# PLANIFICACIÓN TÁCTICA OPTIMIZANTE DE LA PRODUCCIÓN EN UN ÁREA DE DESARROLLO DE LA REGIÓN DEL MAULE.

Darío M. Aedo Ortiz[1]
Daniela Escalona Hernández[2]

## RESUMEN

Las actividades de aprovechamiento asociadas a pequeños propietarios carecen de una planificación táctica de la producción, y por ende les es muy complejo convertirse en proveedores confiables de productos forestales. En este contexto, se generó un modelo de programación matemática que asistiera en la determinación de los rodales a ser cosechados y el flujo de madera entre estos rodales y los centros de consumo en su entorno. El conjunto de propietarios forestales fue agrupado en la categoría de área de desarrollo, categoría creada por CONAF dentro de las estrategias para el desarrollo regional (ECDR). Esta área de desarrollo se localizaba en Llongocura, comuna de Curepto, Región del Maule. Durante el desarrollo del modelo fue requerido determinar: 1) los parámetros de rendimiento asociados a cada unidad productiva (rodal o grupo de rodales) para el periodo táctico considerado; 2) los principales centros de consumo con sus respectivas demandas y precios de compra periódicos dentro del área circundante; 3) las distancias entre el área de desarrollo y cada centro de consumo, ya sea de trozos aserrrables o pulpables; y 4) los costos de cosecha y transporte asociados.

Así se formuló un modelo de Programación Entera Binaria que debiera facilitar el proceso de toma de decisiones productivas. El propósito de este modelo es maximizar los beneficios productivos del área de desarrollo en estudio. Una solución robusta fue descubierta, la cual resiste desviaciones en los parámetros de costos de operación, precios de compra y rendimiento productivo.

## SUMMARY

The activities relating to small forestry landowners lack of tactical production planning makes it very complex for them to be confident suppliers of forest products. In this context, a mathematical programming model was developed to assist in the establishment of the stands to be harvested and the product flow from these stands to the consumption centers in the surrounding area. This set of landowners were grouped as a development area category inside of the Chilean forest service (CONAF) strategy program (ECDR), located at Llongocura, Curepto county, Maule region. In the development of the model it was required to determine: 1) the yield parameters associated with each productive unit (one stand or a group of stands) for the tactical period considered, 2) the main consumption centers with their periodically demands and buying prices in the market area, 3) the distances between the development area and the consumption centers of sawlogs and pulpwood, and 4) harvesting and transportation costs.

In this way a Binary Integer Programming model was formulated that should facilitate the tactical productive decision making. The purpose of this model is to maximize the production benefits of the studied development area. A robust solution was discovered which resists parameter deviations in production costs, buying prices and stand yield.

[1] Departamento de Producción Forestal, Facultad de Ciencias Forestales, Universidad de Talca. Chile. daedo@utalca.cl.
[2] Unidad Gestión Manejo del Fuego, CONAF VI Región. Chile. danielaescalona@gmail.com.

# INTRODUCCIÓN

Actualmente el sector forestal chileno presenta un continuo crecimiento debido a la producción y consumo de madera con distintos fines económicos, sociales y ambientales. La Región del Maule exhibe una gran cantidad de recursos naturales, dentro de estos se encuentran las plantaciones de *Pinus radiata* que fomentan la producción de madera y la protección del suelo. Dichas plantaciones están en manos no sólo de grandes empresas sino también en las de pequeños propietarios. Generalmente a nivel regional, estos pequeños propietarios forestales son parte de comunidades rurales de bajo nivel económico, técnico y de gestión.

Así, la Corporación Nacional Forestal (CONAF) ha generado un programa de estrategias para el desarrollo regional (ECDR). Las estrategias que CONAF utiliza considera la agrupación de pequeños y medianos propietarios de igual ubicación geográfica en unidades denominadas de desarrollo. La definición de cada unidad de desarrollo requirió que en el área existieran recursos forestales de interés, fuerte presencia de pequeños y medianos propietarios, con una red vial apropiada para la eventual comercialización de productos y cercanía a centros de comercialización o consumo (CONAF, 2004 a).

Actualmente en la Región del Maule, se atiende a 28 comunidades forestales insertas en 13 áreas de desarrollo establecidas en 12 comunas. Potencialmente, 1.400 familias (5.600 personas) serían directamente beneficiadas por este programa (CONAF, 2004 b).

El desarrollo de estas unidades presupone la ordenación espacial y temporal del manejo productivo del recurso plantación. La selección de la alternativa o combinación de alternativas de manejo para un patrimonio es un proceso complejo. Esta complejidad, unida al hecho que con frecuencia las decisiones se pueden representar como variables cuantificables, han significado el uso creciente de modelos matemáticos para ayudar a la toma de decisiones (Morales y Weintraub, 1989).

Las principales técnicas utilizadas para la toma de decisiones a nivel de Planificación Forestal la constituyen el análisis costo-beneficio, los modelos de simulación y los modelos optimizantes. Dentro de estas técnicas, los modelos de optimización son considerados los más convenientes de utilizar cuando es factible reducir el problema a relaciones matemáticas que aproximen en forma adecuada la realidad. Así, Weintraub (1975) establece que la optimización permite la búsqueda de soluciones óptimas bajo restricciones, analizando así implícitamente todas las alternativas factibles.

En la planificación y manejo de bosques los modelos de optimización han sido ampliamente utilizados, siendo los más utilizados aquellos basados en modelación mediante Programación Lineal y Programación Entera. Tapia (1999), en un contexto económico, señala que la Programación Lineal es una metodología que permite modelar el problema clásico de cómo asignar de la mejor forma posible un conjunto de recursos escasos entre distintas alternativas que compiten por tales recursos, permitiendo que todas las variables de decisión consideradas sean reales positivas. Por otra parte, la Programación Entera se ocupa básicamente de programas lineales, con la restricción adicional que todas las variables deben tomar sólo valores enteros positivos (Taha, 1995; Hillier y Lieberman, 1997). Una variación de la programación entera es la Programación Entera Mixta, en donde sólo algunas variables son enteras positivas (Winston, 1994). Sin embargo, el gran número de variables enteras y continuas que pueden generarse en algunos problemas los hacen de difícil solución (Weintraub,1975). Una aplicación de la programación entera que involucra una extensión directa de la programación lineal, es cuando las variables de decisión están restringidas a sólo dos valores, 0 y 1. Las variables de este tipo se llaman variables binarias (Hillier y Lieberman, 1997) y dan origen a modelos de Programación Entera Binaria (Laroze, 1996 citado por Cordero, 1997).

En este contexto, el presente estudió consistió en generar un modelo de Programación Entera Binaria que permitiera optimizar los flujos de madera de un área de desarrollo de la Región del Maule en un horizonte táctico con fines económicos. De esta manera, el producto de este estudio podrá facilitar la planificación táctica de la actividad forestal en el lugar.

## METODOLOGÍA

### Descripción del Área Estudiada

El área de desarrollo considerada está ubicada en la localidad de Llongocura, comuna de Curepto, provincia de Talca, Región del Maule. Se localiza entre las coordenadas 35º 0.5' 18.40" y 35º 11' 28.04" de latitud sur, y 71º 52' 37.18" y 72º 0.2' 21.25" de longitud oeste. La superficie total del área de desarrollo es de 8.111 ha, siendo 1.415 ha de plantaciones de *Pinus radiata* en propiedad de pequeños propietarios. La superficie que abarca este estudio es sólo de 276 ha que se concentran en la localidad de Llongocura.

### Recopilación de Información de Parámetros del Modelo

Se recopilaron los siguientes antecedentes del área de estudio para la formulación del modelo: ubicación del recurso existente; volúmenes de producción de acuerdo a la capacidad productiva; requerimiento o consumo de los centros cercanos al área de estudio; rutas utilizadas para el transporte; costos de flete y costos de cosecha.

Primero se ubicó el recurso existente, que corresponde a plantaciones de *Pinus radiata* en manos de pequeños propietarios insertos en la unidad de desarrollo de CONAF. La identificación de cada predio se realizó en forma cartográfica, de acuerdo a la base de datos digital de la zona de estudio facilitada por CONAF VII Región. Además, se complementó esta información con el listado de rodales de pino radiata con información predial, elaborado por INFOR (1996).

En el período de octubre a diciembre del 2004 se tomaron datos de dap y altura a través de un muestreo sistemático. Se realizaron parcelas Prodan a intensidad variable dependiendo de la densidad de plantación con el fin de obtener el volumen de cada rodal identificado anteriormente.

El volumen anual por rodal para el horizonte de 10 años en planificación se estimó en base a: la edad inicial, la edad final, la densidad, el área basal, la altura dominante, y los diámetros a la altura del pecho (dap) mínimo y máximo. Cabe mencionar que la estimación anual de productos a extraer de cada rodal se obtuvo de la salida de proyección de volumen del Simulador Radiata en el período estipulado, tomando en cuenta los índices de utilización. Se consideraron dos productos, producto aserrable con índice mínimo utilizable de 15 cm y producto pulpable con un índice de 8 cm.

Posteriormente se identificaron en ArcView los centros de consumo aledaños al área de estudio utilizando la base de datos proporcionada por CONAF. Al mismo tiempo se utilizó el directorio de empresas forestales de la Región del Maule elaborado por CONAF (2003). Así cada empresa se localizó espacial y temporalmente. Los centros de consumo identificados se concentraron en zonas, definidas de acuerdo a su localidad con el fin de disminuir el número de variables binarias a requerir en el modelo y a la vez permitir al planificador una mayor flexibilidad al momento de realizar su planificación operacional anual. Dentro de las zonas de consumo hay dos modalidades de compra de madera, una es puesta en planta y la otra modalidad es puesta a orilla de camino en el predio. Los antecedentes de precios y demandas se obtuvieron de una encuesta telefónica a cada centro de consumo registrado anteriormente, también se basó en la producción de cada centro de consumo informada en el directorio de empresas forestales de la Región del Maule.

La identificación de rutas se realizó en base a los datos digitales proporcionados por CONAF, en ArcView se visualizaron los caminos a utilizar para el transporte de productos desde los rodales a los centros de consumo. Se identificaron rutas, distancias y carpetas de rodado existentes. El costo de flete se estimó a través de una función de tarifa de flete privada y facilitada por una empresa forestal. El costo de cosecha fue estimado considerando valores menores a los de mercado debido al uso de sistemas tradicionales y realizado por los mismos propietarios.

**Generación del Modelo de Programación Lineal**

Se construyó un modelo de Progamación Entera Binaria. Se seleccionó un sector del área de desarrollo Llongocura, cuyas plantaciones son de pequeños propietarios que están siendo organizados por CONAF para la comercialización formal y continua de productos provenientes de un manejo sustentable y destinada a distintos centros de consumo en la Región. Se definieron las variables de decisión relevantes en la representación del problema real.

La función objetivo definida tuvo como propósito maximizar las utilidades a obtener por los propietarios en un horizonte de5 años. Para ello se determinaron los parámetros conocidos de la función objetivo, que corresponden al volumen por producto obtenido de cada rodal por período en [$m^3$], el precio de compra ya sea de madera aserrable o pulpable en [$/$m^3$], el costo de cosecha en [$/$m^3$], y los costos de transporte por rodal en [$/$m^3$]. Se consideraron distintas tasas de descuento, para un posterior análisis de sensibilidad.

El conjunto de restricciones que condicionan los objetivos fueron definidas. Ellas se definieron conceptualmente en una primera fase y luego se representaron en forma matemática.Una vez definido el conjunto de restricciones, se verificó cada una de ellas con el fin de detectar restricciones redundantes o que no aportaran información adicional al modelo.

Posteriormente, el modelo se formuló sintéticamente e implementó en Lingo 4.0 versión Industrial, con el cual es posible formular y solucionar modelos de gran tamaño (16.000 variables y 8.000 restricciones). La definición de conjuntos se realiza en la sección SETS, éstas pueden tener una dimensión (vectores), y dos o más (matrices). En la sección DATA hay que asignar a cada variable los valores correspondientes, distinguiéndose así parámetros de variables de decisión.

Finalmente, se procedió a solucionar el modelo implementado, analizar la consistencia de los resultados, y realizar los análisis de estabilidad de las soluciones en base a las tasas de descuentos y valores de compra a orilla de camino considerados.

## PRESENTACIÓN Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

**Formulación Matemática del Modelo de Optimización**

Nomenclatura de formulación

El tamaño del modelo generado necesitó de la definición de tipos de variables en forma sintética, esto llevó a precisar subíndices para dichas variables. Cabe señalar que el subíndice i está asociado a la cantidad de rodales considerados (i = 1...17), el subíndice c corresponde a las zonas de consumo consideradas (c = 1...9), y el subíndice t considera el número de temporadas (t = 1...5). Así, las variables de decisión consideradas fueron de dos tipos, detallándose a continuación.

$RASE_{ict}$ {
1.- Sí se corta el rodal i en la temporada t y el producto aserrable obtenido se envía a la zona de consumo c.
0.- En otro caso.
}

$RPUL_{ict}$ {
1.- Sí se corta el rodal i en la temporada t y el producto pulpable obtenido se envía a la zona de consumo c.
}

0.- En otro caso.

Los parámetros conocidos del modelo asociados a las variables de decisión tanto en la función objetivo como en las restricciones fueron el volumen por producto y la superficie de cada rodal, mientras los otros parámetros sólo acompañaron a las variables de decisión en la función objetivo. Dichos parámetros se presentan a continuación.

VOLASE $_{it}$ = Volumen aserrable del rodal i en la temporada t [m³].

VOLPUL $_{it}$ = Volumen pulpable del rodal i en la temporada t [m³].

PREASE $_{c}$ = Precio del producto aserrable en el centro de consumo c [$/m³].

PREPUL $_{c}$ = Precio del producto pulpable en el centro de consumo c [$/m³].

FA $_{t}$ = Factor de actualización para la tasa de descuento en la temporada t.

CCO = Costo de cosecha [$/m³].

CTR $_{ic}$ = Costo de transporte del rodal i hacia el centro de consumo c [$/m³].

SUP $_{i}$ = Superficie del rodal i [ha].

Por otra parte, los parámetros del lado derecho fueron aquellos recursos que que estuvieron disponibles para ser utilizados y ellos fueron:

DEMASE $_{c}$ = Demanda del producto aserrable en el centro de consumo c [m³].

DEMPUL $_{c}$ = Demanda del producto pulpable en el centro de consumo c [m³].

SUPMAX = Superficie máxima a cortar por año [ha].

Función objetivo

La función objetivo de este modelo maximizó las utilidades de los pequeños propietarios del área de desarrollo de Llongocura, en un periodo de 5 años, produciendo madera aserrable y pulpable. Así la función objetivo que consta de 1530 términos se definió de la siguiente manera.

$$\text{Maximizar} = \sum_{i=1}^{17}\sum_{c=1}^{9}\sum_{t=1}^{5}\left[RASEict * VOLASEit * \left[\left(PREASEc * FAt\right) - CCO - CTRic\right]\right] + \sum_{i=1}^{17}\sum_{c=1}^{9}\sum_{t=1}^{5}\left[RPULict * VOLPULit * \left[\left(PREPULc * FAt\right) - CCO - CTRic\right]\right]$$

Restricciones

Las restricciones de demanda asociadas al modelo controlaron el volumen por producto que se debe obtener en cada periodo, según el nivel de demanda exigido por las zonas de consumo cercanas al área de desarrollo. Las restricciones de demanda para este modelo fueron en total 18 restricciones, expresadas en dos familias de restricciones de la siguiente manera.

$$\sum_{i=1}^{17}\sum_{c=1}^{9}\sum_{t=1}^{5} RASEict * VOLASEit \leq DEMASEc \qquad \forall\ c$$

$$\sum_{i=1}^{17}\sum_{c=1}^{9}\sum_{t=1}^{5} RPULict * VOLPULit \leq DEMPULc \qquad \forall\ c$$

Restricciones que aseguraron que cada rodal se cortara en una temporada dentro del horizonte considerado fueron modeladas mediante 34 restricciones del tipo:

$$\sum_{i=1}^{17}\sum_{c=1}^{9}\sum_{t=1}^{5} RASEict \leq 1 \qquad \forall\ i$$

$$\sum_{i=1}^{17}\sum_{c=1}^{9}\sum_{t=1}^{5} RPULict \leq 1 \qquad \forall\ i$$

La zona de consumo 9 representa la modalidad de vender a orilla de camino, por esto surge la condición de restringir la venta a orilla de camino de ambos productos tanto aserrable como pulpable, al mismo centro de consumo y en la misma temporada. Esto genera un total de 85 restricciones para controlar esta lógica de operación.

$$\sum_{i=1}^{17}\sum_{t=1}^{5} RASEi9t = \sum_{i=1}^{17}\sum_{t=1}^{5} RPULi9t \qquad \forall i,t$$

Otra condición lógica a controlar es la producción de ambos productos en la misma temporada, sin importar si cada uno de ellos es vendido a distintos centros de consumo. De esta forma se consideraron las siguientes 85 restricciones.

$$\sum_{i=1}^{17}\sum_{c=1}^{9}\sum_{t=1}^{5} RASEict = \sum_{i=1}^{17}\sum_{c=1}^{9}\sum_{t=1}^{5} RPULict \qquad \forall i,t$$

La superficie máxima a cortar por año queda regulada por la superficie total del área de desarrollo de Llongocura y la edad óptima de corta de 24 años considerada estratégicamente por CONAF para la zona. Debido al control de esta edad óptima se generan un total de 10 restricciones extras para el modelo. Como en los casos anteriores, las dos familias de restricciones están dadas por los dos productos considerados. Ésta situación definitivamente debe ser considerada en futuros modelos pues, se deberá evaluar lo apropiado de plantear la producción de un mayor número de productos y el efecto sobre el número de variables de decisión y restricciones extras a considerar en esa eventualidad. Además, en forma operacional el análisis de la producción de un mayor número de productos exige inventarios de realización más costosa y una mayor experticia en la ejecución de las actividades de madereo, proceso y calibración.

$$\sum_{i=1}^{17}\sum_{c=1}^{9}\sum_{t=1}^{5} RASEict * SUPi \leq SUPMAX \qquad \forall t$$

$$\sum_{i=1}^{17}\sum_{c=1}^{9}\sum_{t=1}^{5} RPULict * SUPi \leq SUPMAX \qquad \forall t$$

Parámetros Generados

El problema específico consideró 17 rodales a intervenir, los cuales corresponden a un sector del área de desarrollo en particular. Se consideró un período de planificación de 10 años, tomándose los últimos 5 años de la planificación. Por esto se comienza a intervenir desde el año 6 en adelante debido a

las edades actuales de los rodales que al año 2004 oscilaban entre 10 y 14 años. Así, el modelo permite intervenir a partir del año 6 que equivale a la temporada 2010.

A cada rodal se le extraerán dos tipos de productos, aserrable y pulpable. Ellos serán enviados a las distintas zonas de consumo. Se modeló como zona de consumo a una agrupación geográfica de aserraderos y elaboradoras de madera dentro de un área específica en la Región. Cabe mencionar que se consideraron 9 zonas de consumo final del volumen cosechado, donde las primeras 8 corresponden a la modalidad de compra de madera puesta en planta y la zona de consumo 9 corresponde a la modalidad de compra de madera a orilla de camino del predio.

Los precios de compra por productos fluctúan de acuerdo a las zonas de consumo, dichos precios se actualizaron ocupando tres tasas de descuento 6, 8 y 10% para realizar un análisis de sensibilidad posterior. Los costos de flete fueron obtenidos de acuerdo a la distancia entre cada rodal y las zonas de consumo, considerando dos tipos de carpetas de rodado e incluyendo el costo de carguío, que se estimo en 1.000 [$/m³]. Por otra parte, se consideró un costo de cosecha constante que ascendió a 2.354 [$/m³].

Finalmente, la superficie máxima a cortar por año fue de 60 ha, ayudando de esa forma a regular el patrimonio.

**Experimentación con el Modelo**

A continuación se presenta la solución del modelo con una tasa de descuento de 8%, éste se tomará como modelo general. El valor de la función objetivo es de $ 533.302.500

El Cuadro 1 entrega los rodales a intervenir en las diferentes temporadas; el volumen a extraer de acuerdo a los productos por rodal y los destinos finales de los productos en las diferentes temporadas. Por lo tanto los objetivos y las restricciones del modelo se cumplen.

Cuadro 1. Solución a un 8% de tasa de descuento.

| Temporada [año] | Rodal a intervenir | Superficie [ha] | Volumen por producto [m³] | | Centro de consumo de destino | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | Aserrable | Pulpable | Aserrable | Pulpable |
| 6 | 3 | 7,2 | 1.825 | 714 | 7 | 5 |
| | 7 | 21,2 | 6.114 | 2.417 | 7 | 5 |
| | 14 | 19,7 | 4.425 | 1.860 | 7 | 5 |
| | 16 | 10,9 | 2.983 | 800 | 7 | 5 |
| 7 | 1 | 17,6 | 4.029 | 1.834 | 1 | 4 |
| | 4 | 5,2 | 1.679 | 656 | 7 | 5 |
| | 6 | 25,7 | 7.276 | 1.710 | 7 | 5 |
| | 15 | 3,9 | 853 | 341 | 7 | 5 |
| | 11 | 7,1 | 1.761 | 633 | 7 | 6 |
| 8 | 8 | 30 | 9.111 | 945 | 7 | 5 |
| | 12 | 29,25 | 7.915 | 2414 | 7 | 6 |
| 9 | 10 | 19,6 | 5.429 | 1.797 | 7 | 6 |
| | 13 | 29,25 | 8.910 | 2.480 | 7 | 6 |
| | 17 | 10,5 | 2.669 | 991 | 7 | 4 |
| 10 | 2 | 8 | 3.299 | 945 | 1 | 4 |
| | 5 | 10,1 | 2.909 | 677 | 7 | 5 |
| | 9 | 20,8 | 7.063 | 1.771 | 1 | 5 |

Las zonas de consumo 7 y 1 corresponden a zonas de consumo de producto aserrable que concentran aserraderos y elaboradoras de madera de la comuna de San Javier y la provincia de Curicó. La zona de consumo 7 presenta una demanda anual de 133.500 m³ de producto aserrable a un precio de 23.500 [$/m³], puesto en planta. Mientras tanto, la zona de consumo 1 requiere 23.500 m³ al año para solventar su producción, con un precio de compra de 21.200 [$/m³]. Las zonas de consumo 1 y 7 presentan los precios extremos de compra de producto, siendo el más bajo para la zona de consumo 1 y el más alto para la zona de consumo 7; pero hay que tener en consideración que la zona de consumo 1 presenta la menor distancia desde los rodales, por lo tanto esto genera un menor costo de transporte ante cualquier otro centro de consumo.

Como destino final del producto pulpable para el modelo general, son las zonas de consumo 4, 5 y 6; las cuales están localizadas en las comunas de Constitución, Talca y Maule, estas zonas de consumo corresponden a elaboradoras de madera y aserraderos que compran madera de menor diámetro, por esto fueron clasificados como posibles compradores de producto pulpable, teniendo precios de compra de madera que fluctúan entre los 12.000 y 11.900 [$/m³], puesto en planta.
La solución presentada en el Cuadro 1 no presenta los centros de consumo 2, 3, 8 y 9 como destinos finales de los productos provenientes de los 17 rodales a cosechar, debido a que las zonas de consumo 2 y 3 son zonas que sólo compran producto aserrable en la comuna de Constitución provincia de Talca, las cuales presentan un precio relativamente bajo con respecto a la zona señalada en la solución que es la zona 7 y además presenta un costo de transporte mayor que la zona de consumo 1, que es la otra opción como destino final del producto aserrable. Por otra parte, la zona 8 que se ubica en la provincia de Linares presenta un alto costo de transporte al compararlo con la totalidad de las zonas, por lo tanto la solución generada por el modelo no lo considera como un destino final. Por último, la zona de consumo 9, cuya modalidad de compra es a orilla de camino tampoco se encuentra presente en está solución, ya que el precio ofrecido por ambos productos asciende a sólo 14.000 [$/m³]. Incluso en soluciones con tasas de descuento de 6 y 10% tampoco se considera vender la madera a orilla de camino.

Al realizar una perturbación del precio de compra de la zona de consumo 9 (a orilla de camino) subiendo a 18.000 [$/m³], recién algunos rodales se cortarían para venderlos a orilla de camino. Estos rodales serían los rodales 10, 11, 12, 13, 14, 15 y 17. Si el precio se sube aún más, llegando a 22.000 [$/m³], todos los rodales tienen como destino final la venta a orilla de camino. Esto se debe a que ambos productos tendrían el mismo precio de compra, por lo tanto al comparar los precios del producto pulpable de todas las zonas de consumo este valor sería mayor, además hay que agregar que en esta modalidad de compra el costo de flete no incluye el carguío, por lo tanto este es más barato al compararlo con otras zonas de consumo.

## CONCLUSIONES

El modelo implementado permitió optimizar los flujos de madera del área de desarrollo Llongocura, convirtiéndose en una potencial herramienta de apoyo a la toma de decisiones en un nivel táctico. Así, se podrá saber con antelación en que momento se puede cortar un rodal y cual será su destino final (zona de consumo). El modelo cubre sólo una problemática específica; si surgieran otras necesidades o restricciones, éstas deberían incorporarse de forma apropiada al modelo.

Para el desarrollo del modelo fue necesario caracterizar identificar y determinar parámetros que caracterizaran la producción del área de desarrollo y los centros de consumo aledaños. Producciones y demandas por periodo con sus respectivas valoraciones y ubicaciones geográficas fueron determinadas.

Al comparar el modelo general a distintas tasas no hay mayores diferencias en cuanto a los rodales a cortar por año y las zonas de consumo final que tienen cada uno de estos. De esta forma se puede considerar la solución encontrada como una solución robusta a cambios mínimos de tasas de descuento.

## BIBLIOGRAFÍA


**CONAF (Corporación Nacional Forestal, Chile). 2003.** Directorio de empresas forestales Región del Maule. Talca, Chile. 55 p.

**CONAF (Corporación Nacional Forestal, Chile). 2004 a.** Estrategias de CONAF para el desarrollo regional. Talca, Chile. (Folleto de circulación restringida).

**CONAF (Corporación Nacional Forestal, Chile). 2004 b.** Fomento a la asociatividad para la comercialización de productos forestales (Resumen ejecutivo). Talca, Chile. 7 p.

**Cordero, R. 1997.** Modelo de programación entera mixta para la determinación operativa de los niveles de acopio en cancha, estabilizado y construcción de caminos. Tesis Ing. Forestal. Talca, Chile. Universidad de Talca, Facultad de Ciencias Forestales. 83p.

**Hillier, F; Lieberman G. 1997.** Introducción a la Investigación de Operaciones. 6ª ed. México. Mc Graw – Hill Interamericana. 998 p.

**INFOR (Instituto Forestal, Chile). 1996.** Inventario de las plantaciones forestales de la VII Región listado regional de rodales de pino radiata con información predial. Santiago, Chile. 530 p.

**Morales, R; Weintraub, A. 1989.** El enfoque jerárquico en la planificación forestal. *In* Actas II Taller de Producción Forestal (1989, Concepción, Chile). Fundación Chile. p 1 - 9.

**Taha, H. 1995.** Investigación de Operaciones. 5ª ed. México. Alfaomega. 960 p.

**Tapia, D. 1999.** Planificación a largo plazo del flujo de madera en una empresa forestal. Tesis Ing. Forestal. Talca, Chile. Universidad de Talca, Facultad de Ciencias Forestales. 68p.

**Weintraub, A. 1975.** Modelos matemáticos en planificación forestal. Revista Ingeniería de Sistemas 1:(2): 39-60.

**Winston, W. 1994.** Investigación de Operaciones. México. Grupo Editorial Iberoamérica S.A. de C.V. 1337 p.