precios sombra para ambos destinos dado una demanda igualitaria	33
4.5	Análisis comparativos del valor de la función objetivo para los distintos escenarios	34
5	**CONCLUSIONES**	36

6 **BIBLIOGRAFÍA** 38

ANEXOS

1 *Abstract and Keywords*

2 Variables incluidas en el modelo de Programación Lineal

3 Ubicación de las zonas y de los centro de consumo utilizados en la planificación

4 Esquemas de manejo según zona y sitio

5 Rendimientos según zona y sitio

6 Ingresos y Costos por períodos

ÍNDICE DE CUADROS

		Página
Cuadro 1	Patrimonio actual según zona, sitio, manejo	7
Cuadro 2	Esquema de trozado	9
Cuadro 3	Costos Silvícola, Cosecha y Administrativos	10
Cuadro 4	Costos de transporte a cada uno de los destinos	11
Cuadro 5	Precios por productos	11
Cuadro 6	Evaluación económica según esquema de manejo	21
Cuadro 7	Predicción de la efectividad de poda a partir del índice de troza podada (PLI)	22
Cuadro 8	Representación del efecto de los precios sombra de la restricción de ingresos mínimos, en la corta del bosque.	27
Cuadro 9	Precios sombra de la restricción de flujo de ingresos mínimos y variación de la edad de cosecha para los primeros períodos.	28
Cuadro 10	Precio de transferencia de grupo de productos, precio real mas precio sombra absoluto	32
Cuadro 11	Representación del efecto de los precios sombra de la restricción de ingresos mínimos, en la corta del bosque.	32
Cuadro 12	Precio de transferencia de grupo de productos (precio real mas precio sombra absoluto), para una demanda igualitaria de los destinos.	33

ÍNDICE DE FIGURAS

		Página
Figura 1	Gráfico de distribución del patrimonio actual con respecto al año de plantación	8
Figura 2	Volumen proyectado por grupo de productos, según esquema de manejo y zona de crecimiento (Izquierda: zona 1, Derecha: zona 2)	20
Figura 3	Porcentaje de distribución de volumen por hectárea, del manejo intensivo en zona 2	21
Figura 4	Gráfico de distribución de ingresos por periodo en un escenario libre	22
Figura 5	Distribución de volumen total por periodo en un escenario libre	23
Figura 6	Distribución de volumen total por grupo de productos por periodo en un escenario libre	24
Figura 7	Gráfico de flujo de ingresos a lo largo del horizonte de planificación	25
Figura 8	Precios sombra de la restricción de flujo no decreciente de ingresos	26
Figura 9	Oferta de productos aserrable grueso (grupo 3), a lo largo del horizonte de planificación en escenario libre.	29
Figura 10	Oferta por destino de productos aserrable grueso (grupo 3), a lo largo del horizonte de planificación en escenario libre.	30
Figura 11	Compromiso de abastecimiento del grupo de Aserrable grueso (3) al Destino A	30
Figura 12	Compromiso de abastecimiento del grupo de Aserrable grueso (3) al Destino B	30
Figura 13	Precio sombra de la restricción de abastecimiento a los respectivos destinos	31
Figura 14	Precios sombra de la restricción de abastecimiento a 2 destinos, considerando una demanda igualitaria y no excluyente.	34
Figura 15	Valor de la función objetivo ante diferentas escenarios	35

RESUMEN EJECUTIVO

Este trabajo surge a partir de la necesidad de comprender y obtener el máximo de beneficios de los resultados de un modelo de programación lineal para la planificación estratégica en una empresa forestal de orden vertical. En tal sentido, un producto importante de dichos modelos son los precios sombra de los recursos, los que indican la tasa a la que el valor de la función objetivo puede aumentar si se incrementa marginalmente la cantidad que se proporciona de un recurso.

El análisis de este tipo de información es relevante para apoyar decisiones consistentes con las metas de optimización de la empresa. En esta línea temática es donde se inserta el presente estudio, cuyo objetivo es realizar un análisis económico de los precios sombra generados en un modelo de programación lineal para la planificación estratégica de una empresa forestal.

Para cumplir con el objetivo propuesto se analizó el caso de una empresa *prototipo* que posee un patrimonio de 1180 ha de plantaciones de *Pinus radiata*. La generación de la matriz se realizó con el Modelo de planificación estratégica "Austral", desarrollado por académicos de la Universidad Austral de Chile.

Para tal caso, se analizaron 3 escenarios de optimización, uno "Libre", donde no existe restricción alguna; otro de "Ingresos netos mínimos" en el cual se estableció que el ingreso anual fuese no menor a US$ 300.000; y por ultimo uno de "Flujo de madera mínima", donde se estableció una demanda base para el grupo de productos de aserrables gruesos. Ello se aplicó para los 2 destinos establecidos, llamados genéricamente A y B. Dicha cuota de abastecimiento correspondió a 3300 m^3 anuales por destino, en forma excluyente, y luego una cuota de 1650 m^3 para emboscada uno de los destinos.

Los resultados de la función objetivo para los distintos escenarios fueron, escenario libre US$ 6.022.167; escenario de ingresos mínimos US$ 5.979.771; y escenario de flujo de madera mínima US$ 5.912.080 con demanda para el destino A. y de US$ 5.947.733 con demanda para B. Para una demanda igualitaria de 1650 m^3, el valor de la función objetivo fue US$ 5.938.950.

Con respecto a la restricción de ingresos mínimos, se observó que en el primer quinquenio debería existir un aumento hasta 15% en el precio de los productos para poder cumplir con holgura en dicha restricción.

Se analizó el efecto de los precios sombra de la restricción de ingresos mínimos, sobre la edad óptima de corta, y se observó que en los períodos donde existía el mayor incremento de los precios sombra, fue donde existía mayor sacrificio de parte del bosque, debiendo retrasar hasta en 2 períodos la edad de corta de los rodales. Este retraso se debe a que los precios sombra más altos se encuentran en los primeros períodos, por lo que los rodales maduros que existen y deben ser cosechados al inicio de la planificación, deben sacrificar su cosecha, debiendo en este caso retrasarla.

Por el contrario a medida que los precios sombra de la restricción de ingresos mínimos, comienzan a decrecer el efecto en la edad óptima de corta va siendo mínima, así se observó en los períodos 7 y 8 en los cuales solo un macro-rodal tuvo que sacrificar su óptimo económico, adelantando su cosecha en un periodo. Cuando los precios sombra llegan a 0, la cosecha de los rodales se hace de acuerdo a su óptimo económico, por lo que no existe un sacrificio del bosque por generar los ingresos mínimos exigidos.

Respecto al abastecimiento de los destinos excluyentes, se observó que el máximo sacrificio del patrimonio para cumplir con la demanda de trozas del grupo aserrable grueso, se encontraba en los primeros períodos. En tal ocasión, el precio de transferencia de las trozas llegó a los 70 US$/$m^3$ en el periodo 4, para el destino A, y 67 US$/$m^3$ en el periodo 2, para el destino B. En estos períodos el precio de transferencia de las trozas supera el valor de mercado del grupo de productos podados con PLI < 4.

Para la restricción de demandas mínimas de abastecimiento constantes a los dos destinos en conjunto, el valor de transferencia desde el bosque al destino, alcanzó su máximo de 64 US$/$m^3$ en el destino B en el periodo 2. Este valor fue menor que los arrojados por la demanda hacia un solo destino. Por ello, desde el punto de vista económico, el costo de oportunidad es menor al abastecer ambos centros de consumo con 1650 m3/año, en lugar de destinar los 3300 m^3/año a una demanda en particular.

Como conclusiones relevantes se tiene que los precios sombra constituyen una herramienta útil para identificar la exigencia (costo) que se le está aplicando al patrimonio en beneficios de metas de ordenamiento, rentabilidad a largo plazo y de abastecimiento industrial.

En el caso de una restricción de ingresos mínimos, la utilidad de los precios sombra va en el sentido de determinar equivalencias de aumento en precios de productos para mantener un ingreso que pague los costos operacionales, generando niveles de utilidad superior a un valor crítico.

Respecto al abastecimiento mínimo y sus restricciones, este corresponde al precio al cual deberían ser pagadas las trozas, para cumplir con una demanda dada, o el valor extra que se le esta exigiendo al bosque desde el punto de vista de los productos, para satisfacer el volumen demandado.

Finalmente, sería pertinente desarrollar un diseño de reportes con tablas, gráficos y puntos de equilibrio, para que la información se presente de un modo tal, que los análisis discutidos en este estudio se generen al mínimo costo en tiempo para los planificadores.

Palabras claves: Precios sombra, Planificación estratégica, *Pinus radiata.*

1. INTRODUCCIÓN

La planificación estratégica de una empresa forestal, tiene por objetivo generar información técnica y económica que apoye la toma de decisiones, de modo de asegurar la viabilidad económica de la firma en el largo plazo.

Considerando objetivos de eficiencia y competitividad la operación de planificar para distintos plazos de producción es hoy por hoy una práctica necesaria, cualquiera sea el tamaño del sistema de producción.

En tal sentido, las herramientas más utilizadas para apoyar la planificación estratégica están en el campo de las operaciones matemáticas. En el caso particular de la gestión forestal con plantaciones, la Programación Lineal ha sido la herramienta más recurrente. Uno de los precursores de esta operación matemática es Navon (1971), quien presenta un esquema compuesto por tres etapas, i) generación de la matriz, ii) optimización y iii) presentación de resultados.

Este tipo de programación asiste el proceso de producción y asignación de recursos en empresas forestales con patrimonio de plantaciones y plantas de procesamiento. La aplicación se realiza mediante la modulación de escenarios de asignación de recursos que la compañía enfrenta y de acuerdo a los criterios de eficiencia patrimonial, así como a sus compromisos y restricciones (físicas, técnicas y económicas).

En la gestión patrimonial forestal el planteamiento del modelo, vale decir, la definición de la función objetivo y restricciones, varía dependiendo del horizonte de planificación que se considere (modelo operativo, táctico o estratégico) y de las limitantes económicas, políticas y técnicas que la firma enfrente.

Laroze (1994), destaca ventajas asociadas a la programación lineal, la primera dice relación con que una alta proporción de los problemas de los sectores productivos pueden ser representados por un problema lineal. Por otro lado, está la facilidad de realizar análisis de sensibilidad del modelo, lo que permite evaluar variaciones con respecto al modelo original.

Además, otra gran ventaja analítica de la programación lineal es el análisis dual o económico. La interpretación dual es relevante para conciliar el valor económico o costo de oportunidad de los recursos, con su correcta asignación y demanda.

El simple hecho de establecer restricciones al objetivo principal (maximizar el valor descontado del patrimonio), significa que hay otros objetivos que también tiene una valor “implícito” para el propietario. Si así no fuese, simplemente los rodales se cosecharían de acuerdo a su óptimo individual, sin importar lo que ocurra con el rendimiento sostenido del patrimonio, con las demandas por maquinaria, con los ingresos netos durante el período, así como con los compromisos de abastecimiento a las plantas industriales.

El problema consiste en conocer cuánto valen estos objetivos del propietario. Para ello el uso de la programación lineal y el análisis de los precios sombra, permite presentar todas las posibilidades de producción que son relevantes al objetivo económico de la empresa.

Considerando este marco conceptual y analítico, el presente trabajo de titulación plantea el análisis económico de los precios sombra generados en un modelo de programación lineal para la planificación estratégica de una empresa forestal. Para este fin, los siguientes objetivos específicos deberán ser desarrollados.

a) Caracterizar la empresa en términos de patrimonio, objetivos de producción y de su gestión estratégica que se desea alcanzar con el Modelo de programación lineal.

b) Plantear un modelo de programación lineal compatible con los objetivos y con el escenario productivo y económico que enfrenta la empresa (Función Objetivo y Restricciones).

c) Resolver el Modelo con el apoyo de un software, presentando resultados e interpretación de la Función Objetivo y Restricciones.

d) Analizar la información de precios sombra de los recursos y restricciones de flujo mínimo y de abastecimiento.

2. MARCO TEÓRICO

2.1 Planificación de la Producción

El proceso de planificación y control de la producción involucra una compleja estructura de decisiones interdependientes, en donde se conjuga un amplio espectro de factores (horizonte de tiempo, incertidumbre, frecuencia de re-planificación, etc.) asociados a diferentes objetivos y estamentos de la estructura organizacional, resultado de lo cual se obtiene el plan productivo en todas sus dimensiones. Esta compleja estructura de decisiones que caracteriza los sistemas productivos, y la coordinación de éstas para garantizar una operación eficiente, establece una jerarquía natural que está presente en los modelos de planificación de la producción (Arrate, 1997).

Para facilitar el entendimiento de los modelos matemáticos que soportan las distintas decisiones asociadas a la planificación de la producción, la literatura las clasifica en tres categorías: Planificación Estratégica, Planificación Táctica y Control Operacional (Thomas, 1993).

La Planificación Estratégica guarda relación con decisiones de largo plazo, en el sentido de establecer políticas de desarrollo que permitan satisfacer la demanda externa, en forma consistente con las metas globales de la empresa. Se consideran aquí decisiones relacionadas con la localización y tamaño de los centros productivos, adquisición de nuevos equipos, selección de nuevas líneas de productos y el diseño de los sistemas logísticos. Estas decisiones involucran grandes inversiones de dinero y son afectadas por información tanto interna como externa de la empresa, por lo que los modelos que la soportan poseen una visión amplia, un horizonte de largo plazo e incorporan los impactos de la incertidumbre y el riesgo. Generalmente estas decisiones son tomadas por los niveles jerárquicos altos y la información utilizada para la toma de decisiones presenta un alto nivel de agregación (Aspillaga, 2003).

2.2 La programación matemática y su aplicación en decisiones de producción forestal.

Modelos de programación matemática pueden encontrar las soluciones óptimas para una variedad de problemas como la selección de regímenes de manejo, comercialización de trozas, y planificación de transporte. Sin embargo, los problemas analizados por las empresas forestales han tratado principalmente de las asignaciones estratégicas de los recursos.

En economía de empresas muchos modelos normativos del comportamiento óptimo de los agentes económicos son resueltos a partir de la utilización de técnicas clásicas de optimización a través del método del multiplicador de Lagrange, pero este método presenta problemas cuando: a) aparecen restricciones de no negatividad, b) la función objetivo y todas las restricciones son lineales, (sus derivadas parciales son constantes y las condiciones necesarias para un máximo o un mínimo no pueden

satisfacerse sin agregar restricciones adicionales), c) restricciones que adopten la forma de desigualdades (Manfredi, 2000).

La programación matemática permite superar estos problemas y resolver los modelos económicos donde se presentan desigualdades, restricciones y funciones objetivos lineales y condiciones de no negatividad.

Por su parte, Laroze *et al.*(1998), señala que los modelos de optimización permiten encontrar buenas soluciones para problemas de programación de actividades, tales como la selección de esquemas de manejo, la producción de rollizos y la asignación de transportes.

2.2.1 La programación lineal

De los métodos sobre investigación de operaciones, se asume que la programación lineal es la que tiene mayor aplicación en la planificación de manejo forestal. En esto concuerdan Tarp (1994) y Davis *et al* (2001), además estos autores mencionan que los otros modelos de programación que se utilizan con este objetivo, están basados principalmente en la teoría de la programación lineal.

Un modelo de programación matemática permite representar el escenario de asignación de recursos de la empresa y sus objetivos económicos, el modelo de programación matemática debe incluir todas las variables, parámetros, coeficientes técnicos y económicos, así como las restricciones de la empresa. (Paredes y Ruiz-Tagle, 2002).

Desde el punto de vista de la programación matemática, el problema de programación lineal se formula como:

$$\text{Máx. } cx \qquad (1)$$

$$\text{Sujeto a } Ax \leq b \qquad (2)$$

$$x \geq 0, \qquad (3)$$

Donde c es un vector de dimensión n que representa la contribución de cada variable al objetivo; x es la variable de decisión representada por una columna de dimensión n, b es una columna de vector de dimensión m, A es una matriz de dimensión $(m \cdot n)$ que corresponde a los coeficientes técnicos que transforman insumos en productos de x, y 0 es un vector cero (en este caso de dimensión n).

El problema así expresado es llamado problema primal (p), donde se busca maximizar la función objetivo dada una cantidad de recursos.

Todos los modelos de programación lineal tienen una formulación económica simétrica que es muy útil para interpretar la solución, especialmente para el análisis de sensibilidad, cuando se quiere averiguar como se modifica la función objetivo

cuando se cambia solamente una de las restricciones y las otras permanecen constantes. Esta formulación simétrica se llama problema dual (d). Contiene los mismos antecedentes que el primal, pero transpuestos. En este caso la formulación del problema dual es:

$$Min.\ \mu b \qquad (4)$$

$$Sujeto\ a\ \ \mu A \geq c \qquad (5)$$

$$\mu \leq 0, \qquad (6)$$

Donde μ es un vector de dimensión de m, y con la dimensión de b, c, y A transpuestos.

Según teoría de la dualidad, los valores de μ en el nivel óptimo son iguales a los precios sombra del problema primal, y los precios sombra de las restricciones en la formulación dual en el nivel óptimo son iguales a la asignación de recursos óptima en el problema primal, denotada por x.

2.2.2 Formulación matemático - económica de la Programación Lineal

La definición mencionada anteriormente sobre la programación lineal corresponde a una descripción teórica sobre el tema, sin embargo lo que corresponde a su aplicación específica en el presente trabajo se puede desprender de la aplicación económica de los resultados arrojados por el modelo. La forma matemático - económica de la programación lineal se puede resumir de la siguiente manera:

Al partir el vector c, la variable x y la matriz A en variables básicas (c_B, x_B, B) y en no básicas (c_N, x_N, A_N), y reorganizando la ecuación (2) y satisfaciendo las condiciones de no-negatividad, el problema simplificado queda:

$$X_B = B^{-1}b - \Sigma_{J\varepsilon N}\, B^{-1}a_J x_J \geq 0 \qquad (7)$$

En cuanto a la función objetivo (1), esta también puede partirse en variables básicas (variables insertas en la solución del problema de maximización), y no básicas (variables que no son considerada en la resolución del problema):

$$Z = c_B X_B + c_N X_N \qquad (8)$$

Sustituyendo por la relación las variables básicas y no básicas se obtiene, la función objetivo toma la siguiente forma:

$$Z = c_B\, B^{-1}b - \Sigma_{J\varepsilon N}\, (c_B\, B^{-1}a_J - c_J)\, x_J \qquad (9)$$

Hechas las modificaciones de la función objetivo en función de las variables básicas y no básicas, se destaca la interpretación económica utilizada en el presente estudio, a partir de las ecuaciones (7) y (9).

Si derivamos parcialmente la función objetivo con respecto a los recursos se obtiene:

$$\delta Z/\delta b = c_B B^{-1} \qquad (11)$$

Esto indica que el valor marginal de los recursos en la función objetivo, es el coeficiente objetivo de las variables básicas multiplicado por el coeficiente de transformación, esto es lo que corresponde a los precios sombra.

2.2.3 Los precios sombra, interpretación y utilidad.

Según la teoría micro-económica los precios sombra corresponden a los costos marginales o costo de oportunidad de los recursos, en la programación lineal estos costos están asociados a cada uno de los recursos de los cuales se posea, sin embargo, lo primero que se debe señalar es que para que un recurso tenga un precio sombra, primero la restricción debe ser activa, por el contrario su precio sombra asociada a esa restricción sería de cero.

Los precios sombra para los recursos (denotados por *b*) miden el valor marginal de los recursos, es decir, la tasa a la que el valor de la función objetivo (1), puede aumentar si se incrementa marginalmente la cantidad que se proporciona de este recurso (*b*) (Hillier y Lieberman, 2002).

Es importante mencionar que los precios sombra no corresponden a precios formales de mercado, sin embargo son útiles para identificar, en el caso forestal, los tipos de plantaciones en los cuales la empresa debe expandirse de haber disponibilidad de superficie, y cual es el máximo a pagar por dicha superficie. También da a conocer cuánto se le esta exigiendo al bosque para cumplir con las restricciones de abastecimiento. Se pueden utilizar para estimar el precio máximo que puede pagarse por trozos en el abastecimiento de terceros de plantas industriales.

Paredes y Brodie (1988), hacen mención del uso de los precios sombra y el análisis paramétrico, el cual consiste en la parametrización de los coeficientes del lado derecho del problema o RHS, los cuales permiten obtener información que permitan apoyar la toma de decisiones, principalmente por el uso de este tipo de información para los productos que no tienen un mercado formal.

Respecto a los coeficientes del lado derecho, Mansilla (1994) dice que estos están referidos al nivel de recursos disponibles o del nivel de productos que se desea obtener. Dentro de estos coeficientes se puede encontrar, la superficie (ha) disponible por rodal, y cuotas de producción de volumen (m^3).

A través de estos análisis (dual y paramétrico), Paredes y Brodie (1988), comprueban que aparte de valorizar bienes y servicios que no tienen mercado formal, se pueden obtener las curvas de oferta y demanda de los recursos.

3. DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN

Se planteó el estudio de caso de una empresa forestal, por lo que los datos analizados son una recopilación de información de diversas empresas del sector forestal chileno. Así la base del estudio es observar el comportamiento de la planificación estratégica de esta empresa tipo y analizar los precios sombra generados de la matriz de programación y como influyen en las decisiones de largo plazo.

3.1 Material

La información básica de esta tesis proviene de una base de datos de empresas del sector forestal chileno. En tal sentido no se puede hablar de una empresa en particular, sino más bien de un sistema de producción representativo de la empresa forestal maderera en base a plantaciones.

Los datos a analizar corresponden exclusivamente a plantaciones de *Pinus radiata* con fines de producción maderera.

El patrimonio actual de la empresa tipo abarca 1180 ha de plantaciones de *Pinus radiata* (cuadro 1), con las siguientes características de zona, sitio, manejo, año de plantación.

Cuadro 1: Patrimonio actual según zona, sitio, manejo

	Sitio 1		Sitio 2		**SUPERFICIE**
Zona	Intensivo	Multipropos	Multipropos	Pulpable	**TOTAL**
Zona A	0	203,5	0	380,3	583,8
Zona B	238,6	34,2	324,3	0	597,1
TOTAL	238,6	237,7	324,3	380,3	1180,9

Con el propósito de mantener una adecuada resolución de las características físicas y localización de los rodales que constituyen el patrimonio de esta empresa tipo, Paredes y Ruiz-Tagle (2002), proponen las siguientes variables de estratificación para la formación de los macro-rodales con los cuales se realiza la planificación:

- **Zona**: Corresponde a la ubicación geográfica en que están insertos los rodales, de las cuales se caracterizaron 2 zonas, las que fueron diferenciadas según zona de crecimiento otorgados por el simulador *Insigne*, las cuales corresponden a:

  - *Zona 1*: Comprende entre la ribera norte del río Imperial (38º 48’ de latitud Sur) y el sur de Purranque (41º de latitud Sur), ocupando una franja costera para luego tomar parte del valle longitudinal hasta el límite sur

  - *Zona 2*: Se extiende entre el cordón cordillerano de Mahuidanche (39º 35’ de latitud Sur) y el sur de Purranque (41º de latitud Sur).

Una agrupación por zonas es importante al momento de calcular los costos de transporte para cada uno de los destinos. Ambas zonas de crecimiento se encuentran en forma gráfica en el anexo 3.

- **Sitio**: dentro de una zona geográfica, este criterio discrimina localidades cuya productividad es distinta dentro de zonas con iguales características de clima y suelo. Se determinaron 2 clases de sitio:

  - *Sitio 1*: I.S. >=28
  - *Sitio 2*: I.S < 28

- **Manejo**: Define la combinación especie–esquema de manejo correspondiente al rodal.

  - *Manejo 1*: Intensivo 1 (3 podas, 2 raleos)
  - *Manejo 2*: Multipropósito (1 poda, 2 raleos)
  - *Manejo 3*: Pulpable (1 raleo)

El detalle de los esquemas en cuanto a intensidad y oportunidad de aplicación de cada una de las actividades silvícolas incluidas en los manejos se encuentra en el anexo 4.

- **Año plantación**: Corresponde al año que se realizó la plantación del rodal. La distribución del patrimonio actual de la empresa se puede apreciar en la figura 1, la separación esta dada por la superficie según zona de crecimiento en la que se encuentra el patrimonio.

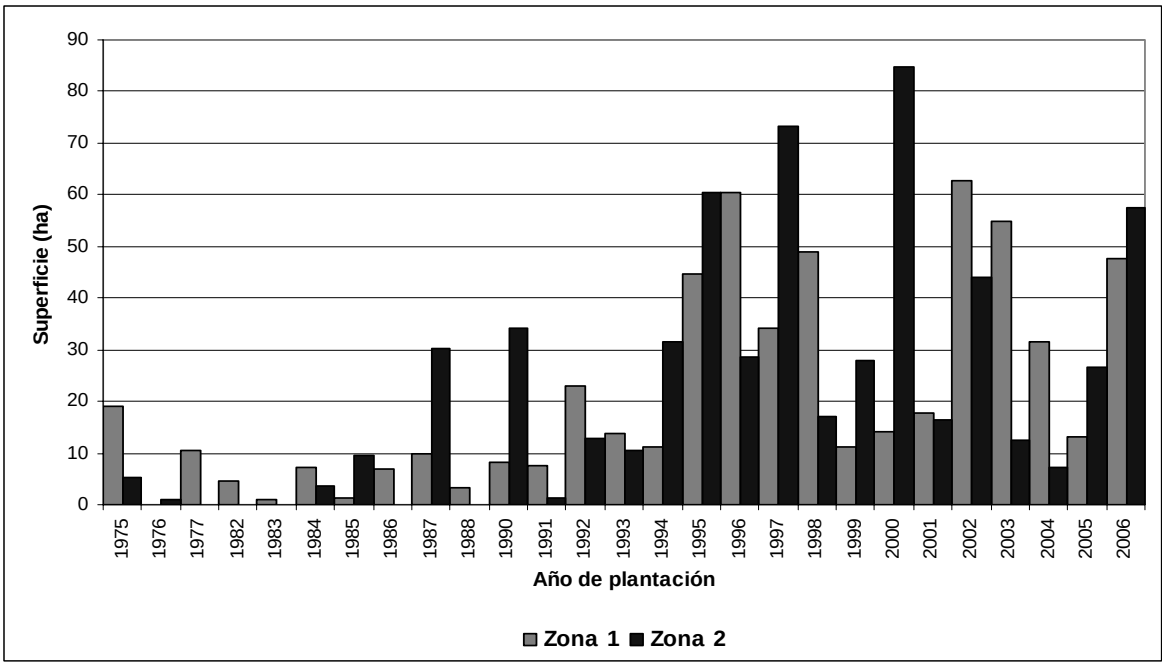


Figura 1: Gráfico de distribución del patrimonio actual con respecto al año de plantación

3.2 Metodología

3.2.1 Parámetros a utilizar

Se estableció como inicio de la planificación el año 2006, siendo este el período 0, sin embargo para todos los análisis no fue considerado. Se consideró un año por período con un total de 30 períodos, con una tasa de descuento o costo de oportunidad del capital de 8%.

Como se mencionó en párrafos anteriores se establecieron 2 zonas, con 2 clases de sitio cada una. El número de productos posibles a obtener de los esquemas de manejo fueron 14, para satisfacer la demanda de los 2 centros de consumos establecidos.

3.2.2. Proyección de rendimiento

Como el propósito principal de la empresa es asegurar la viabilidad económica de largo plazo, es necesario en primer término proyectar la producción al horizonte de tiempo que el modelo requiera.

Con los esquemas de manejo establecidos, se proyectaron los rendimientos de los rodales a partir de los 18 años hasta los 30 años de edad. Para tal efecto se utilizó el simulador de crecimiento Insigne, con un esquema de trozado que se describe en el cuadro 2.

Cuadro 2: Esquema de trozado

Característica	**Diámetro (cm)**	**Largo (m)**	**Grupo de Productos**	**Productos según Manejo**		
				Intensivo	*Multipropósito*	*Pulpable*
Podado PLI >= 4	>=32	5	1	**X**		
Podado PLI >= 4	>=32	2,6	1	**X**	**X**	
Podado PLI >= 4	28 – 30	5	1	**X**		
Podado PLI >= 4	28 – 30	2,6	1	**X**		
Podado PLI < 4	>=32	5	2	**X**		
Podado PLI < 4	>=32	2,6	2	**X**	**X**	
Podado PLI < 4	28 – 30	5	2	**X**	**X**	
Podado PLI < 4	28 – 30	2,6	2	**X**	**X**	
Aserr. Grueso	34 – 32	4,1	3	**X**	**X**	**X**
Aserr. Grueso	30 – 28	4,1	3	**X**	**X**	**X**
Aserr. Grueso	26 – 24	4,1	3	**X**	**X**	**X**
Aserr. Delgado	22 – 20	3,3	4	**X**	**X**	**X**
Aserr. Delgado	18 – 16	3,3	4	**X**	**X**	**X**
Pulpa	>= 8	2,44	5	**X**	**X**	**X**

Para efectos de resultados los productos se analizaron de cuerdo a los grupos en los cuales se insertan, por lo que se trabajó con 5 grupos de productos, como se observa en el cuadro 2.

Los esquemas de manejo aplicados corresponden principalmente a los que actualmente son utilizados por las empresas forestales. Es así como el manejo podado mencionado anteriormente tiene por objetivo generar trozas de alto valor. Por otro lado se encuentra el manejo multipropósito, siendo su principal objetivo la obtención de productos aserrables; y para finalizar el esquema pulpable.

3.2.3 Generación de parámetros económicos

El principal parámetro económico al cual se ve enfrentado es el determinar el costo de oportunidad al que está expuesto el capital. Para tal efecto se trabajó con una tasa de descuento correspondiente al 8% anual.

Dentro de los parámetros económicos se encuentran los costos asociados a la formación y aprovechamiento del bosque. Para términos prácticos estos se subdividieron como se muestra a continuación.

- Costos Silvícolas: Costos incurridos en la formación del bosque, los cuales para el trabajo se dividieron en:

  - *Establecimiento* (E)*:* Corresponde a los gastos incurridos en la adquisición de las plantas, la plantación y la preparación del sitio

  - *Manejos* (M)*:* Se entiende por las actividades silvícolas excluidas o posteriores a la plantación (controles de malezas, podas, raleo a desecho).

- Costos de Cosecha (C): Costos asociados a las faenas de corta final del bosque y raleo comercial, incluyendo caminos.

- Costos Administrativos (A): Corresponde a la mantención del bosque, en este costo se incurre anualmente.

En el cuadro 3 se muestra el valor de los costos mencionados, donde también se observa a qué subtipo de costo pertenece.

Cuadro 3: Costos Silvícolas, Cosecha y Administrativos.

Costos Silvícolas	Código	Costo	
Plantación	E	365	US$/ha
Fertilización	M	95	US$/ha
Control de maleza	M	111	US$/ha
Poda 1	M	69	US$/ha
Poda 2	M	74	US$/ha
Poda 3	M	83	US$/ha
Raleo des	M	65	US$/ha
Raleo com	C_r	7,7	US$/$m^3$
Cosecha	C	7,0	US$/$m^3$
Administración	A	56	US$/ha

- Costos de Transporte: Costo de traslado (incluye carguío), de los productos del bosque hacia los centros de consumo (Cuadro 4). Se establecieron 2 centros de consumo, ubicados en las ciudades de Lanco y Valdivia (Anexo 3)**.**

Cuadro 4: Costos de transporte más carguío a cada uno de los destinos

	Zona 1 US$/m^3	**Zona 2** US$/m^3
Destino A	5,4	8,4
Destino B	6,4	6,0

- Precios: Otro parámetro importante es el correspondiente a los precios de cada uno de los productos establecidos. En el cuadro 5, se puede observar el desglose de los productos y sus respectivos precios. Se trabajó bajo el supuesto que ambos centros de consumo adquieran las trozas a los mismos precios, los cuales se mantienen constantes en el tiempo.

Cuadro 5: Precios por productos.

Código	**Característica**	**Precio (US$/m^3)**
01	Podado	87,6
02	Podado	87,6
03	Podado	85,2
04	Podado	85,2
05	Podado	61,9
06	Podado	61,9
07	Podado	59,2
08	Podado	59,2
09	Aserr. Grueso	45,3
10	Aserr. Grueso	45,3
11	Aserr. Grueso	45,3
12	Aserr. Delgado	35,6
13	Aserr. Delgado	35,6
14	Pulpa	18,5

3.2.4 Planteamiento del Modelo de planificación patrimonial

Este módulo realiza el cálculo de todos los coeficientes de la matriz de programación lineal que representa el problema de planificación de largo plazo, a partir de los parámetros definidos, el contenido de las tablas construidas con información de costos, precios, demandas, superficies y rendimientos y los resultados de la evaluación económica.

De este modo el modelo de programación lineal es construido y almacenado completamente (función objetivo, restricciones permanentes y restricciones opcionales). Las variables del modelo se observan en el anexo 2.

La función objetivo, tiene por objetivo maximizar el valor presente de la superficie con plantaciones, a través del Valor de Madera en Pie (VMP) y Valor Potencial del Suelo (VPS) que ocupan los rodales. A continuación se describe la formulación matemática del modelo de programación lineal asociado al problema de planificación estratégica de las plantaciones forestales de la empresa.

$$\sum_i \sum_j \sum_n \sum_s \sum_m vnpc_{ijnsm} * X_{ijnsm} + \sum_i \sum_n \sum_s \sum_m vps_{insm} * W_{insm} + \sum_j \sum_p \sum_d precio_{jpd} * V_{jpd} -$$
$$\sum_j \sum_n \sum_p \sum_d ctoflete_{jnpd} * V_{jnpd} - \sum_j \sum_d \sum_f ctofleteest_{jdf} * AS_{jdf} -$$
$$\sum_j \sum_n \sum_p ctocompraenpie_{jnp} * M_{jnp} - \sum_j \sum_n \sum_s ctocompras\sup_{jns} * SF_{jns} -$$
$$\sum_j \sum_n \sum_m \sum_p (precio_{jdp*} - ctoflete_{jnpd*}) * RL_{jnmp}$$

Donde:

$vnpc_{ijnsm}$: Valor neto presente [US$/ha] sin considerar ingresos por ventas ni costos de transporte de una plantación establecida en “i”, cosechada en “j”, en zona “n”, sitio “s” y manejo “m”.

vps_{insm}: Valor potencial del suelo [US$/ha] de una plantación establecida en “i”, en zona “n”, sitio “s” y manejo “m”. Se considera como edad de cosecha, aquélla en que el VPS es máximo.

$precio_{jdp}$: Precio [US$/m3] del producto “p” pagado en el destino “d” en el período “j”.

$ctoflete_{inpd}$: Costo de transporte [US$/m3] para el producto “p” en el período “j” desde la zona “n” al destino “d”.

$ctofleteas_{idf}$: Costo de transporte [US$/m3] para las astillas en el período “j” desde el destino tipo aserradero “d” al destino tipo planta “f”.

$ctocompraenpie_{inp}$: Costo de compra de madera [US$/m3] para el producto “p” en el período “j” desde la zona “n” al destino “d”.

$ctocomprasup_{ins}$: Costo de compra [US$/ha] para la superficie a forestar que se incorpora al patrimonio en el período “j” en la zona “n” en sitio “s”.

$precio_{jpd*}$: Precio [US$/m3] del producto obtenido por raleos

comercial “p” pagado en el destino óptimo “d*” en el período “j”. Se considera “destino óptimo al destino en que la relación “precio-costo de transporte” es mejor económicamente.

$ctoflete_{jnpd*}$: Costo de transporte [US$/m3] del producto obtenido por raleos comercial “p” desde la zona “n” al destino óptimo “d*” en el período “j”. Se considera “destino óptimo” al destino en que la relación “precio-costo de transporte” es mejor económicamente.

- Restricciones permanentes

a) Superficie inicial de plantaciones con manejo asignado

La superficie de plantaciones actuales que tienen un manejo asignado, que es cosechada durante el horizonte de planificación más aquélla que queda en pie al final del horizonte de planificación no puede ser mayor a la superficie de plantaciones disponible actualmente.

SI_{insm})

$$\sum_{j} X_{ijnsm} + W_{insm} = SUPINICIAL_{insm}$$

En que:

$SUPINICIAL_{insm}$: Superficie de plantaciones en zona “n”, sitio “s”, manejo “m” plantados el período “i”.

b) Superficie inicial de plantaciones sin manejo asignado

La superficie de plantaciones actuales que no tienen un manejo asignado, que es cosechada durante el horizonte de planificación más aquélla que queda en pie al final del horizonte de planificación no puede ser mayor a la superficie de plantaciones disponible actualmente.

SM_{ins})

$$\sum_{m}\sum_{j} X_{ijnsm} + W_{insm} = SUPINICIALM_{ins}$$

En que:

$SUPINICIALM_{ins}$: Superficie de plantaciones sin manejo asignado, en zona “n”, sitio “s”, manejo “m” plantados el período “i”.

c) Cuantificación superficie cosechada por período

Se cuantifica la superficie total que es cosechada por zona y clase de sitio en cada período.

EX_{jns})

$$\sum_{i}\sum_{m} X_{ijnsm} + S_{jns} = 0$$

d) Reforestación o continuidad del inventario

La superficie que es cosechada en una zona y clase de sitio en un período más aquélla que se incorpora al patrimonio para su forestación, es plantada, ya sea para ser vuelta a cosechar en el horizonte de planificación o para que quede como bosque en pie (inventario final).

RF_{jns})
$$\sum_{m}(\sum_{k} X_{jknsm} + W_{jnsm}) - SF_{jns} - S_{jns} = 0$$

e) Cuantificación de volumen obtenido por raleo

Se cuantifica el volumen obtenido por raleos comerciales por período, en cada zona y manejo.

RT_{jnm})
$$\sum_{i}\sum_{s} volral_{(j-i)} * (X_{iknsm} + W_{insm}) - VR_{jnmp_{ral}} = 0$$

f) Cuantificación de volumen obtenido por raleo, de plantaciones que quedan como inventario final

Se cuantifica el volumen obtenido por raleos comerciales por período, en cada zona y manejo, para aquellas plantaciones que son raleadas dentro del horizonte, pero no alcanzan a ser cosechadas. Esta variable es utilizada en la función objetivo para evitar una doble cuantificación de los costos de transporte y los ingresos por ventas asociados al volumen proveniente de dichos raleos.

RTW_{jnm})
$$\sum_{i}\sum_{s} volral_{(j-i)} * W_{insm} - RL_{jnmp_{ral}} = 0$$

g) Cuantificación de volumen por período, zona y producto

Se cuantifica el volumen de producto “p” proveniente de la zona “n” en el período “j”, incluidos corta final, raleos comerciales y compra de volumen en pie.

VT_{jnp})
$$\sum_{i}\sum_{s}\sum_{m} vol_{(j-i)smp} * X_{ijnsm} + M_{jnp} - V_{jnp} = 0$$

VT_{jnp})
$$\sum_{i}\sum_{s}\sum_{m} vol_{(j-i)smp} * X_{ijnsm} + M_{jnp} + VR_{jnp_{ral}} - V_{jnp} = 0$$

h) Cuantificación de volumen por destino

El volumen proveniente de la zona “n” en el período “j” de producto “p” puede ser enviado a cualquiera de los destinos que demandan ese producto.

VD_{jnp})
$$\sum_{d} V_{jnpd} - V_{jnp} = 0$$

i) Cuantificación de volumen por período, producto y destino

Se cuantifica el volumen de producto “p” que llega al destino “d” en el período “j” proveniente de los distintas zonas.

VP_{jpd})
$$\sum_{n} V_{jnpd} - V_{jpd} = 0$$

j) Cuantificación de volumen de astillas por período, aserradero origen y planta destino

VAS_{jd})
$$\sum_{p} porc_ast_{d} * V_{jpd} - \sum_{f} AS_{jdf} = 0$$

k) Cuantificación oferta de madera en pie

MP_{jnp})
$$M_{jnp} \leq MADERAENPIE_{jnp}$$

En que:

$MADERAENPIE_{jnp}$: Volumen de madera en pie disponible en la zona “n”, período “j” de producto “p”.

l) Cuantificación superficie a forestar

La superficie a forestar en sitio “s”, en el período “j”, en la zona “n” tiene como límite la disponibilidad de acuerdo al contenido de la tabla de datos correspondiente (FORESTAC).

FR_{jns})
$$SF_{jns} \leq SUPERFICIEFOREST_{jns}$$

En que:

$SUPERFICIEFOREST_{jnp}$: Superficie disponible para forestación en la zona “n”, período “j”, en sitio “s”.

m) Cuantificación volumen de astillas

VAS_{jd})
$$\sum_{p} porc_ast_{d} * V_{jpd} - \sum_{f} AS_{jdf} = 0$$

j: período
d: destinos del tipo “aserradero”
f: destinos del tipo “planta”

n) Cuantificación costos totales de establecimiento por período

Se cuantifican los costos totales de establecimiento en el período “j”.

FCE_j) $$-\sum_k\sum_n\sum_s\sum_m ctoestab_{sm} * X_{jknsm} - \sum_n\sum_s\sum_m ctoestab_{sm} * W_{jnsm} + KE_j = 0$$

o) Cuantificación costos totales de manejo por período

Se cuantifican los costos totales de manejo en el período “j”.

FCM_j) $$-\sum_i\sum_k\sum_n\sum_s\sum_m ctomanejo_{smj_{ik}} * X_{iknsm} - \sum_i\sum_n\sum_s\sum_m ctomanejo_{sm} * W_{insm} + KM_j = 0$$

p) Cuantificación costos totales de cosecha por período

Se cuantifican los costos totales de cosecha en el período “j”.

FCC_j) $$-\sum_i\sum_n\sum_s\sum_m cto\cos echa_{sm} * X_{ijnsm} - \sum_i\sum_n\sum_s\sum_m ctoraleo * X_{ijnsm}$$
$$-\sum_i\sum_n\sum_s\sum_m ctoraleo_{sm} * W_{insm} + KC_j = 0$$

q) Cuantificación costos totales de transporte por período

Se cuantifican los costos totales de transporte en el período “j”.

FCT_j) $$-\sum_n\sum_p\sum_d ctoflete_{jnd} * V_{jnpd} + KT_j = 0$$

r) Cuantificación costos totales de administración por período

Se cuantifican los costos totales de administración en el período “j”.

FCA_j) $$\sum_i\sum_k\sum_n\sum_s\sum_m ctoadmn_{smj_{ik}} * X_{iknsm} - \sum_i\sum_n\sum_s\sum_m atoadmn_{smj_i} * W_{insm} + KA_j = 0$$

s) Cuantificación ingresos totales por ventas por período

Se cuantifican los ingresos totales por ventas en el período “j”.

FCV_j) $$\sum_p\sum_d precio_{jpd} * V_{jpd} - KV_j = 0$$

t) Cuantificación costos de establecimiento por zona y período

Se cuantifican los costos de establecimiento en la zona “n”, en el período “j”.

FZE_{nj}) $$-\sum_k\sum_s\sum_m ctoestab_{sm} * X_{jknsm} - \sum_s\sum_m ctoestab_{sm} * W_{jnsm} + KZE_{nj} = 0$$

u) Cuantificación costos de manejo por zona y período

Se cuantifican los costos de manejo en la zona “n”, en el período “j”.

FZM_{nj}) $$-\sum_i\sum_k\sum_s\sum_m ctomanejo_{smj_{ik}} * X_{iknsm} - \sum_i\sum_s\sum_m ctomanejo_{sm} * W_{insm} + KZM_{nj} = 0$$

v) Cuantificación costos de cosecha por zona y período

Se cuantifican los costos de cosecha en la zona “n”, en el período “j”.

FZC_{nj}) $$-\sum_i\sum_s\sum_m cto\cos echa_{sm} * X_{ijnsm} - \sum_i\sum_s\sum_m ctoraleo * X_{ijnsm} - \sum_i\sum_s\sum_m ctoraleo_{sm} * W_{insm} + KZC_{nj} = 0$$

w) Cuantificación costos de transporte por zona y período

Se cuantifican los costos de transporte en la zona “n”, en el período “j”.

FZT_{nj}) $$-\sum_p\sum_d ctoflete_{jnd} * V_{jnpd} + KZT_{nj} = 0$$

x) Cuantificación costos de administración por zona y período

Se cuantifican los costos de administración en la zona “n”, en el período “j”.

FZA_{nj}) $$\sum_i\sum_k\sum_s\sum_m ctoadmn_{smj_{ik}} * X_{iknsm} - \sum_i\sum_s\sum_m atoadmn_{smj_i} * W_{insm} + KZA_{nj} = 0$$

y) Cuantificación ingresos por ventas por zona y período

Se cuantifican los ingresos por ventas en la zona “n”, en el período “j”.

FZV_{nj}) $$\sum_p\sum_d precio_{jpd} * V_{jnpd} - KZV_{nj} = 0$$

- Restricciones opcionales

a) Variación no decreciente del ingreso neto entre períodos

Se restringe el ingreso neto, para que cada período sea al menos, el del período anterior.

IND_j) $$(KV_J - KE_J - KM_J - KC_J - KT_J - KA_{vJ}) - (KV_{J-1} - KE_{J-1} - KM_{J-1} - KC_{J-1} - KT_{J-1} - KA_{vJ-1}) \geq INGRESOMÍNIMO$$

b) Demanda total mínima

Se exige que el volumen total de diferentes productos que llega al destino “d” en el período “j” satisfaga una demanda mínima.

DTI_{jd}) $$\sum_{p} V_{jpd} + \sum_{j} AS_{jfd} \geq DEMANDAMÍNIMA_{jd}$$

j: período
d: destino

c) Oferta total no decreciente

Se exige que el volumen total de trozas (raleo y corta final) en el período “j” sea al menos igual al obtenido en el período anterior.

NDT_j) $$\sum_{p}\sum_{d} V_{jpd} - \sum_{p}\sum_{d} V_{j-1pd} \geq 0$$

d) Oferta no decreciente por grupo de productos

Se exige que el volumen total de trozas (raleo y corta final) de un grupo de productos “P” en el período “j” sea al menos igual al obtenido en el período anterior.

$VNDGP_{jP}$) $$\sum_{p\in P}\sum_{d} V_{jpd} - \sum_{p\in P}\sum_{d} V_{j-1pd} \geq 0 \qquad \sum_{p\in P}\sum_{d} V_{jpd} \geq DEMANDEMÍNIMA_{jPd}$$

Una vez generado el escenario de planificación descrito, el modelo debe ejecutarse a través del software de optimización ILOG CPLEX®. En este módulo se resuelve el modelo de programación lineal correspondiente al escenario de planificación definido.

Ya corrido el modelo y generados los resultados por el software de optimización se procedió al análisis de los precios sombras de las restricciones de abastecimiento y flujo no decreciente.

3.2.4 Estructura de análisis de precios sombra

El análisis de los precio sombra considerara en primer término, una evaluación en un escenario “Libre”, en el cual todos los rodales son manejados y cosechados según sea el óptimo para el sitio, y la distribución de los productos se hace en base de hacer máxima la renta del suelo sin restricciones de ninguna especie.

Una vez realizada la corrida libre, como primera restricción se realizará una corrida con solo restricciones de tipo de ingresos mínimos, para posteriormente modelar con las restricciones de flujo mínimo de abastecimiento.

Como se mencionó en párrafos anteriores se determinaron 2 centros de abastecimiento, los cuales demandan los mismos productos. Es a partir de esto que se analizarán las demandas mínimas por período de cada uno de los centros y como se comportan los precios sombra de abastecimiento, el que consiste en analizar como afecta la composición y cantidad de volumen que se transfiere desde el bosque a la industria.

El análisis de los precios sombra se realizará a partir de las siguientes restricciones.

1. Restricción de Ingresos netos mínimos:

   - Ingresos a lo largo del horizonte de planificación con un flujo mínimo anual de US$ 300.000. Esta decisión se basa en un valor promedio que cubriría los gastos de operación de la empresa y el mantener un flujo constante de ingresos para los accionistas.

2. Restricción de Abastecimiento mínimo:

   - El centro de consumo A y B demandan en forma independiente un flujo mínimo del grupo de productos 3 (Aserrable gruesos), a partir de los 3300 m^3 anuales, desde el primer período.

   - Abastecimiento de ambos destinos de 1650 m^3/año, a lo largo del horizonte de planificación.

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 Proyección de la información patrimonial

La figura 2 ilustra la proyección de rendimientos esperados para los esquemas de manejo establecidos en el patrimonio de la empresa. Se observa que la mayor diversidad de grupos de productos se encuentra el manejo Intensivo, debido a las prácticas silviculturales realizadas a lo largo de la rotación. Por otro lado, en el manejo pulpable solamente se obtienen 3 grupos de productos (Aserrables gruesos y delgados y pulpable). Los rendimiento en detalle se pueden apreciar en el anexo 5

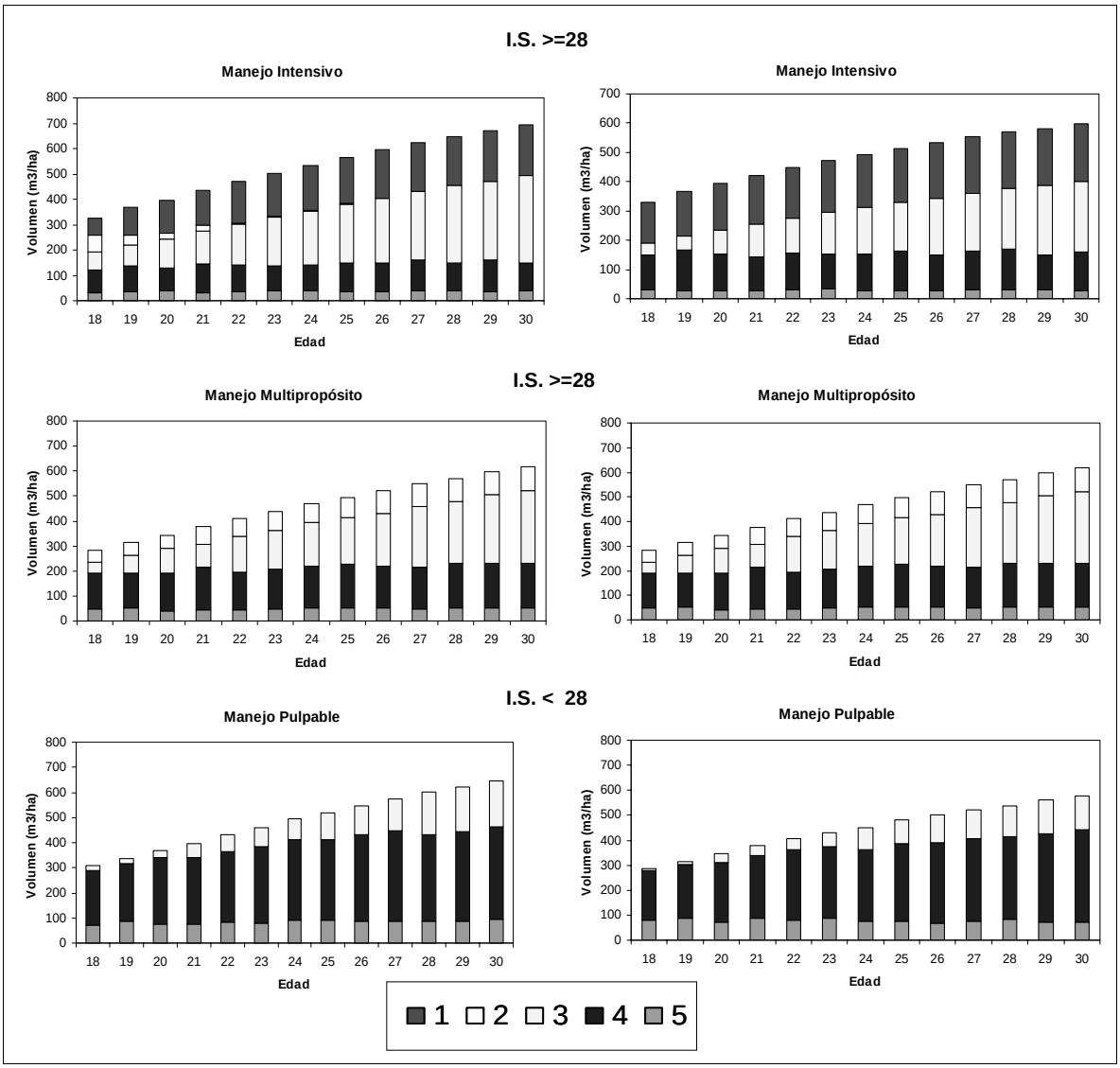


Figura 2: Volumen proyectado por grupo de productos, según esquema de manejo y zona de crecimiento (Izquierda: zona 1, Derecha: zona 2)

Las diferencias entre grupos de productos se puede observar también a través de la evaluación económica de los rodales (cuadro 6). Así, comparado con la proyección de crecimiento, los rodales con los esquemas de manejo más intensivos, que generan una mayor diversidad de productos y de mayor valor, son los que alcanzan el mayor retorno económico.

Cuadro 6: Evaluación económica según esquema de manejo

ZONA	SITIO	MANEJO	EXPLO	VPS
1	1	Intensivo	22	3457
		Multipropósito	22	1598
	2	Multipropósito	23	1066
		Pulpable	22	936
2	1	Intensivo	19	3621
		Multipropósito	21	1486
	2	Multipropósito	23	887
		Pulpable	23	344

Cabe mencionar que en la evaluación económica de los rodales, el manejo intensivo en la zona 2 presenta una edad de rotación inferior a los demás. No obstante, es el que presenta un mayor retorno económico. Esto puede deberse a que dicho manejo es el que presenta una mayor participación de trozas podadas de calidad (PLI $\geq$ 4).

La figura 3 ilustra la participación por grupo de productos. Se aprecia además que en las edades de 18 y 19 años son las que presentan la mayor participación relativa del producto podado.

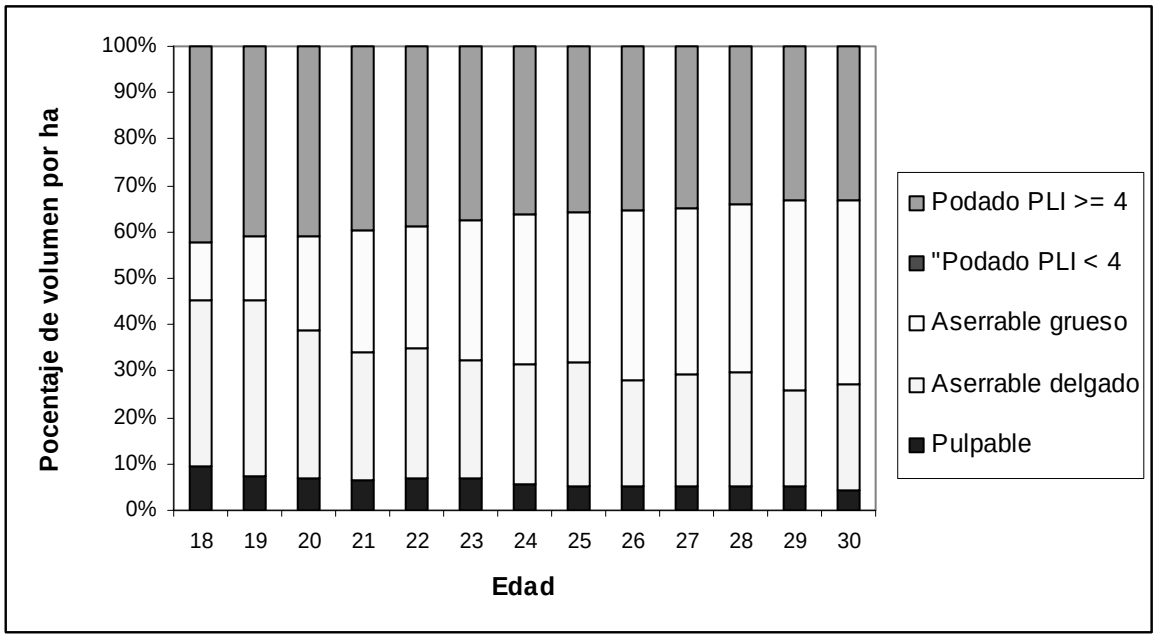


Figura 3: Porcentaje de distribución de volumen por hectárea, del manejo intensivo en zona 2.

Es importante hacer notar que la calificación de calidad de troza podada usada en los anteriores resultados es relativa. De hecho la calidad absoluta de las trozas podadas en términos de PLI da cuenta de que un valor de PLI mayor 4 es satisfactorio (cuadro 7), pero que la calidad real se expresaría en valores mayores a 6 (Todoroki *et al.* 2001; Park 1989).

Cuadro 7. Predicción de la efectividad de poda a partir del índice de troza podada (PLI)

Valor de PLI	Calidad de la troza podada
0 - 1,9	Poda no ha sido efectiva
2 - 3.9	Pobre
4 - 5,9	Satisfactoria
6 - 7,9	Buena
8 - 9,9	Muy buena
10+	Excelente

4.2 Valores resultantes para la Función Objetivo

Como se señaló anteriormente, la función objetivo representa el Valor Neto Presente de un flujo neto de largo plazo de actividades que son óptimas, dado el marco de información y restricciones impuesto a la solución. En la figura 4 se presenta el flujo de ingresos periódicos para un escenario donde solamente se busca maximizar el VNP, sin restricción alguna. Ante este escenario la función objetivo alcanza los US$ 6.022.167, correspondiendo esto al valor de la empresa.

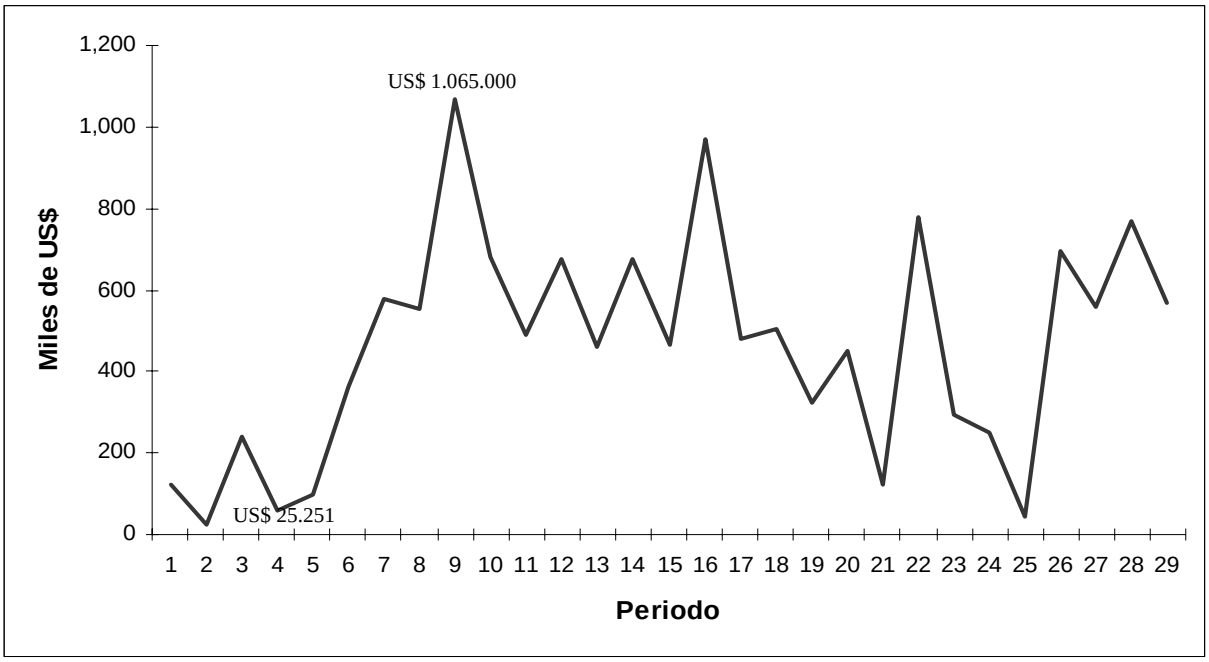


Figura 4: Gráfico de distribución de ingresos por período en un escenario libre

El flujo de ingresos netos tiene forma irregular, y presenta variaciones significativas en los primeros períodos. Así, en el período 0, se alcanza un valor de US$ 716.825, en el segundo período esta cifra baja a US$ 124.397 y para el tercer período el ingreso decrece aún más, llegando a los US$ 25.251. El flujo de ingresos en detalle se observa en el anexo 6.

Estas variaciones entre períodos se consideran significativas. En tal sentido, si se establece como ingreso mínimo anual de US$ 25.000 a lo largo del horizonte de planificación, haciendo las veces numerario, se generarían fluctuaciones que son equivalentes a unas 40 veces dicho monto (período 9).

La fluctuación existente entre períodos se debe principalmente a que al no agregar restricción alguna al modelo de planificación, los rodales serán cosechados de acuerdo a su óptimo económico, entonces según la estructura del patrimonio al iniciar la planificación es como se va a comportar el flujo de ingresos y de volumen a obtener de los distintos productos.

Las variaciones entre períodos son las que se busca regular al momento de ingresar las restricciones de ingresos mínimos al modelo de programación. Por lo demás, el flujo de ingresos está en completa relación con el flujo de volumen a cosechar (Figura 5), ya que en esta situación, el producto que oferta el patrimonio es exclusivamente volumen de trozas de *Pinus radiata*.

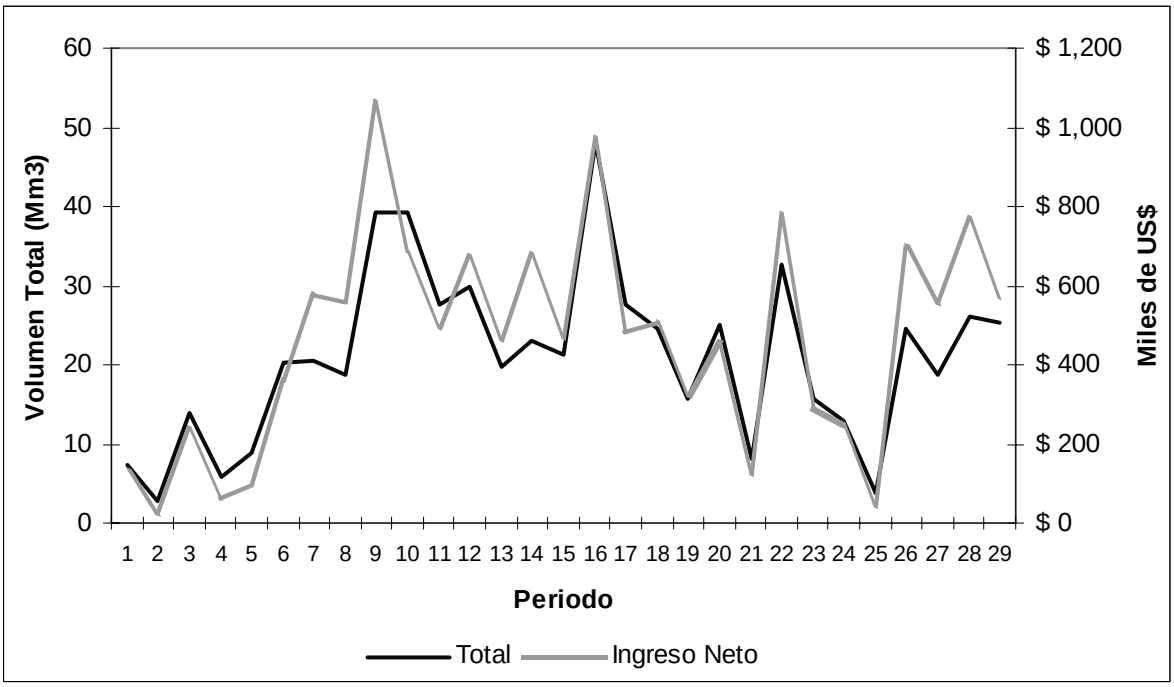


Figura 5: Distribución de volumen total por período en un escenario libre

Una ilustración del volumen disgregado por grupo de productos se puede apreciar en la figura 6. En dicho gráfico se observa la cantidad de volumen a obtener por

período, correspondientes a los grupos 1, 2, 3 y 4 de productos, los que corresponden a Podados PLI >= 4; Podados PLI < 4; Aserrables gruesos y Aserrables delgados respectivamente. Aquí no se incluyen los productos pulpables.

Es importante la observación y el análisis del flujo de madera que ofertará el bosque, por ejemplo, se aprecia que el grupo de productos 1, correspondiente a los podados con PLI >= 4, no se encuentra en los primeros períodos, pero dado los esquemas de manejos establecidos, este grupo comienza aparecer en el período 6.

Otro ejemplo de flujo de volumen es el grupo de productos 3, correspondiente a los aserrables gruesos. En este caso el grupo se encuentra en forma constante a lo largo del horizonte de planificación, sin embargo, la cantidad entregada por período es irregular. Por lo que para este grupo de productos se analizará la opción de mantener el flujo de madera constante en el tiempo, y observar como dicha restricción afectará a la función objetivo.

Al igual que los ingresos, en el flujo de volumen por producto existen fluctuaciones en las cuotas de volumen anual. Así, se observan variaciones de hasta 20 veces el volumen entre períodos. Esto se aprecia en los períodos 2 y 16, donde existe la mayor diferencia de volumen a cosechar, variando de los 2.000 m^3 para el período 2 y llegando a los 40.000 m^3 en el período 16.

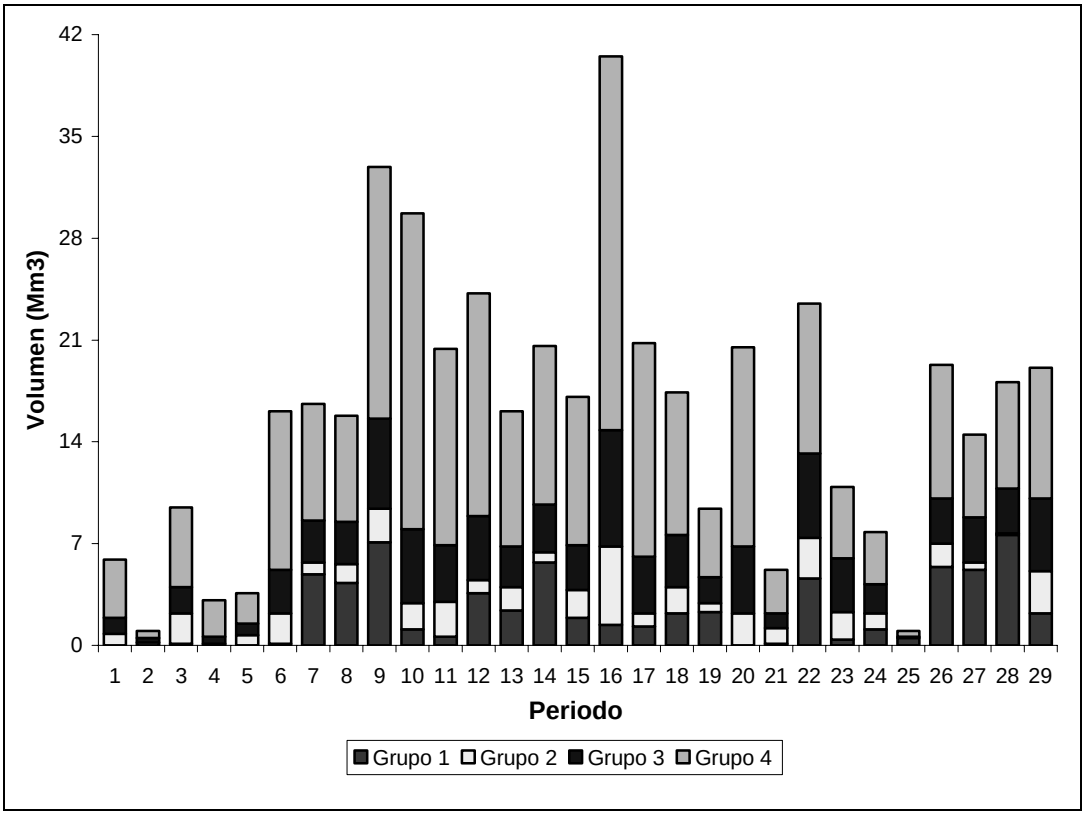


Figura 6: Distribución de volumen total por grupo de productos por período en un escenario libre.

El análisis de este tipo de información es de suma importancia para la planificación estratégica de una empresa, sobre todo las que se encuentra verticalmente integradas dado que a través de ésta se pueden generar nuevas líneas de producción o establecer nuevos centros de consumo para la utilización eficiente de la materia prima. En tal sentido, diversos autores destacan que un correcto análisis estratégico, genera mayores utilidades a las compañías sea del rubro que sea (Porter, 1998; Del Sol, 2000; Quezada *et al*, 2001).

4.3 Restricción de Flujo Mínimo de Ingresos Netos

El valor de la función objetivo, considerando la restricción de flujo mínimo de ingresos alcanza los US$ 5.979.771. En la figura 7, se muestra el flujo en forma íntegra, cabe señalar que el flujo de ingresos se realizó sobre la base de un ingreso neto anual mayor igual a US$ 300.000.

A diferencia del escenario libre, la restricción de ingresos mínimos es cumplida a cabalidad (ver detalle en anexo 6), puesto que se observa una mayor estabilidad de capital. En este escenario la diferencia máxima entre ingresos es un poco más de 3 veces el ingreso mínimo.

La restricción de ingresos es sostenida sin holgura en los primeros 8 períodos. A partir de ese punto la trayectoria de la curva de ingresos netos comienza a superar la restricción mínima, por lo que se generan holguras y los precios sombra asociados son cero.

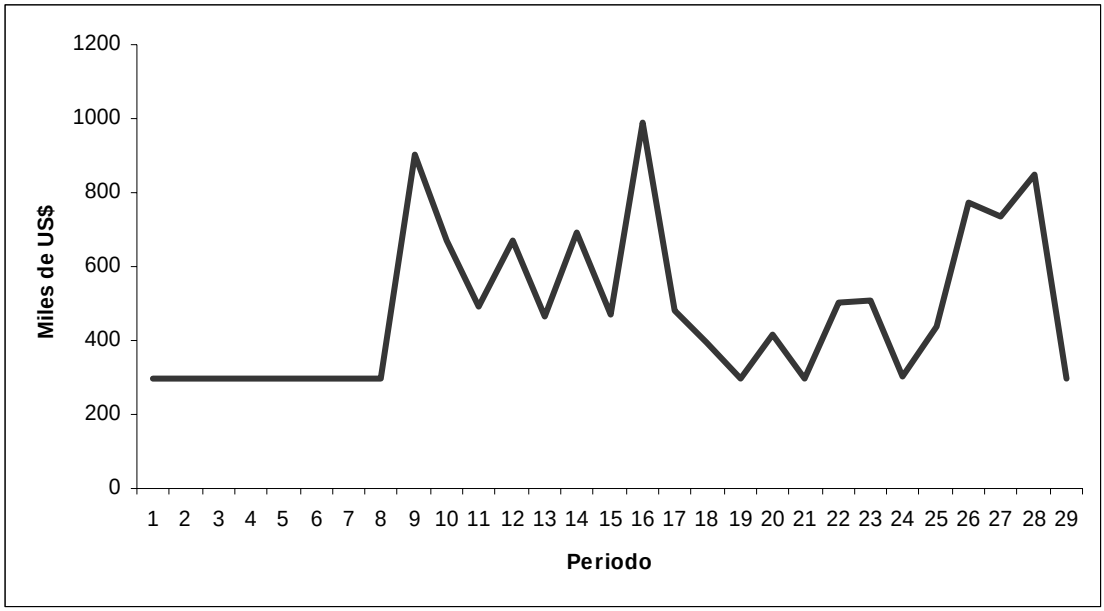


Figura 7: Gráfico de flujo de ingresos a lo largo del horizonte de planificación.

La figura 8 presenta con más detalles la trayectoria de los precios sombra de la restricción de ingresos netos mínimos. Dichos precios sombra corresponden a la disminución en valor de la función objetivo por cada unidad (US$) extra exigida. Se observa que existe una variación considerable entre los primeros 8 períodos, llegando a un valor mínimo de -0,15 (US$/US$) en el período 2 y aumentando este valor hasta los -0,02 (US$/US$) en el período 6, para alcanzar valor 0 en el período 9.

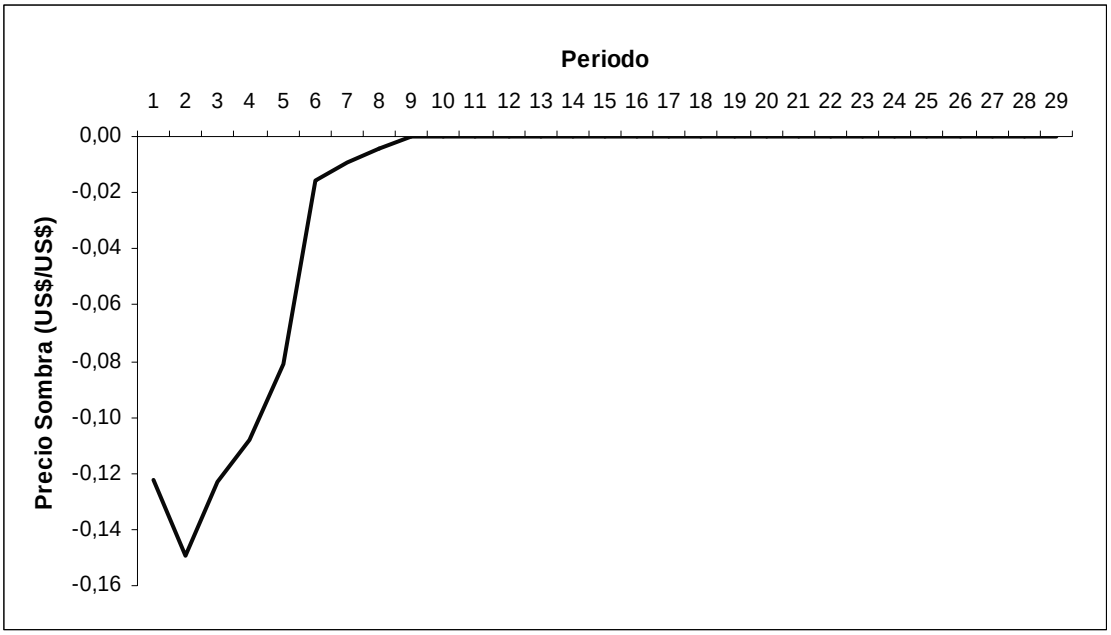


Figura 8: Precios sombra de la restricción de flujo mínimos de de ingresos

La relevancia del análisis de precios sombra en esta restricción es el poder determinar la capacidad de endeudamiento de la empresa, así como su calendario de liquidez. Así entre los períodos 1 al 8, el decrecimiento de los precios sombra en función del capital logra su mayor baja en el período 2, alcanzando un valor de -0,15 US$/US$, fundamentada por la escasez de cosechas, por esto el patrimonio tiene que hacer el esfuerzo de programar las cosechas con la finalidad de mantener constante el flujo.

Este valor puede interpretarse como el porcentaje en que deben aumentar los precios de los productos, por unidad monetaria, o bien, la disminución por unidad monetaria en costos de producción en dicho período.

A partir del período 9 el precio sombra de la restricción es cero, es decir, que el patrimonio es capaz de generar los ingresos exigidos y además generar un excedente de ellos, lo que se conoce como la holgura de la restricción, por lo que a partir de este período es posible generar un aumento en la restricción.

4.3.1 Efecto de los precios sombra en la edad de corta del bosque

Según el modelo, la determinación de edad de corta del bosque para un escenario libre, donde el objetivo es la maximización del VNP, se decide a nivel de rodal,. Sin embargo, al incorporar restricciones, esta estimación de la edad de corta, se realiza a nivel de óptimo patrimonial. Así, en el cuadro 8 se representa tal efecto en la decisión de corta del bosque. Se muestra a modo de ejemplo, que para el macro-rodal 1-1-2-87, la decisión de corta en escenario libre sería en el período 0, pero para cumplir con la restricción de ingreso mínimo, el bosque debe retrasar su cosecha en un período, para satisfacer los ingresos del período 1, los cuales a nivel de rodal son insuficientes para cumplir con dicha restricción. A continuación se muestra la fórmula utilizada para el cálculo de la edad de corta de los rodales al incorporar restricciones.

$$VAN = \frac{\sum Vol(P_{\$} + \lambda) - \sum \cos tos}{(1+i)^t} + \frac{VPS}{(1+i)^t}$$

Donde

Vol: Volumen del producto
$P_{\$}$: Precio por producto
λ: Precio sombra del período de la restricción de Flujo mínimo
Costos: Costos involucrados en la cosecha del bosque
i: Tasa de interés
t: Período de cosecha
VPS: Valor potencial del suelo de la mejor opción.

Cuadro 8: Representación del efecto de los precios sombra de la restricción de ingresos mínimos, en la corta del bosque.

Período	**Edad del rodal (Años)**	**Volumen Total (m^3/ha)**	**Ingreso Total (US$/ha)**	**VAN Libre US$**	**Precio Sombra (US$/US$)**	**VAN IND US$**
0	21	347	14.289	**14.289**	0,00	14.289
1	22	375	15.105	13.986	- 0,12	**15.665**
2	23	400	15.864	13.601	- 0,15	15.641
3	24	423	16.856	13.381	- 0,12	14.987

La figura 8 muestra un alza de los valores entre los períodos 1 y 8, por lo que se observó el efecto que tiene en el bosque estos precios sombra, y como se ve reflejado en la edad óptima de corta. En el cuadro 9, se muestran los precios sombra para los primeros 8 períodos,.En el se muestra también un ejemplo del efecto de los precios sombra en cuanto a la edad óptima de corta.

Anteriormente se señaló que cuando la función objetivo está sujeta a restricciones y estas se encuentran activas (en este caso de ingresos), el patrimonio tiene que

realizar esfuerzos para cumplir estas restricciones. Por lo que existen períodos (cuando existe precio sombra), en los cuales se debe retrasar o adelantar la cosecha del bosque, pasando por encima del óptimo económico, en tal caso, los precios sombra constituyen el aumento potencial de los precios de los productos. En forma más clara, en el cálculo de la edad de corta de un bosque, se esta sujeto, como en todo negocio, a un costo de oportunidad, por lo que al aumentar los precios de los productos, en un período, la edad de corta tiende a aumentar o disminuir, según el período en que se produzca esta alza.

Cuadro 9: Precios sombra de la restricción de flujo de ingresos mínimos y variación de la edad de cosecha para los primeros períodos.

Período	Precio Sombra (US$/US$)	Macro-rodal z-s-m-ap*	Edad de Cosecha		Período de Corta	
			Libre**	IND	Libre	IND
1	-0,12	1-1-2-87	21	22	0	1
2	-0,15	2-2-3-81	25	27	0	2
3	-0,12	1-1-2-92	20	18	5	3
4	-0,11	1-1-2-93	20	18	6	4
5	-0,08	2-2-3-92	21	20	6	5
6	-0,02	1-1-3-95	19	18	7	6
7	-0,01	1-1-3-96	19	18	8	7
8	0,01	1-1-3-97	19	18	9	8

*zona-sitio-manejo-año_plantación **Edad de corta según máximo VNP

En los primeros períodos donde se encuentran los mayores precios sombra (absolutos), se justifican para atrasar la cosecha de los rodales maduros que se encuentran al inicio de la planificación. Así, el macro-rodal 1-1-2-87, debería ser cosechado en el período 0**, sin embargo, debe retrasar la cosecha, para generar ingresos en el período 1 donde es cosechado. En el mismo caso el macro-rodal 2-2-3-81, debería ser cosechado el inicio de la planificación, y al igual que el anterior debe retrasar la cosecha, en este caso 2 períodos.

Por el contrario a medida que los precios sombra se acercan a cero, menor es el efecto en la edad de corta. Este se puede apreciar en los períodos 7 y 8, donde si bien en ambos períodos existe un desfase en la edad de corta, estos serían los únicos macro-rodales que sufrirían variación en la oportunidad de cosecha en dichos períodos. Ya a partir del período 9 todos los macro-rodales a cosechar estarían siendo aprovechados a partir de su máximo económico, por lo que la restricción de ingresos netos mínimos dejaría de estar activa.

4.4 Restricción de Abastecimiento

Como se observó en la figura 5, la distribución de trozas es sumamente variable, por lo que al modelo se le impuso una demanda base y excluyente de los respectivos destinos. Dicha demanda consiste en un mínimo de 3300 m^3/año del grupo de productos 3 (aserrable grueso). La figura 9, esquematiza el abastecimiento de

entrega libre del grupo de productos aserrable grueso, con la línea que muestra la restricción de abastecimiento.

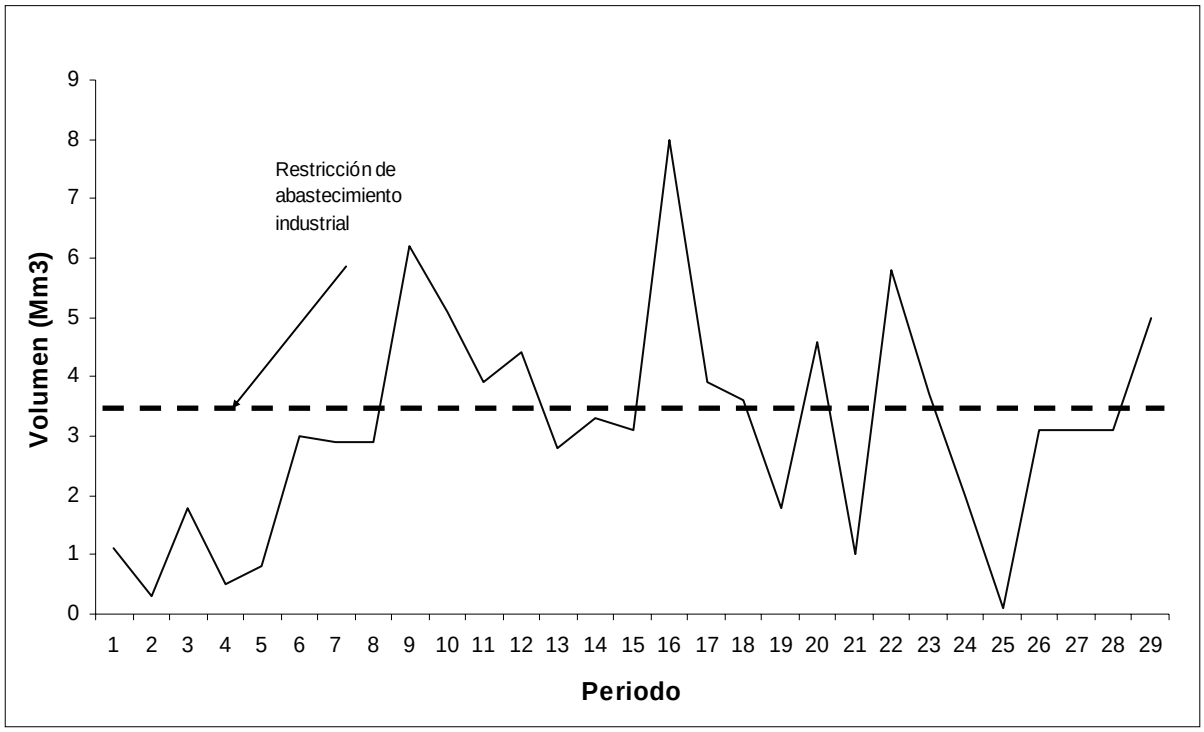


Figura 9: Oferta de productos aserrable grueso (grupo 3), a lo largo del horizonte de planificación en escenario libre.

En la figura 10 se observa el volumen en trozas del grupo de los aserrables gruesos. Aquí, los volúmenes serian entregados libremente a los centro de consumo existentes. En tal sentido, el abastecimiento va en función de las zonas de cosecha y de los costos de transporte asociadas a estas.

Se observa una distribución irregular de los destinos, lo que repercute en una inseguridad de los centros de consumo de sus insumos. En tal caso, la regulación del flujo le aseguraría el abastecimiento continuo de materia prima al centro de producción. El precio al cual deberían ser transadas las trozas, para hacer mínimo el efecto sobre el patrimonio y para asegurar el abastecimiento, es lo que se analizó a través de los precios sombra.

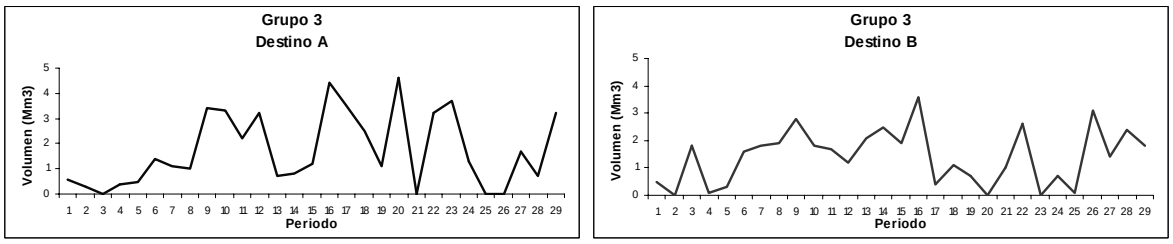


Figura 10: Oferta por destino de productos aserrable grueso (grupo 3), a lo largo del horizonte de planificación en escenario libre.

El valor de la función objetivo para la restricción de flujo mínimo de madera para un escenario con demanda excluyente es de US$ 5.912.080 para el destino A y de US$ 5.947.773 para el destino B. En el anexo 6 se puede observar los costos e ingresos para estos escenarios.

Al ilustrar el flujo de abastecimiento con restricción para ambos destinos (figuras 11 y 12), se observa que el abastecimiento cumple la restricción. Sin embargo para los destinos alternos su comportamiento en volumen es dispar. Así, con la restricción en A, el destino B comienza a recibir volumen a partir del período 12, comparado con la restricción en B, el flujo de volumen en A solo presenta abastecimiento en el período 16, recobrando participación a partir del período 26 en adelante.

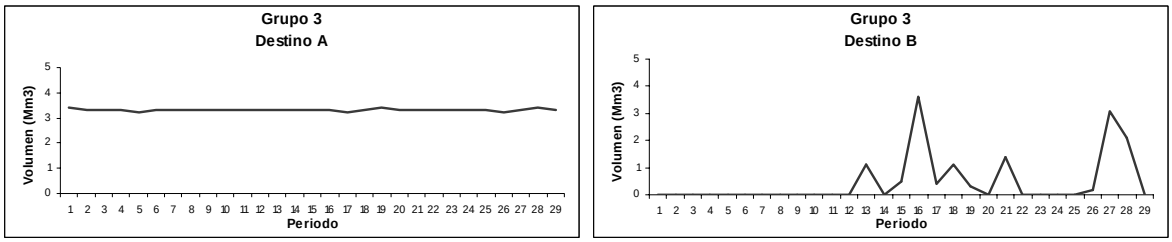


Figura 11: Compromiso de abastecimiento del grupo de Aserrable grueso (3) al Destino A.

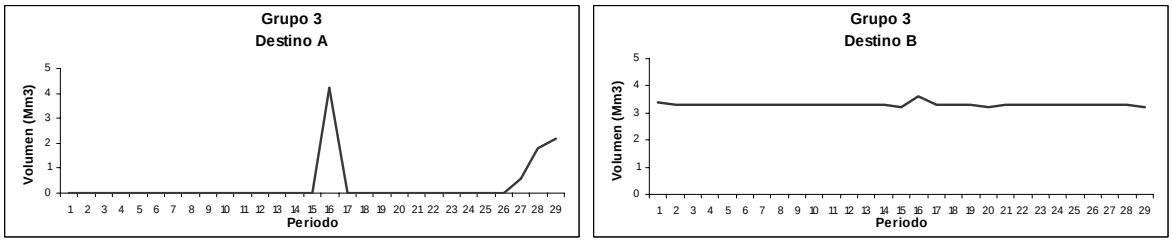


Figura 12: Compromiso de abastecimiento del grupo de Aserrable grueso (3) al Destino B.

La figura 13 presenta el precio sombra asociado al compromiso de abastecimiento para ambos centros de consumo. Se observa un comportamiento similar entre las curvas. De esta forma, los primeros períodos generan un alto costo de oportunidad en el abastecimiento.

La diferencia entre curvas de la figura 13 se debe a la diferencia en los costos de transporte existentes y de las zonas de las cuales se extrae la madera. Así, los costos de transporte al destino A presentan diferencias mayores desde las zonas, en comparación con el destino B, el cual tiene costos similares desde las zonas de cosecha.

Se observa que a partir del período 9 los precios sombra de los productos tienden a mantenerse mas o menos constante, por lo que el flujo volumen en dichos períodos no presenta mayor costo de oportunidad que el costo de flete de los rollizos.

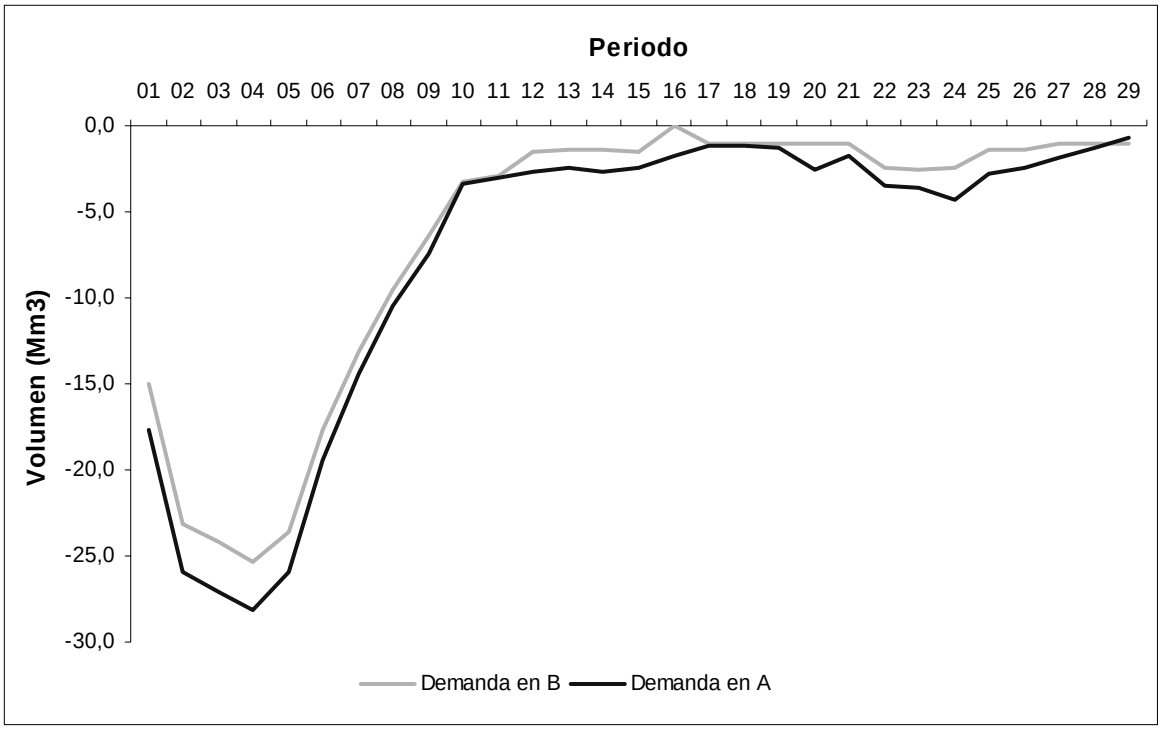


Figura 13: Precio sombra de la restricción de abastecimiento a los respectivos destinos

El alza (en términos absolutos) de los primeros períodos está dada por la baja producción de rollizos del grupo 3, y de volumen en general. En dichos períodos el bosque debe suplir esta carencia a través del aumento potencial del precio del grupo.

En el cálculo del VNP para determinar la edad de corta, el precio sombra indica en qué valor deben aumentar las trozas (a partir de un precio base), para poder abastecer sin un costo extra, que sacrifique la edad óptima de corta.

El precio sombra de la restricción de abastecimiento, nos muestra que el destino A es el más caro de abastecer, o al cual no debería aumentar el abastecimiento, en el caso que existiera un volumen extra de producción en un período dado.

Al realizar un análisis comparativo entre el precio sombra mas el precio de mercado, encontramos períodos en los que el precio de 1m^3 de producto aserrable grueso, es superior al de 1 m^3, de producto podado con PLI < 4 (Cuadro 10). Por lo que en los períodos donde el valor supera los 62 US$/m^3, sería factible sustituir los productos aserrables gruesos, por podado PLI < 4, dado que este último no se encuentra sujeto a una restricción de abastecimiento, en comparación a los productos aserrables gruesos. De acuerdo a esto, la opción de sustitución de productos es una alternativa a considerar en el abastecimiento.

Cuadro 10: Precio de transferencia de grupo de productos, precio real mas precio sombra absoluto.

Período	**Destino A (US$/m^3)**	**Destino B (US$/m^3)**	**Podado PLI < 4 (US$/m^3)**
1	61,7	60,3	**62**
2	67,6	68,4	**62**
3	66,8	69,5	**62**
4	66,0	70,7	**62**
5	62,9	68,9	**62**
6	57,5	63	**62**
7	53,7	58,4	62
8	51,0	54,9	62
9	49,0	51,7	62
10	46,9	48,6	62

Al igual que para la restricción de ingresos mínimos, el precio sombra en este caso indica el aumento en el precio del producto, para que este sea económicamente rentable para determinar un aumento o retraso de la edad de corta. Así en los períodos donde se generaron los mayores precios sombra del grupo de producto aserrable grueso, fue donde existía carencia de cosecha y por ende de volumen, por lo que el grupo debe aumentar su precio según el valor del precio sombra.

A modo de ejemplo en el cuadro 11 se presenta el mismo macro-rodal analizado anteriormente, el cual presenta su óptimo a nivel de rodal para ser cosechado en el período 0, sin embargo, al incorporar la restricción de abastecimiento mínimo para el destino B, su óptimo patrimonial cambia, para ser cosechado en el período 2.

Cuadro 11: Representación del efecto de los precios sombra de la restricción de ingresos no decrecientes, en la corta del bosque.

Período	**Edad (Años)**	**Volumen Total (m^3/ha)**	**Ingreso Total (US$/ha)**	**VAN Libre US$**	**Volumen Aserrable grueso (m^3/ha)**	**Precio Sombra (US$/m^3)**	**Precio real + Precio sombra**	**VAN MND US$**
0	21	347	14.289	**14.289**	40,2	0	45,3	14.281
1	22	375	15.105	13.986	56,5	-15	60,3	15.183
2	23	400	15.864	13.601	77,8	-23,1	68,4	**15.691**
3	24	423	16.856	13.381	83,3	-24,2	69,5	15.505

4.4.1 Comparación de precios sombra para ambos destinos dado una demanda igualitaria

Con anterioridad se comparó la distribución excluyente de volumen para los respectivos destinos, a continuación se presentan los resultados de un análisis de una demanda común de ambos destinos a lo largo del horizonte de planificación.

El valor de la función objetivo para la restricción de flujo m{inimo de madera para un escenario con demanda igualitaria es de US$ 5.938.950, en el anexo 6 se puede observar la información de costos e ingresos para este escenario.

Se observa en el cuadro 12, que al igual que en los casos anteriores, el alza de los precios sombra ocurre en el primer quinquenio de planificación, es aquí donde se deben aunar recursos para la disminución de los precios sombra.

Cuadro 12: Precio de transferencia de grupo de productos (precio real mas precio sombra absoluto), para una demanda igualitaria de los destinos.

Período	Destino A	Destino B
1	58,0	58,9
2	63,8	64,7
3	63,3	64,1
4	63,0	63,5
5	60,6	61,2
6	55,8	56,2
7	52,4	53,0
8	49,9	50,5
9	48,1	48,5
10	46,4	46,9

Desde el punto de vista del sacrificio realizado por el bosque es más conveniente abastecer ambos destinos con una distribución homogénea de demanda, antes que destinar la producción total hacia un solo destino. Tal decisión se hace patente al observar el precio de transferencia del grupo de productos, ya que son 3 los períodos en los cuales el precio del grupo alcanza un valor igual al del grupo de los productos podados con PLI< 4. Esto comparado, con el escenario de una demanda excluyente donde son 5 los períodos en que el bosque debe realizar esfuerzos para cumplir la demanda. Sin embargo el abastecimiento exclusivo al destino B genera un mayor valor de la función objetivo.

En la figura 14 se presenta el comportamiento de los precios sombra de la restricción de flujo de madera constante para ambos destinos, tal como en las figuras anteriores se denota un fuerte aumento en el primer quinquenio, para a partir de este comenzar a declinar, hasta llegar a cero.

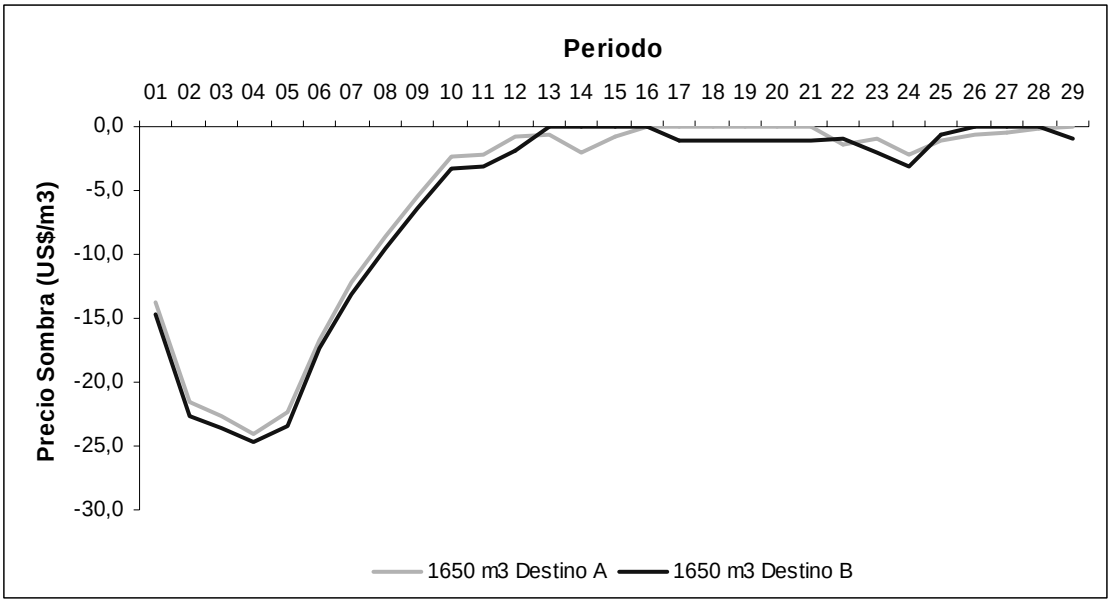


Figura 14: Precios sombra de la restricción de abastecimiento a 2 destinos, considerando una demanda igualitaria y no excluyente.

Al igual que para la restricción de volumen excluyente por destino, la diferencia entre curvas de la figura 13 está asociada a la diferencia entre los costos de transporte. Por tal motivo, la diferencia no es muy acentuada al considerar el mismo período.

Es importante mencionar que la aplicación de los precios sombra se debe realizar al total de la restricción, y no solamente a cantidad de volumen que falta para cumplir el volumen. La utilidad más inmediata de este costo, es que puede saber el precio máximo al cual se puede salir a comprar trozas a terceros.

4.5 Análisis comparativos del valor de la función objetivo para los distintos escenarios

La solución secuencial de los escenarios utilizados para aplicar el modelo de programación lineal permite analizar, en primer lugar, el efecto que tienen las restricciones en el valor patrimonial. El este sentido, la figura 15 muestra la evolución de la función objetivo ante diferentes escenarios.

Con respecto al escenario 1, llamado *escenario libre*, el mayor impacto de imponer una restricción, se logra al incorporar una demanda constante en el centro de consumo A. En cambio las restricciones de ingresos mínimos y las restricciones de abastecimiento tanto del centro de consumo B y de una demanda igualitaria de ambos centros de consumo, tienen un efecto significativamente menor. Esto indica que el patrimonio de la empresa esta estructurado (en cuanto a sus esquemas de manejo y edades), de tal forma que estos propósitos se logran a un bajo costo de oportunidad.

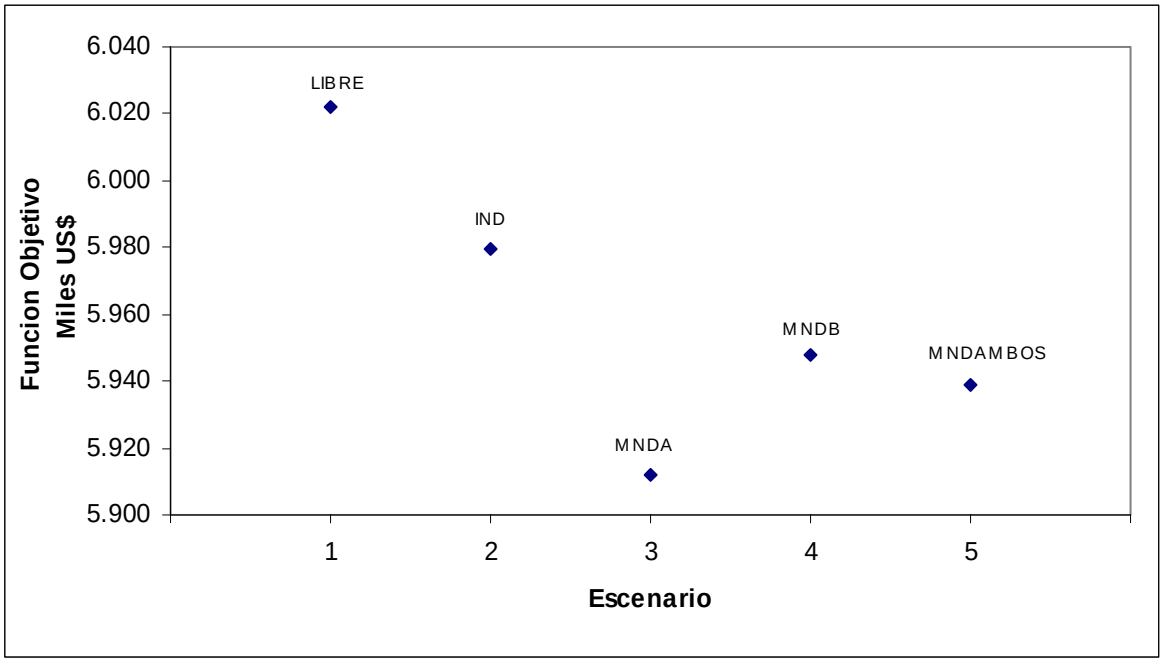


Figura 15: Valor de la función objetivo ante diferentas escenarios.

El mayor efecto marginal del vector de demandas se encuentra asociado al centro de consumo A, lo que indica, que el patrimonio de la empresa aun no esta lo suficientemente maduro como para satisfacer las demandas, o bien que su localización con respecto el centro de consumo A no es la óptima. Sin embargo no se descarta que el efecto sea por una combinación de ambos motivos. En todo caso el efecto marginal no supera el 1,8% del valor patrimonial.

Lo que se puede desprender de la figura 15 es que a medida que agregamos nivel de restricción, y restricciones a nuestro patrimonio, el valor de la función objetivo va a decrecer con respecto a un escenario libre, por lo que a mayores requerimientos de parte del productor, se debe tener en consideración que el valor de su patrimonio va disminuyendo. Sin embargo, lo importante es que las restricciones reflejan el real ambiente de producción y comercialización y en tal sentido es muy ventajoso que una técnica matemática simple como la programación lineal permita integrar dicha información para contar con óptimos reales y un correcto análisis de precios sombra nos dé conciencia de los costos involucrados en dichas restricciones.

5. CONCLUSIONES

- En un sistema de producción de largo plazo como el forestal, la planificación estratégica debería ser una actividad corriente para objetivos de sustentabilidad y competitividad del negocio. Solo un correcto análisis estratégico permitirá anticiparse a requerimientos y variaciones del mercado, además de contar con valiosa información que es propia de los recursos y productos de una empresa en particular y en escenario específico.

- La gran ventaja de la programación lineal en un sistema de planificación es que a través de las restricciones, se pueden presentar óptimos reales, considerando la mayoría de los requerimientos sociales, económicos y políticos existentes en el medio. Además, permite cuantificar económicamente la repercusión que tiene cada una de estas restricciones para el productor.

- La gestión en base a un modelo de programación lineal va más allá de una correcta formulación del modelo y de la identificación de las restricciones que son relevantes al problema. Tanto o más importante, es la interpretación y aplicación de resultados del modelo para generar decisiones congruentes con las metas de optimización que se han propuesto.

- Con respecto a los resultados de este estudio se tiene que:

  - ✓ En el *escenario libre*, el mayor impacto de una restricción, se da al incorporar una demanda constante en el centro de consumo A. En cambio las restricciones de ingresos netos mínimos y las restricciones de abastecimiento tanto del centro de consumo B y de una demanda igualitaria de ambos centros de consumo, tienen un efecto significativamente menor. Esto indica que el patrimonio de la empresa está estructurado (en cuanto a sus esquemas de manejo y edades), de tal forma que estos propósitos se logran a un bajo costo de oportunidad.

  - ✓ En ambas restricciones el mayor efecto de los precios sombra se observó en el primer quinquenio por lo que el patrimonio no se encontraba lo suficientemente maduro como para cumplir las restricciones, ya sea de ingresos mínimos o de abastecimiento.

  - ✓ En el caso de los ingresos mínimos, se observó que en el primer quinquenio debería existir una aumento de hasta 15% en el precio de los productos, para poder cumplir con holgura la restricción.

  - ✓ A partir del período 9, el patrimonio es capaz de generar ingreso por sobre el mínimo exigido, dado que los precios sombra asociados a la restricción se mantienen en 0 hasta el final del horizonte de planificación. Por ello, a partir de dicho período se podría generar un aumento en la restricción de modo de

mantener un flujo de ingresos constante mayor al impuesto inicialmente, US$ 300.000.

- ✓ Desde el punto de vista de la restricción de abastecimiento, se genera un aumento de hasta un 53% en el precio de los productos aserrables gruesos, llegando a un precio relativo, mayor a productos de mejor calidad (grupo de productos PLI < 4).

- ✓ Se observó que para un macro-rodal dado, un aumento de un 12% en el precio de los productos, generan una variación en el período de corta del bosque de un período, para la restricción de ingresos mínimos. Por el contrario para el mismo macro-rodal, en la restricción de madera mínima, un aumento en el precio del grupo de productos aserrable gruesos de US$ 23, retrasaría la cosecha del bosque en dos períodos.

- En relación a los precios sombra y su relevancia para decisiones tácticas y estratégicas, se tiene que:

  - ✓ El efecto que tienen los precios sombra sobre el bosque están en directa relación, dado que al activarse una restricción el patrimonio es el que debe cubrir esta carencia, por lo que mientras más altos sean los precios sombra asociados a las exigencias establecidas, mayores serán los costos de oportunidad, y mayor será el efecto sobre la edad de corta del bosque.

  - ✓ La lectura y análisis de precios sombra es una capacidad que debe ser desarrollada en los agentes que deciden, puesto que dicha información es estratégicamente valiosa para observar y actuar sobre carencias de patrimonio, costos de oportunidad de decisiones, así como máximos precios a pagar por tierra, trozas, compromisos de capital, etc.

- Finalmente, se concluye que desarrollar un diseño de reportes con (tablas, gráficos, puntos de equilibrio) para que la información se presente de un modo tal, que los análisis discutidos en este estudio se generen con facilidad y al mínimo costo en tiempo para los planificadores.

6. BIBLIOGRAFÍA

Arrate, J. I. 1997. Resolución de un Modelo de Planificación Agregada de Producción Utilizando Estrategias de Re-definición de Variables. Tesis para optar al grado de Magíster en Ciencias de la Ingeniería. Departamento de Ingeniería Industrial y de Sistemas. Pontificia Universidad Católica de Chile. Chile. 56 p.

Aspillaga, M. 2003 Planificación de la adquisición de bulbos utilizando un modelo de optimización en una empresa chilena productora de flores de Lilium. Tesis presentada como requisito para optar al grado de Magister en Economía Agraria. Pontificia Universidad Católica de Chile. Chile. 50 p.

Davis, L.S.; Johnson, K.N. Bettinger, P.S. y Howard, T.E. 2001. Forest Management: To Sustain Ecological, Economic, and Social Values, Ed 4. Mc Graw-Hill Nueva York. 789 p.

Del Sol, P., 2000 Evaluación de decisiones estratégicas Mc Graw Hill. Chile. 161 p

Hiller, F. y Lieberman J. 2002. Introducción a la Investigación de Operaciones. 4º ed. Mc Gran-Hill. Mexico.

Laroze, A. 1994. Fundamentos de Programación Lineal para Profesionales del Sector Forestal. Departamento de Ingeniería Forestal. Santiago Pontificia Universidad Católica de Chile. 70 p.

Laroze, A.; Pinto, P.; Muñoz, F. 1998. Evaluación de diferentes modelos de optimización para la planificación de faenas silvícolas. Revista Bosque. 19 (1):13-26.

Manfredi, R. 2001. Modelo de Planificación Estratégica Aplicado al Manejo de Plantaciones en la Patagonia Andina Argentina. Tesis Magíster en mención de Recursos Naturales. Valdivia, Universidad Austral de Chile, Facultad de Ciencias Forestales. 157 p

Mansilla, G. 1994. Análisis de Sensibilidad de los Coeficientes de Volumen de un Modelo de Programación Lineal Aplicado a la Planificación Forestal. Tesis Ing. For. Valdivia, Universidad Austral de Chile, Facultad de Ciencias Forestales. 78 p

Navon, D.I. 1971. Timber RAM…a long-range planning method for commercial Timberlands Ander multiple-use management. USDA Forest Servce Research. Berkeley. California. Pacific SW. Forest & range Exp. Sta. 22p

Paredes V., G. 2002. Apuntes de clases. Manejo Forestal III. Instituto de Manejo Forestal, Valdivia, Universidad Austral de Chile, Facultad de Ciencias Forestales. 11p

Paredes V., G.L., and Brodie, J.D. 1988. Activity Analysis in Forest Planning. Forest. Science. 34(1): 3.18.

Paredes V., G; Ruiz-Tagle, M. 2002. Modelo de Planificación Estratégica de Plantaciones Forestales AUSTRAL 2.1. Manual de Usuario. Universidad Austral de Chile. 86 p

Paredes V., G; Ruiz-Tagle, M.; Solis, A. 2001 Sistema de planificación forestal desarrollados por la Universidad Austral. IV Taller de Producción Forestal. Concepción.

Park, J.C. 1989. Pruned log index. New Zealand Journal of Forestry Science 19(1): 41-53

Porter, M., 1998 Competitive Strategy: Techniques for Analyzing Industries and Competitors. The Free Press, New York. 432 p

Quezada, F., y Andalaft. A., 2001. Análisis de decisiones de inversión estratégicas, metodología y aplicaciones. Theoria 10(1); 89-97

Tarp, P. 1994. Application of operations research methods in Danish forest management Planning. Ph.D. thesis, The Royal Veterinary and Agricultural University, Copenhagen.

Thomas L. J. y McClain J. 1993. An Overview of Production Planning. S.C. Graves et al., Eds., Handbooks in OR and MS, Vol 4, Chapter 7, pp 333-370.

Todoroki, C.; M. Budianto. 2001. Timber conversion and value from pruned logs for split taper and no-taper sawing methods. New Zealand Journal of Forestry Science. 31(1): 120-129

ANEXOS

Anexo 1

Abstract and Keywords

ABSTRACT

This study is generated from the need for understanding and obtaining maximum of benefits from the results of linear programming models for strategic planning in a forest company of vertical order. In this way, important products are shadow prices of the resources. These indicate the rate to which the value of the objective function can increase if the resource amount is increased marginally.

Analysis of this economic information is quite useful for supporting efficient decisions which are consistent with optimization of company profits. By this thematic, the current study is inserted for making an economic analysis of shadows prices which are generated in a linear programming model for long term planning in a forest company.

In order to aim the proposed objective, a prototype company was generated and analyzed. This firm has 1180 ha of *Pinus radiata plantations* and its production system is for generating mainly sawn timber Matrix of linear programming was obtained from the model of strategic planning "Austral", developed by academics of Universidad Austral of Chile.

For cases analyzing, 3 scenes of optimization were defined. One called "Free"; another one of "minimum net Income" in which it was stated that the annual income was no smaller than US$ 300.000. And the last one, named "minimum wood Flow", where a base demand was imposed considering products, it means logs with bigger end small diameter (gross sawn).

With respect to the restriction of minimum income, it was observed that in the first quinquennium an increase up to 15% in the price of products would have to exist to be able to fulfill comfort in this restriction.

After the restriction of constant demands of supplying to both destinies altogether, the value of transference from the forest to the destiny, reached its maximum of 64 US$/$m^3$ in destiny B in period 2. This value was minor who the thrown ones by the demand towards a single destiny.

In the case of a restriction of minimum income, the utility of the shadow prices goes in the sense to determine equivalences of increase in prices of products to maintain an entrance that pays the operational costs, generating levels of utility superior to a critical value.

With respect to the supplying and its restrictions, it corresponds to the price to which the logs, to fulfill a given demand, or the extra value would have to be paid that this demanding itself to him to the forest from the point of view of products, to satisfy the demanded volume.

Key words: Shadow prices, Strategic Planning, *Pinus radiata.*

Anexo 2

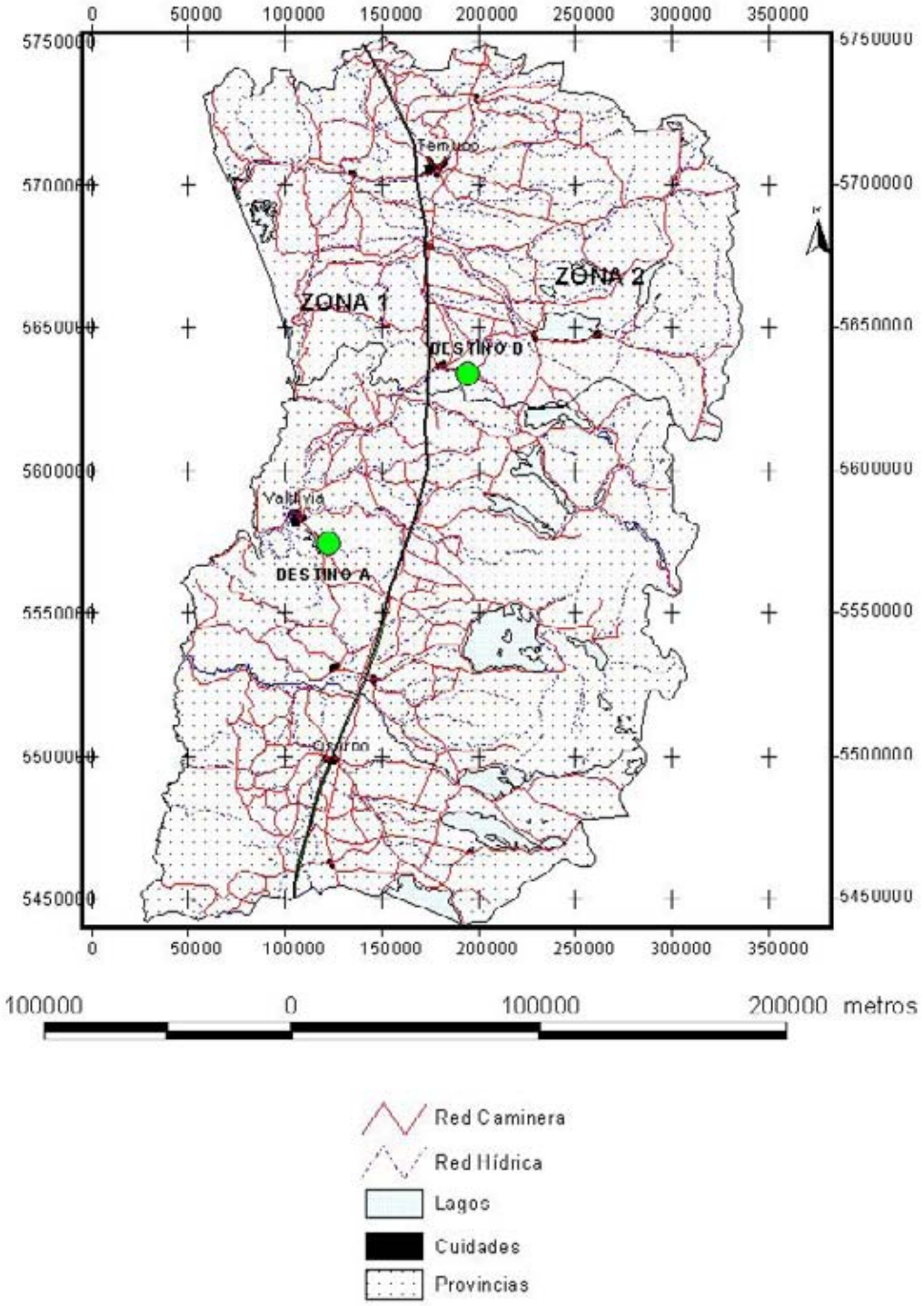
Variables incluidas en el modelo de Programación Lineal

Variables	***Formato***	***Descripción***
X_{ijnsm}	$X_{iijjnsm}$	Superficie (ha) plantada en periodo “ii” a cosechar en el periodo “jj” en la zona “n”, clase de sitio “s” y manejo “m”. Para la superficie de plantaciones ya existentes (j<0), se utiliza “Y” en vez de “X”.
W_{insm}	W_{iinsm}	Superficie (ha) plantada en periodo “ii” en la zona “n”, clase de sitio “s” y manejo “m”, que queda como inventario final (no es cosechada durante el horizonte de planificación.
S_{jns}	S_{jjns}	Superficie (ha) cosechada en el periodo “jj” en la zona “n”, clase de sitio “s”.
SF_{jns}	SF_{jjns}	Superficie (ha) forestada en el periodo “jj” en la zona “n”, clase de sitio “s”.
V_{jnp}	V_{jjnp}	Volumen (m^3) de producto “p” obtenido en el periodo “jj” de la zona “n”.
VR_{jnmp}	VR_{jjnmp}	Volumen (m^3) de producto “p” proveniente de raleo, obtenido en el periodo “jj” de la zona “n” con manejo “m”.
RL_{jnmp}	RL_{jjnmp}	Volumen (m^3) de producto “p” proveniente de raleo, obtenido en el periodo “jj” de una plantación que quedará como inventario final, en la zona “n” con manejo “m”.
V_{jnpd}	V_{jjnpdd}	Volumen (m^3) de producto “p” obtenido en el periodo “jj” de la zona “n” que es enviado al destino “dd”.
V_{jpd}	V_{jjpdd}	Volumen (m^3) de producto “p” obtenido en el periodo “jj” que es enviado al destino “dd”.
KE_j	KE_j	Costos totales (US$) de establecimiento en el periodo “j”.
KM_j	KM_j	Costos totales (US$) de manejo en el periodo “j”.
KC_j	KC_j	Costos totales (US$) de cosecha en el periodo “j”.
KT_j	KT_j	Costos totales (US$) de transporte en el periodo “j”.
KA_j	KA_j	Costos totales (US$) de administración en el periodo “j”.
KV_j	KV_j	Ingresos totales (US$) por ventas en el periodo “j”.
KZE_{jn}	KZE_{jn}	Costos totales (US$) de establecimiento en el periodo “j” en la zona “n”.
KZM_{jn}	KZM_{jn}	Costos totales (US$) de manejo en el periodo “j” en la zona “n”.
KZC_{jn}	KZC_{jn}	Costos totales (US$) de cosecha en el periodo “j” en la zona “n”.
KZT_{jn}	KZT_{jn}	Costos totales (US$) de transporte en el periodo “j” en la zona “n”.
KZA_{jn}	KZA_{jn}	Costos totales (US$) de administración en el periodo “j” en la zona “n”.
KZV_{jn}	KZV_{jn}	Ingresos totales (US$) por ventas en el periodo “j”, de oferta generada en la zona “n”.

Anexo 3

Ubicación de las zonas y de los centro de consumo utilizados en la planificación

Distribucion Patrimonial



Anexo 4

Esquemas de manejo según zona y sitio

Esquemas de manejo según Simulador
INSIGNE

Zona 1 - 2	**Intensivo 1**		**Multipropósito**		**Pulpable**	
Índice de Sitio	**>= 28**		**>= 28**		**< 25**	
ZONA	**1**	**2**	**1**	**2**	**1**	**2**
Edad	4 años	4 años	4 años	4 años	4 años	4 años
Área Basal	6,15	4,59	2,55	1,37	1,64	1,13
Altura	7,44	6,68	5,64	4,7	4,85	3,5
Densidad	1103	1103	1103	1103	1103	1056
PODA 1	5 años/700/3m					
PODA 2	7 años/400/4m		9 años/500/3m			
PODA 3	8 años/400/5,2					
RALEO DESECHO	5 años/700		7 años/700		8 años/700	
RALEO COMERCIAL	10 años/300		12años/400			

Anexo 5

Rendimientos según zona y sitio

Zona 1

Edad (años)	Volumen de productos														
	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12	13	14	Total
18	25,9	21,3	0	18,7	9,5	0	55,5	2,54	0	7,25	60,5	61,6	27,6	33,3	**323,7**
19	44,4	22	20,1	24,2	39,9	0	0	0	0	27,3	54,2	79,1	21	36,1	**368,3**
20	90,7	21	0	18,4	0	0	23,6	0	3,82	28,5	81,3	72,5	20	37,8	**397,6**
21	138	0	0	0	0	0	25,4	0	5,06	58,1	64,6	84,1	28,2	33	**436,8**
22	144	12	0	10,5	0	0	4,35	0	19,3	54,3	87	77,1	29	34,2	**471,8**
23	171	0	0	0	0	0	4,95	0	22,8	91,3	77,2	70,3	28,7	37,4	**503,2**
24	178	0	0	0	0	0	4,95	0	25,7	95,6	88,7	76,9	27,6	37,7	**534,6**
25	179	0	0	0	0	0	4,97	0	58,2	91,3	83,2	83,1	28	36,1	**563,3**
26	184	3	0	2,6	0	0	0	0	61,9	110	86,4	77,5	33,4	36,5	**595,5**
27	189	3	0	2,6	0	0	0	0	73,2	130	66,4	91,2	28,8	40,2	**624,5**
28	196	0	0	0	0	0	0	0	108	112	83,8	82,3	28	39,3	**649,0**
29	200	0	0	0	0	0	0	0	111	112	87,8	86,5	39,8	33,9	**670,3**
30	200	0	0	0	0	0	0	0	135	113	93,5	81	29	40,8	**692,5**

Zona 2

Edad (años)	Volumen de productos														
	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12	13	14	Total
18	44	36,6	21,5	37,7	0	0	0	0	0	4,65	36,6	86,7	32,1	31,4	**331,2**
19	82,3	33,7	0	34	0	0	0	0	0	15	35	112	27,3	26,4	**365,6**
20	88,1	32,7	10,9	28,1	0	0	0	0	0,61	16,7	62,9	99,6	26,7	26,5	**392,7**
21	127	20,5	0	18,7	0	0	0	0	3,32	32,9	75	84,2	30,3	27,9	**419,7**
22	132	21,7	0	19,6	0	0	0	0	4,01	37,7	77,5	94,3	29	31,8	**447,2**
23	137	21,3	2,6	17,3	0	0	0	0	12,4	53,6	76,7	91,5	29,3	32,6	**473,8**
24	163	7,1	2,6	6,2	0	0	0	0	14	62,4	83,3	101	26,5	26,6	**492,5**
25	167	7,1	2,7	6,2	0	0	0	0	15,9	63	87,2	106	32	26,1	**512,9**
26	172	9,9	0	7,6	0	0	0	0	31,6	62,4	101	93,8	27,8	28,1	**533,6**
27	176	9,9	0	7,7	0	0	0	0	34,9	80,8	83,7	103	29,4	29,2	**554,3**
28	176	10,1	0	7,8	0	0	0	0	37,3	82,4	87,3	115	25,6	29,2	**570,3**
29	176	10,1	0	8,1	0	0	0	0	39,5	86	112	90,2	28,9	30,8	**582,4**
30	179	10,3	0	8,2	0	0	0	0	40,8	86,1	112	107	27,9	26,8	**597,9**

Rendimiento para manejo Intensivo en ambas zonas para sitios con I.S. >= 28

Zona 1

Edad (años)	Volumen de productos														
	01	**02**	**03**	**04**	**05**	**06**	**07**	**08**	**09**	**10**	**11**	**12**	**13**	**14**	**Total**
18	0	0	0	0	0	13,2	0	34,2	0	7,93	36	108	35,2	47,7	**281,9**
19	0	0	0	0	0	14,9	0	36	0	19	52,3	105	35,6	51,4	**313,8**
20	0	0	0	0	0	27,5	0	25,9	0	21,5	78,3	114	36,1	41,3	**344,2**
21	0	0	0	0	0	31,5	0	37,8	7,47	20,3	64,4	131	40,1	44,3	**376,9**
22	0	0	0	0	0	33,6	0	39	8,41	43	91,4	111	38,9	45,5	**411,1**
23	0	0	0	0	0	35,7	0	38,4	19	43,5	92	122	39,1	47,1	**436,5**
24	0	0	0	0	0	51,1	0	25,4	21,1	64,5	89,7	127	38,6	51,6	**469,1**
25	0	0	0	0	0	54,9	0	24,7	31	63	96,4	128	46,5	50,9	**495,5**
26	0	0	0	0	0	55,9	0	34,1	33,6	77,5	102	123	41,5	52,3	**519,8**
27	0	0	0	0	0	57,9	0	33,6	50,9	69,2	120	116	53,1	47,3	**548,0**
28	0	0	0	0	0	58,6	0	33,1	60,4	63,4	123	140	39,2	52,3	**569,8**
29	0	0	0	0	0	60,5	0	34	70,2	84,2	118	138	42,6	50,9	**598,8**
30	0	0	0	0	0	62,1	0	33,6	72,7	104	116	132	45,8	51,7	**617,4**

Zona 2

Edad (años)	Volumen de productos														
	01	**02**	**03**	**04**	**05**	**06**	**07**	**08**	**09**	**10**	**11**	**12**	**13**	**14**	**Total**
18	0	0	0	0	0	30,7	0	22,9	0	4,67	25,8	104	46,4	42,6	**277,1**
19	0	0	0	0	0	33,1	0	22,7	0	13	24,8	131	40	42,7	**307,3**
20	0	0	0	0	0	47,3	0	23,6	0	14,5	46,8	112	50	42,1	**336,4**
21	0	0	0	0	0	52,3	0	22,7	4,52	26,3	40	125	53,4	40,2	**364,5**
22	0	0	0	0	0	55,3	0	22,4	4,86	31,9	59,8	126	47,6	45,2	**392,6**
23	0	0	0	0	0	57,1	0	31,4	13,1	25,8	66	135	48,6	42,1	**419,0**
24	0	0	0	0	0	57,7	0	32,5	14,3	47,2	58,9	137	50,9	43,5	**442,0**
25	0	3,9	0	0	0	57,1	0	31,5	18,6	50	65	140	49,4	43,9	**459,6**
26	0	4,2	0	0	0	71,6	0	20	19,8	52,7	66,5	152	54,8	41,1	**482,8**
27	0	4,4	0	0	0	71,6	0	19,8	20,4	53,2	86,6	148	53,8	41,8	**499,2**
28	0	4,6	0	0	0	73	0	19,7	37	48,5	90,3	148	55,6	39,5	**516,0**
29	0	8,1	0	0	0	71,7	0	19,2	43,9	53,5	89,9	145	56,5	43,6	**531,7**
30	0	8,4	0	0	0	71,6	0	19,1	44,8	53,7	92,3	165	48,7	44,8	**548,1**

Rendimiento para manejo Multipropósito en ambas zonas para sitios con I.S. >= 28

Zona 9

Edad (años)	Volumen de productos														
	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12	13	14	Total
18	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	16,2	146	72,2	72,7	**307,1**
19	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2,48	17,7	164	68,6	85,3	**338,1**
20	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3,52	22,4	188	78,8	75	**367,8**
21	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4,93	50,3	188	79,1	73,9	**396,2**
22	0	0	0	0	0	0	0	0	0,53	6,22	63,3	207	73,5	81,7	**432,5**
23	0	0	0	0	0	0	0	0	0,76	7,63	68,2	215	87,9	80,6	**459,5**
24	0	0	0	0	0	0	0	0	1,03	23,5	59,3	238	82,9	91	**495,8**
25	0	0	0	0	0	0	0	0	1,77	26,8	80,7	240	78,4	92	**520,1**
26	0	0	0	0	0	0	0	0	2,33	29,7	85,2	256	86,8	87,6	**547,4**
27	0	0	0	0	0	0	0	0	3,65	32,9	87,7	270	90,1	88,9	**573,5**
28	0	0	0	0	0	0	0	0	5,19	36,5	127	261	84,2	88	**601,6**
29	0	0	0	0	0	0	0	0	6,27	48,1	122	260	95,6	88,5	**620,2**
30	0	0	0	0	0	0	0	0	7,57	51,3	123	266	103	93,3	**644,5**

Zona 10

Edad (años)	Volumen de productos														
	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12	13	14	Total
18	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	9,12	112	85,2	80,6	**287,1**
19	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,83	10,7	139	79	85,9	**315,3**
20	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1,45	33	145	92,9	72,2	**344,9**
21	0	0	0	0	0	0	0	0	0	7,26	33,2	160	90,5	87,4	**378,2**
22	0	0	0	0	0	0	0	0	0	9,08	35,3	200	83,4	79,5	**407,5**
23	0	0	0	0	0	0	0	0	0,99	9,8	42,3	198	91,4	85,8	**428,2**
24	0	0	0	0	0	0	0	0	1,64	11,1	76,1	186	100	76	**451,5**
25	0	0	0	0	0	0	0	0	2,14	12,7	81,9	207	102	76,2	**481,5**
26	0	0	0	0	0	0	0	0	2,63	15,5	95,1	211	109	69,3	**502,4**
27	0	0	0	0	0	0	0	0	3,14	34,9	80,8	224	105	75,4	**523,1**
28	0	0	0	0	0	0	0	0	3,68	38	82,6	231	101	82,9	**539,2**
29	0	0	0	0	0	0	0	0	4,65	39,8	87,2	244	113	70,3	**559,3**
30	0	0	0	0	0	0	0	0	5,84	41,3	87,8	269	98,5	73,6	**575,5**

Rendimiento para manejo Multipropósito en ambas zonas para sitios con I.S. < 28

Anexo 6

Costos e Ingresos por escenario

Valor de la Función Objetivo: US$ 5979771

Período	Costos Establecimiento	Manejo	Cosecha	Transporte	Ingresos Ventas	Flujo Neto
0	9.443	31.647	205.548	122.922	683.769	314.210
1	9.576	11.831	132.763	74.688	528.857	300.000
2	13.394	16.401	175.504	99.728	605.027	300.000
3	15.970	17.710	168.016	102.625	604.321	300.000
4	19.438	18.793	174.374	103.197	615.802	300.000
5	18.717	17.506	197.692	118.156	652.071	300.000
6	9.089	23.534	91.337	56.214	480.174	300.000
7	8.276	12.083	95.162	59.316	474.838	300.000
8	11.712	9.671	128.378	74.453	524.213	300.000
9	27.831	19.623	297.831	175.062	1.423.641	903.294
10	34.712	25.622	370.126	209.814	1.311.826	671.552
11	23.908	27.249	280.647	165.943	988.370	490.624
12	26.755	24.383	290.897	164.037	1.174.229	668.158
13	19.163	18.312	192.221	113.743	810.359	466.921
14	22.776	25.314	247.873	147.663	1.133.406	689.780
15	19.893	18.471	215.339	127.747	853.231	471.782
16	47.742	27.099	496.921	287.607	1.847.369	987.999
17	23.543	44.024	272.584	154.213	974.506	480.142
18	15.546	22.060	165.184	95.554	695.021	396.677
19	11.062	21.231	156.168	93.757	582.218	300.000
20	18.975	19.729	211.661	118.243	783.967	415.360
21	13.693	20.980	147.458	84.623	566.753	300.000
22	20.028	21.700	237.949	149.084	933.377	504.617
23	14.540	30.081	188.528	108.193	847.312	505.971
24	10.359	20.581	136.796	81.316	549.052	300.000
25	13.292	15.516	149.973	92.684	708.278	436.814
26	24.286	17.405	271.710	161.308	1.245.324	770.616
27	24.099	23.260	270.788	159.352	1.212.735	735.236
28	25.268	22.394	295.175	179.374	1.371.589	849.380
29	13.031	20.601	148.470	89.084	571.186	300.000
TOTAL	**566.111**	**644.806**	**6.413.073**	**3.769.700**	**25.752.820**	**14.359.129**

Flujo de Ingresos para la restricción de Ingresos mínimos

Valor de la Función Objetivo: US$ 6.022.167

Período	Costos Establecimiento	Manejo	Cosecha	Transporte	Ingresos Ventas	Flujo Neto
0	24.090	35.459	394.696	227.041	1.398.112	716.826
1	7.081	15.636	74.167	42.821	264.103	124.398
2	1.241	12.480	26.536	17.270	82.778	25.251
3	11.899	12.954	130.526	81.731	477.318	240.208
4	3.504	13.408	52.720	32.363	161.098	59.104
5	4.125	12.497	78.274	51.863	244.296	97.537
6	19.382	18.568	199.473	115.644	714.604	361.538
7	18.031	21.074	200.044	119.043	935.625	577.433
8	17.739	16.455	186.768	110.993	887.595	555.640
9	36.354	15.460	387.214	224.367	1.729.148	1.065.753
10	34.712	25.497	384.616	220.328	1.346.638	681.487
11	23.908	19.473	267.905	156.654	957.755	489.816
12	26.755	20.976	294.055	166.252	1.181.816	673.779
13	19.163	25.909	195.886	116.376	819.165	461.832
14	22.776	26.258	229.453	134.407	1.089.151	676.258
15	19.893	20.770	207.715	122.428	834.913	464.108
16	47.742	32.329	478.966	273.538	1.804.229	971.654
17	23.543	44.071	272.237	154.172	973.672	479.649
18	19.491	23.087	234.752	138.964	922.631	506.337
19	10.366	22.250	147.245	91.390	596.513	325.263
20	22.849	20.525	248.449	135.680	877.916	450.414
21	6.570	20.304	75.462	47.174	271.194	121.684
22	25.258	20.895	309.738	186.995	1.321.848	778.962
23	12.666	32.632	152.645	88.137	577.809	291.730
24	8.906	19.377	121.587	75.149	473.701	248.682
25	1.132	14.131	31.548	22.061	111.891	43.019
26	22.156	11.293	238.736	146.337	1.113.413	694.891
27	15.330	22.878	181.934	109.215	886.247	556.890
28	19.345	15.193	247.642	154.267	1.206.269	769.823
29	21.864	20.205	244.225	143.947	997.007	566.767
TOTAL	**547.865**	**632.038**	**6.295.212**	**3.706.604**	**25.258.453**	**14.076.734**

Flujo de Ingresos para el escenario Libre

Valor de la Función Objetivo: US$ 5.912.080

Período	Costos Establecimiento	Manejo	Cosecha	Transporte	Ingresos Ventas	Flujo Neto
0	6.498	30.880	153.889	97.956	502.690	213.466
1	5.058	9.759	91.254	50.155	336.418	180.192
2	7.605	13.521	114.551	69.436	424.938	219.824
3	10.515	14.529	145.149	87.313	517.821	260.315
4	15.169	16.023	176.898	111.047	652.930	333.793
5	20.275	16.443	232.161	144.148	796.167	383.141
6	23.078	25.079	231.136	137.489	1.012.821	596.039
7	20.810	20.007	209.420	124.845	919.589	544.507
8	21.984	15.342	212.070	131.184	1.022.242	641.662
9	25.055	17.406	264.423	153.384	996.211	535.944
10	22.307	19.870	237.020	139.972	821.321	402.152
11	21.601	23.788	250.226	151.470	876.730	429.645
12	22.080	26.807	247.703	144.405	999.243	558.249
13	21.896	26.233	228.122	135.487	960.453	548.715
14	21.775	23.901	230.428	142.370	1.087.987	669.514
15	24.110	22.037	259.781	153.880	998.058	538.250
16	43.160	30.982	456.892	267.342	1.682.529	884.153
17	16.764	30.954	220.721	129.476	801.191	403.276
18	20.190	21.938	253.428	148.545	975.829	531.728
19	12.255	21.424	152.473	86.854	590.747	317.741
20	13.445	17.486	152.466	82.962	539.896	273.536
21	18.141	19.389	203.882	118.723	826.980	466.844
22	20.580	25.176	237.863	149.185	839.719	406.915
23	12.180	29.160	170.433	101.690	699.436	385.973
24	12.454	16.671	161.655	96.562	693.730	406.389
25	16.423	18.079	191.647	119.373	1.009.928	664.406
26	19.503	19.672	211.322	130.708	1.015.184	633.980
27	35.374	21.143	373.470	220.276	1.741.542	1.091.279
28	27.331	26.183	310.819	186.068	1.299.991	749.591
29	7.500	22.837	119.126	68.178	580.850	363.210
TOTAL	**565.113**	**642.719**	**6.500.428**	**3.880.482**	**26.223.170**	**14.634.427**

Flujo de Ingresos para le restricción de abastecimiento de 3300 m^3 en el destino A

Valor de la Función Objetivo: US$ 5.947.773

Período	Costos Establecimiento	Manejo	Cosecha	Transporte	Ingresos Ventas	Flujo Neto
0	9.173	31.576	200.978	122.232	665.089	301.130
1	3.751	10.232	67.299	40.219	268.557	147.056
2	7.959	13.216	113.074	68.250	416.020	213.521
3	12.918	15.263	159.635	97.485	572.442	287.142
4	12.425	16.039	157.380	94.327	560.478	280.307
5	19.281	15.420	214.342	132.056	740.457	359.358
6	20.298	24.484	204.161	118.996	829.698	461.760
7	17.566	19.397	181.170	106.422	732.599	408.045
8	25.849	14.101	261.930	155.033	1.217.931	761.019
9	28.390	19.647	299.749	174.838	1.249.636	727.013
10	20.547	22.348	216.219	127.825	808.885	421.946
11	23.908	21.104	272.266	161.070	968.234	489.887
12	26.201	26.635	291.137	167.278	1.166.326	655.075
13	19.716	25.930	195.490	115.442	827.733	471.154
14	22.776	22.992	236.914	140.456	1.107.076	683.939
15	19.893	23.253	214.557	128.471	851.353	465.179
16	47.742	32.218	496.708	286.958	1.846.857	983.230
17	22.311	34.983	269.850	156.741	949.058	465.174
18	16.591	22.069	200.563	121.564	798.350	437.562
19	11.249	21.485	139.221	83.643	544.721	289.123
20	18.738	19.710	212.268	120.153	727.980	357.110
21	13.929	21.095	161.638	98.456	652.602	357.484
22	18.447	20.908	203.523	126.346	744.542	375.317
23	10.065	28.819	137.760	84.264	618.144	357.236
24	11.722	19.394	156.663	95.722	719.978	436.477
25	15.255	16.286	171.566	103.678	807.948	501.162
26	17.031	16.476	190.969	116.608	828.309	487.225
27	20.285	18.429	223.392	136.932	1.119.411	720.373
28	27.232	21.242	322.174	195.432	1.468.161	902.080
29	20.636	25.498	263.548	152.042	1.219.216	757.492
TOTAL	**561.884**	**640.250**	**6.436.141**	**3.828.938**	**26.027.790**	**14.560.577**

Flujo de Ingresos para le restricción de abastecimiento de 3300 m^3 en el destino B

Valor de la Función Objetivo: US$ 5.938.950

Período	Costos Establecimiento	Manejo	Cosecha	Transporte	Ingresos Ventas	Flujo Neto
0	6.498	30.880	153.889	95.455	502.690	215.968
1	5.058	9.759	91.254	51.805	336.418	178.542
2	7.605	13.521	114.551	67.698	424.938	221.563
3	12.519	15.051	159.997	95.743	574.633	291.324
4	13.016	16.072	160.375	95.207	586.537	301.869
5	19.279	15.529	224.380	135.771	768.345	373.386
6	23.647	24.924	235.727	136.763	1.030.727	609.666
7	21.050	20.243	211.533	123.919	922.796	546.052
8	21.483	15.043	203.478	119.407	924.732	565.322
9	27.730	18.047	296.165	170.392	1.180.103	667.769
10	22.330	21.568	237.064	136.695	827.046	409.390
11	21.988	22.810	252.381	148.698	884.474	438.597
12	22.287	26.746	247.558	141.897	1.002.306	563.818
13	19.328	25.719	197.115	116.128	855.307	497.016
14	26.940	24.671	287.122	167.163	1.272.072	766.177
15	27.030	24.408	282.810	163.422	1.074.163	576.493
16	40.047	31.880	417.917	245.758	1.583.140	847.538
17	20.461	31.271	257.583	150.471	892.270	432.484
18	16.457	22.018	205.244	122.743	812.073	445.611
19	11.042	19.992	136.415	80.032	539.582	292.102
20	13.020	16.604	141.901	78.986	523.412	272.901
21	14.696	21.584	167.200	99.614	679.162	376.068
22	19.289	23.376	235.838	140.592	809.958	390.863
23	13.337	27.144	171.925	104.048	720.064	403.610
24	12.688	20.063	162.539	97.461	699.203	406.452
25	17.091	17.338	192.702	115.020	988.148	645.998
26	24.320	19.140	267.206	160.155	1.237.215	766.394
27	21.482	18.414	237.608	142.544	1.101.907	681.860
28	22.802	20.625	266.039	162.488	1.192.411	720.458
29	12.646	21.603	176.245	102.419	790.069	477.156
TOTAL	**557.164**	**636.041**	**6.391.760**	**3.768.492**	**25.735.901**	**14.382.444**

Flujo de Ingresos para le restricción de abastecimiento de 1650 m^3 para ambos destinos