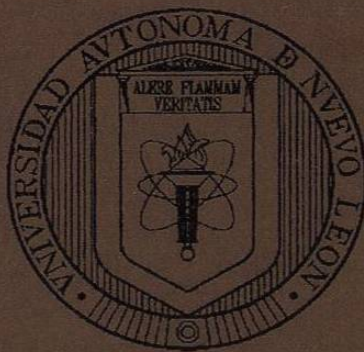


**UNIVERSIDAD AUTONOMA DE NUEVO LEON**

**FACULTAD DE CIENCIAS FORESTALES**

**SUBDIRECCION DE POSTGRADO**



**DESARROLLO DE UN MODELO DE REGULACION FORESTAL EN UN  
BOSQUE DE CLIMA TEMPLADO EMPLEANDO PROGRAMACION LINEAL**

**TESIS DE MAESTRIA**

**PARA OBTENER EL GRADO DE  
MAESTRO EN CIENCIAS FORESTALES**

**PRESENTA:**

**BIOL. MARIA CONCEPCION ARREOLA VAZQUEZ**

Linares, N. L., México

Enero de 1998

TM

Z599

FCF

1998

A7





1020122918

**UNIVERSIDAD AUTONOMA DE NUEVO LEON**

**FACULTAD DE CIENCIAS FORESTALES**

**SUBDIRECCION DE POSTGRADO**



**DESARROLLO DE UN MODELO DE REGULACION FORESTAL EN UN  
BOSQUE DE CLIMA TEMPLADO EMPLEANDO PROGRAMACION LINEAL**

**TESIS DE MAESTRIA**

**PARA OBTENER EL GRADO DE  
MAESTRO EN CIENCIAS FORESTALES**

**PRESENTA:**

**BIOL. MARIA CONCEPCION ARREOLA VAZQUEZ**

**Monterrey, N. L., México**

**Enero de 1998**

TM  
Z599  
FCF  
1999  
A7

0119-95260



FONDO  
TESIS

**UNIVERSIDAD AUTONOMA DE NUEVO LEON**

**FACULTAD DE CIENCIAS FORESTALES**

**SUBDIRECCION DE POSTGRADO**

**DESARROLLO DE UN MODELO DE REGULACION FORESTAL EN UN  
BOSQUE DE CLIMA TEMPLADO EMPLEANDO PROGRAMACION LINEAL**

**TESIS DE MAESTRIA**

**PARA OBTENER EL GRADO DE  
MAESTRO EN CIENCIAS FORESTALES**

**PRESENTA:**

**BIOL. MARIA CONCEPCION ARREOLA VAZQUEZ**

**Comisión de Tesis:**



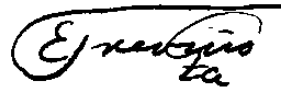
---

**DR. OSCAR A. AGUIRRE CALDERON**  
Presidente



---

**DR. JAVIER JIMENEZ PEREZ**  
Secretario



---

**DR. EDUARDO J. TREVIÑO GARZA**  
Vocal

Linares, N. L., México

Enero de 1998

**Al hermano que vive en mi corazón;  
un  
informe para ti.  
Al padre que viaja en mis recuerdos  
A la fortaleza de mi madre  
Al amor de mis hermanos  
A la continuidad de mis sobrinos.**

## AGRADECIMIENTOS

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología ( CONACYT ) por otorgarme el apoyo necesario para llevar a cabo mis estudios de Maestría en Ciencias Forestales.

A la Universidad Autónoma de Nuevo León, por fomentar las academias de Postgrado obteniendo con ello el reconocimiento Nacional e Internacional en educación e investigación. Al personal docente y administrativo de la Facultad de Ciencias Forestales, por las facilidades que me brindaron durante mi estancia en ella.

Al Dr. Oscar Alberto Aguirre Calderón; respetado profesor, por su apreciable amistad y atinada dirección a este trabajo de investigación, por su constante guía y esmero en el desarrollo de ésta tesis.

Al Dr. Javier Jiménez Pérez por sus atinadas sugerencias y oportunas opiniones tanto en la etapa de campo como en la estructura de la presente, por su amistad y comprensión.

Al Dr. Eduardo Treviño Garza, por su amable atención cuando se requirió de sus aportaciones tan necesarias, por sus comentarios y sugerencias, por su buena disposición y entrañable amistad.

Hago patente mi agradecimiento especial al T.I.F. Félix Cervantes por su importante participación y compañía en la toma de datos de campo, por su amistad y apoyo.

Mi sincero agradecimiento a Susy Almonte de Calderón por su incondicional ayuda y amistad.

Al Biol. Salvador Valenzuela por su invaluable comprensión y hospitalidad en Linares.



## INDICE

RESUMEN	i
SUMMARY	ii
Lista de cuadros y figuras	v
I. INTRODUCCION	1
II. ANTECEDENTES	3
II.1. Suposición de proporcionalidad	4
II.2. Suposición de aditividad	5
II.3. Suposición de divisibilidad	5
II.4. Suposición de certidumbre	5
III. MATERIALES Y METODOLOGIA	13
III.1. Area de estudio	13
III.2. Clima	15
III.3. Suelos y Geología	15
III.4. Orografía	15
III.5 Vegetación	16
III-6. Obtención de la información de campo	16
III-7. Diseño de las Regímenes de manejo	17
III-8. <i>Formulación del modelo de Programación Lineal</i>	20
IV. RESULTADOS Y DISCUSION	23
V. CONCLUSIONES	44

VI. BIBLIOGRAFIA	46
VII. ANEXOS	50

## RESUMEN

Debido a la situación económica tan crítica por la que se encuentra nuestro país, es necesario poner en práctica las herramientas que la investigación avanzada ha obtenido, como es la programación lineal. En el ámbito forestal es muy importante para tomar decisiones en cuanto al manejo se refiere. El diseñar un Plan de Manejo con el objetivo de regular las cortas en tiempo y espacio, con la única finalidad de eficientizar los recursos ya sean maderables, agua, suelo, fauna entre otros. En México es relativamente incipiente este tipo de estudios, escasamente tres o cuatro en zonas templadas; Jalisco y Estado de México respectivamente.

Bajo un esquema de manejo intensivo se contribuyó al diseño de una estrategia de manejo de recursos naturales, en una fracción del predio forestal "Ejido La Purísima" en el Estado de Nuevo León. Se determina un grado de densidad de los regímenes de manejo planteados mediante los cuales se reportan mayores rendimientos volumétricos. Estos regímenes de manejo contribuyen a maximizar el rendimiento volumétrico en las áreas de estudio. Con esta investigación se podrá continuar en la toma de decisiones de manejo del Ejido Forestal en un futuro inmediato.

## **SUMMARY**

**Due to the critical economical crisis our country is going through, it becomes necessary to use the tools achieved through advanced investigation, such as linear programming. In forestry.**

**It is important in order to make decisions about management. It is important to design a management plan with the purpose of regulating the felling of trees in time and space, the objective being the efficient use of our natural resources such as wood, water, land, and animal life, among others. These kinds of studies are very recent in Mexico, barely three or four in the temperate climate en the states of Jalisco and Mexico.**

**Working under an intensive management outline, contributions werw made for designing a strategy for managing natural resources at “ Ejido La Purisima” a rural property in the state of Nuevo Leon. One of these contributions is the finding of a certain degree of density of the management systems which were implemented, and by which a greater volumetric output was achived. These management systems contribute to the maximization of the volumetric output in the areas studies. With this investigation, we can continue to make decisions in the management of the forestry in the immediate future.**

## LISTA CUADROS Y FIGURAS

Página

Figura 1: Localización del area de estudio	14
Figura 2: Flujo de volúmenes resultante de la aplicación del Modelo 1	31
Figura 3: Superficies a aprovechar de acuerdo al modelo de Rendimiento sostenido	36
Figura 4: Superficies de aprovechamiento de acuerdo al plan De regulación forestal desarrollado	43
Cuadro 1: Regímenes de tratamiento para los Rodales 1 y 2	19
Cuadro 2: Regímenes de tratamiento para el Rodal 3	19
Cuadro 3: Regímenes de tratamiento para el Rodal 4	20
Cuadro 4: Rendimientos volumétricos ( m <sup>3</sup> r /ha ) en el Rodal 1	23
Cuadro 5: Rendimientos volumétricos ( m <sup>3</sup> r /ha ) en el Rodal 2	24
Cuadro 6: Rendimientos volumétricos ( m <sup>3</sup> r /ha ) en el Rodal 3	24
Cuadro 7: Rendimientos volumétricos ( m <sup>3</sup> r/ha ) en el Rodal 4	25
Cuadro 8: Resúmen del procesamiento del modelo 1	26
Cuadro 9: Regímenes de manejo óptimos para maximización De rendimiento volumétrico	29
Cuadro 10: Rendimiento volumétrico de los regímenes de manejo Seleccionados de acuerdo al moledo 1	30
Cuadro 11: Flujo de rendimiento volumétrico de acuerdo al modelo 1	31
Cuadro 12: Resúmen del modelo para rendimiento sostenido	32



**Cuadro 13: Rendimientos volumétricos de los regímenes de manejo**

**Empleados para la formulación del modelo de regulación**

**Forestal-----37**

**Cuadro 14: Resumen de resultados del modelo de regulación forestal-----38**

## I. INTRODUCCION

La situación económica por la que atraviesa nuestro país, propicia multitud de trastornos a nivel social, industrial, empresarial, tanto a nivel nacional como extranjero, de mercado tanto de importaciones como exportaciones por mencionar algunas. Esto se refleja en un bajo nivel de vida de los mexicanos que llega en la mayoría de los casos a ser de subsistencia, en la mayor parte de la población en un nivel medio, y muy pocos a un nivel alto, respecto a su poder adquisitivo. El gastar mas de lo que se produce en todos los sectores ha repercutido en el que a través del tiempo se haya generado un déficit en el gasto público, en la elevación de los costos de las materias primas, en la generación de bienes y servicios y por lo tanto el endeudamiento externo y el alto costo de las importaciones.

Ante tal situación una de las alternativas prioritarias para ayudar en la mejoría del problema citado, es la de poner en práctica muchas de las herramientas técnicas que ya han sido diseñadas, pero que por desconocimiento no se han usado.

Elevar la productividad en todos los ámbitos es una tarea difícil pero que se tiene que hacer lo mas pronto posible, ya que las condiciones imperantes asi lo obligan, y máxime en las áreas del conocimiento que son la punta de lanza para que se llegue a una comercialización eficiente y efectiva.

En el sector forestal, se requiere de bases técnicas que contribuyan a reforzar las metodología de formulación y selección de planes de manejo, con el objetivo

principal de regular las cortas y su intensidad en el tiempo y espacio adecuados, de tal manera que se optimice su uso, al mismo tiempo que se evite su pérdida potencial futura.

Específicamente, atendiendo la demanda en cuanto al manejo de áreas boscosas en nuestro país, se diseñó el presente proyecto de investigación, con la finalidad de aportar un modelo de regulación forestal, mediante el cual se represente el manejo adecuado de una área boscosa, al mismo tiempo que se influya en la toma de decisiones en el aprovechamiento de la masa maderable.

Así como aportar más conocimiento autoecológico de la especie *Pinus*

*Pseudostrobus*

## II. ANTECEDENTES

La programación lineal es la técnica de programación matemática más ampliamente empleada para la toma de decisiones en manejo de recursos naturales (Dykstra, 1984).

Un problema de programación lineal proporciona un conjunto de números  $x_1, x_2, \dots, x_n$  que maximice la función objetivo

$$Z = \sum_{j=1}^n C_j x_j$$

sujeta a una serie de restricciones

$$\sum_{j=1}^n A_{ij} x_j \begin{cases} \leq \\ = \\ \geq \end{cases} B_i \quad i = 1, 2, \dots, m$$

$$x_j \geq 0$$

donde:

$Z$  = valor de la medida global de efectividad

$n$  = número de variables decisionales

$m$  = número de restricciones

$x_j$  = variables decisionales, nivel de la actividad  $j$  (para  $j = 1, 2, \dots, n$ )

$C_j$  = coeficientes de la función objetivo (frecuentemente llamados coeficientes de costos) correspondientes a la variable  $x_j$ . Incremento en  $Z$  que resulta al aumentar una unidad en el nivel de la actividad  $j$ .

$A_{ij}$  = coeficientes técnicos correspondientes a la variable  $x_j$  en la restricción  $i$ . Cantidad del recurso  $i$  consumido por cada unidad de la actividad  $j$ .

$B_i$  = constante de la mano derecha para la restricción  $i$ . Cantidad de recurso  $i$  disponible para asignar a las actividades (para  $i = 1, 2, \dots, m$ )

El modelo matemático en la programación lineal parte de ciertas suposiciones que permiten delimitar su aplicabilidad y lo hacen factible de procesamiento computacional. Tales suposiciones son (Hillier y Lieberman, 1997).

### II.1 Suposición de proporcionalidad:

La contribución de cada actividad al valor de la función objetivo es proporcional al nivel de la actividad  $x_j$ , como lo representa el término  $C_j x_j$  en la función objetivo. De manera similar, la contribución de cada actividad al lado izquierdo de cada restricción funcional es proporcional al nivel de la actividad  $x_j$ , en la forma en que lo representa el término  $a_{ij} x_j$  en la restricción. En consecuencia, esta suposición elimina cualquier exponente diferente a 1 para las variables en cualquier término de las funciones (ya sea la función objetivo o la función en el lado izquierdo de las restricciones funcionales) en un modelo de programación lineal.



## II.2 Suposición de aditividad:

Cada función en un modelo de programación lineal (ya sea la función objetivo o el lado izquierdo de las restricciones funcionales) es la suma de las contribuciones individuales de las actividades respectivas.

## II.3 Suposición de divisibilidad:

Las variables decisionales en un modelo de programación lineal pueden tomar cualquier valor, incluyendo valores no enteros, que satisfagan las restricciones funcionales y de no negatividad. Así, estas variables no están restringidas a sólo valores enteros. Como cada variable de decisión representa el nivel de alguna actividad, se supondrá que las actividades se pueden realizar a niveles fraccionales.

## II.4 Suposición de certidumbre:

Se supone que los valores asignados a cada parámetro de un modelo de programación lineal son constantes conocidas.

Un problema de programación lineal es un sistema de ecuaciones lineales que puede ser resuelto si puede ajustarse a la forma canónica, esto es, donde existe una variable en una ecuación del sistema que tiene un coeficiente unitario ( $=1$ ) y que tiene a su vez coeficientes cero en todas las ecuaciones restantes. Siempre habrá más de una solución para un sistema si existen mas incógnitas que

ecuaciones. Tal es usualmente el caso de la programación lineal. Sin embargo, la función objetivo permite seleccionar la solución más deseable.

Algunos de los conceptos relacionados con la programación lineal que destacan como parte del algoritmo de solución son:

- **Variable Básica:** aquella variable que tiene un coeficiente unitario en una ecuación y coeficientes cero en todas las ecuaciones restantes del sistema.
- **Variable no Básica:** toda variable que no cumple las condiciones de la definición anterior.
- **Solución Básica:** valor obtenido para las variables básicas cuando se asigna a las no básicas un valor cero.
- **Solución Básica Factible:** solución básica donde los valores de todas las variables básicas son no negativos ( $\geq 0$ ).
- **Operación Pivote:** serie de transformaciones realizadas en un sistema de ecuaciones a fin de convertir una variable en básica.

Para resolver problemas de programación lineal pueden calcularse todas las soluciones básicas factibles, inspeccionar la lista de soluciones y seleccionar la óptima de acuerdo al objetivo planteado (maximización o minimización). Este procedimiento requiere sin embargo de numerosos cálculos en problemas con múltiples soluciones factibles.

El método simplex permite solucionar problemas de programación lineal expresados en forma canónica, examinando sólo aquellas soluciones que contribuyen al logro de la función objetivo. De esta forma, muchas soluciones no requieren ser calculadas ni examinadas. El método simplex comprende fundamentalmente cuatro pasos: inicializar el problema en forma estándar; reemplazar una variable básica anterior por una variable básica nueva; calcular la nueva forma canónica y la prueba de optimalidad (Leuschner, 1990).

Las aplicaciones de la programación lineal en el manejo de recursos naturales son innumerables. Dykstra (1984) desarrolla problemas relacionados con programas de cosecha en bosques, planeación de la producción de madera contrachapada, diseño de sistemas agroforestales, manejo de fauna silvestre, planeación del uso de la tierra, pérdida de suelo, etc.

En lo que a antecedentes de la aplicación de la programación lineal en regulación forestal se refiere, existen numerosos trabajos. Dentro de las obras que abordan

de manera general esta temática destaca la de Leuschner (1984), que incluye muy diversos métodos de regulación forestal (clásicos, neoclásicos y contemporáneos) desde la perspectiva de su formulación como problemas de programación lineal, fundamentalmente.

En diversos textos de manejo forestal se incluyen métodos de regulación forestal con aplicación de la programación lineal, particularmente los de Duerr *et al.* (1982), Clutter *et al.* (1983), Leuschner (1984), Davis y Johnson (1987), Buongiorno y Gilles (1987), Gadow y Bredenkamp (1992) y Hof (1993), constituyen importantes compilaciones sobre el tema.

En base a programación lineal se han desarrollado sistemas de regulación forestal que han trascendido a la práctica en importantes regiones. De manera particular, en los Estados Unidos, los sistemas más conocidos y de mayor aplicación han sido Timber RAM (Navon, 1971), MAXMILLION (Ware & Clutter, 1971) y FORPLAN (Hoekstra *et al.*, 1987)

FORPLAN , un acrónimo de Forest Planning Model, es el sistema adoptado en 1979 por el Servicio Forestal del Departamento de Agricultura de los Estados Unidos para la planeación del manejo de los recursos de los bosques nacionales. Estos pueden acceder el sistema, manipular la estructura del mismo, acceder los

datos correspondientes y crear un modelo FORPLAN de acuerdo a las condiciones particulares del bosque bajo manejo.

Field (1980), análisis sobre los procedimientos complementarios de programación lineal y por objetivos, concluyendo que la programación lineal es uno de los modelos más ampliamente utilizados para determinar programas de aprovechamiento de madera y la programación por objetivos, variante de la programación lineal, se usa para analizar problemas con objetivos múltiples, tales como aquellos que se presentan en la planeación del manejo de tierras.

El autor asegura que la técnica que emplea complementariamente la programación lineal y por objetivos, proporciona medios sensiblemente mejorados para seleccionar estrategias de planeación de los aprovechamientos de madera. Tal procedimiento lo mostro con datos de un bosque nacional aplicados al método de asignación de recursos conocido como Timber "RAM2". Se concluyó en este estudio que formulando un modelo de programación por objetivos, a partir de un modelo de programación lineal y realizando pruebas subsecuentes a las soluciones obtenidas por programación lineal, pueden obtenerse soluciones mejores que las obtenidas con el modelo de programación por objetivos; una condición no asegurada cuando se emplean estas técnicas independientemente para resolver problemas con objetivos múltiples. También asegura el autor : si un



planificador forestal emplea la técnica descrita establece el “armazon” para la planeación eficiente del recurso.

En México existen diversos antecedentes sobre la aplicación de la programación lineal en la actividad forestal.

Cárdenas(1981) apoyándose en un modelo matemático denominado “modelo de transporte”, realizó un análisis para determinar el número adecuado de plantas industriales (aserrío y triplay), así como su tamaño y localización, sobre la base de la posibilidad anual maderable y la distribución de productos aplicados en la Unidad Industrial de explotación forestal en Atenquique, Jalisco y actualmente sobre la base de ello se efectúa la planeación de las operaciones de abastecimiento de materia prima.

Moreno (1984) desarrolló un modelo de programación lineal para la planeación de las labores de abastecimiento forestal con el objetivo de minimizar los costos de abastecimiento de materia prima a las industrias del complejo industrial de Atenquique, Jalisco. Las variables de decisión quedaron definidas por los volúmenes a manejarse en cada sección y serie de ordenación, en cada fase de abastecimiento, cada tipo de producto, en cada período de trabajo comprendido en el año. Las restricciones del modelo quedaron constituidas por la disponibilidad en horas de las brigadas de trabajo, los niveles de producción promedio de cada una, el requerimiento en horas para producir un metro cúbico, la posibilidad

autorizada para cada zona de trabajo y los requerimientos de materia prima para la industria.

Guzmán (1985) generó un modelo de transporte de madera en Jalisco. Las variables decisionales fueron el número de traslados de los vehículos empleados para transportar la materia prima a una fábrica de papel, a partir de diversas secciones de ordenación, para cada época de trabajo y para cada tipo de madera. Las restricciones consideradas fueron: el requerimiento total de madera de la empresa papelera, las posibilidades totales para coníferas y hojosas en cada sección y para cada época. La posibilidad de maderas largas y cortas de coníferas y maderas cortas de hojosas. El número de traslados posibles de todos los tipos de vehículos, para todas las secciones en todas las épocas y el número de viajes posibles de los diversos tipos de vehículos, para todas las secciones, en todas las épocas.

Rivero (1985) desarrolló un modelo para la regulación de la corta en bosques coetáneos de clima templado frío en el área de la U.I.E.F. Atenquique, en el estado de Jalisco, empleando programación lineal. Los modelos desarrollados fueron tanto para la maximización del valor actual como para los rendimientos volumétricos. La información dendroepidométrica se obtuvo a partir de las tablas de producción de *Pinus douglasiana*. Del análisis de diversos regímenes de manejo para la especie objeto de estudio mediante programación lineal, se

derivaron aquellos que contribuyeron en mayor medida al logro de los objetivos propuestos, tanto bajo consideración de la restricción de rendimiento sostenido como sin ésta. Adicionalmente se realizaron análisis de sensibilidad para observar cambios en cuanto a asignación de superficies, regímenes de manejo seleccionados y valor de la función objetivo.

Con el objetivo de minimizar los costos de transporte de materia prima forestal , García (1987) utilizó un modelo de programación lineal en la región Costa Grande del estado de Guerrero. Las consideraciones generales para la formulación del modelo fueron: tipos de vehículos para el transporte de madera en rollo, los destinos de la misma, los períodos de trabajo definidos durante el año por las condiciones climáticas de la región y las zonas de abastecimiento de acuerdo a los caminos de acceso. Las variables decisionales se definieron en función del número de viajes de los tipos de vehículos utilizados a cada destino, en cada época de trabajo, procedentes de cada zona de abastecimiento.

Reygadas (1988), determinó un plan de cortas óptimo para *Pinus hartwegii* Lindl. en Zoquiapan, Edo. de México, empleando programación lineal de acuerdo a los objetivos de maximizar el rendimiento en volumen y la maximización de ganancias, ambos con esquemas con y sin rendimiento sostenido. Los planes de cortas incluyen métodos de tratamiento de árboles padres y matarrasa implementados mediante setenta regímenes (alternativas) de manejo. Los resultados obtenidos permitieron la selección de regímenes de manejo para los

diversos esquemas propuestos. El análisis de sensibilidad desarrollado no produjo cambios en las variables de decisión asociados a los objetivos planteados.

### **III. MATERIALES Y METODOLOGÍA**

#### **III.1 Area de Estudio**

El área de estudio se localiza en el Ejido la Purísima en el Municipio de Iturbide, Nuevo León, en la región fisiográfica denominada Sierra madre Occidental, a  $24^{\circ} 32'$  latitud Norte y  $25^{\circ} 50'$  longitud Oeste (Figura 1).

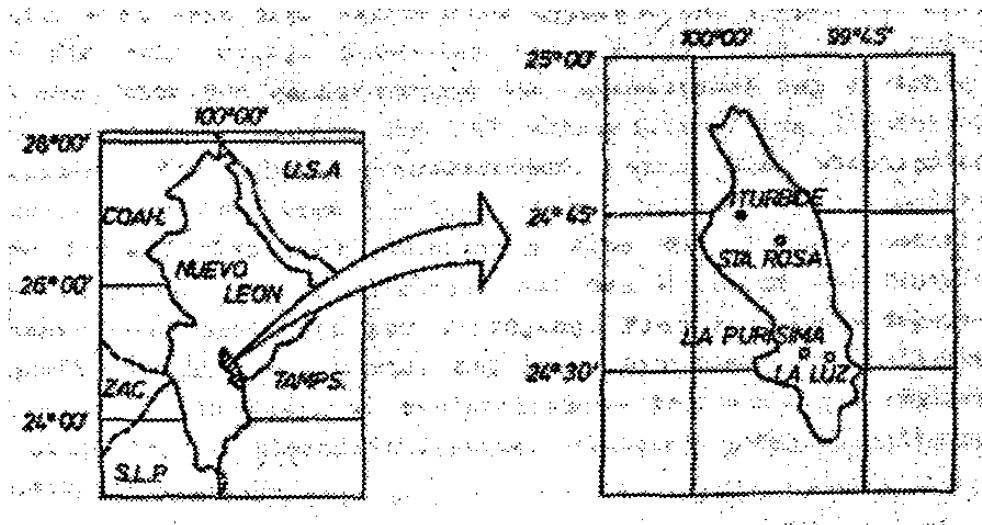


Figura 1: Localización del área de estudio

### III.2 Clima

En el área de estudio ocurre un clima semiseco. Registra lluvias escasas todo el año y un porcentaje de precipitación invernal mayor al 18 por ciento. La precipitación media anual es de 602 mm y la temperatura media anual de 17° C. La máxima incidencia de lluvia ocurre entre mayo y agosto y la menor en marzo. Los meses más cálidos son junio, julio y agosto y el más frío enero (SPP, 1981).

### III.3 Suelos y Geología

Los suelos son litosoles en su mayoría, encontrándose también luvisoles, rendzinas y regosoles. El material parental está constituido por rocas sedimentarias, calizas, lutitas y conglomerados (SPP, 1981).

### III.4 Orografía

La mayor parte del área la forman pendientes fuertes; encontrándose sólo en algunas fracciones valles o mesetas. El rango altitudinal del área oscila entre 1260 y 1930 msnm.

### III.5 Vegetación

En el área de estudio ocurren principalmente bosques mixtos de pino-encino. De las especies de pino, *Pinus pseudostrobus* es la más importante desde el punto de vista económico. En la fracción seleccionada para el desarrollo del modelo objeto del presente trabajo, *P. pseudostrobus* conforma masas homogéneas con muy escasa presencia de otras especies arbóreas.

*Pinus pseudostrobus* ocurre asimismo conformando ecosistemas mixtos con *P. teocote* y diversas especies de encinos. En general, los ecosistemas del área provienen de regeneración natural y muestran en algunas áreas los efectos de un aprovechamiento desordenado. Los mixtos se presentan dispuestos en grupos de individuos de diversas especies o conformando pequeñas superficies uniespecíficas adyacentes, frecuentemente de edades diversas.

### III.6 Obtención de la Información de Campo

En base a fotografías aéreas y al estudio de manejo forestal para el predio, se seleccionaron rodales predominantemente puros y coetáneos de *Pinus Pseudostrobus* Lindl, en virtud de contar con tablas de producción (Aguirre, 1991), así como los diagramas de manejo de densidad para esta especie (Aguirre, 1991a). Estos rodales ocurren en una fracción del predio con relieve suave, lo que permite la implementación del concepto de manejo propuesto.

Se eligieron cuatro rodales en la fracción del predio que puede incorporarse a un esquema de producción maderable en un plan de manejo a nivel de paisaje, atendiendo a su estructura y productividad. Estos rodales se identificarán en lo sucesivo de acuerdo a números progresivos.

En cada rodal se realizó una evaluación de la productividad en base a la edad y altura de los árboles dominantes, así como un inventario de existencias volumétricas a partir del establecimiento de sitios temporales de muestreo de 500 m<sup>2</sup>, en los que se determinaron los diámetros normales de la totalidad de los árboles, las alturas promedio y dominante y el área basal respectiva. La información anterior permitió ubicar tales áreas en la tabla de producción y en el diagrama de manejo de densidad correspondientes.

### III.7 Diseño de los Regímenes de Manejo

A partir de la información obtenida en campo, para cada una de las áreas de corta se diseñaron diversos regímenes de manejo. Para ello se emplearon las tablas de producción para *Pinus Pseudostrobus* y los diagramas de manejo de densidad antes citados. En términos generales, los regímenes comprenden el esquema empleado en el área, esto es, realización de cuatro aclareos, corta de



regeneración y corta de liberación con preaclareo, considerando un turno de 50 años.

Las variantes de los regímenes propuestos para las áreas de corta están dadas básicamente por el período de aplicación de la corta de regeneración y la intensidad de los aclareos. Esta última se determinó en función del grado de densidad objetivo (1.0, 0.9 y 0.8) a partir de la aplicación de un aclareo. El grado de densidad se define de acuerdo a la función:

grado de de densidad = área basal real / área basal de la tabla de producción

Lo anterior determina volúmenes de corta distintos en un período dado de acuerdo a la estrategia de tratamiento seleccionada, tanto para los aclareos como para las cortas de regeneración.

Los regímenes de tratamiento para los Rodales 1 - 4 se muestran en los Cuadros 1 a 3.

Cuadro 1: Regímenes de tratamiento para los Rodales 1 y 2

REGIMEN DE MANEJO	A                      Ñ                      O                      S										
	INICIO	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
1	CR	CLPA	A11.0	A21.0	A31.0	A41.0	CR	CLPA	A11.0	A21.0	A31.0
2	CR	CLPA	A10.9	A20.9	A30.9	A40.9	CR	CLPA	A10.9	A20.9	A30.9
3	CR	CLPA	A10.8	A20.8	A30.8	A40.8	CR	CLPA	A10.8	A20.8	A30.8
4		CR	CLPA	A11.0	A21.0	A31.0	A41.0	CR	CLPA	A11.0	A21.0
5		CR	CLPA	A10.9	A20.9	A30.9	A40.9	CR	CLPA	A10.9	A20.9
6		CR	CLPA	A10.8	A20.8	A30.8	A40.8	CR	CLPA	A10.8	A20.8
7			CR	CLPA	A11.0	A21.0	A31.0	A41.0	CR	CLPA	A11.0
8			CR	CLPA	A10.9	A20.9	A30.9	A40.9	CR	CLPA	A10.9
9			CR	CLPA	A10.8	A20.8	A30.8	A40.8	CR	CLPA	A10.8
10				CR	CLPA	A11.0	A21.0	A31.0	A41.0	CR	CLPA
11				CR	CLPA	A10.9	A20.9	A30.9	A40.9	CR	CLPA
12				CR	CLPA	A10.8	A20.8	A30.8	A40.8	CR	CLPA

Cuadro 2: Regímenes de tratamiento para el Rodal 3

REGIMEN DE MANEJO	A                      Ñ                      O                      S										
	INICIO	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
1		CR	CLPA	A11.0	A21.0	A31.0	A41.0	CR	CLPA	A11.0	A21.0
2		CR	CLPA	A10.9	A20.9	A30.9	A40.9	CR	CLPA	A10.9	A20.9
3		CR	CLPA	A10.8	A20.8	A30.8	A40.8	CR	CLPA	A10.8	A20.8
4			CR	CLPA	A11.0	A21.0	A31.0	A41.0	CR	CLPA	A11.0
5			CR	CLPA	A10.9	A20.9	A30.9	A40.9	CR	CLPA	A10.9
6			CR	CLPA	A10.8	A20.8	A30.8	A40.8	CR	CLPA	A10.8
7				CR	CLPA	A11.0	A21.0	A31.0	A41.0	CR	CLPA
8				CR	CLPA	A10.9	A20.9	A30.9	A40.9	CR	CLPA
9				CR	CLPA	A10.8	A20.8	A30.8	A40.8	CR	CLPA
10					CR	CLPA	A11.0	A21.0	A31.0	A41.0	CR
11					CR	CLPA	A10.9	A20.9	A30.9	A40.9	CR
12					CR	CLPA	A10.8	A20.8	A30.8	A40.8	CR

Cuadro 3: Regímenes de tratamiento para el Rodal 4

REGIMEN DE MANEJO	A			Ñ		O		S			
	INICIO	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
1			CR	CLPA	A11.0	A21.0	A31.0	A41.0	CR	CLPA	A11.0
2			CR	CLPA	A10.9	A20.9	A30.9	A40.9	CR	CLPA	A10.9
3			CR	CLPA	A10.8	A20.8	A30.8	A40.8	CR	CLPA	A10.8
4				CR	CLPA	A11.0	A21.0	A31.0	A41.0	CR	CLPA
5				CR	CLPA	A10.9	A20.9	A30.9	A40.9	CR	CLPA
6				CR	CLPA	A10.8	A20.8	A30.8	A40.8	CR	CLPA
7					CR	CLPA	A11.0	A21.0	A31.0	A41.0	CR
8					CR	CLPA	A10.9	A20.9	A30.9	A40.9	CR
9					CR	CLPA	A10.8	A20.8	A30.8	A40.8	CR
10						CR	CLPA	A11.0	A21.0	A31.0	A41.0
11						CR	CLPA	A10.9	A20.9	A30.9	A40.9
12						CR	CLPA	A10.8	A20.8	A30.8	A40.8

### III.8 Formulación del modelo de programación lineal

El modelo de programación lineal se formuló atendiendo al objetivo de maximizar rendimientos volumétricos en base al denominado Modelo I, planteado inicialmente por Curtis (1962) y denominado bajo esa nomenclatura por Johnson y Scheurman (1977). La característica más evidente del Modelo I es que en él las variables se expresan como superficies en las unidades de manejo identificadas (Leuschner, 1990).

La función objetivo se estableció conforme a la siguiente expresión:

$$\text{Max } Z = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n V_{ij} X_{ij}$$

donde:

$V_{ij}$  = Volumen total de corta (m<sup>3</sup>r/ha) en la unidad de corta "i" , si se asigna el régimen de manejo "j"

$X_{ij}$  = Número de hectáreas a ser intervenidas en la Unidad de manejo "i", bajo el régimen de manejo "j"

Las restricciones del modelo atienden fundamentalmente la disponibilidad de los recursos superficie y volumen.

La restricción de superficie se expresa por:

$$\sum_{j=1}^n X_{ij} \leq A_i \text{ para toda } i$$

donde:

$A_i$  = Superficie (ha) de la unidad de corta i

Obtenidos los resultados de los regimenes de tratamiento seleccionados por el modelo para las diversas áreas de corta, se procedió a formular un modelo adicional para lograr rendimiento sostenido Para el efecto se incluyeron como

subíndices de las variables decisionales los períodos de planeación considerados en el esquema. El modelo se formuló como sigue:

$$\text{Max } Z = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n \sum_{k=1}^n V_{ijk} X_{ijk}$$

donde:

$V_{ijk}$  = Volumen total de corta (m<sup>3</sup>r/ha) en la unidad de corta "i" , si se asigna el régimen de manejo "j" durante el período "k"

$X_{ijk}$  = Número de hectáreas a ser intervenidas en la Unidad de manejo "i", bajo el régimen de manejo "j" durante el período "k"

A partir de las ecuaciones anteriores se realizó la formulación del modelo para rendimiento sostenido, tanto a partir de los resultados del procesamiento de los datos para el modelo I, como con la incorporación de regímenes de manejo adicionales con el objeto de desarrollar el modelo de regulación forestal para el área bajo manejo.

#### IV.RESULTADOS Y DISCUSION

De acuerdo a la información de altura y edad de los rodales objeto de estudio y en base a las tablas de producción para *Pinus pseudostrobus* (Aguirre, 1991), el índice de sitio correspondiente es de 16 en todos los casos. Del empleo de los diagramas de manejo de densidad (Aguirre 1991a) para los diferentes regímenes de manejo, se obtuvieron los valores de rendimiento volumétrico que se muestran en los Cuadros 4 a 7, que corresponden respectivamente a los rodales 1 a 4.

Cuadro 4: Rendimientos volumétricos (m<sup>3</sup>r/ha) en el Rodal 1

REGIMEN DE MANEJO	A N O S										
	INICIO	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
1	174	39	23	21	20	17	180	32	23	21	20
2	174	39	41	38	35	30	162	29	41	38	35
3	174	39	34	31	28	24	144	25	34	31	28
4		181	47	23	21	20	17	180	32	23	21
5		181	47	41	38	35	30	162	29	41	38
6		181	47	34	31	28	24	144	25	34	31
7			185	55	23	21	20	17	180	32	23
8			185	55	41	38	35	30	162	29	41
9			185	55	34	31	28	24	144	25	34
10				189	59	23	21	20	17	180	32
11				189	59	41	38	35	30	162	29
12				189	59	34	31	28	24	144	25

Cuadro 5: Rendimientos volumétricos (m<sup>3</sup>r/ha) en el Rodal 2

REGIMEN DE MANEJO	A N O S										
	INICIO	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
1	134	34	23	21	20	17	173	31	23	21	20
2	134	34	41	38	35	30	156	28	41	38	35
3	134	34	34	31	28	24	139	25	34	31	28
4		141	46	23	21	20	17	173	31	23	21
5		141	46	41	38	35	30	156	28	41	38
6		141	46	34	31	28	24	139	25	34	31
7			143	54	23	21	20	17	173	31	23
8			143	54	41	38	35	30	156	28	41
9			143	54	34	31	28	24	139	25	34
10				145	58	23	21	20	17	173	31
11				145	58	41	38	35	30	156	28
12				145	58	34	31	28	24	139	25

Cuadro 6: Rendimientos volumétricos (m<sup>3</sup>r/ha) en el Rodal 3

REGIMEN DE MANEJO	A N O S										
	INICIO	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
1		132	28	23	21	20	17	193	34	23	21
2		132	28	41	38	35	30	174	30	41	38
3		132	28	34	31	28	24	155	27	34	31
4			134	50	23	21	20	17	193	34	23
5			134	50	41	38	35	30	174	30	41
6			134	50	34	31	28	24	155	27	34
7				136	59	23	21	20	17	193	34
8				136	59	41	38	35	30	174	30
9				136	59	34	31	28	24	155	27
10					137	63	23	21	20	17	193
11					137	63	41	38	35	30	174
12					137	63	34	31	28	24	155

Cuadro 7: Rendimientos volumétricos (m<sup>3</sup>r/ha) en el Rodal 4

REGIMEN DE MANEJO	A N O S										
	INICIO	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
1			103	36	23	21	20	17	202	36	23
2			103	36	41	38	35	30	181	32	41
3			103	36	34	31	28	24	161	28	34
4				104	46	23	21	20	17	202	36
5				104	46	41	38	35	30	181	32
6				104	46	43	31	28	24	161	28
7					105	54	23	21	20	17	202
8					105	54	41	38	35	30	181
9					105	54	34	31	28	24	161
10						105	63	23	21	20	17
11						105	63	41	38	35	30
12						105	63	34	31	28	24
13							163	68	23	21	20
14							163	68	41	38	35
15							163	68	34	31	28

Los datos de los cuadros anteriores se emplearon para la formulación del modelo I, de acuerdo al procedimiento descrito en el capítulo anterior. La función objetivo y las restricciones correspondientes, así como un resumen de los resultados del procesamiento de los datos se presenta en el Cuadro 8 .



## Cuadro 8: Resumen del procesamiento del Modelo I

---


$$\begin{aligned}
 \text{MAX } Z = & 570 X_{11} + 662 X_{12} + 592 X_{13} + 565 X_{14} + 642 X_{15} + 579 X_{16} + \\
 & 556 X_{17} + 616 X_{18} + 530 X_{19} + 541 X_{110} + 583 X_{111} + 509 X_{112} + 517 X_{21} + 610 X_{22} + \\
 & 542 X_{23} + 516 X_{24} + 594 X_{25} + 533 X_{26} + 505 X_{27} + 566 X_{28} + \\
 & 512 X_{29} + 488 X_{210} + 531 X_{211} + 484 X_{212} + 574 X_{31} + 649 X_{32} + 586 X_{33} + 515 X_{34} + \\
 & 573 X_{35} + 517 X_{36} + 503 X_{37} + 679 X_{38} + 494 X_{39} + 474 X_{310} + \\
 & 518 X_{311} + 472 X_{312} + 481 X_{41} + 537 X_{42} + 479 X_{43} + 469 X_{44} + 507 X_{45} + \\
 & 465 X_{46} + 442 X_{47} + 484 X_{48} + 437 X_{49} + 249 X_{410} + 312 X_{411} + 285 X_{412} + 295 X_{413} \\
 & + 345 X_{414} + 324 X_{415}
 \end{aligned}$$

## SUJETO A:

- 1)  $X_{11} + X_{12} + X_{13} + X_{14} + X_{15} + X_{16} + X_{17} + X_{18} + X_{19} + X_{110} + X_{111} + X_{112} = 22$
- 2)  $X_{21} + X_{22} + X_{23} + X_{24} + X_{25} + X_{26} + X_{27} + X_{28} + X_{29} + X_{210} + X_{211} + X_{212} = 26$
- 3)  $X_{31} + X_{32} + X_{33} + X_{34} + X_{35} + X_{36} + X_{37} + X_{38} + X_{39} + X_{310} + X_{311} + X_{312} = 23$
- 4)  $X_{41} + X_{42} + X_{43} + X_{44} + X_{45} + X_{46} + X_{47} + X_{48} + X_{49} + X_{410} + X_{411} + X_{412} +$   
 $X_{413} + X_{414} + X_{415} = 17$

## VALOR DE LA FUNCION OBJETIVO

55170.00

VARIABLE	VALOR	COSTO REDUCIDO
X11	0.0000	92.0000
X12	22.0000	0.0000
X13	0.0000	70.0000
X14	0.0000	97.0000
X15	0.0000	20.0000
X16	0.0000	83.0000
X17	0.0000	106.0000
X18	0.0000	46.0000
X19	0.0000	132.0000

X110	0.0000	121.0000
X111	0.0000	79.0000
X112	0.0000	153.0000
X21	0.0000	93.0000
X22	26.0000	0.0000
X23	0.0000	68.0000
X24	0.0000	94.0000
X25	0.0000	16.0000
X26	0.0000	77.0000
X27	0.0000	105.0000
X28	0.0000	44.0000
X29	0.0000	98.0000
X210	0.0000	122.0000
X211	0.0000	79.0000
X212	0.0000	126.0000
X31	0.0000	105.0000
X32	0.0000	30.0000
X33	0.0000	93.0000
X34	0.0000	164.0000
X35	0.0000	106.0000
X36	0.0000	162.0000
X37	0.0000	176.0000
X38	23.0000	0.0000
X39	0.0000	185.0000
X310	0.0000	205.0000
X311	0.0000	161.0000
X312	0.0000	207.0000
X41	0.0000	56.0000
X42	17.0000	0.0000
X43	0.0000	58.0000
X44	0.0000	68.0000
X45	0.0000	30.0000
X46	0.0000	72.0000
X47	0.0000	95.0000
X48	0.0000	53.0000
X49	0.0000	10.0000
X410	0.0000	288.0000
X411	0.0000	225.0000
X412	0.0000	252.0000
X413	0.0000	242.0000
X414	0.0000	192.0000
X415	0.0000	213.0000

RESTRICCION	RHS	HOLGURA O EXCESO
1 (=)	22.0000	0.0000
2 (=)	26.0000	0.0000
3 (=)	23.0000	0.0000

4 (=)                    17.0000                    0.0000

RESTRICCION	RHS ACTUAL	RHS MINIMO	RHS MAXIMO	PRECIO DUAL
1 (=)	22.0000	0.0000	infinito	662.0000
2 (=)	26.0000	0.0000	infinito	610.0000
3 (=)	23.0000	0.0000	infinito	679.0000
4 (=)	17.0000	0.0000	infinito	537.0000

NUMERO DE ITERACIONES = 9

---

Como resultado de la aplicación del modelo de programación lineal se asignó a cada rodal un tratamiento para la totalidad del área. Los regímenes asignados respectivamente fueron: rodal 1 - régimen 2; rodal 2 - régimen 2; rodal 3 - régimen 8 y rodal 4 - régimen 2.

Es importante destacar las diferencias de los costos reducidos de los diversos regímenes de tratamiento formulados para los diferentes rodales. Para el rodal 1, el régimen 5 presenta un valor de costo reducido de 20, mientras que el valor correspondiente para el régimen 12 es de 156. Para el resto de los rodales se obtuvieron resultados similares destacando esquemas alternativos con costos reducidos bajos. Para el rodal 2, por ejemplo, el régimen 5 presenta un valor de 16, el régimen 2 del rodal 3 tiene a su vez un costo reducido de 30. Para el rodal 4, el régimen 9 tiene un valor de 10, lo que lo ubica próximo al esquema seleccionado por el modelo de programación lineal.

Dado el carácter de igualdad establecido en las restricciones de superficie, los valores de las variables de holgura o exceso son cero en todos los casos.

Del análisis de sensibilidad se derivó el precio dual, éste presenta un mayor valor en la restricción asociada al rodal 3 (679), seguido por el correspondiente al rodal 1 (662); el rodal 4 tiene un valor de 537, el más bajo para las restricciones del modelo. De los precios duales se deriva la conveniencia de incrementar el área de los rodales 1 y 3.

De acuerdo a los resultados anteriores, los regímenes que contribuyen a maximizar el rendimiento volumétrico en el área objeto de estudio corresponden a los que se presentan en el Cuadro 9:

Cuadro 9: Regímenes de manejo óptimos para maximización de rendimiento volumétrico

REGIMEN DE MANEJO	A                      N                      O                      S											
	INICIO	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	
X12	CR	CLPA	A10.9	A20.9	A30.9	A40.9	CR	CLPA	A10.9	A20.9	A30.9	
X22	CR	CLPA	A10.9	A20.9	A30.9	A40.9	CR	CLPA	A10.9	A20.9	A30.9	
X38				CR	CLPA	A10.9	A20.9	A30.9	A40.9	CR	CLPA	
X42			CR	CLPA	A10.9	A20.9	A30.9	A40.9	CR	CLPA	A10.9	

En el cuadro se observa que los regímenes de manejo óptimos seleccionados para la maximización del volumen corresponden en todos los casos a los esquemas que mantienen un grado de densidad de 0.9. Este resultado constituye una herramienta para la toma de decisiones sobre la intensidad de los tratamientos silvícolas a aplicar en el área en términos cuantitativos.

En el cuadro 10 se muestran los rendimientos volumetricos de los regímenes de tratamiento resultantes de acuerdo al Modelo I. En los valores mostrados destacan los bajos valores para el periodo correspondiente al año 10.

Cuadro 10: Rendimientos volumétricos de los regímenes de manejo seleccionados de acuerdo al Modelo I

REGIMEN DE MANEJO	A			N			O			S		
	INICIO	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	
X12	174	39	41	38	35	30	162	29	41	38	35	
X22	134	34	41	38	35	30	156	28	41	38	35	
X38				136	59	41	38	35	30	174	30	
X42			103	36	41	38	35	30	181	32	41	

Los resultados del flujo de rendimiento volumétrico para los once períodos considerados se presentan en el Cuadro 11. En el mismo destacan las diferencias en las cosechas posibles período a período, como resultado de las diferencias en los coeficientes técnicos de los regímenes seleccionados, particularmente en el periodo inicial y en el correspondiente a 10 años.

Cuadro 11. Flujo de rendimiento volumetrico de acuerdo al modelo I

AÑOS	INICIO	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
VOLUMEN	7312	1742	3719	5005	3734	3029	5215	2681	5735	6370	3067

De manera esquemática, el flujo de los rendimientos volumétricos se presenta en la Figura 2.

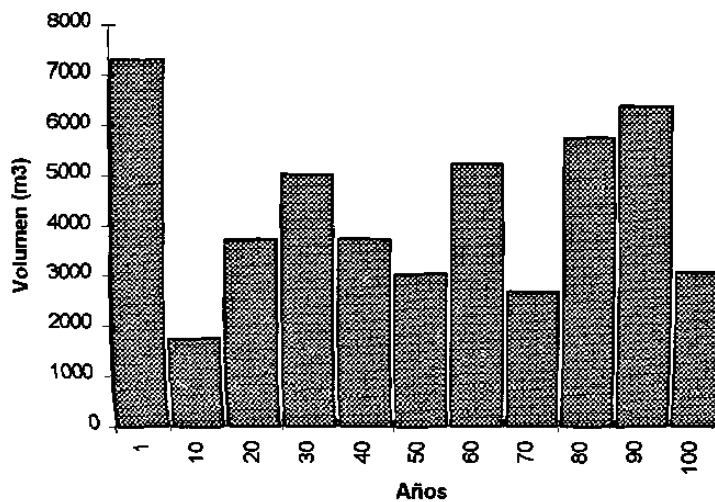


Figura 2: Flujo de volúmenes resultante de la aplicación del modelo I

En virtud de las grandes variaciones de los rendimientos volumétricos resultantes de la aplicación del modelo I, se formuló el programa de rendimiento sostenido para la obtención de cosechas equivalentes para un periodo correspondiente a un

turno. La formulación del modelo de programación lineal, así como los resultados más importantes del procesamiento de los datos se presentan en el Cuadro 12:

Cuadro 12: Resumen del modelo para rendimiento sostenido

---


$$\text{MAX } Z = 174 X_{11} + 39 X_{12} + 41 X_{13} + 38 X_{14} + 35 X_{15} + 30 X_{16} + 134 X_{21} + 34 X_{22} + 41 X_{23} + 38 X_{24} + 35 X_{25} + 30 X_{26} + 136 X_{34} + 59 X_{35} + 41 X_{36} + 103 X_{43} + 36 X_{44} + 41 X_{45} + 38 X_{46}$$

SUJETO A:

- 1)  $174 X_{11} + 134 X_{12} - 39 X_{12} - 34 X_{22} = 0$
- 2)  $39 X_{12} + 34 X_{22} - 41 X_{13} - 41 X_{23} - 103 X_{43} = 0$
- 3)  $41 X_{13} + 41 X_{23} + 103 X_{43} - 38 X_{14} - 38 X_{24} - 136 X_{34} - 36 X_{44} = 0$
- 4)  $38 X_{14} + 38 X_{24} + 136 X_{34} + 36 X_{44} - 35 X_{15} - 35 X_{25} - 59 X_{35} - 41 X_{45} = 0$
- 5)  $35 X_{15} + 35 X_{25} + 59 X_{35} + 41 X_{45} - 30 X_{16} - 30 X_{26} - 41 X_{36} - 38 X_{46} = 0$
- 6)  $X_{11} \leq 22$
- 7)  $X_{12} \leq 22$
- 8)  $X_{13} \leq 22$
- 9)  $X_{14} \leq 22$
- 10)  $X_{15} \leq 22$
- 11)  $X_{16} \leq 22$
- 12)  $X_{21} \leq 26$
- 13)  $X_{22} \leq 26$
- 14)  $X_{23} \leq 26$
- 15)  $X_{24} \leq 26$
- 16)  $X_{25} \leq 26$
- 17)  $X_{26} \leq 26$
- 18)  $X_{34} \leq 23$
- 19)  $X_{35} \leq 23$
- 20)  $X_{36} \leq 23$

- 20)  $X_{36} \leq 23$   
 21)  $X_{43} \leq 17$   
 22)  $X_{44} \leq 17$   
 23)  $X_{45} \leq 17$   
 24)  $X_{46} \leq 17$

### VALOR DE LA FUNCION OBJETIVO

10554.0000

VARIABLE	VALOR	COEF OBJ	CONTRIB VAL OBJ	COSTO REDUCIDO
X11	10.0115	174.0000	1742.0001	0.0000
X12	22.0000	39.0000	858.0000	0.0000
X13	0.0000	41.0000	0.0000	0.0000
X14	0.0000	38.0000	0.0000	0.0000
X15	0.0000	35.0000	0.0000	0.0000
X16	6.8000	30.0000	204.0001	0.0000
X21	0.0000	134.0000	0.0000	0.0000
X22	26.0000	34.0000	884.0000	0.0000
X23	0.0000	41.0000	0.0000	0.0000
X24	0.0000	38.0000	0.0000	0.0000
X25	0.0000	35.0000	0.0000	0.0000
X26	0.0000	30.0000	0.0000	0.0000
X34	8.3088	136.0000	1130.0001	0.0000
X35	18.5763	59.0000	1096.0001	0.0000
X36	23.0000	41.0000	943.0000	0.0000
X43	16.9126	103.0000	1742.0001	0.0000
X44	17.0000	36.0000	612.0000	0.0000
X45	17.0000	41.0000	697.0000	0.0000
X46	17.0000	38.0000	646.0000	0.0000



RESTRICCION	RHS	HOLGURA (-) O EXCESO (+)
1 (=)	0.0000	0.0000
2 (=)	0.0000	0.0000
3 (=)	0.0000	0.0000
4 (=)	0.0000	0.0000
5 (=)	0.0000	0.0000
6 (<=)	22.0000	11.9885-
7 (<=)	22.0000	0.0000-
8 (<=)	22.0000	22.0000-
9 (<=)	22.0000	22.0000-
10 (<=)	22.0000	22.0000-
11 (<=)	22.0000	15.2000-
12 (<=)	26.0000	26.0000-
13 (<=)	26.0000	0.0000-
14 (<=)	26.0000	26.0000-
15 (<=)	26.0000	26.0000-
16 (<=)	26.0000	26.0000-
17 (<=)	26.0000	26.0000-
18 (<=)	23.0000	14.6912-
19 (<=)	23.0000	4.4237-
20 (<=)	23.0000	0.0000-
21 (<=)	17.0000	0.0874-
22 (<=)	17.0000	0.0000-
23 (<=)	17.0000	0.0000-
24 (<=)	17.0000	0.0000-

RESTRICCION	RHS ACTUAL	RHS MINIMO	RHS MAXIMO	PRECIO DUAL
1 (=)	0.0000	-1742.0001	2086.0000	1.0000
2 (=)	0.0000	-8.9998	204.0001	-4.0000
3 (=)	0.0000	-260.9999	204.0001	-3.0000
4 (=)	0.0000	-260.9999	204.0001	-2.0000
5 (=)	0.0000	-455.9999	204.0001	-1.0000
6 (<=)	22.0000	10.0115	infinito	0.0000
7 (<=)	22.0000	16.7692	22.2308	234.0000
8 (<=)	22.0000	0.0000	infinito	0.0000
9 (<=)	22.0000	0.0000	infinito	0.0000
10 (<=)	22.0000	0.0000	infinito	0.0000
11 (<=)	22.0000	6.8000	infinito	0.0000
12 (<=)	26.0000	0.0000	infinito	0.0000
13 (<=)	26.0000	20.0000	23.2647	204.0000
14 (<=)	26.0000	0.0000	infinito	0.0000
15 (<=)	26.0000	0.0000	infinito	0.0000
16 (<=)	26.0000	0.0000	infinito	0.0000

17 (<=)	26.0000	0.0000	infinito	0.0000
18 (<=)	23.0000	8.3088	infinito	0.0000
19 (<=)	23.0000	18.5763	infinito	0.0000
20 (<=)	23.0000	11.8781	27.9756	0.0000
21 (<=)	17.0000	16.9126	infinito	0.0000
22 (<=)	17.0000	0.0000	48.3889	6.0000
23 (<=)	17.0000	10.6341	43.7317	0.0000
24 (<=)	17.0000	5.0000	22.3684	0.0000

NUMERO DE ITERACIONES = 13

---

Como resultado de la aplicación del modelo anterior se logra una cosecha volumétrica sostenida, sin embargo, los rendimientos periódicos equivalen a 1742 m<sup>3</sup>, esto es, son sensiblemente menores a los valores periódicos promedio obtenidos con la formulación del modelo I. Lo anterior se debe particularmente al hecho de que para el año 10 los coeficientes técnicos de los regímenes óptimos seleccionados son muy bajos y ocurren solo en los rodales 1 y 2, con 22 y 26 ha, respectivamente. Esto provoca que aun cuando se destinara el total de la superficie disponible a los tratamientos prescritos, el volumen máximo de cosecha alcanza solamente 1742 m<sup>3</sup>.

En el Cuadro 11 destaca, por otra parte, el hecho de que bajo este esquema el volumen correspondiente a cada periodo se obtiene de uno a varios rodales. En los periodos inicial y 20, los volúmenes respectivos se obtienen de los rodales 1 y 2. Para los años 10, 30, 40 y 50, el modelo contempla la asignación de áreas de diferentes rodales.

Dado el carácter de desigualdades de las restricciones de superficie del modelo, la mayoría de ellas presentan valores importantes de holgura. Por lo que toca a los precios duales, sólo presentan valores de consideración los rodales 1 y 2, para los que se emplea el total de la superficie disponible en el año 10.

En la Figura 3 se presentan las superficies a aprovechar en cada período de acuerdo al modelo de rendimiento sostenido antes descrito.

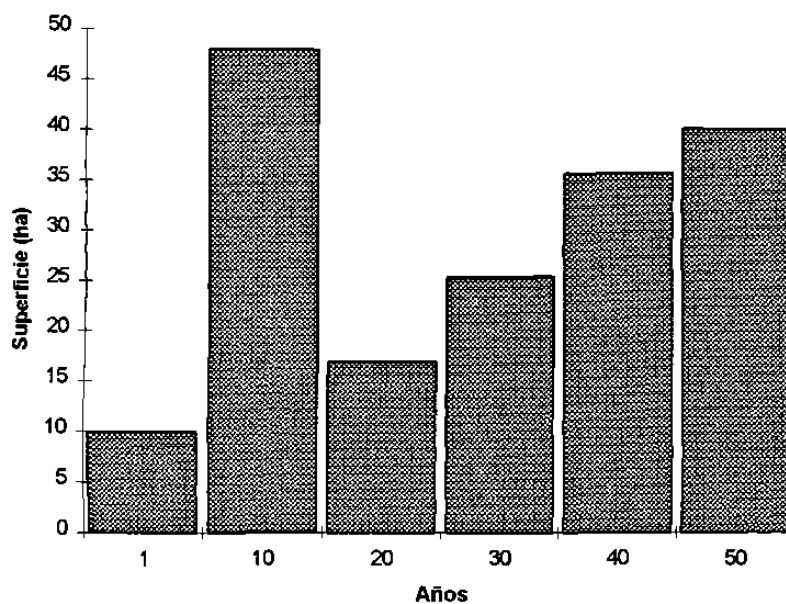


Figura 3: Superficies a aprovechar de acuerdo al modelo de rendimiento sostenido

El modelo de regulación definitivo se formuló integrando al modelo de rendimiento sostenido anterior, los regímenes para cada rodal que presentaron el menor costo reducido de acuerdo a la formulación del modelo I (compare Cuadro 8). En todos los casos, los regímenes integrados a la nueva matriz correspondieron a aquellos para los que se tiene como objetivo el mantenimiento de un grado de densidad de 0.9. El modelo se planteó para un periodo equivalente a un turno de acuerdo a los datos del Cuadro 13.

Cuadro 13. Rendimientos volumetricos de los regimenes de manejo empleados para la formulación del modelo de regulación forestal.

REGIMEN DE MANEJO	A N O S					
	INICIO	10	20	30	40	50
1.1	174	39	41	38	35	30
1.2		181	47	41	38	35
2.1	134	34	41	38	35	30
2.2		141	46	41	38	35
3.1		132	28	41	38	35
3.2				136	59	41
4.1			103	36	41	38
4.2					105	54

El desarrollo del modelo y los principales resultados obtenidos del procesamiento correspondiente se presentan en el Cuadro 14:

Cuadro 14: Resumen de resultados del modelo de regulación forestal

---


$$\begin{aligned} \text{MAX } Z = & 174 X_{111} + 39 X_{112} + 41 X_{113} + 38 X_{114} + 35 X_{115} + 30 X_{116} + 181 X_{122} \\ & + 47 X_{123} + 41 X_{124} + 38 X_{125} + 35 X_{126} + 134 X_{211} + 34 X_{212} + 41 X_{213} \\ & + 38 X_{214} + 35 X_{215} + 30 X_{216} + 141 X_{222} + 46 X_{223} + 41 X_{224} + 35 X_{226} \\ & + 132 X_{312} + 28 X_{313} + 41 X_{314} + 35 X_{316} + 136 X_{324} + 59 X_{325} + 41 X_{326} \\ & + 103 X_{413} + 36 X_{414} + 41 X_{415} + 38 X_{416} + 105 X_{425} + 54 X_{426} \end{aligned}$$

SUJETO A:

- 1)  $174 X_{111} + 134 X_{211} - 39 X_{112} - 181 X_{122} - 34 X_{212} - 141 X_{222} - 132 X_{312} = 0$
- 2)  $39 X_{112} + 181 X_{122} + 34 X_{212} + 141 X_{222} + 132 X_{312} - 41 X_{113} - 47 X_{123} - 41 X_{213} - 46 X_{223} - 28 X_{313} - 103 X_{413} = 0$
- 3)  $41 X_{113} + 47 X_{123} + 41 X_{213} + 46 X_{223} + 28 X_{313} + 103 X_{413} - 38 X_{114} - 41 X_{124} - 38 X_{214} - 41 X_{224} - 41 X_{314} - 136 X_{324} - 36 X_{414} = 0$
- 4)  $38 X_{114} + 41 X_{124} + 38 X_{214} + 41 X_{224} + 41 X_{314} + 136 X_{324} + 36 X_{414} - 35 X_{115} - 38 X_{125} - 35 X_{215} - 38 X_{225} - 38 X_{315} - 59 X_{325} - 41 X_{415} - 105 X_{425} = 0$
- 5)  $35 X_{115} + 38 X_{125} + 35 X_{215} + 38 X_{225} + 38 X_{315} + 59 X_{325} + 41 X_{415} + 105 X_{425} - 30 X_{116} - 35 X_{126} - 30 X_{216} - 35 X_{226} - 35 X_{316} + 41 X_{326} - 38 X_{416} + 54 X_{426} = 0$
- 6)  $X_{111} \leq 22$
- 7)  $X_{112} + X_{122} \leq 22$
- 8)  $X_{113} + X_{123} \leq 22$
- 9)  $X_{114} + X_{124} \leq 22$
- 10)  $X_{115} + X_{125} \leq 22$
- 11)  $X_{116} + X_{126} \leq 22$

- 12)  $X_{211} \leq 26$   
 13)  $X_{212} + X_{222} \leq 26$   
 14)  $X_{213} + X_{223} \leq 26$   
 15)  $X_{214} + X_{224} \leq 26$   
 16)  $X_{215} + X_{225} \leq 26$   
 17)  $X_{216} + X_{226} \leq 26$   
 18)  $X_{312} \leq 23$   
 19)  $X_{313} \leq 23$   
 20)  $X_{314} + X_{324} \leq 23$   
 21)  $X_{315} + X_{325} \leq 23$   
 22)  $X_{316} + X_{326} \leq 23$   
 23)  $X_{413} \leq 17$   
 24)  $X_{414} \leq 17$   
 25)  $X_{415} + X_{425} \leq 17$   
 26)  $X_{416} + X_{426} \leq 17$

#### VALOR DE LA FUNCION OBJETIVO

21246.0000

VARIABLE	VALOR	COEF OBJ	CONTRIB VAL OBJ	COSTO REDUCIDO
X111	20.3506	174.0000	3541.0000	0.0000
X112	0.0000	39.0000	0.0000	0.0000
X113	0.0000	41.0000	0.0000	0.0000
X114	0.0000	38.0000	0.0000	0.0000
X115	0.0000	35.0000	0.0000	0.0000
X116	0.0000	30.0000	0.0000	30.0000
X122	0.0000	181.0000	0.0000	59.0000
X123	22.0000	47.0000	1034.0000	0.0000
X124	22.0000	41.0000	902.0000	0.0000
X125	22.0000	38.0000	836.0000	0.0000
X126	22.0000	35.0000	770.0000	0.0000
X211	0.0000	134.0000	0.0000	0.0000

X212	0.0000	34.0000	0.0000	0.0000
X213	26.0000	41.0000	1066.0001	0.0000
X214	0.0000	38.0000	0.0000	0.0000
X215	0.0000	35.0000	0.0000	0.0000
X216	0.0000	30.0000	0.0000	30.0000
X222	25.1135	141.0000	3540.9998	0.0000
X223	0.0000	46.0000	0.0000	0.0000
X224	4.0000	41.0000	164.0000	0.0000
X225	26.0000	38.0000	988.0000	0.0000
X226	26.0000	35.0000	910.0000	0.0000
X312	0.0000	132.0000	0.0000	0.0000
X313	23.0000	28.0000	644.0000	0.0000
X314	6.8737	41.0000	281.8210	0.0000
X315	0.0000	38.0000	0.0000	0.0000
X316	0.0000	35.0000	0.0000	36.0000
X324	16.1263	136.0000	2193.1790	0.0000
X325	23.0000	59.0000	1357.0000	0.0000
X326	23.0000	41.0000	943.0000	0.0000
X413	7.7379	103.0000	797.0004	0.0000
X414	0.0000	36.0000	0.0000	0.0000
X415	0.0000	41.0000	0.0000	0.0001
X416	0.0000	38.0000	0.0000	96.0000
X425	3.4286	105.0000	360.0002	0.0000
X426	17.0000	54.0000	918.0000	0.0000

RESTRICCION	RHS	HOLGURA (-) O EXCESO (+)
1 (=)	0.0000	0.0000
2 (=)	0.0000	0.0000
3 (=)	0.0000	0.0000
4 (=)	0.0000	0.0000
5 (=)	0.0000	0.0000
6 (<=)	22.0000	1.6494-
7 (<=)	22.0000	22.0000-
8 (<=)	22.0000	0.0000-
9 (<=)	22.0000	0.0000-
10 (<=)	22.0000	0.0000-
11 (<=)	22.0000	0.0000-
12 (<=)	26.0000	26.0000-
13 (<=)	26.0000	0.8865-
14 (<=)	26.0000	0.0000-
15 (<=)	26.0000	0.0000-
16 (<=)	26.0000	0.0000-
17 (<=)	26.0000	0.0000-
18 (<=)	23.0000	23.0000-

19 (<=)	23.0000	0.0000-
20 (<=)	23.0000	0.0000-
21 (<=)	23.0000	0.0000-
22 (<=)	23.0000	0.0000-
23 (<=)	17.0000	9.2621-
24 (<=)	17.0000	17.0000-
25 (<=)	17.0000	13.5714-
26 (<=)	17.0000	0.0000-

RESTRICCION	RHS ACTUAL	RHS MINIMO	RHS MAXIMO	PRECIO DUAL
1 (=)	0.0000	-3541.0000	286.9998	1.0000
2 (=)	0.0000	-3540.9998	125.0002	2.0000
3 (=)	0.0000	-797.0004	125.0002	3.0000
4 (=)	0.0000	-797.0004	125.0002	4.0000
5 (=)	0.0000	-360.0002	125.0002	5.0000
6 (<=)	22.0000	20.3506	infinito	0.0000
7 (<=)	22.0000	0.0000	infinito	0.0000
8 (<=)	22.0000	1.7021	38.9575	0.0000
9 (<=)	22.0000	0.0000	26.0000	0.0000
10 (<=)	22.0000	0.0000	31.4737	0.0000
11 (<=)	22.0000	11.7143	25.5714	210.0000
12 (<=)	26.0000	0.0000	infinito	0.0000
13 (<=)	26.0000	25.1135	infinito	0.0000
14 (<=)	26.0000	2.7317	45.4390	0.0000
15 (<=)	26.0000	22.0000	63.3659	0.0000
16 (<=)	26.0000	0.0000	35.4737	0.0000
17 (<=)	26.0000	15.7143	29.5714	210.0000
18 (<=)	23.0000	0.0000	infinito	0.0000
19 (<=)	23.0000	0.0000	51.4643	0.0000
20 (<=)	23.0000	18.1985	60.3659	0.0001
21 (<=)	23.0000	0.0000	29.1017	0.0000
22 (<=)	23.0000	14.2195	26.0488	245.9999
23 (<=)	17.0000	7.7379	infinito	0.0000
24 (<=)	17.0000	0.0000	infinito	0.0000
25 (<=)	17.0000	3.4286	infinito	0.0000
26 (<=)	17.0000	10.3333	19.3148	323.9999

NUMERO DE ITERACIONES = 23

---



Como resultado del desarrollo del modelo se obtuvo un rendimiento volumétrico sostenido equivalente a  $3541 \text{ m}^3$  para cada periodo considerado. Para el año 1, la totalidad del volumen proviene del rodal 1 (20.35 ha), asimismo, para el año 10, 25.11 ha del rodal 2 proveen el total del volumen a cosechar. Para los periodos sucesivos, los volúmenes se obtienen de diversos rodales, el año 20, por ejemplo, el modelo contempla obtener volúmenes de los rodales 1 2 y 3; de manera similar, los años 30, 40 y 50, se requiere la intervención de por lo menos 3 rodales.

Los costos reducidos muestran valores entre 30 y 96, éste último valor representa un requerimiento significativo para la inclusión de la variable correspondiente en la solución del modelo. de la misma forma, la variable con un costo reducido de 59 tendría limitaciones para su consideración.

En cuanto a las variables de holgura / exceso, se observa que sólo cinco restricciones presentan valores importantes en holgura. El precio dual de una de las restricciones asociadas al rodal 4 es el más alto (323.9999) de los cuatro valores de consideración resultantes; le sigue el asociado al rodal 3. Los precios duales correspondientes a las restricciones relacionadas con los rodales 1 y 2, presentan valores iguales (210.0000).

En la Figura 3 se presentan las superficies a tratar en cada periodo de acuerdo al modelo desarrollado.

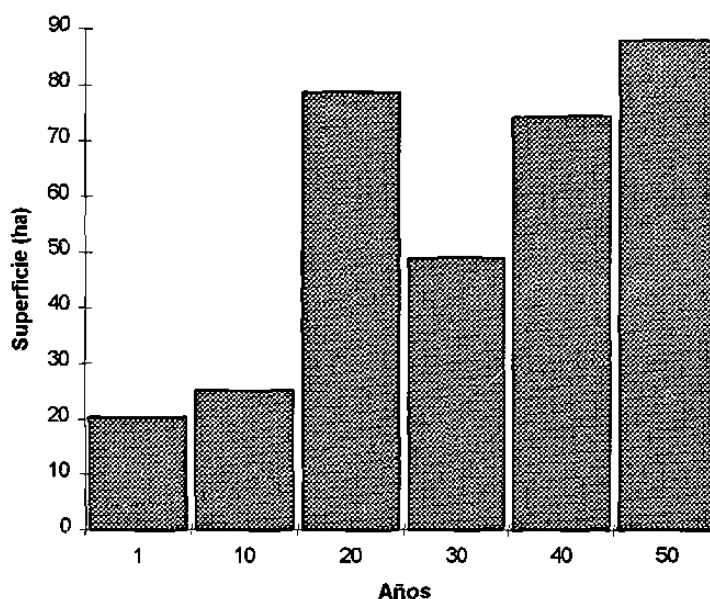


Figura 4: Superficies de aprovechamiento de acuerdo al plan de regulación forestal desarrollado.

En la Figura 4 se observa que en los dos primeros periodos de manejo, las superficies a tratar son sensiblemente menores a las de los tres periodos restantes, lo anterior debido al tipo de tratamiento silvícola prescrito en cada caso. En los años 1 y 10, el modelo prevé la aplicación de cortas de regeneración, mientras que en los años sucesivos se incluyen diversas cortas intermedias.

## V. CONCLUSIONES

El presente trabajo es una contribución al diseño de una estrategia de manejo de recursos naturales a nivel de paisaje; considerando un esquema de manejo intensivo para una fracción del predio en cuestión.

A partir de los regímenes de manejo formulados en función de la densidad, se concluye la conveniencia de adoptar regímenes cuyo objetivo es mantener un grado de densidad de 0.9. Los regímenes diseñados con el objetivo de mantener un valor de 1.0 o 0.8 para el grado de densidad, reportan menores rendimientos volumétricos.

La formulación del modelo 1 de regulación forestal permitió identificar los regímenes de manejo que contribuyen en mayor medida a maximizar el rendimiento volumétrico. Este modelo presenta, sin embargo, niveles de aprovechamiento significativamente diferentes en los distintos periodos considerados.

El esquema para rendimiento sostenido estricto, desarrollado a partir de los regímenes de manejo seleccionados por el modelo Y, presentó un nivel de rendimiento volumétrico constante pero muy bajo para las posibilidades del área, por lo que no se adoptó como definitivo para la regulación forestal en los rodales considerados.

El modelo de regulación forestal propuesto para el área objeto de estudio a partir de la integración de los resultados del modelo 1 y los del esquema formulado para cosecha sostenida en sentido estricto, arroja cifras de rendimiento volumétrico sostenido que representan una base para la toma de decisiones de manejo del área en cuestión.

## VI. BIBLIOGRAFIA

Aguirre C., O. A. 1991: Elaboración de tablas de producción en base a sitios temporales de muestreo. Un ejemplo con *Pinus pseudostrobus* Lindl. en el noreste de México. Reporte Científico No. 24. Facultad de Ciencias forestales, U.A.N.L. 43 p.

Aguirre C., O. A. 1991a: Diseño de regímenes de tratamiento silvícola. Aplicación de la programación dinámica. Memoria del Curso de Actualización en Silvicultura. Facultad de Ciencias Forestales, U.A.N.L. pp. 63- 75

Buongiorno, J. ; Gilles, J. K. 1987: Forest Management and economics. Macmillan. New York. 285 p.

Curtis, F. H. 1962: Linear programming the management of a forest property. Journal of Forestry 60 (9), pp 611-616.

Clutter, J. L.; Fortson, J. C.; Pienaar, L. V.; Brister, G. H. ; Bailey, R. L. 1983: Timber management: A quantitative approach. John Wiley & Sons. New York. 333 p.

Cardenas, G.E. 1981: Planeacion industrial y de las operaciones de abastecimiento en la Unidad industrial de explotacion forestal de Atenquique, Jalisco. TESIS. Chapingo, Mexico. Universidad Autonoma de Chapingo. Dpto de Bosques. 99 p.

Davis, L. S.; Johnson, K. N. 1987: Forest management. Third ed. McGraw-Hill. New York. 790 p.

Duerr, W. A.; Teegarden, D. E.; Christiansen, N. B.; Guttenberg, S. 1982: Forest Resource Management. Decision making principles and cases. OSU Book Stores, Inc. Corvallis. 612 p.

Dykstra, D. P. 1984: Mathematical programming for natural resource management. McGraw-Hill. New York. 318 p.

Field, D. 1980. Linear programming: out of the classroom and into the woods. JOURNAL OF Forestry. 330-336p

Gadow; K. V.; Bredenkamp, B. 1992: Forest management. Academica. Pretoria. 151 p.

García A., D. 1987: Determinación de un sistema de transporte en la región Costa Grande del estado de Guerrero. Tesis profesional. Universidad Autónoma Chapingo. División de Ciencias Forestales. 108 p.

Guzmán Zuarth, David Lázaro 1985: Aplicación de la programación lineal en la solución de un problema de transporte. Tesis profesional. Universidad Autónoma Chapingo. División de Ciencias Forestales. 145 p.

Hof, J. G. 1993: Coactive forest management. Academic Press. San Diego. 189 p.

Johnson, K. N.; Scheurman H. L. 1977: Techniques for prescribing optimal timber harvest and investment under different objectives-discussion and synthesis. Forest Science monograph. 18.

Hillier, F. S.; Lieberman, G. J. 1997: Introducción a la investigación de operaciones. McGraw-Hill. México. 998 p.

Hoekstra, T. W.; Dyer, A. A.; Le Master, D. C. 1987: FORPLAN: An evaluation of a forest planning tool. USDA Forest Service. General Technical Report RM-140.

Leuschner, W. A. 1984: Introduction to forest resource management. John Wiley & Sons. New York. 298 p.

Leuschner, W. A. 1990: Forest regulation, harvest scheduling, and planning techniques. John Wiley & Sons. New York. 281 p.

Moreno Sánchez, Rafael 1984: Un modelo de programación lineal para la planeación de las labores de abastecimiento forestal. Tesis Profesional. Universidad Autónoma Chapingo. Departamento de Enseñanza, Investigación y Servicio en Bosques. 179 p.

Navon, D. I. 1971: Timber RAM- A long-range planning method for commercial timber lands under multiple-use management. USDA Forest Service, Research Paper PNW-70.

Reygadas P., D. D. 1988: Determinación de un plan de cortas óptimo para *Pinus hartwegii* Lindl. utilizando programación lineal. Tesis profesional. Universidad Autónoma Chapingo. División de Ciencias Forestales. 168 p.

Rivero B., D. P. 1985: Modelo para la regulación de la corta en bosques coetaneos de clima templado frío. Un ensayo. Universidad Autónoma Chapingo. División de Ciencias Forestales. 149 p.

Ware, G. O.; Clutter, J. L. 1971: A mathematical programming system for the management of industrial forests. Forest Science 17. pp. 428-445



**VII . ANEXOS**

Proceso iterativo bajo el esquema correspondiente al Modelo I  
Ej. La Purísima.

Title: EJ. LA PURISIMA. MODELO I

	X11 x1	X12 x2	X13 x3	X14 x4	X15 x5	X16 x6	X17 x7
max	570	662	592	565	642	579	556
Constraint 1:	1	1	1	1	1	1	1
Constraint 2:	0	0	0	0	0	0	0
Constraint 3:	0	0	0	0	0	0	0
Constraint 4:	0	0	0	0	0	0	0

	X18 x8	X19 x9	X110 x10	X111 x11	X112 x12	X21 x13	X22 x14
max	616	530	541	583	509	517	610
Constraint 1:	1	1	1	1	1	0	0
Constraint 2:	0	0	0	0	0	1	1
Constraint 3:	0	0	0	0	0	0	0
Constraint 4:	0	0	0	0	0	0	0

	X23 x15	X24 x16	X25 x17	X26 x18	X27 x19	X28 x20	X29 x21
max	542	516	594	533	505	566	512
Constraint 1:	0	0	0	0	0	0	0
Constraint 2:	1	1	1	1	1	1	1
Constraint 3:	0	0	0	0	0	0	0
Constraint 4:	0	0	0	0	0	0	0

X210 x22	X211 x23	X212 x24	X31 x25	X32 x26	X33 x27	X34 x28
-------------	-------------	-------------	------------	------------	------------	------------

	488	531	484	574	649	586	515
max							
Constraint 1:	0	0	0	0	0	0	0
Constraint 2:	1	1	1	0	0	0	0
Constraint 3:	0	0	0	1	1	1	1
Constraint 4:	0	0	0	0	0	0	0

	X35 x29	X36 x30	X37 x31	X38 x32	X39 x33	X310 x34	X311 x35
max	573	517	503	679	494	474	518
Constraint 1:	0	0	0	0	0	0	0
Constraint 2:	0	0	0	0	0	0	0
Constraint 3:	1	1	1	1	1	1	1
Constraint 4:	0	0	0	0	0	0	0

	X312 x36	X41 x37	X42 x38	X43 x39	X44 x40	X45 x41	X46 x42
max	472	481	537	479	469	507	465
Constraint 1:	0	0	0	0	0	0	0
Constraint 2:	0	0	0	0	0	0	0
Constraint 3:	1	0	0	0	0	0	0
Constraint 4:	0	1	1	1	1	1	1

	X47 x43	X48 x44	X49 x45	X410 x46	X411 x47	X412 x48	X413 x49
max	442	484	437	249	312	285	295
Constraint 1:	0	0	0	0	0	0	0
Constraint 2:	0	0	0	0	0	0	0
Constraint 3:	0	0	0	0	0	0	0
Constraint 4:	1	1	1	1	1	1	1

X414  
x50

X415  
x51

RHS

---

max	345	324		
Constraint 1:	0	0	=	22
Constraint 2:	0	0	=	26
Constraint 3:	0	0	=	23
Constraint 4:	1	1	=	17

---

\*\*\* OPTIMUM SOLUTION SUMMARY \*\*\*

File: EJ. LA PURISIMA. MODELO I  
 Final iteration No: 9  
 Objective value (max) =55170.0000

Variable	Value	Obj Coeff	Obj Val Contrib	Reduced Cost
X11	0.0000	570.0000	0.0000	92.0000
X12	22.0000	662.0000	14564.0000	0.0000
X13	0.0000	592.0000	0.0000	70.0000
X14	0.0000	565.0000	0.0000	97.0000
X15	0.0000	642.0000	0.0000	20.0000
X16	0.0000	579.0000	0.0000	83.0000
X17	0.0000	556.0000	0.0000	106.0000
X18	0.0000	616.0000	0.0000	46.0000
X19	0.0000	530.0000	0.0000	132.0000
X110	0.0000	541.0000	0.0000	121.0000
X111	0.0000	583.0000	0.0000	79.0000
X112	0.0000	509.0000	0.0000	153.0000
X21	0.0000	517.0000	0.0000	93.0000
X22	26.0000	610.0000	15860.0000	0.0000
X23	0.0000	542.0000	0.0000	68.0000
X24	0.0000	516.0000	0.0000	94.0000
X25	0.0000	594.0000	0.0000	16.0000
X26	0.0000	533.0000	0.0000	77.0000
X27	0.0000	505.0000	0.0000	105.0000
X28	0.0000	566.0000	0.0000	44.0000
X29	0.0000	512.0000	0.0000	98.0000
X210	0.0000	488.0000	0.0000	122.0000
X211	0.0000	531.0000	0.0000	79.0000
X212	0.0000	484.0000	0.0000	126.0000
X31	0.0000	574.0000	0.0000	105.0000
X32	0.0000	649.0000	0.0000	30.0000
X33	0.0000	586.0000	0.0000	93.0000
X34	0.0000	515.0000	0.0000	164.0000
X35	0.0000	573.0000	0.0000	106.0000
X36	0.0000	517.0000	0.0000	162.0000
X37	0.0000	503.0000	0.0000	176.0000
X38	23.0000	679.0000	15617.0000	0.0000
X39	0.0000	494.0000	0.0000	185.0000
X310	0.0000	474.0000	0.0000	205.0000
X311	0.0000	518.0000	0.0000	161.0000
X312	0.0000	472.0000	0.0000	207.0000
X41	0.0000	481.0000	0.0000	56.0000
X42	17.0000	537.0000	9129.0000	0.0000
X43	0.0000	479.0000	0.0000	58.0000
X44	0.0000	469.0000	0.0000	68.0000
X45	0.0000	507.0000	0.0000	30.0000
X46	0.0000	465.0000	0.0000	72.0000
X47	0.0000	442.0000	0.0000	95.0000
X48	0.0000	484.0000	0.0000	53.0000
X49	0.0000	437.0000	0.0000	100.0000
X410	0.0000	249.0000	0.0000	288.0000
X411	0.0000	312.0000	0.0000	225.0000
X412	0.0000	285.0000	0.0000	252.0000
X413	0.0000	295.0000	0.0000	242.0000
X414	0.0000	345.0000	0.0000	192.0000

x51 X415

0.0000

324.0000

0.0000

213.0000

Constraint	RHS	Slack (-) / Surplus (+)	Dual Price
1 (=)	22.0000	0.0000	662.0000
2 (=)	26.0000	0.0000	610.0000
3 (=)	23.0000	0.0000	679.0000
4 (=)	17.0000	0.0000	537.0000

\*\*\* SENSITIVITY ANALYSIS \*\*\*

Objective coefficients -- Single Changes:

Variable	Current Coeff	Min Coeff	Max Coeff	Reduced Cost
x1 X11	570.0000	-infinity	662.0000	92.0000
x2 X12	662.0000	642.0000	infinity	0.0000
x3 X13	592.0000	-infinity	662.0000	70.0000
x4 X14	565.0000	-infinity	662.0000	97.0000
x5 X15	642.0000	-infinity	662.0000	20.0000
x6 X16	579.0000	-infinity	662.0000	83.0000
x7 X17	556.0000	-infinity	662.0000	106.0000
x8 X18	616.0000	-infinity	662.0000	46.0000
x9 X19	530.0000	-infinity	662.0000	132.0000
x10 X110	541.0000	-infinity	662.0000	121.0000
x11 X111	583.0000	-infinity	662.0000	79.0000
x12 X112	509.0000	-infinity	662.0000	153.0000
x13 X21	517.0000	-infinity	610.0000	93.0000
x14 X22	610.0000	594.0000	infinity	0.0000
x15 X23	542.0000	-infinity	610.0000	68.0000
x16 X24	516.0000	-infinity	610.0000	94.0000
x17 X25	594.0000	-infinity	610.0000	16.0000
x18 X26	533.0000	-infinity	610.0000	77.0000
x19 X27	505.0000	-infinity	610.0000	105.0000
x20 X28	566.0000	-infinity	610.0000	44.0000
x21 X29	512.0000	-infinity	610.0000	98.0000
x22 X210	488.0000	-infinity	610.0000	122.0000
x23 X211	531.0000	-infinity	610.0000	79.0000
x24 X212	484.0000	-infinity	610.0000	126.0000
x25 X31	574.0000	-infinity	679.0000	105.0000
x26 X32	649.0000	-infinity	679.0000	30.0000
x27 X33	586.0000	-infinity	679.0000	93.0000
x28 X34	515.0000	-infinity	679.0000	164.0000
x29 X35	573.0000	-infinity	679.0000	106.0000
x30 X36	517.0000	-infinity	679.0000	162.0000
x31 X37	503.0000	-infinity	679.0000	176.0000
x32 X38	679.0000	649.0000	infinity	0.0000
x33 X39	494.0000	-infinity	679.0000	185.0000
x34 X310	474.0000	-infinity	679.0000	205.0000
x35 X311	518.0000	-infinity	679.0000	161.0000
x36 X312	472.0000	-infinity	679.0000	207.0000
x37 X41	481.0000	-infinity	537.0000	56.0000
x38 X42	537.0000	507.0000	infinity	0.0000

x39 X43	479.0000	-infinity	537.0000	58.0000
x40 X44	469.0000	infinity	537.0000	68.0000
x41 X45	507.0000	-infinity	537.0000	30.0000
x42 X46	465.0000	-infinity	537.0000	72.0000
x43 X47	442.0000	-infinity	537.0000	95.0000
x44 X48	484.0000	infinity	537.0000	53.0000
x45 X49	437.0000	-infinity	537.0000	100.0000
x46 X410	249.0000	-infinity	537.0000	288.0000
x47 X411	312.0000	-infinity	537.0000	225.0000
x48 X412	285.0000	infinity	537.0000	252.0000
x49 X413	295.0000	-infinity	*537.0000	242.0000
x50 X414	345.0000	-infinity	537.0000	192.0000
x51 X415	324.0000	-infinity	537.0000	213.0000

Right-hand Side -- Single Changes:

Constraint	Current RHS	Min RHS	Max RHS	Dual Price
1 (=)	22.0000	0.0000	infinity	662.0000
2 (=)	26.0000	0.0000	infinity	610.0000
3 (=)	23.0000	0.0000	infinity	679.0000
4 (=)	17.0000	0.0000	infinity	537.0000

Objective Coefficients -- Simultaneous Changes d:

Nonbasic Var	Optimality Condition
x1 X11	92.0000 + 1.0000 d2 - d1 >= 0
x3 X13	70.0000 + 1.0000 d2 - d3 >= 0
x4 X14	97.0000 + 1.0000 d2 - d4 >= 0
x5 X15	20.0000 + 1.0000 d2 - d5 >= 0
x6 X16	83.0000 + 1.0000 d2 - d6 >= 0
x7 X17	106.0000 + 1.0000 d2 - d7 >= 0
x8 X18	46.0000 + 1.0000 d2 - d8 >= 0
x9 X19	132.0000 + 1.0000 d2 - d9 >= 0
x10 X110	121.0000 + 1.0000 d2 - d10 >= 0
x11 X111	79.0000 + 1.0000 d2 - d11 >= 0
x12 X112	153.0000 + 1.0000 d2 - d12 >= 0
x13 X21	93.0000 + 1.0000 d14 - d13 >= 0
x15 X23	68.0000 + 1.0000 d14 - d15 >= 0
x16 X24	94.0000 + 1.0000 d14 - d16 >= 0
x17 X25	16.0000 + 1.0000 d14 - d17 >= 0
x18 X26	77.0000 + 1.0000 d14 - d18 >= 0
x19 X27	105.0000 + 1.0000 d14 - d19 >= 0
x20 X28	44.0000 + 1.0000 d14 - d20 >= 0
x21 X29	98.0000 + 1.0000 d14 - d21 >= 0
x22 X210	122.0000 + 1.0000 d14 - d22 >= 0
x23 X211	79.0000 + 1.0000 d14 - d23 >= 0
x24 X212	126.0000 + 1.0000 d14 - d24 >= 0
x25 X31	105.0000 + 1.0000 d32 - d25 >= 0
x26 X32	30.0000 + 1.0000 d32 - d26 >= 0
x27 X33	93.0000 + 1.0000 d32 - d27 >= 0
x28 X34	164.0000 + 1.0000 d32 - d28 >= 0
x29 X35	106.0000 + 1.0000 d32 - d29 >= 0
x30 X36	162.0000 + 1.0000 d32 - d30 >= 0

x31	X37	176.0000	+	1.0000	d32	-	d31	>=	0
x33	X39	185.0000	+	1.0000	d32	-	d33	>=	0
x34	X310	205.0000	+	1.0000	d32	-	d34	>=	0
x35	X311	161.0000	+	1.0000	d32	-	d35	>=	0
x36	X312	207.0000	+	1.0000	d32	-	d36	>=	0
x37	X41	56.0000	+	1.0000	d38	-	d37	>=	0
x39	X43	58.0000	+	1.0000	d38	-	d39	>=	0
x40	X44	68.0000	+	1.0000	d38	-	d40	>=	0
x41	X45	30.0000	+	1.0000	d38	-	d41	>=	0
x42	X46	72.0000	+	1.0000	d38	-	d42	>=	0
x43	X47	95.0000	+	1.0000	d38	-	d43	>=	0
x44	X48	53.0000	+	1.0000	d38	-	d44	>=	0
x45	X49	100.0000	+	1.0000	d38	-	d45	>=	0
x46	X410	288.0000	+	1.0000	d38	-	d46	>=	0
x47	X411	225.0000	+	1.0000	d38	-	d47	>=	0
x48	X412	252.0000	+	1.0000	d38	-	d48	>=	0
x49	X413	242.0000	+	1.0000	d38	-	d49	>=	0
x50	X414	192.0000	+	1.0000	d38	-	d50	>=	0
x51	X415	213.0000	+	1.0000	d38	-	d51	>=	0

Right-hand Side Ranging -- Simultaneous Changes D:

Basic Var	Value/Feasibility	Condition
x2	X12	22.0000 + 1.0000 D1 >= 0
x14	X22	26.0000 + 1.0000 D2 >= 0
x32	X38	23.0000 + 1.0000 D3 >= 0
x38	X42	17.0000 + 1.0000 D4 >= 0

End of Solution Summary



Sistema de optimización iterativo bajo el esquema de Rendimiento Sostenido  
Ej. La Purísima.

Title: EJ. LA PURISIMA. REND. SOST.

	X11 x1	X12 x2	X13 x3	X14 x4	X15 x5	X16 x6	X21 x7
max	174	39	41	38	35	30	134
Constraint 1:	174	-39	0	0	0	0	134
Constraint 2:	0	39	-41	0	0	0	0
Constraint 3:	0	0	41	-38	0	0	0
Constraint 4:	0	0	0	38	-35	0	0
Constraint 5:	0	0	0	0	35	-30	0
Constraint 6:	1	0	0	0	0	0	0
Constraint 7:	0	1	0	0	0	0	0
Constraint 8:	0	0	1	0	0	0	0
Constraint 9:	0	0	0	1	0	0	0
Constraint10:	0	0	0	0	1	0	0
Constraint11:	0	0	0	0	0	1	0
Constraint12:	0	0	0	0	0	0	1
Constraint13:	0	0	0	0	0	0	0
Constraint14:	0	0	0	0	0	0	0
Constraint15:	0	0	0	0	0	0	0
Constraint16:	0	0	0	0	0	0	0
Constraint17:	0	0	0	0	0	0	0
Constraint18:	0	0	0	0	0	0	0
Constraint19:	0	0	0	0	0	0	0
Constraint20:	0	0	0	0	0	0	0
Constraint21:	0	0	0	0	0	0	0
Constraint22:	0	0	0	0	0	0	0
Constraint23:	0	0	0	0	0	0	0
Constraint24:	0	0	0	0	0	0	0

	X22 x8	X23 x9	X24 x10	X25 x11	X26 x12	X34 x13	X35 x14
max	34	41	38	35	30	136	59
Constraint 1:	-34	0	0	0	0	0	0
Constraint 2:	34	-41	0	0	0	0	0
Constraint 3:	0	41	-38	0	0	-136	0
Constraint 4:	0	0	38	-35	0	136	-59
Constraint 5:	0	0	0	35	-30	0	59
Constraint 6:	0	0	0	0	0	0	0
Constraint 7:	0	0	0	0	0	0	0

Constraint 8:	0	0	0	0	0	0	0
Constraint 9:	0	0	0	0	0	0	0
Constraint10:	0	0	0	0	0	0	0
Constraint11:	0	0	0	0	0	0	0
Constraint12:	0	0	0	0	0	0	0
Constraint13:	1	0	0	0	0	0	0
Constraint14:	0	1	0	0	0	0	0
Constraint15:	0	0	1	0	0	0	0
Constraint16:	0	0	0	1	0	0	0
Constraint17:	0	0	0	0	1	0	0
Constraint18:	0	0	0	0	0	1	0
Constraint19:	0	0	0	0	0	0	1
Constraint20:	0	0	0	0	0	0	0
Constraint21:	0	0	0	0	0	0	0
Constraint22:	0	0	0	0	0	0	0
Constraint23:	0	0	0	0	0	0	0
Constraint24:	0	0	0	0	0	0	0

---

	X36 x15	X43 x16	X44 x17	X45 x18	X46 x19		RHS
max	41	103	36	41	38		
Constraint 1:	0	0	0	0	0	=	0
Constraint 2:	0	-103	0	0	0	=	0
Constraint 3:	0	103	-36	0	0	=	0
Constraint 4:	0	0	39	-41	0	=	0
Constraint 5:	-41	0	0	41	38	=	0
Constraint 6:	0	0	0	0	0	<=	22
Constraint 7:	0	0	0	0	0	<=	22
Constraint 8:	0	0	0	0	0	<=	22
Constraint 9:	0	0	0	0	0	<=	22
Constraint10:	0	0	0	0	0	<=	22
Constraint11:	0	0	0	0	0	<=	22
Constraint12:	0	0	0	0	0	<=	22
Constraint13:	0	0	0	0	0	<=	26
Constraint14:	0	0	0	0	0	<=	26
Constraint15:	0	0	0	0	0	<=	26
Constraint16:	0	0	0	0	0	<=	26
Constraint17:	0	0	0	0	0	<=	26
Constraint18:	0	0	0	0	0	<=	26
Constraint19:	0	0	0	0	0	<=	23
Constraint20:	1	0	0	0	0	<=	23
Constraint21:	0	1	0	0	0	<=	17
Constraint22:	0	0	1	0	0	<=	17
Constraint23:	0	0	0	1	0	<=	17
Constraint24:	0	0	0	0	1	<=	17

---

\*\*\* OPTIMUM SOLUTION SUMMARY \*\*\*

-----  
 Title: EJ. LA PURISIMA. REND. SOST.  
 Final iteration No: 13  
 Objective value (max) =10554.0000  
 ==> ALTERNATIVE solution detected at x3  
 -----

Variable	Value	Obj Coeff	Obj Val Contrib	Reduced Cost
x1 X11	10.0115	174.0000	1742.0001	0.0000
x2 X12	22.0000	39.0000	858.0000	0.0000
x3 X13	0.0000	41.0000	0.0000	0.0000
x4 X14	0.0000	38.0000	0.0000	0.0000
x5 X15	0.0000	35.0000	0.0000	0.0000
x6 X16	6.8000	30.0000	204.0001	0.0000
x7 X21	0.0000	134.0000	0.0000	0.0000
x8 X22	26.0000	34.0000	884.0000	0.0000
x9 X23	0.0000	41.0000	0.0000	0.0000
x10 X24	0.0000	38.0000	0.0000	0.0000
x11 X25	0.0000	35.0000	0.0000	0.0000
x12 X26	0.0000	30.0000	0.0000	0.0000
x13 X34	8.3088	136.0000	1130.0001	0.0000
x14 X35	18.5763	59.0000	1096.0001	0.0000
x15 X36	23.0000	41.0000	943.0000	0.0000
x16 X43	16.9126	103.0000	1742.0001	0.0000
x17 X44	17.0000	36.0000	612.0000	0.0000
x18 X45	17.0000	41.0000	697.0000	0.0000
x19 X46	17.0000	38.0000	646.0000	0.0000

Constraint	RHS	Slack (-)/Surplus (+)	Dual Price
1 (=)	0.0000	0.0000	1.0000
2 (=)	0.0000	0.0000	-4.0000
3 (=)	0.0000	0.0000	-3.0000
4 (=)	0.0000	0.0000	-2.0000
5 (=)	0.0000	0.0000	-1.0000
6 (<)	22.0000	11.9885-	0.0000
7 (<)	22.0000	0.0000-	234.0000
8 (<)	22.0000	22.0000-	0.0000
9 (<)	22.0000	22.0000-	0.0000
10 (<)	22.0000	22.0000-	0.0000
11 (<)	22.0000	15.2000-	0.0000
12 (<)	26.0000	26.0000-	0.0000
13 (<)	26.0000	0.0000-	204.0000
14 (<)	26.0000	26.0000-	0.0000
15 (<)	26.0000	26.0000-	0.0000
16 (<)	26.0000	26.0000-	0.0000
17 (<)	26.0000	26.0000-	0.0000
18 (<)	23.0000	14.6912-	0.0000
19 (<)	23.0000	4.4237-	0.0000
20 (<)	23.0000	0.0000-	0.0000
21 (<)	17.0000	0.0874-	0.0000
22 (<)	17.0000	0.0000-	6.0000
23 (<)	17.0000	0.0000-	0.0000
24 (<)	17.0000	0.0000-	0.0000

\*\*\* SENSITIVITY ANALYSIS \*\*\*

Objective coefficients -- Single Changes:

==> DEGENERATE or ALTERNATE optimum. Ranges may not be unique

Variable	Current Coeff	Min Coeff	Max Coeff	Reduced Cost
x1 X11	174.0000	174.0000	infinity	0.0000
x2 X12	39.0000	-195.0000	infinity	0.0000
x3 X13	41.0000	-infinity	41.0000	0.0000
x4 X14	38.0000	-infinity	38.0000	0.0000
x5 X15	35.0000	-infinity	35.0000	0.0000
x6 X16	30.0000	30.0000	30.0000	0.0000
x7 X21	134.0000	-infinity	134.0000	0.0000
x8 X22	34.0000	-170.0000	infinity	0.0000
x9 X23	41.0000	-infinity	41.0000	0.0000
x10 X24	38.0000	-infinity	38.0000	0.0000
x11 X25	35.0000	-infinity	35.0000	0.0000
x12 X26	30.0000	-infinity	30.0000	0.0000
x13 X34	136.0000	136.0000	158.6666	0.0000
x14 X35	59.0000	59.0000	59.0000	0.0000
x15 X36	41.0000	41.0000	infinity	0.0000
x16 X43	103.0000	103.0000	infinity	0.0000
x17 X44	36.0000	30.0000	infinity	0.0000
x18 X45	41.0000	41.0000	infinity	0.0000
x19 X46	38.0000	38.0000	infinity	0.0000

Right-hand Side -- Single Changes:

==> DEGENERATE or ALTERNATE optimum. Ranges may not be unique

Constraint	Current RHS	Min RHS	Max RHS	Dual Price
1 (=)	0.0000	-1742.0001	2086.0000	1.0000
2 (=)	0.0000	-8.9998	204.0001	-4.0000
3 (=)	0.0000	-260.9999	204.0001	-3.0000
4 (=)	0.0000	-260.9999	204.0001	-2.0000
5 (=)	0.0000	-455.9999	204.0001	-1.0000
6 (<)	22.0000	10.0115	infinity	0.0000
7 (<)	22.0000	16.7692	22.2308	234.0000
8 (<)	22.0000	0.0000	infinity	0.0000
9 (<)	22.0000	0.0000	infinity	0.0000
10 (<)	22.0000	0.0000	infinity	0.0000
11 (<)	22.0000	6.8000	infinity	0.0000
12 (<)	26.0000	0.0000	infinity	0.0000
13 (<)	26.0000	20.0000	26.2647	204.0000
14 (<)	26.0000	0.0000	infinity	0.0000
15 (<)	26.0000	0.0000	infinity	0.0000
16 (<)	26.0000	0.0000	infinity	0.0000
17 (<)	26.0000	0.0000	infinity	0.0000
18 (<)	23.0000	8.3088	infinity	0.0000
19 (<)	23.0000	18.5763	infinity	0.0000
20 (<)	23.0000	11.8781	27.9756	0.0000
21 (<)	17.0000	16.9126	infinity	0.0000
22 (<)	17.0000	0.0000	48.3889	6.0000
23 (<)	17.0000	10.6341	43.7317	0.0000

24 (&lt;)

17.0000

5.0000

22.3684

0.0000

## Objective Coefficients -- Simultaneous Changes d:

-----  
Nonbasic Var    Optimality Condition  
-----

x3 X13	0.0000 +	0.3981 d16 - d3	>= 0
x4 X14	0.0000 +	0.2794 d13 - d4	>= 0
x5 X15	0.0000 +	0.5932 d14 - d5	>= 0
x7 X21	0.0000 +	0.7701 d1 - d7	>= 0
x9 X23	0.0000 +	0.3981 d16 - d9	>= 0
x10 X24	0.0000 +	0.2794 d13 - d10	>= 0
x11 X25	0.0000 +	0.5932 d14 - d11	>= 0
x12 X26	0.0000 +	1.0000 d6 - d12	>= 0
sx26	234.0000 +	0.2241 d1 + 1.0000 d2 + 0.3786 d16	
	+ 0.2868 d13 + 0.6610 d14 + 1.3000 d6		>= 0
sx32	204.0000 +	0.1954 d1 + 0.3301 d16 + 0.2500 d13	
	+ 0.5763 d14 + 1.1333 d6 + 1.0000 d8		>= 0
sx39	0.0000 +	1.0000 d15 + -1.3667 d6	>= 0
sx41	6.0000 +	-0.2647 d13 + 0.0508 d14 + 0.1000 d6	
	+ 1.0000 d17		>= 0
sx42	0.0000 +	-0.6949 d14 + 1.0000 d18	>= 0
sx43	0.0000 +	-1.2667 d6 + 1.0000 d19	>= 0

## Right-hand Side Ranging -- Simultaneous Changes D:

-----  
Basic Var    Value/Feasibility Condition  
-----

x1 X11	10.0115 +	0.0057 D1 + 0.2241 D7 + 0.1954 D13	
			>= 0
x2 X12	22.0000 +	1.0000 D7	>= 0
x16 X43	16.9126 +	-0.0097 D2 + 0.3786 D7 + 0.3301 D13	
			>= 0
x13 X34	8.3088 +	-0.0074 D2 + -0.0074 D3 + 0.2868 D7	
	+ 0.2500 D13 + -0.2647 D22		>= 0
x14 X35	18.5763 +	-0.0169 D2 + -0.0169 D3 + -0.0169 D4	
	+ 0.6610 D7 + 0.5763 D13 + 0.0508 D22		>= 0
x25	11.9885 +	-0.0057 D1 + 1.0000 D6 + -0.2241 D7	
	+ -0.1954 D13		>= 0
x15 X36	23.0000 +	1.0000 D20	>= 0
x27	22.0000 +	1.0000 D8	>= 0
x28	22.0000 +	1.0000 D9	>= 0
x29	22.0000 +	1.0000 D10	>= 0
x30	15.2000 +	0.0333 D2 + 0.0333 D3 + 0.0333 D4	
	+ 0.0333 D5 + -1.3000 D7 + 1.0000 D11		
	+ -1.1333 D13 + 1.3667 D20 + -0.1000 D22		
	+ 1.2667 D24		>= 0
x31	26.0000 +	1.0000 D12	>= 0
x6 X16	6.8000 +	-0.0333 D2 + -0.0333 D3 + -0.0333 D4	
	+ -0.0333 D5 + 1.3000 D7 + 1.1333 D13		
	+ -1.3667 D20 + 0.1000 D22 + -1.2667 D24		
			>= 0
x33	26.0000 +	1.0000 D14	>= 0

x34	26.0000 +	1.0000 D15	>=	0
x35	26.0000 +	1.0000 D16	>=	0
x36	26.0000 +	1.0000 D17	>=	0
x37	14.6912 +	0.0074 D2 +	0.0074 D3 +	-0.2868 D7
	+ -0.2500 D13 +	1.0000 D18 +	0.2647 D22	
	>= 0			
x19 X46	17.0000 +	1.0000 D24	>=	0
x8 X22	26.0000 +	1.0000 D13	>=	0
x40	0.0874 +	0.0097 D2 +	-0.3786 D7 +	-0.3301 D13
	+ 1.0000 D21	>=	0	
x17 X44	17.0000 +	1.0000 D22	>=	0
x38	4.4237 +	0.0169 D2 +	0.0169 D3 +	0.0169 D4
	+ -0.6610 D7 +	-0.5763 D13 +	1.0000 D19	
	+ -0.0508 D22 +	0.6949 D23	>=	0
x18 X45	17.0000 +	1.0000 D23	>=	0

End of Solution Summary

Proceso iterativo de programación lineal bajo el esquema 6p Rendimiento  
Sostenido. Ej La Purísima

Title: EJ. LA PURISIMA 6P REND. SOST.

	X111 x1	X112 x2	X113 x3	X114 x4	X115 x5	X116 x6	X122 x7
max	174	39	41	38	35	30	181
Constraint 1:	174	-39	0	0	0	0	-122
Constraint 2:	0	39	-41	0	0	0	181
Constraint 3:	0	0	41	-38	0	0	0
Constraint 4:	0	0	0	38	-35	0	0
Constraint 5:	0	0	0	0	35	-30	0
Constraint 6:	1	0	0	0	0	0	0
Constraint 7:	0	1	0	0	0	0	1
Constraint 8:	0	0	1	0	0	0	0
Constraint 9:	0	0	0	1	0	0	0
Constraint10:	0	0	0	0	1	0	0
Constraint11:	0	0	0	0	0	1	0
Constraint12:	0	0	0	0	0	0	0
Constraint13:	0	0	0	0	0	0	0
Constraint14:	0	0	0	0	0	0	0
Constraint15:	0	0	0	0	0	0	0
Constraint16:	0	0	0	0	0	0	0
Constraint17:	0	0	0	0	0	0	0
Constraint18:	0	0	0	0	0	0	0
Constraint19:	0	0	0	0	0	0	0
Constraint20:	0	0	0	0	0	0	0
Constraint21:	0	0	0	0	0	0	0
Constraint22:	0	0	0	0	0	0	0
Constraint23:	0	0	0	0	0	0	0
Constraint24:	0	0	0	0	0	0	0
Constraint25:	0	0	0	0	0	0	0
Constraint26:	0	0	0	0	0	0	0

	X123 x8	X124 x9	X125 x10	X126 x11	X211 x12	X212 x13	X213 x14
max	47	41	38	35	134	34	41
Constraint 1:	0	0	0	0	134	-34	0
Constraint 2:	-47	0	0	0	0	34	-41
Constraint 3:	47	-41	0	0	0	0	41
Constraint 4:	0	41	-38	0	0	0	0
Constraint 5:	0	0	38	-35	0	0	0





	X226 x22	X312 x23	X313 x24	X314 x25	X315 x26	X316 x27	X324 x28
max	35	132	28	41	38	35	136
Constraint 1:	0	-132	0	0	0	0	0
Constraint 2:	0	132	-28	0	0	0	0
Constraint 3:	0	0	28	-41	0	0	-136
Constraint 4:	0	0	0	41	-38	0	136
Constraint 5:	-35	0	0	0	38	-35	0
Constraint 6:	0	0	0	0	0	0	0
Constraint 7:	0	0	0	0	0	0	0
Constraint 8:	0	0	0	0	0	0	0
Constraint 9:	0	0	0	0	0	0	0
Constraint10:	0	0	0	0	0	0	0
Constraint11:	0	0	0	0	0	0	0
Constraint12:	0	0	0	0	0	0	0
Constraint13:	0	0	0	0	0	0	0
Constraint14:	0	0	0	0	0	0	0
Constraint15:	0	0	0	0	0	0	0
Constraint16:	0	0	0	0	0	0	0
Constraint17:	1	0	0	0	0	0	0
Constraint18:	0	1	0	0	0	0	0
Constraint19:	0	0	1	0	0	0	0
Constraint20:	0	0	0	1	0	0	1
Constraint21:	0	0	0	0	1	0	0
Constraint22:	0	0	0	0	0	1	0
Constraint23:	0	0	0	0	0	0	0
Constraint24:	0	0	0	0	0	0	0
Constraint25:	0	0	0	0	0	0	0
Constraint26:	0	0	0	0	0	0	0

	X325 x29	X326 x30	X413 x31	X414 x32	X415 x33	X416 x34	X425 x35
max	59	41	103	36	41	38	105
Constraint 1:	0	0	0	0	0	0	0
Constraint 2:	0	0	-103	0	0	0	0
Constraint 3:	0	0	103	-36	0	0	0
Constraint 4:	-59	0	0	36	-41	0	-105
Constraint 5:	59	-41	0	0	41	-38	105
Constraint 6:	0	0	0	0	0	0	0
Constraint 7:	0	0	0	0	0	0	0
Constraint 8:	0	0	0	0	0	0	0
Constraint 9:	0	0	0	0	0	0	0
Constraint10:	0	0	0	0	0	0	0
Constraint11:	0	0	0	0	0	0	0
Constraint12:	0	0	0	0	0	0	0
Constraint13:	0	0	0	0	0	0	0
Constraint14:	0	0	0	0	0	0	0

Constraint15:	0	0	0	0	0	0	0
Constraint16:	0	0	0	0	0	0	0
Constraint17:	0	0	0	0	0	0	0
Constraint18:	0	0	0	0	0	0	0
Constraint19:	0	0	0	0	0	0	0
Constraint20:	0	0	0	0	0	0	0
Constraint21:	1	0	0	0	0	0	0
Constraint22:	0	1	0	0	0	0	0
Constraint23:	0	0	1	0	0	0	0
Constraint24:	0	0	0	1	0	0	0
Constraint25:	0	0	0	0	1	0	1
Constraint26:	0	0	0	0	0	1	0

---

	X426 x36		RHS
max	54		
Constraint 1:	0	=	0
Constraint 2:	0	=	0
Constraint 3:	0	=	0
Constraint 4:	0	=	0
Constraint 5:	-54	=	0
Constraint 6:	0	<=	22
Constraint 7:	0	<=	22
Constraint 8:	0	<=	22
Constraint 9:	0	<=	22
Constraint10:	0	<=	22
Constraint11:	0	<=	22
Constraint12:	0	<=	26
Constraint13:	0	<=	26
Constraint14:	0	<=	26
Constraint15:	0	<=	26
Constraint16:	0	<=	26
Constraint17:	0	<=	26
Constraint18:	0	<=	23
Constraint19:	0	<=	23
Constraint20:	0	<=	23
Constraint21:	0	<=	23
Constraint22:	0	<=	23
Constraint23:	0	<=	17
Constraint24:	0	<=	17
Constraint25:	0	<=	17
Constraint26:	1	<=	17

---

\*\*\* OPTIMUM SOLUTION SUMMARY \*\*\*

-----  
 Title: EJ. LA PURISIMA 6P REND. SOST.  
 Final iteration No: 23  
 Objective value (max) =21246.0000  
 ==> ALTERNATIVE solution detected at x2  
 -----

Variable	Value	Obj Coeff	Obj Val Contrib	Reduced Cost
x1 X111	20.3506	174.0000	3541.0000	0.0000
x2 X112	0.0000	39.0000	0.0000	0.0000
x3 X113	0.0000	41.0000	0.0000	0.0000
x4 X114	0.0000	38.0000	0.0000	0.0000
x5 X115	0.0000	35.0000	0.0000	0.0000
x6 X116	0.0000	30.0000	0.0000	30.0000
x7 X122	0.0000	181.0000	0.0000	59.0000
x8 X123	22.0000	47.0000	1034.0000	0.0000
x9 X124	22.0000	41.0000	902.0000	0.0000
x10 X125	22.0000	38.0000	836.0000	0.0000
x11 X126	22.0000	35.0000	770.0000	0.0000
x12 X211	0.0000	134.0000	0.0000	0.0000
x13 X212	0.0000	34.0000	0.0000	0.0000
x14 X213	26.0000	41.0000	1066.0001	0.0000
x15 X214	0.0000	38.0000	0.0000	0.0000
x16 X215	0.0000	35.0000	0.0000	0.0000
x17 X216	0.0000	30.0000	0.0000	30.0000
x18 X222	25.1135	141.0000	3540.9998	0.0000
x19 X223	0.0000	46.0000	0.0000	0.0000
x20 X224	4.0000	41.0000	164.0000	0.0000
x21 X225	26.0000	38.0000	988.0000	0.0000
x22 X226	26.0000	35.0000	910.0000	0.0000
x23 X312	0.0000	132.0000	0.0000	0.0000
x24 X313	23.0000	28.0000	644.0000	0.0000
x25 X314	6.8737	41.0000	281.8210	0.0000
x26 X315	0.0000	38.0000	0.0000	0.0000
x27 X316	0.0000	35.0000	0.0000	36.0000
x28 X324	16.1263	136.0000	2193.1790	0.0000
x29 X325	23.0000	59.0000	1357.0000	0.0000
x30 X326	23.0000	41.0000	943.0000	0.0000
x31 X413	7.7379	103.0000	797.0004	0.0000
x32 X414	0.0000	36.0000	0.0000	0.0000
x33 X415	0.0000	41.0000	0.0000	0.0000
x34 X416	0.0000	38.0000	0.0000	96.0000
x35 X425	3.4286	105.0000	360.0002	0.0000
x36 X426	17.0000	54.0000	918.0000	0.0000

Constraint	RHS	Slack(-)/Surplus(+)	Dual Price
1 (=)	0.0000	0.0000	1.0000
2 (=)	0.0000	0.0000	2.0000
3 (=)	0.0000	0.0000	3.0000
4 (=)	0.0000	0.0000	4.0000
5 (=)	0.0000	0.0000	5.0000
6 (<)	22.0000	1.6494-	0.0000
7 (<)	22.0000	22.0000-	0.0000

8 (<)	22.0000	0.0000-	0.0000
9 (<)	22.0000	0.0000-	0.0000
10 (<)	22.0000	0.0000-	0.0000
11 (<)	22.0000	0.0000-	210.0000
12 (<)	26.0000	26.0000-	0.0000
13 (<)	26.0000	0.8865-	0.0000
14 (<)	26.0000	0.0000-	0.0000
15 (<)	26.0000	0.0000-	0.0000
16 (<)	26.0000	0.0000-	0.0000
17 (<)	26.0000	0.0000-	210.0000
18 (<)	23.0000	23.0000-	0.0000
19 (<)	23.0000	0.0000-	0.0000
20 (<)	23.0000	0.0000-	0.0001
21 (<)	23.0000	0.0000-	0.0000
22 (<)	23.0000	0.0000-	245.9999
23 (<)	17.0000	9.2621-	0.0000
24 (<)	17.0000	17.0000-	0.0000
25 (<)	17.0000	13.5714-	0.0000
26 (<)	17.0000	0.0000-	323.9999

\*\*\* SENSITIVITY ANALYSIS \*\*\*

Objective coefficients -- Single Changes:

==> DEGENERATE or ALTERNATE optimum. Ranges may not be unique

Variable	Current Coeff	Min Coeff	Max Coeff	Reduced Cost
x1 X111	174.0000	174.0000	infinity	0.0000
x2 X112	39.0000	-infinity	39.0000	0.0000
x3 X113	41.0000	-infinity	41.0000	0.0000
x4 X114	38.0000	-infinity	38.0000	0.0000
x5 X115	35.0000	-infinity	35.0000	0.0000
x6 X116	30.0000	-infinity	60.0000	30.0000
x7 X122	181.0000	-infinity	240.0000	59.0000
x8 X123	47.0000	47.0000	infinity	0.0000
x9 X124	41.0000	41.0000	infinity	0.0000
x10 X125	38.0000	38.0000	infinity	0.0000
x11 X126	35.0000	5.0000	infinity	0.0000
x12 X211	134.0000	-infinity	134.0000	0.0000
x13 X212	34.0000	-infinity	34.0000	0.0000
x14 X213	41.0000	41.0000	infinity	0.0000
x15 X214	38.0000	-infinity	38.0000	0.0000
x16 X215	35.0000	-infinity	35.0000	0.0000
x17 X216	30.0000	-infinity	60.0000	30.0000
x18 X222	141.0000	141.0000	infinity	0.0000
x19 X223	46.0000	-infinity	46.0000	0.0000
x20 X224	41.0000	41.0000	41.0000	0.0000
x21 X225	38.0000	38.0000	infinity	0.0000
x22 X226	35.0000	5.0000	infinity	0.0000
x23 X312	132.0000	-infinity	132.0000	0.0000
x24 X313	28.0000	28.0000	infinity	0.0000
x25 X314	41.0000	41.0000	41.0000	0.0000
x26 X315	38.0000	-infinity	38.0000	0.0000
x27 X316	35.0000	-infinity	71.0000	36.0000
x28 X324	136.0000	136.0000	136.0000	0.0000
x29 X325	59.0000	59.0000	infinity	0.0000
x30 X326	41.0000	5.0000	infinity	0.0000
x31 X413	103.0000	102.9996	103.0000	0.0000

x32 X414	36.0000	-infinity	36.0000	0.0000
x33 X415	41.0000	-infinity	41.0001	0.0001
x34 X416	38.0000	-infinity	134.0000	96.0000
x35 X425	105.0000	104.9999	105.0000	0.0000
x36 X426	54.0000	-42.0000	infinity	0.0000

Right-hand Side -- Single Changes:

==> DEGENERATE or ALTERNATE optimum. Ranges may not be unique

Constraint	Current RHS	Min RHS	Max RHS	Dual Pric
1 (=)	0.0000	-3541.0000	286.9998	1.000
2 (=)	0.0000	-3540.9998	125.0002	2.000
3 (=)	0.0000	-797.0004	125.0002	3.000
4 (=)	0.0000	-797.0004	125.0002	4.000
5 (=)	0.0000	360.0002	125.0002	5.000
6 (<)	22.0000	20.3506	infinity	0.000
7 (<)	22.0000	0.0000	infinity	0.000
8 (<)	22.0000	1.7021	38.9575	0.000
9 (<)	22.0000	0.0000	26.0000	0.000
10 (<)	22.0000	0.0000	31.4737	0.00
11 (<)	22.0000	11.7143	25.5714	210.00
12 (<)	26.0000	0.0000	infinity	0.00
13 (<)	26.0000	25.1135	infinity	0.00
14 (<)	26.0000	2.7317	45.4390	0.00
15 (<)	26.0000	22.0000	63.3659	0.00
16 (<)	26.0000	0.0000	35.4737	0.00
17 (<)	26.0000	15.7143	29.5714	210.00
18 (<)	23.0000	0.0000	infinity	0.00
19 (<)	23.0000	0.0000	51.4643	0.00
20 (<)	23.0000	18.1985	60.3659	0.00
21 (<)	23.0000	0.0000	29.1017	0.00
22 (<)	23.0000	14.2195	26.0488	245.99
23 (<)	17.0000	7.7379	infinity	0.00
24 (<)	17.0000	0.0000	infinity	0.00
25 (<)	17.0000	3.4286	infinity	0.00
26 (<)	17.0000	10.3333	19.3148	323.99

Objective Coefficients -- Simultaneous Changes d:

Nonbasic Var Optimality Condition

x2 X112	0.0000 +	0.2766 d18 - d2	>= 0
x3 X113	0.0000 +	-0.0583 d31 +	1.0000 d8 - d3 >= 0
x4 X114	0.0000 +	0.4000 d28 +	-0.4000 d25 + -1.0000 d20
		+ 1.0000 d9 - d4	>= 0
x5 X115	0.0000 +	-0.0286 d35 +	1.0000 d10 - d5 >= 0
x6 X116	30.0000 +	0.0287 d1 +	0.0355 d18 + 0.0485 d31
		+ 0.0526 d28 +	0.0476 d35 + -0.0526 d25
		+ 1.0000 d11 - d6	>= 0
x7 X122	59.0000 +	0.3391 d1 +	1.2837 d18 - d7 >= 0
x12 X211	0.0000 +	0.7701 d1 - d12	>= 0
x13 X212	0.0000 +	0.2411 d18 - d13	>= 0
x15 X214	0.0000 +	-0.0316 d28 +	0.0316 d25 + 1.0000 d2
		- d15	>= 0
x16 X215	0.0000 +	-0.0286 d35 +	1.0000 d21 - d16 >= 0

```

x17 X216      30.0000 +      0.0287 d1 +      0.0355 d18 +      0.0485 d31
              +      0.0526 d28 +      0.0476 d35 +      1.0000 d22
              +      -0.0526 d25 - d17 >= 0
x19 X223      0.0000 +      0.0485 d31 +      1.0000 d14 - d19 >= 0
x23 X312      0.0000 +      0.9362 d18 - d23 >= 0
x26 X315      0.0000 +      -0.2000 d35 +      1.0000 d29 - d26 >= 0
x27 X316      36.0000 +      0.0345 d1 +      0.0426 d18 +      0.0583 d31
              +      0.0632 d28 +      0.0571 d35 +      -0.0632 d25
              +      1.0000 d30 - d27 >= 0
x32 X414      0.0000 +      0.3789 d28 +      -0.3789 d25 - d32 >= 0
x33 X415      0.0001 +      0.3905 d35 - d33 >= 0
x34 X416      96.0000 +      0.0920 d1 +      0.1135 d18 +      0.1553 d31
              +      0.1684 d28 +      0.1524 d35 +      0.1684 d25
              +      1.0000 d36 - d34 >= 0
sx44          0.0000 +      -0.4563 d31 +      1.0000 d8 >= 0
sx45          0.0000 +      -1.0000 d20 +      1.0000 d9 >= 0
sx46          0.0000 +      0.3619 d35 +      1.0000 d10 >= 0
sx47          210.0000 +      0.2011 d1 +      0.2482 d18 +      0.3398 d3
              +      0.3684 d28 +      0.3333 d35 +      -0.3684 d25
              +      1.0000 d11 >= 0
sx50          0.0000 +      -0.3981 d31 +      1.0000 d14 >= 0
sx51          0.0000 +      -0.4316 d28 +      0.4316 d25 +      1.0000 d
              >= 0
sx52          0.0000 +      -0.3619 d35 +      1.0000 d21 >= 0
sx53          210.0000 +      0.2011 d1 +      0.2482 d18 +      0.3398 d3
              +      0.3684 d28 +      0.3333 d35 +      1.0000 d22
              +      -0.3684 d25 >= 0
sx55          0.0000 +      -0.2718 d31 +      1.0000 d24 >= 0
sx56          0.0001 +      -0.4316 d28 +      1.4316 d25 >= 0
sx57          0.0000 +      -0.5619 d35 +      1.0000 d29 >= 0
sx58          245.9999 +      0.2356 d1 +      0.2908 d18 +      0.3981 d3
              +      0.4316 d28 +      0.3905 d35 +      -0.4316 d25
              +      1.0000 d30 >= 0
sx62          323.9999 +      0.3103 d1 +      0.3830 d18 +      0.5243 d3
              +      0.5684 d28 +      0.5143 d35 +      -0.5684 d25
              +      1.0000 d36 >= 0

```

Right-hand Side Ranging -- Simultaneous Changes D:

```

-----
Basic Var      Value/Feasibility Condition
-----
x1 X111        20.3506 +      0.0057 D1 +      0.0057 D2 +      0.0057 D3
              +      0.0057 D4 +      0.0057 D5 +      0.2011 D11
              +      0.2011 D17 +      0.2356 D22 +      0.3103 D26
              >= 0
x18 X222        25.1135 +      0.0071 D2 +      0.0071 D3 +      0.0071 D4
              +      0.0071 D5 +      0.2482 D11 +      0.2482 D17
              +      0.2908 D22 +      0.3830 D26 >= 0
x31 X413        7.7379 +      0.0097 D3 +      0.0097 D4 +      0.0097 D5
              +      -0.4563 D8 +      0.3398 D11 +      -0.3981 D14
              +      0.3398 D17 +      -0.2718 D19 +      0.3981 D22
              +      0.5243 D26 >= 0
x28 X324        16.1263 +      0.0105 D4 +      0.0105 D5 +      0.3684 D11
              +      -0.4316 D15 +      0.3684 D17 +      -0.4316 D20
              +      0.4316 D22 +      0.5684 D26 >= 0
x35 X425        3.4286 +      0.0095 D5 +      -0.3619 D10 +      0.3333 D11
              +      -0.3619 D16 +      0.3333 D17 +      -0.5619 D21
              +      0.3905 D22 +      0.5143 D26 >= 0

```

```

x42      1.6494 +      -0.0057 D1 +      -0.0057 D2 +      -0.0057 D3
+      -0.0057 D4 +      -0.0057 D5 +      1.0000 D6
+      -0.2011 D11 +      0.2011 D17 +      -0.2356 D22
+      -0.3103 D26 >= 0
x43      22.0000 +      1.0000 D7 >= 0
x22 X226 26.0000 +      1.0000 D17 >= 0
x25 X314  6.8737 +      -0.0105 D4 +      -0.0105 D5 +      -0.3684 D11
+      0.4316 D15 +      -0.3684 D17 +      1.4316 D20
+      -0.4316 D22 +      0.5684 D26 >= 0
x61      13.5714 +      -0.0095 D5 +      0.3619 D10 +      -0.3333 D11
+      0.3619 D16 +      -0.3333 D17 +      0.5619 D21
+      -0.3905 D22 +      1.0000 D25 +      -0.5143 D26
>= 0
x11 X126 22.0000 +      1.0000 D11 >= 0
x48      26.0000 +      1.0000 D12 >= 0
x49      0.8865 +      -0.0071 D2 +      -0.0071 D3 +      -0.0071 D4
+      -0.0071 D5 +      -0.2482 D11 +      1.0000 D13
+      -0.2482 D17 +      -0.2908 D22 +      -0.3830 D26
>= 0
x59      9.2621 +      -0.0097 D3 +      -0.0097 D4 +      -0.0097 D5
+      0.4563 D8 +      -0.3398 D11 +      0.3981 D14
+      -0.3398 D17 +      0.2718 D19 +      -0.3981 D22
+      1.0000 D23 +      -0.5243 D26 >= 0
x20 X224  4.0000 +      -1.0000 D9 +      1.0000 D15 >= 0
x21 X225 26.0000 +      1.0000 D16 >= 0
x10 X125 22.0000 +      1.0000 D10 >= 0
x54      23.0000 +      1.0000 D18 >= 0
x24 X313 23.0000 +      1.0000 D19 >= 0
x14 X213 26.0000 +      1.0000 D14 >= 0
x9 X124  22.0000 +      1.0000 D9 >= 0
x29 X325 23.0000 +      1.0000 D21 >= 0
x30 X326 23.0000 +      1.0000 D22 >= 0
x60      17.0000 +      1.0000 D24 >= 0
x8 X123  22.0000 +      1.0000 D8 >= 0
x36 X426 17.0000 +      1.0000 D26 >= 0

```

End of Solution Summary



