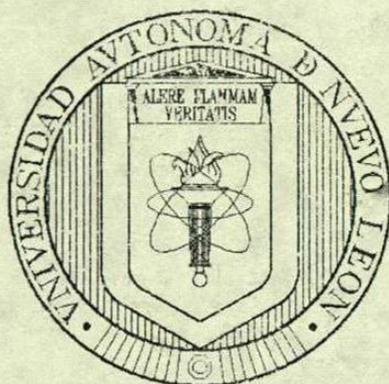


UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN

FACULTAD DE CIENCIAS FORESTALES

SUBDIRECCIÓN DE POSTGRADO



DESARROLLO DE UN MODELO DE PROGRAMACIÓN LINEAL PARA
EL MANEJO DE ECOSISTEMAS FORESTALES.

TESIS DE MAESTRÍA

PRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL PARA
OBTENER EL GRADO DE
MAESTRÍA EN CIENCIAS FORESTALES

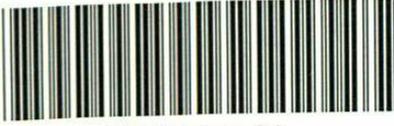
PRESENTA

SERGIO TALAVERA ROMERO

LINARES, NUEVO LEÓN

MARZO DE 2002

TM
Z59
FCF
200
.T3

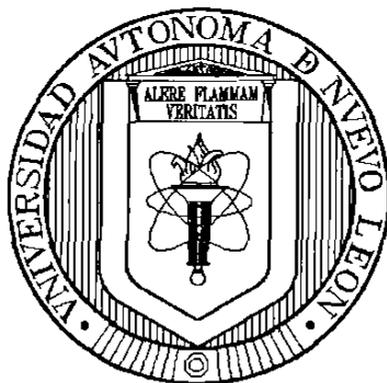


1020147491

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN

FACULTAD DE CIENCIAS FORESTALES

SUBDIRECCIÓN DE POSTGRADO



**DESARROLLO DE UN MODELO DE PROGRAMACIÓN LINEAL PARA
EL MANEJO DE ECOSISTEMAS FORESTALES.**

TESIS DE MAESTRÍA

**PRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL PARA
OBTENER EL GRADO DE
MAESTRÍA EN CIENCIAS FORESTALES**

PRESENTA

SERGIO TALAVERA ROMERO

LINARES, NUEVO LEÓN

MARZO DE 2002

m

TM
25991
FCF
2002
.T3



FONDO
TESIS

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN
FACULTAD DE CIENCIAS FORESTALES
SUBDIRECCIÓN DE POSTGRADO**

**Desarrollo de un modelo de programación lineal para el manejo de
ecosistemas forestales**

TESIS DE MAESTRIA

**PRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL
PARA OBTENER EL GRADO DE
MAESTRIA EN CIENCIAS FORESTALES**

PRESENTA

SERGIO TALAVERA ROMERO

COMITÉ DE TESIS



Dr. Oscar Alberto Aguirre Calderón

Presidente



Dr. Javier Jiménez Pérez

Secretario



Dr. Enrique Jurado Ybarra

Vocal

LINARES, NUEVO LEÓN

MARZO DE 2002

DEDICATORIA

AI DIOS VIVIENTE.

Porque ha estado, está y estará siempre en el fondo de mi corazón y mi mente, para darme la fe y fuerza necesaria para seguir adelante en la misión que me tiene encomendada, porque en los momentos en que había perdido por completo la autoestima y el deseo de vivir, apareció como una pequeña luz que poco a poco alimentó mi espíritu y mi alma, rescatándome y así llegar a cumplir una meta más en mi vida.

A MI MADRE LUZ Y A MI HERMANO JOSÉ

Primeramente a mi amada y querida madre que con amor le digo "Tambito", porque sus consejos constantes y de vez en cuando sus fuertes reprensiones hicieron que no desmayara en los momentos más conflictivos y difíciles de mi vida. A mi querido hermano José, que ocupó el lugar del padre ausente, que con la fuerza de su carácter mantuvo a la familia unida siendo su apoyo moral y económico los factores que determinaron éste gran logro.

A MIS DOS HIJAS,FAVIOLA Y SELENA

Por la compañía y amor que me brindaron en los breves momentos que tuve la oportunidad de compartir alegrías con ellas. Sus recuerdos inspiraron mi deseo de salir del ambiente rutinario y sin esperanza en la vida.

A MIS HERMANOS (AS)

Lupe, Raquel, Lourdes, Chela, Aidé, Alex, Mayela, Paty Monse y Hector: que estuvieron al pendiente de mis necesidades prioritarias

A LA SRA. ELISA LOZANO MARTÍNEZ

Por todo su apoyo, tiempo, cariño y comprensión en momentos críticos de enfermedad y por haber creado en mí, un ambiente de paz y tranquilidad necesarios para cumplir con este trabajo.

AGRADECIMIENTOS

A la Dirección General de Educación Tecnológica Agropecuaria (DGETA) por autorizarme la beca – sueldo indispensable para realizar estudios de maestría.

Al COSNET por el apoyo económico que hizo posible la terminación de este trabajo.

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACyT) por darme la oportunidad de realizar mis estudios de Maestría en Ciencias Forestales a través de una beca crédito y a los sistemas de INVESTIGACIÓN regionales (SIREYES) por el apoyo al proyecto 20000606002.

Al Dr. Oscar Aguirre Calderón por su amistad y amable disposición para dirigir este trabajo, por sus valiosas sugerencias que enriquecen el escrito final, gracias por brindarme incondicional apoyo.

Al Dr. Javier Jiménez Pérez por su amable colaboración, por su apoyo y sugerencias que hicieron posible la realización de este trabajo.

AL Dr. Enrique Jurado Ybarra por sus frases de apoyo para ver las cosas más fáciles y sencillas respecto a los estudios de maestría.

A Javier Corral, Jesús Graciano y René Andrade, por su invaluable y agotador apoyo para la realización de éste trabajo

A mis amigos del programa de maestría: Pedro, Benjamín, Niko, Lalo, Carlos, y José Juan que compartieron buenos y malos ratos conmigo durante mi estancia en esta Ciudad.

A todas aquellas personas que de una u otra manera contribuyeron en la realización de este trabajo.

CONTENIDO

	Página
LISTA DE CUADROS	i
LISTA DE FIGURAS	iv
RESUMEN	v
ABSTRACT	vi
1. INTRODUCCIÓN	1
2. HIPÓTESIS	3
3. OBJETIVOS	3
4. ANTECEDENTES	3
4.1 Métodos de Regulación Forestal	3
4.1.1. Método de regulación forestal por área	4
4.1.2. Método de regulación forestal por área y volumen	4
4.1.3. Método de regulación forestal por volumen	5
4.1.4. Método de regulación forestal por categoría diamétrica o clases de tamaño	5
4.2. Considerandos económicos	5
4.3. Programación Lineal	7
4.4. Aplicaciones del modelo dentro de la actividad forestal	8
4.5. La regulación forestal en México	8
5. MATERIALES Y MÉTODOS	9
5.1 Descripción del Área de Estudio	9
5.1.1 Localización	9
5.1.2 Colindancias	10
5.1.3 Superficies	10
5.2 Descripción de <i>Pinus pseudostrobus</i>	12
5.2.1 Distribución y Hábitat	13
5.3. Obtención de información de campo.	13
5.4. Diseño de regímenes de manejo.	14
5.5. Definición del modelo	15
5.5.1. Función objetivo	15

5.5.1.1. Maximización del rendimiento en volumen.	15
5.6. Información general	19
5.6.1. Beneficios y costos.	19
5.6.2 Tasa de interés	20
5.6.3. Determinación del turno y período de planeación	21
5.6.4. Rodales (unidades de corta.)	22
5.6.5. Regímenes de manejo	22
5.6.5.1 Métodos de tratamiento	22
5.6.5.2. Cortas intermedias	23
5.6.6. Distribución de productos	23
5.6.7. Evaluación de los regímenes de manejo	23
5.6.8. Estimación del volumen comercial y rendimientos financieros.	24
5.6.8.1 Volumen comercial.	24
5.6.8.2. Rendimientos financieros	24
5.7 Formulación del modelo empleado	27
5.7.1. Maximización de volumen	28
5.7.1.1. Modelo 1: Rendimiento no sostenido	28
5.7.1.2. Modelo 2: Rendimiento sostenido	30
5.7.1.3. Modelo 3: Rendimiento sostenido volumétrico de regímenes óptimos combinados con alternativos	34
5.7.2. Maximización financiera.	39
5.7.2.1. Modelo 1: Rendimiento no sostenido	39
5.7.2.2. Modelo 2: Rendimiento sostenido financiero	41
5.7.2.3. Modelo 3: rendimiento sostenido financiero de regímenes óptimos combinados con alternativos	45
5.8. Análisis de sensibilidad	49
5.9. Procesamiento de datos.	50
6. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	51
6.1. Maximización del rendimiento en volumen	51
6.1.1 Modelo 1: Rendimiento no sostenido	51

6.1.2. Modelo 2: Con rendimiento sostenido	54
6.1.3. Modelo 3: rendimiento sostenido volumétrico de regímenes óptimos combinados con alternativos	58
6.1.4. Comparación de los modelos de optimización volumétrica	63
6.2. Maximización del rendimiento financiero	64
6.2.1 Modelo 1: Rendimiento no sostenido	64
6.2.2. Modelo 2: Rendimiento sostenido	67
6.2.3. Modelo 3: rendimiento sostenido financiero de regímenes óptimos combinados con alternativos	71
6.2.4. Comparación de los modelos de optimización financiera	75
7. CONCLUSIONES	77
8. LITERATURA CITADA	79
9. APÉNDICE	82

LISTA DE CUADROS

	Página
Cuadro 1 Diseño de regímenes de manejo para los rodales 1-3 y 5-6	28
Cuadro 2 Diseño de regímenes de manejo para el rodal 4	28
Cuadro 3 Formulación del modelo 1 sin rendimiento sostenido	29
Cuadro 4 Regímenes de manejo seleccionados para el modelo 2 con rendimiento sostenido volumétrico	30
Cuadro 5 Rendimientos en volumen para el modelo 2 con rendimiento sostenido volumétrico	31
Cuadro 6 Formulación del modelo 2 de rendimiento sostenido	32
Cuadro 7 Diseño de regímenes de manejo para el modelo 3 con rendimiento sostenido volumétrico	34
Cuadro 8 Rendimientos en volumen del modelo 3 con rendimiento sostenido volumétrico	35
Cuadro 9 Formulación del modelo 3 combinación de regímenes óptimos con alternativos	36
Cuadro 10 Formulación del modelo 1 sin rendimiento sostenido financiero	40
Cuadro 11 Regímenes de manejo seleccionados para el modelo 2 con rendimiento sostenido financiero	41
Cuadro 12 Rendimientos económicos para el modelo 2 con rendimiento sostenido financiero	42
Cuadro 13 Formulación del modelo 2 de rendimiento sostenido financiero	43
Cuadro 14 Regímenes de manejo seleccionados para el modelo 3 con rendimiento sostenido financiero	45
Cuadro 15 Rendimientos económicos para el modelo 3 con rendimiento sostenido financiero	46
Cuadro 16 Formulación del modelo 3 de rendimiento sostenido financiero (combinación del modelo 1 y 2)	47
Cuadro 17 Concentrado de variables por rodal y régimen (óptimo - alternativo)	

del modelo 1 sin rendimiento sostenido volumétrico	52
Cuadro 18 Flujo de rendimiento periódico de acuerdo al modelo 1 sin rendimiento sostenido volumétrico	53
Cuadro 19 Valores de holgura o exceso y precio dual obtenidos en el algoritmo de solución del modelo 1 sin rendimiento sostenido volumétrico	53
Cuadro 20 Concentrado de las variables selectas de cada rodal y por periodo del Modelo 2 que contribuyen a la obtención de un rendimiento sostenido volumétrico	55
Cuadro 21 Valores de holgura o exceso y precio dual obtenidos en el algoritmo de solución del modelo 2 con rendimiento sostenido volumétrico	56
Cuadro 22 Hectáreas cortadas y flujos de madera por rodal y periodo de corta del modelo 2 sin rendimiento sostenido	57
Cuadro 23 Concentrado de las variables selectas del modelo 3 que contribuyen a la obtención de un rendimiento sostenido volumétrico	59
Cuadro 24 Valores de holgura o exceso y precio dual obtenidos en el algoritmo de solución del modelo 3 que contribuyen a la obtención de un rendimiento sostenido volumétrico	60
Cuadro 25 Hectáreas cortadas y flujos de madera por periodo de corta y rodal del modelo 3 con rendimiento sostenido	62
Cuadro 26 Comparación de los modelos de programación lineal para optimización volumétrica	64
Cuadro 27 Concentrado de variables por rodal y régimen (óptimo y alternativo) del modelo 1 sin rendimiento sostenido financiero	65
Cuadro 28 Flujo de rendimiento periódico de acuerdo al modelo 1 sin rendimiento sostenido financiero	64
Cuadro 29 Valores de holgura o exceso y precio dual obtenidos en el Algoritmo de solución del modelo 1 que contribuyen a la obtención de un rendimiento no sostenido financiero	67

Cuadro 30 Concentrado de las variables selectas de cada rodal y por periodo del Modelo 2 que contribuyen a la obtención de un rendimiento sostenido financiero	68
Cuadro 31 Valores de holgura o exceso y precio dual obtenidos en el algoritmo de solución del modelo 2 que contribuyen a la obtención de un rendimiento sostenido financiero	69
Cuadro 32 Flujo de rendimiento periódico financiero de acuerdo al modelo 2 con rendimiento sostenido financiero	70
Cuadro 33 Concentrado de las variables selectas del Modelo 3 que contribuyen a la obtención de un rendimiento sostenido financiero de regímenes óptimos combinados con alternativos	72
Cuadro 34 Valores de holgura o exceso y precio dual obtenidos en el Algoritmo de solución del modelo 3 que contribuyen a la obtención de un rendimiento sostenido financiero, de regímenes óptimos combinados con alternativos	73
Cuadro 35 Flujo de rendimiento periódico de acuerdo al modelo 3 con rendimiento sostenido financiero de regímenes óptimos combinados con alternativos	74
Cuadro 36 Comparación de modelos matemáticos lineales financieros	76

LISTA DE FIGURAS

	Página
Figura 1 Localización del área de estudio	11
Figura 2 Distribución de <i>Pinus pseudostrobus</i>	13
Figura 3 Ocurrencia de Beneficios (\$/Ha.) a lo largo del periodo de planeación(100 años) y durante la vida de la masa forestal (50 años) para el régimen de manejo numero 1 del rodal 1 considerando un precio de \$700.00 m ³ r para aserrío primario y \$500.00 para secundario	26
Figura 4 Forma esquemática del flujo de volúmenes resultante de la aplicación del Modelo 1 sin rendimiento sostenido volumétrico	54
Figura 5 Superficies periódicas de aprovechamiento del modelo 2 con rendimiento sostenido volumétrico	58
Figura 6 Superficies de aprovechamiento del modelo3 con rendimiento sostenido volumétrico y que constituye el plan de regulación forestal óptimo	63
Figura 7 Forma esquemática del flujo de ganancias resultante de la aplicación del Modelo 1 sin rendimiento sostenido	67
Figura 8 Rendimientos financieros periódicos a obtener de acuerdo al modelo 2 con rendimiento sostenido financiero	71
Figura 9 Rendimientos financieros periódicos a obtener de acuerdo al modelo 3 con rendimiento sostenido financiero de regímenes óptimos combinados con alternativos	75

DESARROLLO DE UN MODELO DE PROGRAMACIÓN LINEAL PARA EL MANEJO DE ECOSISTEMAS FORESTALES

RESUMEN

En éste trabajo se desarrolló un modelo de regulación forestal para manejo de ecosistemas forestales en bosques de *Pinus pseudostrobus* Lindl. en la Sierra Madre Oriental del estado de Nuevo León, México empleando programación lineal. Los regímenes de manejo formulados consideraron la aplicación de aclareos con grado de densidad residual de 1.0, 0.9 y 0.8, así como una corta de regeneración bajo el método de árboles padres y una corta de liberación. Los modelos planteados tuvieron como objetivo la maximización de rendimiento volumétrico y financiero, considerando la obtención de rendimiento sostenido y sin ésta restricción. El modelo de regulación forestal óptimo volumétrico presentó un máximo rendimiento de 23304 m³r en un turno de 50 años y con un rendimiento sostenido por periodo de 3884 m³r. El modelo de regulación forestal para el ámbito financiero arrojó un beneficio económico de \$ 3, 124,231 en un mismo periodo de tiempo, un rendimiento volumétrico sostenido por ciclo de corta de 2392.1 m³r pero con diferente ganancia económica por periodo. Los modelos de regulación forestal propuestos para el área objeto de estudio representan una base para la toma de decisiones de manejo forestal del área mencionada.

SUMMARY

In this work a model of forest regulation was developed using lineal programming for management of forest ecosystems in forests of *Pinus pseudostrobus* Lindl. in the Sierra Madre Oriental in the state of Nuevo Leon, Mexico. The formulated handling regimes considered the application of clearing cuts with a grade of residual density of 1.0, 0.9 and 0.8, and regeneration cuts under the method of parent trees as well as a liberation cut. The planned models had for objective the maximization of volumetric and financial yield, considering the obtaining of a sustained yield and without this restriction. The optimum volumetric forest regulation model presented a maximum yield of 23304 m³r in a 50-year shift and a sustained yield by period of 3884 m³r. The forest regulation model for the financial side launched an economic benefit of \$3, 124,231 in one single period of time, a sustained volumetric yield by cutting cycle of 2392.1 m³r, having a different economic gain per period. The forest regulation models proposed for the object study area represent a basis for the taking of decisions on forest handling for the mentioned area.

I. INTRODUCCIÓN

Durante las últimas décadas con el desarrollo de la ingeniería de sistemas, han surgido una amplia gama de técnicas y procedimientos que se orientan a el uso eficiente de los recursos usualmente escasos, dando origen así a las técnicas de investigaciones de operaciones. De las técnicas de investigación de operaciones utilizadas más ampliamente en problemas forestales se encuentran la programación dinámica, la simulación y la programación lineal (Reygadas 1988). La Programación Lineal es una técnica de optimización, siendo la más difundida y utilizada en la actividad forestal, lo cual puede ser atribuido a su relativa simplicidad y adaptabilidad.

(Donald 1975, citado por Reygadas 1988) menciona que la programación lineal ofrece varias ventajas sobre la programación dinámica o la simulación; si el problema puede formularse en la forma de programación lineal y si todos los supuestos en que se basa ésta técnica son razonablemente cumplidos.

Para el manejo de ecosistemas forestales, la técnica de programación lineal, es uno de los modelos para la toma de decisiones de mayor aplicación en diversos países; principalmente en la formulación de esquemas de Regulación Forestal.

Las técnicas de programación matemática, particularmente la programación lineal, constituyen importantes herramientas para apoyar decisiones de manejo, tales como el diseño de regímenes de tratamientos óptimos, de acuerdo a un objetivo determinado, la elección de esquemas de manejo para maximización de volumen o valor neto presente, así como la asignación de áreas de tratamiento a regímenes y periodos determinados bajo un criterio de rendimiento sostenido o de aprovechamiento de iguales superficies en periodos sucesivos.

La asignación entre actividades competitivas que tienda a optimizar la utilidad derivada de recursos finitos y escasos, es un proceso económico de valides inobjetable que a través del tiempo a preocupado. La demanda creciente de bienes y servicios derivados

del recurso forestal, ha requerido de la búsqueda de metodologías que contemplen explícitamente variables económicas relevantes en la formulación y selección de planes de manejo forestal maderable. Tradicionalmente la definición de programas de corta, elemento primordial en el proceso de formulación y selección de planes de manejo forestal refleja tan solo una exploración limitada de alternativas.

La utilización de técnicas de investigación de operaciones (modelos de programación matemática) y con el apoyo en el área de procesamiento electrónico de datos que minimiza tiempos y costos, ha contribuido sustancialmente en el ensayo de algoritmos que permiten analizar una gama mayor de alternativas factibles, sujetas a ciertos factores limitantes, en la búsqueda de estadios económicos óptimos. Sin embargo, las interrogantes que originaron los métodos de regulación forestal, qué, cuándo y dónde, aunadas a consideraciones silvícolas y restricciones de infraestructura y abastecimiento, constituyen la esencia misma de ésta búsqueda de estadios óptimos que tiendan a satisfacer el objetivo económico previsto por el dueño o poseedor de los recursos forestales.

Con éste modelo se pretende mostrar un proceso alternativo a los métodos tradicionales para la formulación, análisis, y selección de opciones de corta. Se busca que éste procedimiento permita la planeación de actividades, bajo considerandos económicos, para definir la intensidad del aprovechamiento, así como su ubicación en tiempo y espacio. La bondad del modelo por plantear, implícitamente su importancia estriba en posibilitar la evaluación de un número teóricamente infinito de tratamientos silvícolas, factibles de realizar durante la vida de un rodal, incluidos tanto el método de reproducción como las cortas intermedias.

Las técnicas de programación matemática se conceptúan como modelos de optimización, desarrollados para elegir una alternativa óptima de un grupo de alternativas posibles o factibles. La alternativa óptima es aquella que produce el valor máximo o mínimo, de algún criterio de eficiencia evaluada en forma numérica.

II. HIPOTESIS

Mediante la aplicación de modelos de programación lineal es posible optimizar las decisiones de manejo de los recursos forestales, incluyendo criterios económicos y silvícolas.

III. OBJETIVOS

Objetivo general

Formular un modelo matemático lineal para obtener la alternativa óptima de regulación forestal en un bosque de pino en el sur de Nuevo León, bajo criterios de maximización volumétrica y económica.

Objetivos Específicos

3.2.1. Diseño de diversos regímenes de manejo para los ecosistemas objeto de estudio, a partir de diversas estrategias de tratamiento de densidad.

3.2.2. Analizar diferentes alternativas de manejo de ecosistema bajo criterio de optimalidad económica y volumétrica.

IV. ANTECEDENTES

4.1. Métodos de Regulación Forestal

Los métodos tradicionalmente utilizados en la formulación de opciones para la regulación de la corta, son parte esencial para la definición de planes de manejo forestal; y la exposición de algunos considerandos económicos que se utilizan como premisas en la definición del modelo buscado. Las variables tiempo y espacio son utilizadas en la programación lineal dentro de la asignación de recursos en las actividades del proceso productivo forestal.

4.1.1. Método de regulación forestal por área

Busca regular la cosecha o rendimiento final sin considerar la producción derivada de aclareos y otras operaciones en rodales que no han alcanzado el estado de maduración deseado. Surge en Francia en el siglo XIV ante la necesidad de restringir la corta a áreas anuales contiguas que no excedieran cierta dimensión (Brasnett, 1953).

El principio asociado con éste método de regulación forestal significa que el volumen por cosechar se ve definido por la cuantía de madera en pie existente en el área asignada para la corta, la cual se programa de modo tal que exista anualmente una cierta superficie disponible para su cosecha.

Originalmente se aplicó en bosques tratados con el método de monte bajo, sujetos a turnos de hasta 20 años. Este método se intentó aplicar en bosques de monte alto, particularmente de encino, para los que era deseable una regeneración por medio de semillas, dejando entre diez y veinte árboles de semilla por hectárea en cada área de corta anual, con el propósito de garantizar la regeneración natural a ser aprovechada al final de una longitud de turno de cien años.

4.1.2. Método de regulación forestal por área y volumen

Este método combinado se desarrolló a partir del método de regulación por área al encontrarse que en las áreas anuales de montes altos no siempre se lograba una regeneración regular y que para muchas especies se obtenía una regeneración natural con mayor grado de certeza reduciendo gradualmente la copa de arbolado maduro. El método ha requerido de un piso forestal limpio y de un aclareo ligero, llamado corta de semillación, que permite el paso de luz suficiente para la germinación adecuada, sin la presencia elevada de vegetación indeseable que pudiera resultar si se practicaran cortas más fuertes. Una vez lograda la regeneración se requiere de incrementos progresivos de luz, requerimientos proporcionados a través de cortas secundarias, y, eventualmente, de

un uso pleno del sitio después de efectuar la corta final. (Brasnett, 1953; Osmaston, 1968)

4.1.3. Método de regulación forestal por volumen

La gran mayoría de métodos que buscan el control del rendimiento se basan en las variables existencias maderables y tasas de incremento. Estos métodos son aplicables tanto a bosques regulares como irregulares, en los que las clase de edad no se encuentran segregadas en áreas separadas, sino que el arbolado con edades distintas se mezcla entre sí (Brasnett, 1953; Davis, 1966).

4.1.4. Método de regulación forestal por categoría diamétrica o clases de tamaño

Este método fue previsto para bosques constituidos por rodales incoetáneos, y en éste caso las clases de edad se encuentran entremezcladas y no es posible la separación de ellas en áreas distintivas; de cualquier manera, pueden identificarse clases de tamaño, que, aproximadamente, corresponden a periodos del turno y que, previamente referenciadas, se agrupan para mostrar volúmenes separados para cada grupo existente (Brasnett, 1953).

4.2. Considerandos económicos.-

Se dice que en los objetivos financieros se puede plasmar la búsqueda de rendimientos en términos monetarios, generalmente incrementar o maximizar el rendimiento neto. Sin embargo, en los objetivos no financieros materiales se puede optimizar la producción material, (agua, madera, etc.), la preservación y conservación de los recursos, estabilidad en cuanto a disponibilidad de recursos y mejoramiento del ambiente; y en los objetivos no financieros inmateriales pueden enmarcar la consecución de alrededores agradables, popularidad y aceptación política, así como la consecución de satisfacciones humanas en la forma de felicidad, sentimientos de bienestar, seguridad y valía personal (Duerr-et al, 1979)

Se ha argüido que el propósito del manejo queda definido por los objetivos previstos por una empresa (Duerr *et al*, 1979) y que la definición clara de ellos constituye el punto de partida preliminar un criterio de evaluación apropiado (Johnston *et al*, 1967). También se ha señalado que, al preverse para el futuro, una parte esencial de los objetivos debiera ser el reconocimiento del efecto el tiempo y del requerimiento de predicciones, mismas que de por sí implica un grado de riesgo e incertidumbre.

Gregory (1972) argumenta que numerosos economistas han incursionado en el problema de qué debiera pretender optimizar cuando se selecciona un objetivo, pero que no se ha coincidido en forma plena en cuanto a la respuesta buscada. Sin omitir completamente el factor tiempo, el técnico forestal ha soslayado considerandos financieros asumiendo la concepción puramente biológica (Pearse, 1967; Gregory, 1972). Sin embargo, concepciones que tienden a maximizar rendimientos totales promedio o totales, en unidades físicas de producción, teóricamente pueden tener aceptación inmediata en un mundo caracterizado por insumos de producción carentes de un costo y cuando la variable tiempo es irrelevante. Por el primer supuesto es poco posible que ocurra en las estructuras de mercado actuales; mientras que lo opuesto del segundo considerando es una de las característica distintivas del proceso productivo forestal (Rivero, 1984)

El manejo forestal en México, como una actividad que pretende proporcionar eficientemente bienes y servicios, así como la conservación del recurso mismo, se encuentra en un estado de atraso significativo. Esto obedece, parcialmente, a las técnicas tradicionales que se han utilizado en la formulación de los planes de manejo. Dado lo anterior es imperativo introducir en esta actividad el uso, relativamente nuevo, de otras técnicas de planeación para la solución del problema señalado.

Recientemente se ha mencionado que los procedimientos tradicionales de regulación forestal se caracterizan por basarse en la consecución de un bosque meta (bosque normal), así como en el mantenimiento de la estructura que se asume necesaria para los

objetivos de manejo, sin dar flexibilidad al administrador para un manejo inteligente de las estructuras del recurso sujeto a aprovechamiento (Clutter et al, 1983; Rivero, 1984). Las bases de estos métodos de regulación tradicional, los criterios financieros, la utilización de las técnicas de investigación de operaciones y el empleo del cómputo electrónico, han formado las premisas sobre las cuales se han desarrollado nuevos métodos de regulación que permiten el desenvolvimiento de una amplia gama de alternativas de manejo, para optimizar el aprovechamiento del recurso bajo condiciones y objetivos específicos. De las técnicas de investigación de operaciones la Programación lineal es una herramienta sumamente útil que permite el análisis de un gran número de alternativas posibles, alternativas que a su vez son factibles de darse en la realización de una actividad. La programación lineal se ha utilizado ampliamente en el campo forestal en países con un desarrollo forestal avanzado, obteniéndose con ello un aprovechamiento más eficiente de los recursos forestales.

4.3. PROGRAMACION LINEAL

Matemáticamente la programación lineal es el análisis de problemas en los que se pretende maximizar (o de restricciones minimizar) una función lineal caracterizada por un cierto número de variables, sujetas éstas a un conjunto en la forma de desigualdades lineales. La programación lineal tiene sus orígenes en el modelo insumo-producto desarrollado por W.W. Leontief, el estado actual del conocimiento se atribuye a G.D. Dantzing, quien introdujo el Método Simplex como un procedimiento sistemático para la solución de problemas idóneos con el uso de la programación lineal (Thierauf,1975; Rivero 1984,citados por Reygadas (1988). La gama de campos de aplicación es abundante, cualquier problema lineal de optimización que se caracterice por la existencia de dos o más actividades que compitan por el uso de recursos limitados (Curtis, 1962).La programación lineal es una de las técnicas comprendida prioritariamente en el arco de la Investigación de Operaciones. Usualmente se le concibe como una herramienta que permite la asignación de recursos escasos entre las actividades competitivas para un óptimo, sujetándose a un conjunto de restricciones (Hillier, 1974).

La estructura del problema prototipo de programación lineal consiste en que se pretende encontrar el nivel de la actividad "j", X_j , la cual contribuye con C_j a la medida total de efectividad Z , y demanda unitariamente la cantidad "a" del recurso "i" disponible en la cuantía "b", de tal manera que la función Z tenga un óptimo y no violen las restricciones de disponibilidad de recursos (Hiller, 1974; Taha, 1976).

4.4. Aplicaciones del modelo dentro de la actividad forestal

La utilización, relativamente nueva, de esta técnica en la Dasonomía ha tenido una amplia aceptación. Martín y Sendak (1971) listan cerca de 200 aplicaciones de la Programación Lineal a lo largo de su bibliografía sobre la aplicación de las técnicas de investigación de operaciones en la actividad forestal. Estas aplicaciones, con mayor frecuencia, se refieren a las áreas de aprovechamiento maderable, manejo de fauna silvestre, regulación y abastecimiento forestal, ubicación de plantas y procesos de industrialización y distribución de productos, así como en análisis regionales dentro de otras áreas. En cuanto a aprovechamientos forestales maderables se le ha utilizado en todas las fases del manejo, desde el mejoramiento de árboles y reforestación hasta la regulación de masas forestales (Rivero, 1984).

Kidd, Thompson y Hoepner (1966) efectuaron un estudio en un bosque de *Pinus taeda* en la región de Brunswick, U.S.A., para determinar un plan de cortas que maximizara las ganancias sujetas a la disponibilidad de tierra, distribución de edades de la masa, recursos operativos para su aprovechamiento y necesidades de manejo. Este trabajo se realizó para un período de planeación de 50 años y con predicciones de crecimiento basadas en los procedimientos de Schumacher y Coyle.

4.5. La regulación forestal en México

En México el uso del modelo de programación lineal en la actividad forestal es actualmente reducido, sobresaliendo en este aspecto los trabajos de Rivero (1984) sobre un modelo para la regulación de la corta en bosques coetáneos, el cual pretende

maximizar ganancias netas actualizadas y volumen, bajo un esquema de rendimiento sostenido, teniendo como variable decisional la superficie de las unidades de corta del área de estudio. El trabajo realizado por Moreno (1984) en la UIEF Atenquique, Jal., el cual se define como un modelo de Programación Lineal para la planeación de las labores de abastecimiento de productos forestales consistente en la asignación óptima, maximización de los rendimientos, de los materiales y equipo utilizados en las labores de abastecimiento.

El trabajo de Guzmán (1985) realizado en Atenquique, Jal., en el que a través del empleo del modelo de transporte minimiza los costos de abastecimiento de materia prima en función de disponibilidad de recursos (Vehículos y posibilidad maderable) y época de trabajo en el área de influencia de la Compañía papelera de esta entidad.

García (1987) empleó el modelo de programación lineal para minimizar los costos de transporte de trocería para la región de Costa Grande del Estado de Guerrero. Considerando para ello los tipos de vehículos, destino de la madera, procedencia de la misma y período de trabajo en el año.

V. MATERIALES Y MÉTODOS

5.1. Descripción del Área de Estudio

5.1.1. Localización

Geográficamente el área de estudio se localiza al sureste de la cabecera municipal de Galeana, N. L., entre las coordenadas $24^{\circ} 27' 45''$ y $24^{\circ} 32' 32''$ de latitud norte y los $99^{\circ} 54' 21''$ y $100^{\circ} 01' 17''$ de longitud occidental, referidas al Ecuador y Meridiano de Greenwich, respectivamente. Administrativamente se localiza dentro del área de influencia del Distrito de Desarrollo Rural Galeana y de la Unidad de Conservación y Desarrollo Forestal No. 1 "GALEANA" (Figura 1).

5.1.2. Colindancias

Norte: segunda ampliación del ejido Pablillo.

Sur : pequeñas propiedades.

Este : pequeñas propiedades.

Oeste: primera ampliación ejido Pablillo

5.1.3. Superficies

Total	6,800.00.00 ha
Arbolada	1,822.00.00 ha
Arbolada aprovechable	1,722.00.00 ha
No arbolada	4,978.00.00 ha
Agrícola	52.00.00 ha
Silvopastoril	6,748.00.00 ha

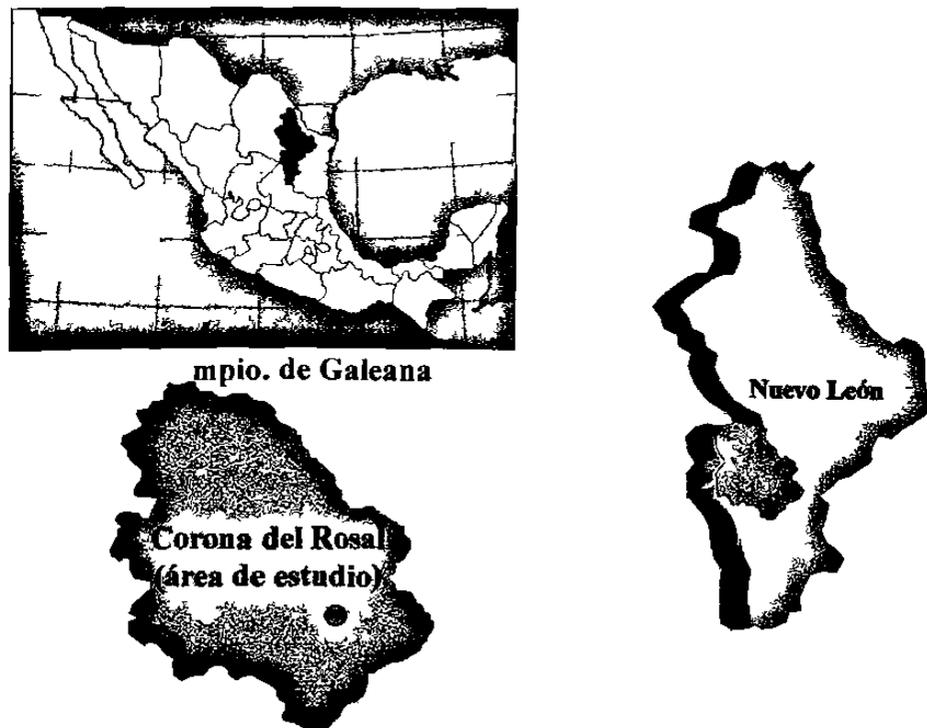


Figura 1. Localización del área de estudio

El Ejido Corona del Rosal se localiza en la provincia fisiográfica de la Sierra Madre Oriental, la cual corre desde sus límites con la del Eje Neovolcánico en sentido paralelo a la costa del Golfo de México.

La Sierra Madre Oriental es fundamentalmente un conjunto de sierras menores de estratos plegados. Estos estratos son de antiguas rocas sedimentarias marinas (del cretácico y del jurásico superior) entre las que predominan las calizas y en segundo término las areniscas y arcillosas.

Las subprovincia dentro de la cual se localiza el predio es la Gran Sierra Plegada, en ella dominan las capas plegadas de calizas con predominantes ejes estructurales de anticlinales y sinclinales, una gran falla inversa corre sobre los bordes orientales de la sierra en tanto se extienden más o menos paralelas a aquellas y a los ejes estructurales; también hay afloramientos yesíferos paralelos en el mismo sentido particularmente del

lado occidental de la sierra y fosforitas. Las cumbres generales de la sierra sobrepasan por un buen margen los 2000 msnm y llegan cerca de los 3000 m.

5.2. Descripción de *Pinus pseudostrobus*

Árbol de tamaño medio o grande, 15-40 m de alto, con copa de ramas largas y pesadas. Corteza rugosa, gris, algunas veces rojiza en las fisuras. Ramillas pruinosas, lisas, brácteas deciduas con las bases decurrentes bien espaciadas, frecuentemente hundidas e inconspicuas.

Hojas verde oscuro, algunas veces glaucas, en grupos de 5, raramente 4 o 6; de 16-35 cm de largo, 0.75-1.25 mm de ancho, extendidas o péndulas. Vainas persistentes de 15 a 25 mm de largo. Canales resiníferos usualmente medios de 2-4, algunas veces de 5-6.

Conos café claro o cafés; ovoides, largos-ovoides a cilíndricos, de 7-12 cm de largo algunas veces más grandes, de 5-11 cm de ancho, ligeramente curvados, robustos y firmes; sésiles, pedúnculo poco más de 1.0 cm de largo; persistentes, algunas veces dejando pocas escamas en la ramilla cuando cae; escamas delgadas con apófisis aplanadas o abultadas de 10-12 mm de ancho; espina decidua o algunas veces persistente (Favela, 1991).

Reino:	Vegetal	Subfamilia:	Abietineae
División:	Spermatophyta	Género:	Pinus
Subdivisión:	Gymnospermae	Sección:	Pseudostrobus
Orden:	Coniferales	Especie:	<i>Pinus pseudostrobus</i> Lindl.
Familia:	Pinaceae		

5.2.1. Distribución y Hábitat

En México: en los límites de Durango y Sinaloa, en Nuevo León, SE de Coahuila, E Guanajuato, Jalisco, Michoacán, México, Distrito Federal, Morelos, Hidalgo Puebla, Tlaxcala, W Central de Veracruz, Guerrero, Oaxaca, Chiapas; Ocorre también en Guatemala, el W de Honduras y al N del Salvador (Farjon & Styles, 1997) (figura 2).

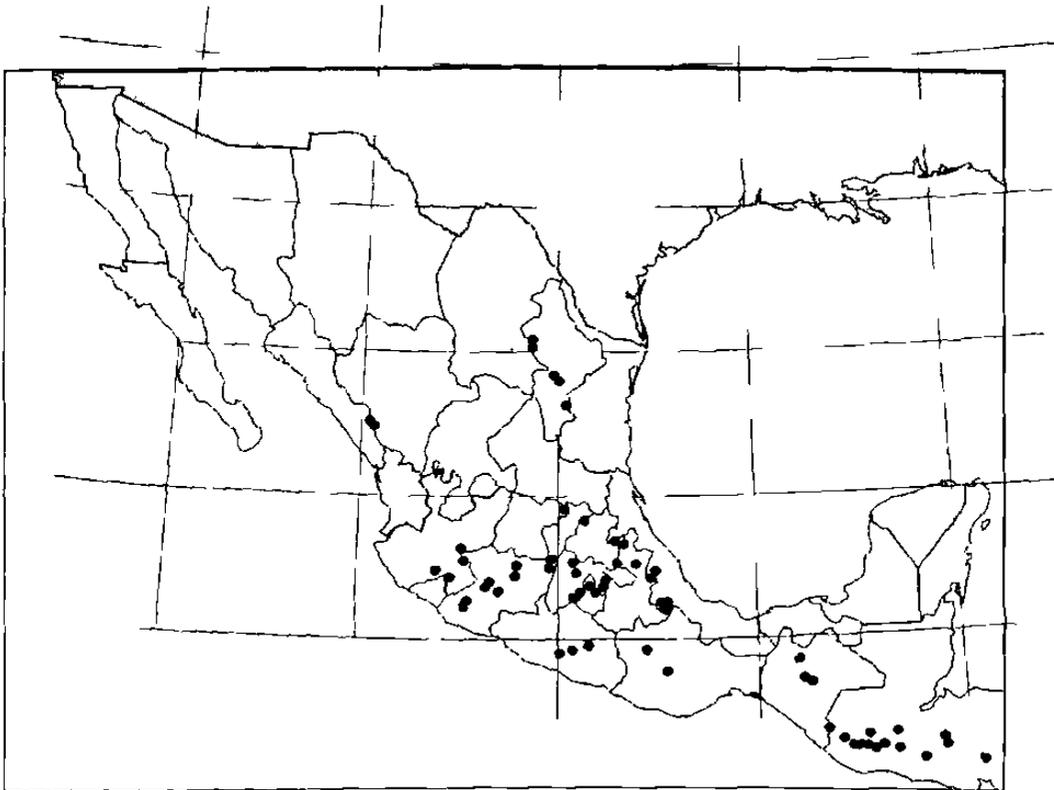


Figura 2. Distribución de *Pinus pseudostrobus* (Modificado de Farjon & Styles, 1997).

5.3. Obtención de información de campo.

Por medio del estudio de manejo forestal y con el apoyo de cartografía (mapas y aerofotos) del Ej. Corona del Rosal, del municipio de Galeana, N. L., se analizó el área total que tiene a su cargo la UCODEFO No. 1, se seleccionaron 6 rodales predominantemente puros y coetáneos de *Pinus pseudostrobus* y desarrollar la metodología propuesta, aplicando la Programación Lineal, con la finalidad de cumplir con

los objetivos elaborados en éste proyecto. Se contó también con las tablas de producción, así como los diagramas de manejo de densidad para ésta especie (Aguirre, 1991). Se realizó un recorrido preliminar del área en cuestión con el propósito de seleccionar los rodales que se identificarán en lo sucesivo de acuerdo a los números 1-6. En cada rodal se efectuó una evaluación de productividad sobre la base en edad y altura de los árboles dominantes promedio; existencias reales volumétricas a partir del establecimiento de sitios de muestreo de 500 m², en los que se determinaron la edad, los diámetros normales y la altura dominante de todos los árboles calculando posteriormente la altura promedio y el área basal respectiva. La información anterior permitió ubicar las áreas seleccionadas en la tabla de producción y en el manejo de densidades correspondientes.

5.4. Diseño de regímenes de manejo

A partir de la información de campo obtenida con apoyo de la UCODEFO No. 1 del Municipio de Galeana, para cada una de las áreas de corta (rodales), se diseñaron diversos regímenes de manejo, utilizando las tablas de producción para *Pinus pseudostrobus* y los diagramas de manejo de densidad antes mencionados. En términos generales, los regímenes comprenden el esquema manejo empleado en el área de interés, esto es, corta de regeneración, corta de liberación con preaclareo y la realización de cuatro aclareos, considerando un turno de 50 años. Las variantes de los regímenes de manejo propuestos para las áreas de corta están dadas básicamente por el periodo de aplicación de la corta de regeneración y la intensidad de los aclareos. La intensidad de los aclareos se determinó en función del grado de densidad objetivo (1.0, 0.9, y .08) a partir de la aplicación de un aclareo. El grado de densidad se define de acuerdo a la función:

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

De acuerdo a la información de altura y edad de los rodales objeto de estudio y sobre la base de las tablas de producción para *Pinus pseudostrobus* (Aguirre, 1991), el índice de

sitio es de 16 para los rodales 1-4; 13.5 para el rodal 5 y 11 para el rodal 6. Del empleo de los diagramas de manejo de densidad. Para los diferentes regímenes de manejo, se obtuvieron los valores de rendimiento volumétrico que se muestran en los cuadros 3-8 que corresponden respectivamente a los rodales 1-6

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

5.5. Definición del modelo

5.5.1. Función objetivo

Considerando los objetivos planteados; maximización de rendimientos en volumen y rendimientos financieros y atendiendo a la forma del modelo previsto para el análisis, se determinan las funciones objetivo. El modelo de programación lineal se formuló atendiendo al objetivo de maximizar rendimientos volumétricos y financieros en base a los modelos denominados 1 y 2 planteados inicialmente por Curtis (1962) y denominados bajo esa nomenclatura por Johnson y Scheurman (1977). La característica más evidente de éstos modelos, es que en ellos las variables se expresan como superficies en las unidades de manejo identificadas (Leuschner 1990).

5.5.1.1. Maximización del rendimiento en volumen

a) Modelo 1: Sin rendimiento sostenido)

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

en donde:

V_{ij} = volumen de corta (m^3 r/ha) durante el periodo de planeación en la unidad de corta 'i', si es asignada al régimen de manejo 'j'.

X_{ij} = área a cortarse en la unidad de corta 'i' bajo el régimen de manejo 'j'.

$i = 1, 2, \dots, m$ unidad de corta

$J = 1, 2, \dots, n$ régimen d manejo

b) Modelo 2 (con rendimiento sostenido)

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

Donde:

V_{ijk} = Volumen total de corta (m³r/ha) en la unidad de corta "i", si se asigna al régimen de manejo "J", durante el periodo de corta "K".

X_{ijk} = Número de hectáreas a ser intervenidas en la unidad de manejo "i", bajo el régimen de manejo "j", durante el periodo de corta "k".

$i = 1, 2, \dots, m$.unidad de corta

$J = 1, 2, \dots, n$ régimen de manejo

$K = 1, 2, \dots, 0, \dots, \dots$ periodo de corta

c) Modelo 3 (combinación del modelo 1 y el modelo 2)

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

Donde:

V_{ijk} = Volumen total de corta (m^3r/ha) en la unidad de corta "i", si se asigna al régimen de manejo "J", durante el periodo de corta "K".

X_{ijk} = Número de hectáreas a ser intervenidas en la unidad de manejo "i", bajo el régimen de manejo "j", durante el periodo de corta "k"

$i = 1, 2, \dots, m$.unidad de corta

$J = 1, 2, \dots, n$ régimen d manejo

$K = 1, 2, \dots, 0 \dots \dots \dots$ periodo de corta

Suposiciones de la programación lineal

a.- Proporcionalidad

La *proporcionalidad* es una suposición sobre las actividades *individuales* que se considera independiente de las otras (mientras que la siguiente suposición sobre *aditividad* se refiere al efecto de llevar a cabo actividades en forma *conjunta*). Por lo tanto, considérese el caso de que sólo una de n actividades se realiza. Llámese a ésta actividad k , de manera de $x_j = 0$ para toda $j = 1, 2, \dots, n$ excepto para $j = k$.

b.- Aditividad

La condición de proporcionalidad no es suficiente para garantizar que la función objetivo y las restricciones sean lineales. Si existe interacción entre algunas actividades que puedan cambiar la medida total de efectividad o el consumo total de algún recurso, pueden surgir términos de producto cruzado. La aditividad supone que no existen interacciones de este tipo entre ninguna de las actividades. Por lo tanto, la aditividad requiere que, dados cualesquiera niveles de actividades (x_1, x_2, \dots, x_n), la medida total de efectividad y el consumo total de cada recurso debe ser igual a la *suma* de las cantidades correspondientes generadas por cada actividad que se lleva a cabo.

c.- Divisibilidad

Algunas variables de decisión sólo tienen significado físico cuando adquieren valores enteros. La solución óptima que se obtiene en programación lineal con mucha frecuencia no es entera. Por esto, la suposición de divisibilidad se refiere a que las unidades de cada actividad se puedan *dividir en cualquier nivel fraccional*, para que se permitan valores enteros de las variables de decisión.

Aun cuando se requiera una solución entera, es frecuente que se aplique programación lineal. Si la solución obtenida no es entera, entonces los valores no enteros simplemente se redondean. Esto puede ser satisfactorio, en particular si las variables de decisión adquieren valores grandes, pero le dan a surgir algunos obstáculos.

d.- Certidumbre

La suposición de certidumbre dice que todos los parámetros del modelo (los valores a_{ij} , b_i y c_j) son *constantes conocidas*. En los problemas reales, muy pocas veces se satisface por completo esta suposición. Casi siempre se formula un modelo de programación lineal para elegir un curso de acción futuro. Entonces, los parámetros que se emplean están basados en una predicción de las condiciones futuras, lo que inevitablemente introduce un cierto grado de incertidumbre.

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, niveles 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 par 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, 1977).

5.6. Información general

5.6.1. Beneficios y costos

Consideraciones financieras: Desde hace mucho se ha señalado que la administración de los bosques tienen características peculiares, entre otras el largo tiempo involucrado para obtener la cosecha final de madera disponible para su utilización. Esta cosecha puede lograrse en tiempos posibles diferentes, definidos por consideraciones tecnológicas, económicas o sociales (Flores, 1978) y caracterizadas por un cierto grado de riesgo e incertidumbre (Clutter *et al.*, 1983).

Un *bien capital* es un objeto físico que existe en el presente pero que será una fuente de ingresos o de oportunidades de consumo en el futuro. Los bienes de capital son por

tanto bienes intermedios valiosos no por sí mismos, sino sólo en la medida en que representan la posibilidad de generar bienes de consumo. El *valor de capital* es el valor actual de mercado equivalente al flujo de ingresos futuros, o consumo, que se puede producir con un determinado bien de capital.

El economista de recursos naturales debe entender la economía de la inversión particular, ya que, en una economía mixta moderna, categorías importantes de recursos naturales son por lo general propiedad privada: depósitos minerales, tierras sea productiva. Además, las empresas que usan los recursos naturales como insumos para la producción de satisfactores son casi siempre propiedad privada.

Los problemas de decisión asociados con la administración, desarrollo y conservación de los recursos naturales y ambientales a largo plazo presentan las características del problema de la decisión sobre inversiones. Las decisiones tomadas en un período ayuda a dar forma al conjunto de oportunidades de períodos posteriores. La decisión de conservar un recurso natural implica transferir el consumo inmediato a períodos posteriores, por lo que es similar a la decisión de ahorrar. La decisión de explotar un recurso natural implica transferir el consumo de períodos posteriores al período inmediato, y es por tanto similar a la decisión de pedir prestado. La decisión de desarrollar un recurso natural con fines productivos y para mantener su productividad en esos usos, es similar a la decisión de invertir

5.6.2. Tasa de interés

La tasa de interés reflejada la tasa de crecimiento o de cambio de una inversión determinada a través del tiempo de duración de ésta, aspecto particularmente importante en la evaluación de cualquier alternativa de manejo forestal, ya que estas actividades constituyen por sí alternativas de inversión, razón por la cual resulta insoslayable su empleo en la evaluación de tales prácticas.

Kronrad (1984) recomienda que en la evaluación financiera de alternativa de inversión se utilice la tasa 'real' de interés. Esta tasa 'real' de interés parte del supuesto de que los precios y costos se incrementan a la misma tasa, es decir, son constantes y se establecen a través de la expresión ⁴:

$$i = \frac{1+n}{1+f} - 1$$

En donde:

i = Tasa 'real' de interés

n = Tasa de interés nominal

f = Tasa de inflación

Para los cálculos efectuados en el presente trabajo se utilizó una tasa 'real' de interés del 5%.

5.6.3. Determinación del turno y período de planeación

Para la determinación de la longitud del período de planeación, la cual representa el tiempo a lo largo del cual se prevén y planean los regímenes de manejo, fue necesario calcular el turno, empleando las tablas de rendimiento (Aguirre 1991), así como los costos, precios y tasa de interés ya señalados.

Con los datos mencionados se obtuvo el turno financiero, utilizando el criterio valor y partiendo del supuesto de no existir intervenciones silvícolas en los períodos de tiempo considerados. Bajo tales consideraciones se eligió el turno, períodos de tiempo, que aportó las máximas ganancias netas, con duración de 50 años.

Para determinar la longitud del período de planeación se recomienda considerar 1.5 a 2 veces la longitud del turno (Clutter *et. al.* 1983). De igual manera se sugiere este período se divida en períodos de corta, para facilitar la ubicación, en tiempo, de las prácticas silvícolas, asumiéndose a la vez que estas actividades ocurren en el punto medio de los períodos de corta, esto último considerando que no se puede definir de manera precisa en qué momento de la longitud de cada período de corta ocurren las actividades

previstas (Clutter *et. al.* 1983). De tal manera que, para este estudio, se determinaron un periodo de planeación de dos veces la longitud del turno (100 años) y 11 periodos de corta de 10 años cada uno.

5.6.4. Rodales (unidades de corta)

Las unidades de corta, representadas por áreas geográficas identificables y excluyentes con respecto a otras y que permiten la ejecución de los regímenes de manejo (Rivero, 1984), se seleccionaron tomando como referencia cada una de las tres calidades de sitio para las cuales están elaboradas las tablas de rendimiento mencionadas (Aguirre, 1991). Para esto se utilizó un mapa del estudio forestal de la UCODEFO NO. 1 del municipio de Galeana N. L., con el cual se obtuvieron las superficies correspondientes a las unidades de corta previstas de la especie de interés en el área de estudio.

5.6.5. Regímenes de manejo

Los regímenes de manejo son una serie de estrategias posibles de ejecutar que involucran un plan de cortas dentro del que se consideran actividades de cosecha y prácticas silvícolas (cortas intermedias) a efectuarse a lo largo del periodo de planeación (según Clutter *et al.*, 1983 citado por Reygadas 1988), fueron establecidos teniendo como base dos métodos de tratamiento, regeneración y varias cortas intermedias de aclareo, resultando los regímenes que se dan en el Cuadro 1.

5.6.5.1. Métodos de tratamiento

Se probó el método de tratamiento árboles padres, partiendo del supuesto de que en el área de estudio la mayor parte del arbolado es arbolado maduro y con posibilidad de intervenir para obtener la regeneración.

La intensidad de corta para las cortas de regeneración, corta de semillación en el método de árboles padres, se fijó de acuerdo a la fórmula: existencias reales por hectárea menos

el volumen de 30 árboles. Estos parámetros permiten tener un número adecuado de sujetos, 25-30 árboles / ha para la regeneración, así como el tiempo suficiente para su establecimiento. La selección del método y variables mencionadas se basan en las experiencias que se tienen al respecto para el área de estudio.

5.6.5.2. Cortas intermedias

Consistentes en una corta de liberación con preaclareo y 4 aclareos, estas cortas se consideraron de una intensidad de acuerdo a la tabla de manejo de densidades (Aguirre, 1991) y un espaciamiento entre éstas de 10, 20, ó 30 años como se observa en el Cuadro 1. Por ejemplo, el régimen de manejo No. 1, prevé una corte de liberación con preaclareo en el segundo y octavo período de corta. En este régimen además se observan las cortas inicio y final, al inicio del primer año y en el séptimo periodo.

5.6.6. Distribución de productos

La distribución de productos es el porciento en volumen que de cada tipo de producto se debe o puede asignar de acuerdo al volumen total del árbol, considerando para ello los productos deseados, requerimiento de materia prima y condiciones de arbolado.

En el presente proyecto se consideran dos tipos de productos: madera para primario (largas dimensiones) y madera para secundario (cortas dimensiones) debido a que éstos son las principales materias primas de la industria establecida en la región. De estos productos se probaron dos porcentajes para cada uno, 90% y 10% para primario y secundario respectivamente.

5.6.7. Evaluación de los regímenes de manejo

Este procedimiento se efectuó con la finalidad de conocer los diferentes valores asociados (m^3r/ha y $\$/ha$) a cada régimen de manejo planteado, diferencias dadas

fundamentalmente para este caso particular, por los rodales (unidades de corta), calidad de estación y la ubicación en el tiempo y espacio de las prácticas silvícolas.

Para el conocimiento del valor asociado a cada régimen de manejo se empleó el valor actual neto (VNA), el cual requirió de la estimación del volumen comercial y los rendimientos financieros para las unidades de corta, beneficios netos, y distribución de productos señalados.

5.6.8. Estimación del volumen comercial y rendimientos financieros

5.6.8.1. Volumen comercial

Los niveles de rendimiento volumétrico comercial (m^3r/ha) se obtuvieron utilizando la tabla de producción y manejo de densidades (Aguirre 1991) para las diferentes cortas previstas en cada régimen de manejo. del rendimiento comercial. El volumen comercial se muestra en el apéndice en los cuadros 6-11.

5.6.8.2. Rendimientos financieros

Los rendimientos financieros, se obtuvieron del producto del volumen aprovechable y el precio unitario de mercado prevaleciente en el área (\$700.00 m^3r para aserrío primario y \$500.00 m^3r para aserrío secundario, utilizando una tasa de interés del 5%. Las estimaciones para cada rodal se presentan en los cuadros 12-17 del apéndice.

Estimación del valor actualizado

Los valores actualizados estimados (\$/ha), serán usados como coeficientes de las variables decisionales en la función objetivo del modelo. En la determinación del valor actual neto (VNA), o valor neto presente (VNP) es necesario considerar, además de los beneficios ocurridos a lo largo del período de planeación, los beneficios que se presentan fuera del período de planeación mientras se alcanza la longitud de turno, Cuadros 18-23 del apéndice, referidos ambos al punto en que concluye el período de

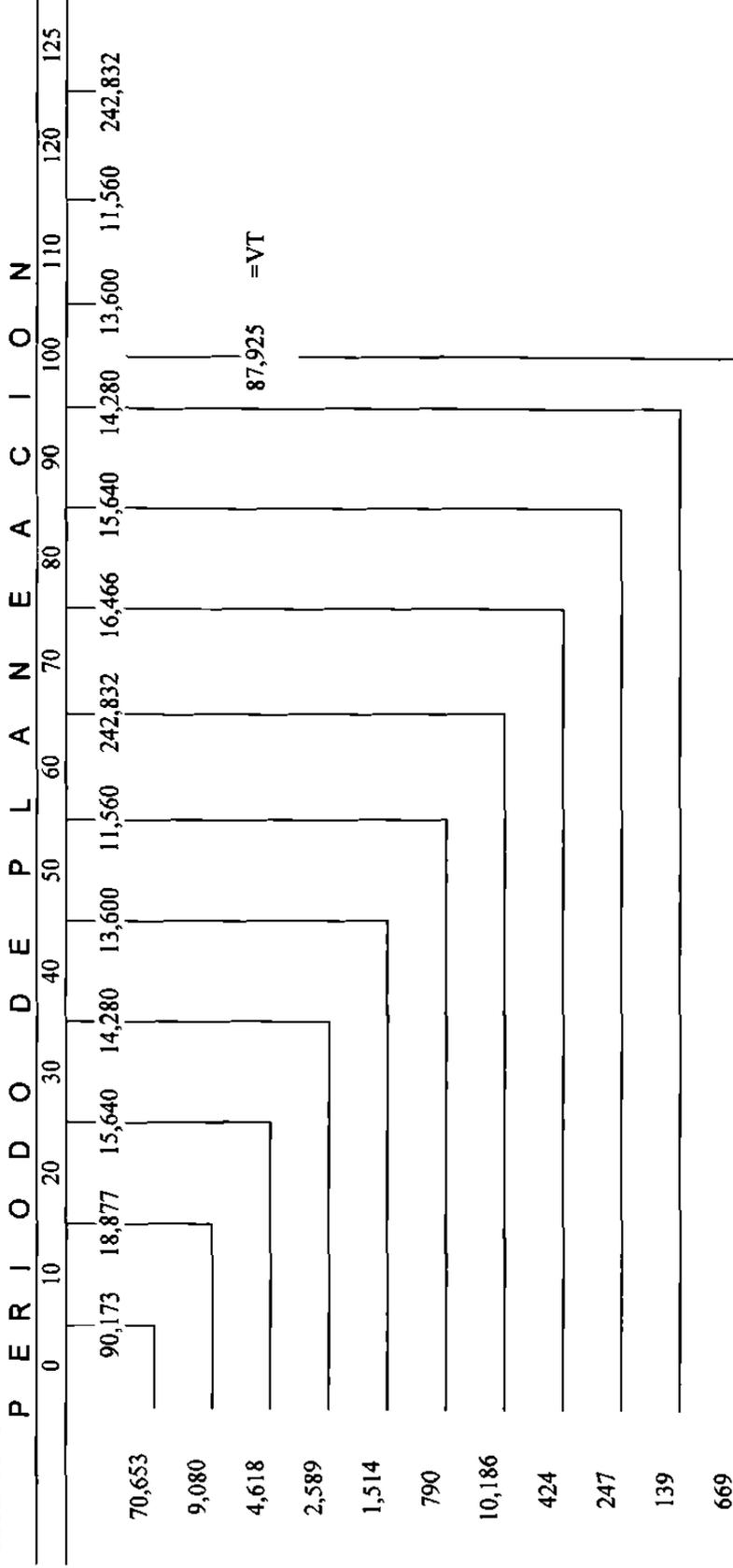
planeación, para posteriormente descontarlos todos a un punto común en el tiempo, generalmente el año inicial, a la tasa de interés establecida.

Esquemáticamente este proceso de cálculo se puede presentar de la siguiente manera:

Considerando por ejemplo el régimen de manejo 1 de la unidad de corta 1, para un precio de \$700.00 para primario y \$ 500.00 para secundario, una distribución de productos de 90% y 10% para primario y secundario respectivamente y una tasa de interés del 5%(figura 3)

Desarrollo de un modelo de programación lineal para el manejo de ecosistemas forestales

p
 Figura 3. Ocurrencia de Beneficios (\$/Ha.) a lo largo del periodo de planeación(100 años) y durante la vida de la masa forestal (50 años), para el régimen de manejo número 1 del rodal 1 considerando un precio de \$700.00 m³ r para aserrío primario y \$500.00 para secundario



VNP100,908

La figura 3 muestra la ocurrencia de los beneficios a lo largo del período de planeación, así como el valor terminal de los beneficios que ocurren fuera del período de planeación (año 105, 115 y 125 respectivamente) descontados ambos al término del período de planeación de 50 años. Los beneficios una vez actualizados y sumados son utilizados como los coeficientes de costos de la función objetivo que pretende la maximización de ganancias.

5.7. Formulación del modelo empleado

La función objetivo del modelo es estructurada por los 6 rodales del área de estudio con diferentes calidades de sitio, con un diseño de 12 regímenes de manejo para cada uno, cada régimen es propuesto para un período de planeación de 100 años, con 11 períodos de corta de 10 años, la función objetivo integra a 72 variables decisionales de superficie ($x = \text{ha}$), correspondiendo el subíndice de los dos dígitos de cada variable al número del rodal y al régimen de manejo respectivamente; cada variable "x" lleva como coeficiente la suma de los rendimientos volumétricos/ha de cada rodal y por cada régimen al terminar el período de planeación. La función objetivo está sujeta a 6 restricciones de superficie, una por cada rodal; la igualdad estricta de cada restricción significa que los valores de superficie de lado derecho (RHS) están forzados a ser utilizados en su totalidad por las variables selectas "x" que entren en la solución óptima (LHS) (líneas 3-8).

Considerando un horizonte o período de planeación(100años), igual o dos veces la longitud del turno (50 años), así como períodos de corta con rangos de 10 años, el sistema de tratamiento silvícola utilizado definió 12 regimenes de manejo con una corta inicial de regeneración y cuatro aclareos para cada uno de los rodales considerados. Las alternativas de régimen de manejo para cada rodal se presentan en los cuadros 1 y 2.

Desarrollo de un modelo de programación lineal para el manejo de ecosistemas forestales

Cuadro 1. Diseño de regímenes de manejo para los rodales 1-3 y 5-6

REGIMEN DE MANEJO	INICIO 1	PERIODOS									
		2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
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. Diseño de regímenes de manejo para el rodal 4

REGIMEN DE MANEJO	INICIO 1	PERIODOS									
		2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
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	A11.0	A30.8	A40.8	CR
10						CR	CLPA	A10.9	A21.0	A31.0	A41.0
11						CR	CLPA	A10.9	A20.9	A30.9	A40.9

5.7.1. Maximización de volumen

5.7.1.1. Modelo 1. Rendimiento no sostenido

Una vez generada la información general, así como los coeficientes del modelo empleado (Cuadros 6-11 del apéndice), La función objetivo queda reestructurada con 72 variables, y 6 restricciones de superficie y de acuerdo a los objetivos de manejo previstos, la formulación quedó definida de la siguiente manera(cuadro 3).

$$\text{Max } Z = \sum_{i=1}^6 \sum_{j=1}^{72} V_{ij} X_{ij}$$

en donde:

V_{ij} = volúmen de corta (m^3 r/ha) durante el periodo de planeación en la unidad de corta 'i', si es asignada al régimen de manejo 'j'.

X_{ij} = área a cortarse en la unidad de corta 'i' bajo el régimen de manejo 'j'.

$i = 1, 2, \dots, 6$ unidad de corta

$J = 1, 2, \dots, 72$ régimen de manejo

Cuadro 3. Formulación del modelo 1 sin rendimiento sostenido

Formulación del modelo:

$$\begin{aligned} \text{MAX } Z = & 686.7 X_{11} + 762.1 X_{12} + 676.5 X_{13} + 693.2 X_{14} + 753.6 X_{15} + 675.0 X_{16} + \\ & 698.7 X_{17} + 742.1 X_{18} + 670.5 X_{19} + 702.2 X_{110} + 727.6 X_{111} + 663.0 X_{112} + 661.7 \\ & X_{21} + 737.1 X_{22} + 651.5 X_{23} + 662.4 X_{24} + 722.8 X_{25} + 644.2 X_{26} + 662.0 X_{27} + 705.4 \\ & X_{28} + 633.8 X_{29} + 659.6 X_{210} + 685.0 X_{211} + 620.4 X_{212} + 684.6 X_{31} + 760.0 X_{32} + \\ & 674.4 X_{33} + 693.1 X_{34} + 753.5 X_{35} + 674.9 X_{36} + 700.7 X_{37} + 744.1 X_{38} + 672.5 X_{39} + \\ & 706.3 X_{310} + 731.7 X_{311} + 667.1 X_{312} + 636.8 X_{41} + 680.2 X_{42} + 608.6 X_{43} + 642.7 \\ & X_{44} + 668.1 X_{45} + 603.5 X_{46} + 647.4 X_{47} + 672.8 X_{48} + 608.2 X_{49} + 319.1 X_{410} + \\ & 382.1 X_{411} + 355.1 X_{412} + 498.4 X_{51} + 561.3 X_{52} + 475.2 X_{53} + 497.0 X_{54} + 548.9 \\ & X_{55} + 466.8 X_{56} + 494.6 X_{57} + 531.5 X_{58} + 456.4 X_{59} + 490.2 X_{510} + 513.1 X_{511} + \\ & 454.0 X_{512} + 314.7 X_{61} + 338.9 X_{62} + 299.1 X_{63} + 313.3 X_{64} + 328.5 X_{65} + 292.7 X_{66} \\ & + 31.0 X_{67} + 317.2 X_{68} + 285.4 X_{69} + 320.6 X_{610} + 326.8 X_{611} + 295.0 X_{612} \end{aligned}$$

SUJETO A: Restricciones de Superficie.

$$X_{11} + X_{12} + X_{13} + X_{14} + X_{15} + X_{16} + X_{17} + X_{18} + X_{19} + X_{110} + X_{111} + X_{112} = 30$$

$$X_{21} + X_{22} + X_{23} + X_{24} + X_{25} + X_{26} + X_{27} + X_{28} + X_{29} + X_{210} + X_{211} + X_{212} = 12$$

$$X_{31} + X_{32} + X_{33} + X_{34} + X_{35} + X_{36} + X_{37} + X_{38} + X_{39} + X_{310} + X_{311} + X_{312} = 14$$

$$X_{41} + X_{42} + X_{43} + X_{44} + X_{45} + X_{46} + X_{47} + X_{48} + X_{49} + X_{410} + X_{411} + X_{412} = 14$$

$$X_{51} + X_{52} + X_{53} + X_{54} + X_{55} + X_{56} + X_{57} + X_{58} + X_{59} + X_{510} + X_{511} + X_{512} = 22$$

$$X_{61} + X_{62} + X_{63} + X_{64} + X_{65} + X_{66} + X_{67} + X_{68} + X_{69} + X_{610} + X_{611} + X_{612} = 41$$

5.7.1.2. Modelo 2. Rendimiento sostenido

La formulación de este modelo surge a partir del algoritmo de solución del modelo anterior que corresponde a la maximización volumétrica sin la restricción de sustentabilidad. Se observa que los regímenes de manejo seleccionados para la maximización del volumen corresponden en todos los casos a los esquemas que mantienen un grado de densidad promedio de 0.9 (cuadro 4), ésta observación constituye una herramienta para la toma de decisiones sobre la intensidad de los tratamientos silvícolas que en términos cuantitativos se aplicarían al área de estudio

Cuadro 4. Regímenes de manejo seleccionados para el modelo 2 con rendimiento sostenido volumétrico.

Rodal/Reg	Inicio	P E R I O D O S									
		2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
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
X32	CR	CLPA	A10.9	A20.9	A30.9	A40.9	CR	CLPA	A10.9	A20.9	A30.9
X42			CR	CLPA	A11.0	A21.0	A31.0	A41.0	CR	CLPA	A11.0
X52	CR	CLPA	A10.9	A20.9	A30.9	A40.9	CR	CLPA	A10.9	A20.9	A30.9
X62	CR	CLPA	A10.9	A20.9	A30.9	A40.9	CR	CLPA	A10.9	A20.9	A30.9

Enseguida se presentan los rendimientos volumétricos de los regímenes de manejo selectos en el modelo 1. En los valores mostrados se destacan los bajos valores para el periodo correspondiente al año 10, es decir el periodo 2(cuadro 5).

Cuadro 5. Rendimientos en volumen para el modelo 2 con rendimiento sostenido volumétrico.

		P	E	R	I	O	D	O	S				
Rodal/Reg	INICIO	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	Total
1-2	132.6	27.8	41	38	35	30	319.5	24.2	41	38	35	762.1	
2-2	105.0	30.4	41	38	35	30	319.5	24.2	41	38	35	737.1	
3-2	133.3	25.0	41	38	35	30	319.5	24.2	41	38	35	760.0	
4-2			130.9	20.6	41	38	35	30	319.5	24.2	41	680.2	
5-2	82.1	21.0	32	31	26	24	242.1	14.0	32	31	26	561.3	
6-2	51.4	9.3		21	20	18	172.7	5.5		21	20	338.9	

La función objetivo del modelo (Z) es estructurada por los 6 rodales del área de estudio de diferentes calidades de sitio, y con los 6 regímenes de manejo que presentaron las 6 variables “x” seleccionadas como solución óptima por el modelo anterior (cuadro 6), cada régimen es propuesto para un turno de 60 años, con 6 periodos de corta de 10 años cada uno, la función objetivo integra a 33 variables decisionales de superficie (x = ha), correspondiendo el subíndice de los dos dígitos de cada variable al número del rodal y al periodo de corta respectivamente; cada variable “x” lleva como coeficiente el rendimiento volumétrico por hectárea de cada rodal y por periodo de corta hasta el término del turno (línea 2). La función objetivo está sujeta a 5 restricciones de rendimiento sostenido en volumen, la igualdad estricta de cada restricción “obliga” a que en cada periodo de 10 años se obtengan cosechas iguales esto se logra igualando a cero los rendimientos en volumen entre cada dos periodos consecutivos (líneas 3-7). También se agregan a la función objetivo 33 restricciones de superficie, la igualdad no estricta de éstas restricciones proporciona un margen de holgura al no utilizar la totalidad del área disponible para cada rodal, los valores de lado derecho (RHS) es la superficie y las variables “x” de cada rodal y por periodo son del lado izquierdo (LHS)(líneas 8-40). El primer grupo de restricciones de rendimiento sostenido está incluido en las líneas 3-7; el segundo grupo de restricciones de superficie se localiza en las líneas 8-40.

$$\text{Max } Z = \sum_{i=1}^6 \sum_{j=1}^6 \sum_{k=1}^6 V_{ijk} X_{ijk}$$

Donde:

V_{ijk} = Volumen total de corta (m³r/ha) en la unidad de corta "i", si se asigna al régimen de manejo "J", durante el periodo de corta "K".

X_{ijk} = Número de hectáreas a ser intervenidas en la unidad de manejo "i", bajo el régimen de manejo "j", durante el periodo de corta "k".

$i = 1, 2, \dots, 6$.unidad de corta

$J = 1, 2, \dots, 6$ régimen de manejo

$K = 1, 2, \dots, 6$periodo de corta

Cuadro 6. Formulación del modelo 2 de rendimiento sostenido

Formulación del modelo:

$$\text{Max } Z = 132.6 X_{11} + 27.8 X_{12} + 41 X_{13} + 38 X_{14} + 35 X_{15} + 30 X_{16} + 105 X_{21} + 30.4 X_{22} + 41 X_{23} + 38 X_{24} + 35 X_{25} + 30 X_{26} + 133.3 X_{31} + 25 X_{32} + 41 X_{33} + 38 X_{34} + 35 X_{35} + 30 X_{36} + 130.9 X_{43} + 20.6 X_{44} + 41 X_{45} + 38 X_{46} + 82.1 X_{51} + 21 X_{52} + 32 X_{53} + 31 X_{54} + 26 X_{55} + 24 X_{56} + 51.4 X_{61} + 9.3 X_{62} + 21 X_{64} + 20 X_{65} + 18 X_{66}$$

Sujeto a:

restricciones de rendimiento sostenido:

$$3) 132.6 X_{11} + 105.0 X_{21} + 133.3 X_{31} + 82.1 X_{51} + 51.4 X_{61} - 27.8 X_{12} - 30.4 X_{22} - 25 X_{32} - 21 X_{52} - 9.3 X_{62} = 0$$

$$4) 27.8 X_{12} + 30.4 X_{22} + 25 X_{32} + 21 X_{52} + 9.3 X_{62} - 41 X_{13} - 41 X_{23} - 41 X_{33} - 130.9 X_{43} - 32 X_{53} = 0$$

$$5) 41 X_{13} + 41 X_{23} + 41 X_{33} + 130.9 X_{43} + 32 X_{53} - 38 X_{14} - 38 X_{14} - 38 X_{14} - 20.6 X_{44} - 31 X_{54} - 21 X_{64} = 0$$

$$6) 38 X_{14} + 38 X_{14} + 38 X_{14} + 20.6 X_{44} + 31 X_{54} + 21 X_{64} - 35 X_{15} - 35 X_{25} - 35 X_{35} - 41 X_{45} - 26 X_{55} - 20 X_{65} = 0$$

$$7) 35 X_{15} + 35 X_{25} + 35 X_{35} + 41 X_{45} + 26 X_{55} + 20 X_{65} - 30 X_{16} - 30 X_{26} - 30 X_{36} - 38 X_{46} - 24 X_{56} - 18 X_{66} = 0$$

Restricciones de superficie

$$8) X_{11} \leq 30$$

$$9) X_{12} \leq 30$$

$$10) X_{13} \leq 30$$

$$11) X_{14} \leq 30$$

$$12) X_{15} \leq 30$$

$$13) X_{16} \leq 30$$

$$14) X_{21} \leq 12$$

$$15) X_{22} \leq 12$$

$$16) X_{23} \leq 12$$

$$17) X_{24} \leq 12$$

$$18) X_{25} \leq 12$$

$$19) X_{26} \leq 12$$

$$20) X_{31} \leq 14$$

$$21) X_{32} \leq 14$$

$$22) X_{33} \leq 14$$

$$23) X_{34} \leq 14$$

$$24) X_{35} \leq 14$$

$$25) X_{36} \leq 14$$

$$26) X_{43} \leq 14$$

$$27) X_{44} \leq 14$$

$$28) X_{45} \leq 14$$

$$29) X_{46} \leq 14$$

$$30) X_{51} \leq 22$$

$$31) X_{52} \leq 22$$

- 32) X53 <= 22
- 33) X54 <= 22
- 34) X55 <= 22
- 35) X56 <= 22
- 36) X61 <= 41
- 37) X62 <= 41
- 38) X64 <= 41
- 39) X65 <= 41
- 40) X66 <= 41

5.7.1.3. Modelo 3. rendimiento sostenido volumétrico de regímenes óptimos combinados con alternativos

El modelo 3 de regulación definitivo se formuló integrando a los regímenes óptimos del modelo 2 de rendimiento sostenido anterior con los regímenes alternativos para cada rodal que presentaron menor costo reducido de acuerdo al modelo 1 (cuadro 7).

Cuadro 7. Diseño de regímenes de manejo para el modelo 3 con rendimiento sostenido volumétrico.

Rodal/Reg	P E R I O D O					
	INICIO 1	2	3	4	5	6
X1.2	CR	CLPA	A10.9	A20.9	A30.9	A40.9
X15		CR	CLPA	A10.9	A20.9	A30.9
X22	CR	CLPA	A10.9	A20.9	A30.9	A40.9
X25		CR	CLPA	A10.9	A20.9	A30.9
X32	CR	CLPA	A10.9	A20.9	A30.9	A40.9
X35		CR	CLPA	A10.9	A20.9	A30.9
X42			CR	CLPA	A10.9	A20.9
X48					CR	CLPA
X52	CR	CLPA	A10.9	A20.9	A30.9	A40.9
X55		CR	CLPA	A10.9	A20.9	A30.9
X62	CR	CLPA	A10.9	A20.9	A30.9	A40.9
X65		CR	CLPA	A10.9	A20.9	A30.9

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 3 se planteó para un turno de 50 años de acuerdo a los datos del cuadro 7.

Cuadro 8. Rendimientos en volumen del modelo 3 con rendimiento sostenido volumétrico

Rodal/Reg	P E R I O D O S											Total
	INICIO	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
1-1	132.6	27.8	41	38	35	30	319.5	24.2	41	38	35	762.1
1-2		155.6	31.3	41	38	35	30	319.5	24.2	41	38	753.6
2-1	105.0	30.4	41	38	35	30	319.5	24.2	41	38	35	737.1
2-2		122.2	33.9	41	38	35	30	319.5	24.2	41	38	722.8
3-1	133.3	25.0	41	38	35	30	319.5	24.2	41	38	35	760.0
3-2		158.4	28.4	41	38	35	30	319.5	24.2	41	38	753.5
4-1			130.9	20.6	41	38	35	30	319.5	24.2	41	680.2
4-2					182.4	26.9	41	38	35	30	319.5	672.8
5-1	82.1	21.0	32	31	26	24	242.1	14.0	32	31	26	561.3
5-2		93.6	23.2	32	31	26	24	242.1	14.0	32	31	548.9
6-1	51.4	9.3		21	20	18	172.7	5.5		21	20	338.9
6-2		59.9	10.4		21	20	18	172.7	5.5		21	328.5

La función objetivo del modelo es estructurada con un enfoque de rendimiento sostenido y por la comparación de un régimen de tratamiento óptimo y un alternativo en cada uno de los seis rodales de tres calidades de sitio diferentes (media, baja y muy baja). Quedan integrados 4 regímenes de manejo óptimos y 4 alternativos, siendo seleccionados los óptimos que recibieron tratamiento al inicio del primer año (periodo cero) y con una densidad media de 0.9, excepto el rodal 4 que por ser un rodal joven de 45 años, recibió el primer tratamiento (corta de regeneración) 20 años después del inicio, así mismo los alternativos que recibieron el primer tratamiento a los 10 años (periodo 1) después del inicio y con una densidad promedio de 0.9, a excepción del régimen de manejo del rodal 4 que inició la corta de regeneración 40 años después del inicio. Los regímenes seleccionados de los modelos 1 y 2 presentaron las variables "x" como solución óptima y alternativa (figura 5), cada régimen es propuesto para un turno de 50 años, con 6 periodos de corta de 10 años cada uno, (periodo 0, 1, 2 etc.). La función objetivo está

periodos de corta de 10 años cada uno, (periodo 0, 1, 2 etc.). La función objetivo está conformada por 59 variables decisionales de superficie ($x = \text{ha}$), correspondiendo el subíndice de los tres dígitos de cada variable, primero al número del rodal, luego al régimen de manejo y al final el periodo de corta respectivamente; cada variable "x" lleva como coeficiente los rendimientos volumétricos por hectárea de cada rodal y por periodo de corta hasta el término del turno (línea 2 de la formulación). La función objetivo está sujeta a 5 restricciones de rendimiento sostenido en volumen, la igualdad estricta de cada restricción "obliga" a que en cada periodo de 10 años se obtengan cosechas iguales, indistintamente si la solución óptima asigna superficie al régimen óptimo o al alternativo; esto se logra igualando a cero los rendimientos en volumen entre cada dos periodos consecutivos (líneas 3-7 de la formulación). También se agregan a la función objetivo 34 restricciones de superficie, la igualdad no estricta de éstas restricciones proporciona un margen de holgura al no utilizar la totalidad del área disponible para cada rodal, es importante la dirección de los signos ya que si se utilizara una igualdad estricta en las restricciones, el modelo daría una solución no factible y el algoritmo de solución no podría estar obligado a asignar la totalidad de la superficie y además obtener un rendimiento periódico sostenido. Los valores de lado derecho (RHS) es la superficie por asignar a las variables "x" de cada rodal y periodo del lado izquierdo (LHS) (líneas 8-40 de la formulación). El primer grupo de restricciones de rendimiento sostenido está incluido en la formulación en las líneas 3-7; el segundo grupo de restricciones de superficie se localiza en las líneas 8-41.

$$\text{Max } Z = \sum_{i=1}^6 \sum_{j=1}^{12} \sum_{k=1}^6 V_{ijk} X_{ijk}$$

Donde:

V_{ijk} = Volumen total de corta ($\text{m}^3\text{r}/\text{ha}$) en la unidad de corta "i", si se asigna al régimen de manejo "J", durante el periodo de corta "K".

X_{ijk} = Número de hectáreas a ser intervenidas en la unidad de manejo "i", bajo el régimen de manejo "j", durante el periodo de corta "k"

$i = 1, 2, \dots, 6$.unidad de corta

$J = 1, 2, \dots, 12$ régimen de manejo

$K = 1, 2, \dots, 6$ periodo de corta

Cuadro 9. Formulación del modelo 3 combinación de regímenes óptimos con alternativos.

Formulación del modelo:

$$\begin{aligned} \text{Max } z = & 132.6 x_{111} + 27.8 x_{112} + 41 x_{113} + 38 x_{114} + 35 x_{115} + 30 x_{116} + 155.6 x_{122} \\ & + 31.3 x_{123} + 41 x_{124} + 38 x_{125} + 35 x_{126} + 105 x_{211} + 30.4 x_{212} + 41 x_{213} + 38 x_{214} \\ & + 35 x_{215} + 30 x_{216} + 122.2 x_{222} + 33.9 x_{223} + 41 x_{224} + 38 x_{225} + 35 x_{226} + 133.3 \\ & x_{311} + 25 x_{312} + 41 x_{313} + 38 x_{314} + 35 x_{315} + 30 x_{316} + 130.9 x_{413} + 20.6 x_{414} + 41 \\ & x_{415} + 38 x_{416} + 182.4 x_{425} + 26.9 x_{426} + 82.1 x_{511} + 21 x_{512} + 32 x_{513} + 31 x_{514} + \\ & 26 x_{515} + 24 x_{516} + 93.6 x_{522} + 23.2 x_{523} + 32 x_{524} + 31 x_{525} + 26 x_{526} + 51.4 x_{611} \\ & + 9.3 x_{612} + 21 x_{614} + 20 x_{615} + 18 x_{616} + 59.9 x_{622} + 10.4 x_{623} + 21 x_{625} + 20 x_{626}. \end{aligned}$$

Sujeto a:

Restricciones de rendimiento sostenido:

$$3) 32.6 x_{111} + 105 x_{211} + 133.3 x_{311} + 82.1 x_{511} + 51.4 x_{611} - 27.8 x_{112} - 156.6 x_{122} - 30.4 x_{212} - 122.2 x_{222} - 25 x_{312} - 158.4 x_{322} - 21 x_{512} - 93.6 x_{522} - 9.3 x_{612} - 59.9 x_{622} = 0$$

$$4) 27.8 x_{112} + 156.6 x_{122} + 30.4 x_{212} + 122.2 x_{222} + 25 x_{312} + 158.4 x_{322} + 21 x_{512} + 93.6 x_{522} + 9.3 x_{612} + 59.9 x_{622} - 41 x_{113} - 31.3 x_{123} - 41 x_{213} - 33.9 x_{223} - 41 x_{313} - 28.4 x_{323} - 130.9 x_{413} - 32 x_{513} - 23.2 x_{523} - 10.4 x_{623} = 0$$

$$5) 41 x_{113} + 31.3 x_{123} + 41 x_{213} + 33.9 x_{223} + 41 x_{313} + 28.4 x_{323} + 130.9 x_{413} + 32 x_{513} + 23.2 x_{523} + 10.4 x_{623} - 38 x_{114} - 41 x_{124} - 38 x_{214} - 41 x_{224} - 38 x_{314} - 41 x_{324} - 20.6 x_{414} - 31 x_{514} - 32 x_{524} - 21 x_{614} = 0$$

$$6) 38 x_{114} + 41 x_{124} + 38 x_{214} + 41 x_{224} + 38 x_{314} + 41 x_{324} + 20.6 x_{414} + 31 x_{514} + 32 x_{524} + 21 x_{614} - 35 x_{115} - 38 x_{125} - 35 x_{215} - 38 x_{225} - 35 x_{315} - 38 x_{325} - 41 x_{415} - 182.4 x_{425} - 26 x_{515} - 31 x_{525} - 20 x_{615} - 21 x_{625} = 0$$

$$7) 38 x_{125} + 35 x_{215} + 38 x_{225} + 35 x_{315} + 38 x_{325} + 41 x_{415} + 182.4 x_{425} + 26 x_{515} + 31 x_{525} + 20 x_{615} + 21 x_{625} - 30 x_{116} - 35 x_{126} - 30 x_{216} - 35 x_{226} - 30 x_{316} - 35 x_{326} - 38 x_{416} - 26.9 x_{426} - 24 x_{516} - 26 x_{526} - 18 x_{616} - 20 x_{626} = 0$$

Restricciones de superficie:

$$8) x_{111} \leq 30$$

$$9) x_{112} + x_{122} \leq 30$$

$$10) x_{113} + x_{123} \leq 30$$

$$11) x_{114} + x_{124} \leq 30$$

$$12) x_{115} + x_{125} \leq 30$$

$$13) x_{116} + x_{126} \leq 30$$

$$14) x_{211} \leq 12$$

$$15) x_{212} + x_{222} \leq 12$$

$$16) x_{213} + x_{223} \leq 12$$

$$17) x_{214} + x_{224} \leq 12$$

$$18) x_{215} + x_{225} \leq 12$$

$$19) x_{216} + x_{226} \leq 12$$

$$20) x_{311} \leq 14$$

$$21) x_{312} + x_{322} \leq 14$$

$$22) x_{313} + x_{323} \leq 14$$

$$23) x_{314} + x_{324} \leq 14$$

$$24) x_{315} + x_{325} \leq 14$$

$$25) x_{316} + x_{326} \leq 14$$

$$26) x_{413} \leq 14$$

$$27) x_{414} \leq 14$$

$$28) x_{415} + x_{425} \leq 14$$

$$29) x_{416} + x_{426} \leq 14$$

- 30) $x_{511} \leq 22$
- 31) $x_{512} + x_{522} \leq 22$
- 32) $x_{513} + x_{523} \leq 22$
- 33) $x_{514} + x_{524} \leq 22$
- 34) $x_{515} + x_{525} \leq 22$
- 35) $x_{516} + x_{526} \leq 22$
- 36) $x_{611} \leq 41$
- 37) $x_{612} + x_{622} \leq 41$
- 38) $x_{623} \leq 41$
- 39) $x_{614} \leq 41$
- 40) $x_{615} + x_{625} \leq 41$
- 41) $x_{616} + x_{626} \leq 41$

5.7.2. Maximización financiera

5.7.2.1. Modelo 1. Rendimiento no sostenido

Una vez generada la información general, así como los coeficientes del modelo empleado (Cuadros 18 - 23), La función objetivo queda reestructurada con 72 variables, y 6 restricciones de superficie y de acuerdo a los objetivos de manejo previstos, la formulación quedó definida de la siguiente manera(cuadro 10).

$$\text{Max } Z = \sum_{i=1}^6 \sum_{j=1}^{72} V_{ij} X_{ij}$$

en donde:

V_{ij} = volúmen de corta (m^3 r/ha) durante el periodo de planeación en la unidad de corta 'i', si es asignada al régimen de manejo 'j'.

X_{ij} = área a cortarse en la unidad de corta 'i' bajo el régimen de manejo 'j'.

$i = 1, 2, \dots, 6$ unidad de corta

$J = 1, 2, \dots, 72$ régimen d manejo

Cuadro 10. Formulación del modelo 1 sin rendimiento sostenido financiero.

Formulación

$$\begin{aligned} \text{Max } z = & 100908.3 x_{11} + 107626.7 x_{12} + 103254.9 x_{13} + 69834 x_{14} + 73993.8 x_{15} + \\ & 71345.1 x_{16} + 47902.4 x_{17} + 50443.9 x_{18} + 48823.5 x_{19} + 32487.1 x_{110} + 34033.4 \\ & x_{111} + 33045.1 x_{112} + 87069.3 x_{21} + 93787.7 x_{22} + 89415.9 x_{23} + 59426.5 x_{24} + \\ & 63586.2 x_{25} + 60937.6 x_{26} + 40339.5 x_{27} + 42881.0 x_{28} + 41260.6 x_{29} + 27123.7 x_{210} + \\ & 28669.9 x_{211} + 27681.7 x_{212} + 100354.8 x_{31} + 107073.1 x_{32} + 102701.4 x_{33} + 70179.3 \\ & x_{34} + 74339.1 x_{35} + 71690.4 x_{36} + 48534.9 x_{37} + 51076.5 x_{38} + 49456.1 x_{39} + 33133.7 \\ & x_{310} + 34679.9 x_{311} + 33691.7 x_{312} + 36586.0 x_{41} + 39127.5 x_{42} + 37507.1 x_{43} + \\ & 25851.5 x_{44} + 27397.7 x_{45} + 26409.5 x_{46} + 17950.7 x_{47} + 18884.0 x_{48} + 18283.9 x_{49} + \\ & 11917.8 x_{410} + 12567.4 x_{411} + 12299.1 x_{412} + 66723.7 x_{51} + 72204.7 x_{52} + 66551.5 \\ & x_{53} + 44882.9 x_{54} + 48274.2 x_{55} + 44829.9 x_{56} + 30104.4 x_{57} + 32176.0 x_{58} + 30065.2 \\ & x_{59} + 20040.4 x_{510} + 21301.9 x_{511} + 20009.9 x_{512} + 39236.4 x_{61} + 40919.4 x_{62} + \\ & 39290.2 x_{63} + 26911.8 x_{64} + 27963.7 x_{65} + 26982.0 x_{66} + 18356.7 x_{67} + 18995.0 x_{68} + \\ & 18396.1 x_{69} + 12391.5 x_{610} + 12774.9 x_{611} + 12411.0 x_{612} \end{aligned}$$

Sujeto a las siguientes restricciones

$$3) x_{11} + x_{12} + x_{13} + x_{14} + x_{15} + x_{16} + x_{17} + x_{18} + x_{19} + x_{110} + x_{111} + x_{112}$$

$$\leq 30$$

$$4) x_{21} + x_{22} + x_{23} + x_{24} + x_{25} + x_{26} + x_{27} + x_{28} + x_{29} + x_{210} + x_{211} + x_{212}$$

$$\leq 12$$

$$5) x_{31} + x_{32} + x_{33} + x_{34} + x_{35} + x_{36} + x_{37} + x_{38} + x_{39} + x_{310} + x_{311} + x_{312}$$

$$\leq 14$$

$$6) x_{41} + x_{42} + x_{43} + x_{44} + x_{45} + x_{46} + x_{47} + x_{48} + x_{49} + x_{410} + x_{411} + x_{412}$$

$$\leq 14$$

$$7) x_{51} + x_{52} + x_{53} + x_{54} + x_{55} + x_{56} + x_{57} + x_{58} + x_{59} + x_{510} + x_{511} + x_{512}$$

$$\leq 22$$

$$8) x_{61} + x_{62} + x_{63} + x_{64} + x_{65} + x_{66} + x_{67} + x_{68} + x_{69} + x_{610} + x_{611} + x_{612}$$

$$\leq 41$$

5.7.2.2. Modelo 2. Rendimiento sostenido financiero

La formulación de este modelo surge a partir del algoritmo de solución del modelo anterior que corresponde a la maximización financiera sin la restricción de sustentabilidad. El bosque es regulado después de la corta inicial de regeneración y cuatro periodos de corta (aclareos), los mismos rodales son cosechados en la misma secuencia para siempre. Por ejemplo, las hectáreas en los Rodales 1, 2, 3, y 5, manejadas por el régimen de manejo 2 son cosechadas en la corta inicial y cinco periodos de corta posteriores. El Rodal 4 inicia sus tratamientos hasta el año 30 y de ahí sigue la misma secuencia. El rodal 6 se diferencia de los demás porque no tendrá cosecha el tercer periodo de cada turno a 50 años. Se observa también que los regímenes de manejo seleccionados para la maximización financiera con rendimiento sostenido corresponden en todos los casos a los esquemas que mantienen un grado de densidad de 0.9, con el régimen de manejo 2, ésta observación constituye una herramienta para la toma de decisiones sobre la intensidad de los tratamientos silvícolas que en términos cuantitativos se aplicarían al área de estudio (cuadro. 11)

Cuadro 11. Regímenes de manejo seleccionados para el modelo 2 con rendimiento sostenido financiero.

Rodal/Reg	P E R I O D O S										
	Inicio	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
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
X32	CR	CLPA	A10.9	A20.9	A30.9	A40.9	CR	CLPA	A10.9	A20.9	A30.9
X42			CR	CLPA	A11.0	A21.0	A31.0	A41.0	CR	CLPA	A11.0
X52	CR	CLPA	A10.9	A20.9	A30.9	A40.9	CR	CLPA	A10.9	A20.9	A30.9
X62	CR	CLPA		A20.9	A30.9	A40.9	CR	CLPA	A10.9	A20.9	A30.9

Enseguida se presentan los rendimientos financieros de los regímenes de manejo selectos para este modelo. En los valores mostrados se destacan los bajos beneficios para el año 95 (Cuadro 12).

Cuadro 12. Rendimientos económicos para el modelo 2 con rendimiento sostenido financiero.

	Ben Actual		A		Ñ		O		S		B. T. Act.
Rodal	5	15	25	35	45	55	65	75	85	95	100
1	70653	9080	8233	4684.5	2648.9	1393.9	9113.5	424	440.8	250.8	704.3
2	55952.5	9941.5	8233	4684.5	2648.9	1393.9	9113.5	424	440.8	250.8	704.3
3	71013.9	8165.6	8233	4684.5	2648.9	1393.9	9113.5	424	440.8	250.8	704.3
4			26289.6	2537.1	3102.9	1765.6	998.3	525.3	3434.8	159.8	314.1
5	43759	6880.4	6425.8	3821.6	1967.7	1115.1	6906.9	244.8	344	204.6	534.8
6	27399.7	3030.1		2588.8	1513.6	836.3	4927.2	95.6		138.6	389.6

La función objetivo del modelo es estructurada por los 6 rodales del área de estudio de diferentes calidades de sitio, y con los 6 regímenes de manejo que presentaron las 6 variables seleccionadas como solución óptima por el modelo anterior, cada régimen es propuesto para un turno de 50 años, con 6 periodos de corta de 10 años cada uno, la función objetivo integra a 33 variables decisionales de superficie (x = ha), correspondiendo el subíndice de los dos dígitos de cada variable al número del rodal y al periodo de corta respectivamente; cada variable "x" lleva como coeficiente el rendimiento financiero por hectárea de cada rodal y por periodo de corta hasta el término del turno (línea 2). La función objetivo está sujeta a 5 restricciones de rendimiento sostenido en volumen, la igualdad estricta de cada restricción "obliga" a que en cada periodo de 10 años se obtengan cosechas iguales esto se logra igualando a cero los rendimientos en volumen entre cada dos periodos consecutivos (líneas 3-7). También se agregan a la función objetivo 33 restricciones de superficie, la igualdad no estricta de éstas restricciones proporciona un margen de holgura al no utilizar la totalidad del área disponible para cada rodal, los valores de lado derecho (RHS) es la superficie y las variables "x" de cada rodal y por periodo son del lado izquierdo (LHS)(líneas 8-40). El primer grupo de restricciones de rendimiento sostenido está incluido en las líneas del 3 al 7; el segundo grupo de restricciones de superficie se localiza en las líneas del 8 al 40.

$$\text{Max } Z = \sum_{i=1}^6 \sum_{j=1}^{12} \sum_{k=1}^6 V_{ijk} X_{ijk}$$

Donde:

V_{ijk} = Volumen total de corta (m^3r/ha) en la unidad de corta "i", si se asigna al régimen de manejo "J", durante el periodo de corta "K".

X_{ijk} = Número de hectáreas a ser intervenidas en la unidad de manejo "i", bajo el régimen de manejo "j", durante el periodo de corta "k"

$i = 1,2, \dots,6$ unidad de corta

$j = 1,2, \dots,12$ régimen d manejo

$k = 1,2,\dots,6,\dots,\dots$ periodo de corta

Cuadro 13. Formulación del modelo 2 de rendimiento sostenido financiero

Formulación

$$\text{Max } Z = 70653.0 x_{11} + 9080.0 x_{12} + 8233.0 x_{13} + 4684.5 x_{14} + 2648.9 x_{15} + 1393.9 x_{16} + 55952.5 x_{21} + 9941.5 x_{22} + 8233.0 x_{23} + 4684.5 x_{24} + 2648.9 x_{25} + 1393.9 x_{26} + 71013.9 x_{31} + 8165.6 x_{32} + 8233.0 x_{33} + 4684.5 x_{34} + 2648.9 x_{35} + 1393.9 x_{36} + 26289.6 x_{43} + 2537.1 x_{44} + 3102.9 x_{45} + 1765.6 x_{46} + 43759.0 x_{51} + 6880.4 x_{52} + 6425.8 x_{53} + 3821.6 x_{54} + 1967.7 x_{55} + 1115.1 x_{56} + 27399.7 x_{61} + 3030.1 x_{62} + 2588.8 x_{64} + 1513.6 x_{65} + 833.3 x_{66}$$

$$3) 132.6 x_{11} + 105.0 x_{21} + 133.3 x_{31} + 82.1 x_{51} + 51.4 x_{61} - 27.8 x_{12} - 30.4 x_{22} - 25.0 x_{32} - 20.6 x_{52} - 9.3 x_{62} = 0$$

$$4) 27.8 x_{12} + 30.4 x_{22} + 25.0 x_{32} + 20.6 x_{52} + 9.3 x_{62} - 41 x_{13} - 41 x_{23} - 41 x_{33} - 130.9 x_{43} - 32 x_{53} = 0$$

$$5) 41 x_{13} + 41 x_{23} + 41 x_{33} + 130.9 x_{43} + 32 x_{53} - 38 x_{14} - 38 x_{24} - 38 x_{34} - 20.6 x_{44} - 31 x_{54} - 21 x_{64} = 0$$

$$6) 38 x_{14} + 38 x_{24} + 38 x_{34} + 20.6 x_{44} + 31 x_{54} + 21 x_{64} - 35 x_{15} - 35 x_{25} - 35 x_{35} - 41 x_{45} - 26 x_{55} - 20 x_{65} = 0$$

$$7) 35 x_{15} + 35 x_{25} + 35 x_{35} + 41 x_{45} + 26 x_{55} + 20 x_{65} - 30 x_{16} - 30 x_{26} - 30 x_{36} - 38 x_{46} - 24 x_{56} + 18 x_{66} = 0$$

$$8) x_{11} \leq 30$$

$$9) x_{12} \leq 30$$

$$10) x_{13} \leq 30$$

- 11) $x_{14} \leq 30$
 - 12) $x_{15} \leq 30$
 - 13) $x_{16} \leq 30$
 - 14) $x_{21} \leq 12$
 - 15) $x_{22} \leq 12$
 - 16) $x_{23} \leq 12$
 - 17) $x_{24} \leq 12$
 - 18) $x_{25} \leq 12$
 - 19) $x_{26} \leq 12$
 - 20) $x_{31} \leq 14$
 - 21) $x_{32} \leq 14$
 - 22) $x_{33} \leq 14$
 - 23) $x_{34} \leq 14$
 - 24) $x_{35} \leq 14$
 - 25) $x_{36} \leq 14$
 - 26) $x_{43} \leq 14$
 - 27) $x_{44} \leq 14$
 - 28) $x_{45} \leq 14$
 - 29) $x_{46} \leq 14$
 - 30) $x_{51} \leq 22$
 - 31) $x_{52} \leq 22$
 - 32) $x_{53} \leq 22$
 - 33) $x_{54} \leq 22$
 - 34) $x_{55} \leq 22$
 - 35) $x_{56} \leq 22$
 - 36) $x_{61} \leq 41$
 - 37) $x_{62} \leq 41$
 - 38) $x_{64} \leq 41$
 - 39) $x_{65} \leq 41$
 - 40) $x_{66} \leq 41$
- fin

5.7.2.3. Modelo 3. rendimiento sostenido financiero de regímenes óptimos combinados con alternativos.

La formulación de este modelo surge a partir del algoritmo de solución del modelo anterior que corresponde a la maximización financiera sin la restricción de sustentabilidad. La función objetivo del modelo es estructurada con un enfoque de rendimiento sostenido y por la comparación de un régimen de tratamiento óptimo y un alternativo. Quedan integrados 4 regímenes de manejo óptimos y 4 alternativos todos recibirán tratamiento al inicio del primer año (periodo 1) y con una densidad de 1.0 y 0.9 respectivamente, excepto el rodal 4 que por ser un rodal joven de 45 años, recibió el primer tratamiento (corta de regeneración) 20 años después de iniciar el periodo de planeación, el rodal 6 no recibe tratamiento en el periodo 3 (Cuadros 14 y 15).

Cuadro 14. Regímenes de manejo seleccionados para el modelo 3 con rendimiento sostenido financiero.

P	E	R	I	O	D	O
Rodal/Reg	INICIO 1	2	3	4	5	6
X11	CR	CLPA	A10.9	A20.9	A30.9	A40.9
X12	CR	CLPA	A10.9	A20.9	A30.9	A40.9
X21	CR	CLPA	A10.9	A20.9	A30.9	A40.9
X22	CR	CLPA	A10.9	A20.9	A30.9	A40.9
X31	CR	CLPA	A10.9	A20.9	A30.9	A40.9
X32	CR	CLPA	A10.9	A20.9	A30.9	A40.9
X41			A10.9	A20.9	A30.9	A40.9
X42			A10.9	A20.9	A30.9	A40.9
X51	CR	CLPA	A10.9	A20.9	A30.9	A40.9
X52	CR	CLPA	A10.9	A20.9	A30.9	A40.9
X61	CR	CLPA	A10.9	A20.9	A30.9	A40.9
X62	CR	CLPA		A20.9	A30.9	A40.9

La función objetivo está conformada por 68 variables decisionales de superficie (Cuadro 16), correspondiendo el subíndice de los tres dígitos de cada variable, primero al número del rodal, luego al régimen de manejo y al final el periodo de corta respectivamente; cada variable "x" lleva como coeficiente los rendimientos financieros por hectárea de cada rodal y por periodo de corta hasta el término del turno (línea 2 de la formulación). La función objetivo está sujeta a 5 restricciones de rendimiento sostenido en volumen, la igualdad estricta de cada restricción "obliga" a que en cada periodo de 10 años se obtengan cosechas iguales, indistintamente si la solución óptima asigna superficie al

régimen óptimo o al alternativo; esto se logra igualando a cero los rendimientos en volumen entre cada dos periodos consecutivos (líneas 3-7 de la formulación).

Cuadro 15. Rendimientos económicos para el modelo 3 con rendimiento sostenido financiero.

Rod-Reg	A		N		S	
	5	15	25	35	45	55
11	70653.0	9080.0	8233.0	4684.5	2648.9	1393.9
12	70653.0	9080.0	6827.4	3821.6	2119.1	1115.1
21	55952.5	9941.5	8233.0	4684.5	2648.9	1393.9
22	55952.5	9941.5	6827.4	3821.6	2119.1	1115.1
31	71013.9	8165.6	8233.0	4684.5	2648.9	1393.9
32	71013.9	8165.6	6827.4	3821.6	2119.1	1115.1
41			26289.6	2537.1	3102.9	1765.6
42			26289.6	2537.1	2573.2	1440.3
51	43759.0	6880.4	3614.5	1972.4	1135.2	604.0
52	43759.0	6880.4	6425.8	3821.6	1967.7	1115.1
61	27399.7	3030.1		2588.8	1513.6	836.3
6	27399.7	3030.1		2095.7	1210.9	650.5
2						

También se agregan a la función objetivo 33 restricciones de superficie, la igualdad no estricta de éstas restricciones proporciona un margen de holgura al no utilizar la totalidad del área disponible para cada rodal, es importante la dirección de los signos ya que si se utilizara una igualdad estricta en las restricciones, el modelo daría una solución no factible y el algoritmo de solución no podría estar obligado a asignar la totalidad de la superficie y además obtener un rendimiento periódico sostenido en volumen. Los valores de lado derecho (RHS) es la superficie por asignar a las variables "x" de cada rodal y en cada periodo del lado izquierdo (LHS) (líneas 8-40 de la formulación).

$$\text{Max } Z = \sum_{i=1}^6 \sum_{j=1}^{12} \sum_{k=1}^6 V_{ijk} X_{ijk}$$

Donde:

V_{ijk} = Volumen total de corta (m³r/ha) en la unidad de corta "i", si se asigna al régimen de manejo "J", durante el periodo de corta "K".

X_{ijk} = Número de hectáreas a ser intervenidas en la unidad de manejo "i", bajo el régimen de manejo "j", durante el periodo de corta "k"

$i = 1, 2, \dots, 6$ unidad de corta
 $j = 1, 2, \dots, 12$ régimen de manejo
 $k = 1, 2, \dots, 6$ periodo de corta

Cuadro 16. Formulación del modelo 3 de rendimiento sostenido financiero(combinación del modelo 1 y 2)

Formulación

$$\begin{aligned} \text{Max } z = & 70653.0 x_{111} + 9080.0 x_{112} + 8233.0 x_{113} + 4684.5 x_{114} + 2648.9 x_{115} + \\ & 1393.9 x_{116} + 70653.0 x_{121} + 9080.0 x_{122} + 6827.4 x_{123} + 3821.6 x_{124} + 2119.1 x_{125} + \\ & 1115.1 x_{126} + 55952.5 x_{211} + 9941.5 x_{212} + 8233.0 x_{213} + 4684.5 x_{214} + 2648.9 \\ & x_{215} + 1393.9 x_{216} + 55952.5 x_{221} + 9941.5 x_{222} + 6827.4 x_{223} + 3821.6 x_{224} + 2119.1 \\ & x_{225} + 1115.1 x_{226} + 71013.9 x_{311} + 8165.6 x_{312} + 8233.0 x_{313} + 4684.5 x_{314} + 2648.9 \\ & x_{315} + 1393.9 x_{316} + 71013.9 x_{321} + 8165.6 x_{322} + 6827.4 x_{323} + 3821.6 x_{324} + 2119.1 \\ & x_{325} + 1115.1 x_{326} + 26289.6 x_{413} + 2537.1 x_{414} + 3102.9 x_{415} + 1765.6 x_{416} + \\ & 26289.6 x_{423} + 2537.1 x_{424} + 2573.2 x_{425} + 1440.3 x_{426} + 43759.0 x_{511} + 6880.4 x_{512} \\ & + 3614.5 x_{513} + 1972.4 x_{514} + 1135.2 x_{515} + 604.0 x_{516} + 43759.0 x_{521} + 6880.4 x_{522} \\ & + 6425.8 x_{523} + 3821.6 x_{524} + 1967.7 x_{525} + 1115.1 x_{526} + 27399.7 x_{611} + 3030.1 x_{612} \\ & + 2588.8 x_{614} + 1513.6 x_{615} + 836.3 x_{616} + 27399.7 x_{621} + 3030.1 x_{622} + 2095.7 x_{624} \\ & + 1210.9 x_{625} + 650.5 x_{626} \end{aligned}$$

Sujeto a las siguientes restricciones

$$\begin{aligned} 3) & 132.6 x_{111} + 132.6 x_{121} + 105.0 x_{211} + 105.0 x_{221} + 133.3 x_{311} + 133.3 x_{321} + 82.1 \\ & x_{511} + 82.1 x_{521} + 51.4 x_{611} + 51.4 x_{621} - 27.8 x_{112} - 27.8 x_{122} - 30.4 x_{212} - 30.0 x_{222} \\ & - 25.0 x_{312} - 25.0 x_{322} \\ & - 21.0 x_{512} - 21.0 x_{522} - 9.3 x_{612} - 9.3 x_{622} = 0 \\ 4) & 27.8 x_{112} + 27.8 x_{122} + 30.4 x_{212} + 30.0 x_{222} + 25.0 x_{312} + 25.0 x_{322} + 21.0 x_{512} + \\ & 21.0 x_{522} + 9.3 x_{612} + 9.3 x_{622} - 41 x_{113} - 34 x_{123} - 41 x_{213} - 34 x_{223} - 41 x_{313} - 34 \\ & x_{323} - 130.9 x_{413} - 130.9 x_{423} - 18 x_{513} - 32 x_{523} = 0 \end{aligned}$$

$$5) 41 x_{113} + 34 x_{123} + 41 x_{213} + 34 x_{223} + 41 x_{313} + 34 x_{323} + 130.9 x_{413} + 130.9 x_{423} + 18 x_{513} + 32 x_{523} - 38 x_{114} - 31 x_{124} - 38 x_{214} - 31 x_{224} - 38 x_{314} - 31 x_{324} - 20.6 x_{414} - 20.6 x_{424} - 16 x_{514} - 31 x_{524} - 21 x_{614} - 17 x_{624} = 0$$

$$6) 38 x_{114} + 31 x_{124} + 38 x_{214} + 31 x_{224} + 38 x_{314} + 31 x_{324} + 20.6 x_{414} + 20.6 x_{424} + 16 x_{514} + 31 x_{524} + 21 x_{614} + 17 x_{624} - 35 x_{115} - 28 x_{125} - 35 x_{215} - 28 x_{225} - 35 x_{315} - 28 x_{325} - 41 x_{415} - 34 x_{425} - 15 x_{515} - 26 x_{525} - 20 x_{615} - 16 x_{625} = 0$$

$$7) 35 x_{115} + 28 x_{125} + 35 x_{215} + 28 x_{225} + 35 x_{315} + 28 x_{325} + 41 x_{415} + 34 x_{425} + 15 x_{515} + 26 x_{525} + 20 x_{615} + 16 x_{625} - 30 x_{116} - 24 x_{126} - 30 x_{216} - 24 x_{226} - 30 x_{316} - 24 x_{326} - 38 x_{416} - 31 x_{426} - 13 x_{516} - 24 x_{526} - 18 x_{616} - 14 x_{626} = 0$$

$$8) x_{111} + x_{121} \leq 30$$

$$9) x_{112} + x_{122} \leq 30$$

$$10) x_{113} + x_{123} \leq 30$$

$$11) x_{114} + x_{124} \leq 30$$

$$12) x_{115} + x_{125} \leq 30$$

$$13) x_{116} + x_{126} \leq 30$$

$$14) x_{211} + x_{221} \leq 12$$

$$15) x_{212} + x_{222} \leq 12$$

$$16) x_{213} + x_{223} \leq 12$$

$$17) x_{214} + x_{224} \leq 12$$

$$18) x_{215} + x_{225} \leq 12$$

$$19) x_{216} + x_{226} \leq 12$$

$$20) x_{311} + x_{321} \leq 14$$

$$21) x_{312} + x_{322} \leq 14$$

$$22) x_{313} + x_{323} \leq 14$$

$$23) x_{314} + x_{324} \leq 14$$

$$24) x_{315} + x_{325} \leq 14$$

$$25) x_{316} + x_{326} \leq 14$$

$$26) x_{413} + x_{423} \leq 14$$

$$27) x_{414} + x_{424} \leq 14$$

$$28) x_{415} + x_{425} \leq 14$$

$$29) x_{416} + x_{426} \leq 14$$

- 30) $x_{511} + x_{521} \leq 22$
- 31) $x_{512} + x_{522} \leq 22$
- 32) $x_{513} + x_{523} \leq 22$
- 33) $x_{514} + x_{524} \leq 22$
- 34) $x_{515} + x_{525} \leq 22$
- 35) $x_{516} + x_{526} \leq 22$
- 36) $x_{611} + x_{621} \leq 41$
- 37) $x_{612} + x_{622} \leq 41$
- 38) $x_{614} + x_{624} \leq 41$
- 39) $x_{615} + x_{625} \leq 41$
- 40) $x_{616} + x_{626} \leq 41$

5.8. Análisis de sensibilidad

Una de las alternativas para tratar el problema de la incertidumbre, asociada a cualquier actividad de asignación de recursos, es el análisis de sensibilidad, alternativa que consiste en analizar una actividad de inversión o asignación de recursos cambiando los valores más posibles o actuales de las variables consideradas, por valores factibles de ocurrir durante el desarrollo de tal actividad permitiendo ampliar el escenario sobre el cual se toman las decisiones.

De esta manera la realización de un análisis de sensibilidad cuando se maneja un modelo de programación lineal resulta insoslayable no obstante uno de los supuestos básicos de modelo sea el conocimiento perfecto de los parámetros del modelo, i. e., el determinismo.

De las diferentes variables que influyen en el proyecto de inversión, el precio de mercado y la tasa de interés, son las que tienen mayor influencia en las soluciones de un problema y por tanto en la toma de decisiones (Kronrad, 1984).

5.9. Procesamiento de datos.

Los algoritmos de solución para cada uno de los modelos de optimización formulados anteriormente, se obtuvieron utilizando el procesamiento electrónico del sistema LINDO/PC (Shrage, 1985), del laboratorio de manejo forestal de la Facultad de Ciencias Forestales de la Universidad de Nuevo León.

VI. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

A continuación se muestran los resultados de las dos formulaciones definidas: a) Maximización de rendimiento en volumen y b) Maximización de rendimientos financieros, las cuales bajo la consideración de restringirlas al manejarse "sin" y "con" rendimiento sostenido, usando una tasa de interés del 5%, con un precio de \$ 700.00 para "primario" (madera aserrada de largas dimensiones) y \$ 500.00 para "secundario" (madera de cortas dimensiones), y con una distribución de productos de 90% para "primario" y 10% para "secundario", vienen a constituir la parte central de los tres modelos planteados:

6.1. Maximización del rendimiento en volumen

6.1.1 Modelo 1. Rendimiento no sostenido

El valor de la función objetivo es de 78114.5 (Cuadro 21); las dos primeras columnas después del valor de la función objetivo contienen las variables selectas y sus valores de solución. Los ceros en la columna de valores indican que la combinación rodal-régimen de manejo no se utilizó. Por ejemplo el rodal 1 no usó la superficie disponible en el régimen de manejo 5. Las variables x_{12} , x_{22} , x_{32} , x_{42} , x_{52} , x_{62} muestran el área o superficie disponible, en ellas se observa que régimen de manejo óptimo asignado para todos los rodales (1-6) fue el número 2. Note que todos los rodales(1-6) con los regímenes de manejo 2, con densidad media (0.9) que inician con una corta de regeneración en el primer año entraron a la solución óptima, esto debido a que el signo de igualdad estricto en las restricciones de superficie hace que los recursos asignados de superficie se vuelvan "recursos escasos" y por lo tanto se obligue a disponerlos en su totalidad.

Una interpretación alternativa es que el costo reducido es la cantidad a la que el valor de la función objetivo decrecería si una unidad de la variable selecta indicada fuera forzada a una solución óptima. Los regímenes de manejo óptimos alternativos para los seis rodales se presentaron en el régimen de manejo 5, excepto el rodal 4 que presentó un

régimen óptimo alternativo en el régimen de manejo 8. Los valores óptimos alternativos son: 8.5, 14.3, 6.5, 7.4, 12.4 y 10.4 para los rodales 1-6 respectivamente. Los valores anteriormente mencionados muestran esquemas alternativos con costos reducidos bajos que los pueden ubicar próximos a esquemas seleccionados por el modelo de programación lineal. Por ejemplo el valor de la función objetivo cambiaría de 78114.5 a 78102.11(78114.50-12.39) si una hectárea del rodal 5 fuera cosechada para el régimen de manejo 5.

Cuadro 17. Concentrado de variables por rodal y régimen (óptimo - alternativo) del modelo 1 sin rendimiento sostenido volumétrico

VALOR DE LA FUNCIÓN OBJETIVO				
78114.50 (m ³ r)				
VARIABLE	VALOR	COEF OBJ	CONTRIB VAL OBJ	COSTO REDUCIDO
x12	30.000000	762.1	22863	0.000000
x15	0.000000	753.6	0	8.500025
x22	12.000000	737.1	8845.2	0.000000
x25	0.000000	722.8	0	14.300013
x32	14.000000	760.0	10640	0.000000
x35	0.000000	753.5	0	6.500000
x42	14.000000	680.2	9522.8	0.000000
x48	0.000000	672.8	0	7.400012
x52	22.000000	561.3	12349	0.000000
x55	0.000000	548.9	0	12.399976
x62	41.000000	338.9	13895	0.000000
x65	0.000000	328.5	0	10.400000
Suma			78114.50 (m ³ r)	

Considerando la existencia de 11 periodos se obtiene un rendimiento periódico promedio 7101.32 m³, volumen que se puede extraer en dos turnos ya que cada ciclo de corta comprende 10 años. Para un turno de 50 años bajo las consideraciones de este modelo de programación lineal el rendimiento óptimo promedio de cada intervención es de 3550.66 m³, situación que se puede obtener del cuadro 22. La figura 4, muestra gráficamente el flujo de volúmenes resultante de la aplicación de este modelo.

Cuadro 18. Flujo de rendimiento periódico de acuerdo al modelo 1 sin rendimiento sostenido volumétrico.

Rodal	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	total
1	3978	834	1230	1140	1050	900	9585	726	1230	1140	1050	22863
2	1260	364.8	492	456	420	360	3834	290.4	492	456	420	8845.2
3	1866.2	350	574	532	490	420	4473	338.8	574	532	490	10640
4			1832.6	288.4	574	532	490	420	4473	338.8	574	9522.8
5	1806.2	462	704	682	572	528	5326.2	308	704	682	572	12346.4
6	2107.4	381.3		861	820	738	7080.7	225.5		861	820	13894.9
total	11017.8	2392.1	4832.6	3959.4	3926	3478	30788.9	2308.7	7473	4009.8	3926	78114.5

Del análisis de sensibilidad se derivó el precio doble en el cual se distingue el rodal 1 con 762.09 como el más alto, siguiendo el rodal 2 con 760.0 y siendo el más bajo el rodal 6 con 338.9. De éste análisis se puede tomar la decisión de incrementar el área de los rodales 1, 3 y 2 en primer lugar, segundo y tercero respectivamente. Se le da prioridad al precio doble mas alto para no perder de vista el objetivo principal que es el de lograr la maximización del rendimiento en volumen (Cuadro 23).

Cuadro 19. Valores de holgura o exceso y precio dual obtenidos en el algoritmo de solución del modelo 1 sin rendimiento sostenido volumétrico.

LINEA	HOLGURA (-) O EXCESO (+)	PRECIO SOMBRA (DOBLE)
3)	0.000000	762.099976
4)	0.000000	737.099976
5)	0.000000	760.000000
6)	0.000000	768.200012
7)	0.000000	561.299988
8)	0.000000	338.899994

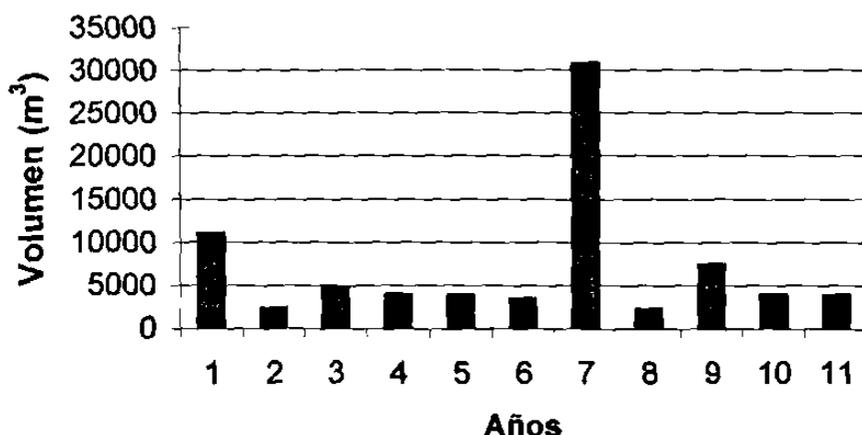


Figura 4. Forma esquemática del flujo de volúmenes resultante de la aplicación del Modelo 1 sin rendimiento sostenido volumétrico.

6.1.2. Modelo 2: Con rendimiento sostenido

El valor de la función objetivo “Z” es de 14352.6 m³ que es la cosecha total en volumen de los 6 rodales a un turno de 60 años, con seis periodos de corta de 10 años cada uno. Por lo tanto dividiendo el valor de Z entre el número de periodos, se obtiene un rendimiento periódico sostenido de 2392.1 m³ (cuadro x). Las primeras dos columnas después del valor de la función objetivo contienen las variables selectas y sus valores de solución, por ejemplo, el rodal 1 es cosechado en los 6 periodos de corta; el rodal 2 es cortado en los periodos 2, 4 y 6; el rodal 3 en los periodos 1, 2 y 4; el rodal 4 en los periodos 3-6; el rodal 5 en el periodo 2; el rodal 6 en los periodos 5 y 6.

El manejador forestal debe decidir; si se maneja un régimen de manejo único, cuales hectáreas de suelo disponible de cada rodal serán cosechadas cuando se utilizan varios periodos, por ejemplo la solución óptima no especifica cuales de las 30 has. disponibles para el rodal 1, podrán ser cosechadas 3.96 has. en el periodo de corta 1 y también debe decidir en cual año de los 10 años de cada periodo de corta serán cosechadas éstas hectáreas.

Cuadro 20. Concentrado de las variables selectas de cada rodal y por periodo del Modelo 2 que contribuyen a la obtención de un rendimiento sostenido volumétrico

VALOR DE LA FUNCIÓN OBJETIVO					
14352.60 (m ³ r)					
VARIABLE	VALOR	COEF OBJ	CONTRIB VAL OBJ	COSTO REDUCIDO	
x11	3.966063	132.6	525.9	0.000000	
x12	30.000000	27.8	834	0.000000	
x13	13.646341	41	559.5	0.000000	
x14	30.000000	38	1140	0.000000	
x15	30.000000	35	1050	0.000000	
x16	30.000000	30	900	0.000000	
x22	12.0000000	30.4	364.8	0.000000	
x24	11.360526	38	431.7	0.000000	
x26	7.403333	30	222.1	0.000000	
x31	14.000000	133.3	1866.2	0.000000	
x32	14.000000	25.0	350	0.000000	
x34	14.000000	38	532	0.000000	
x43	14.000000	130.9	1832.6	0.000000	
x44	14.000000	20.6	288.4	0.000000	
x45	14.000000	41	574	0.000000	
x46	14.000000	38	532	0.000000	
x52	22.0000000	21.0	462	0.000000	
x62	41.000000	9.3	381.3	0.000000	
x65	38.404999	20	768.1	0.000000	
x66	41.000000	18	738	0.000000	
			14352.6		

Las restricciones de superficie son de la forma igualdad no estricta o desigualdad por lo que la totalidad de ellas presentan holguras significativas (cuadro 21). Respecto a los precios dobles (duales), presentan valores de importancia el rodal 2 como el óptimo para tomar la decisión de incrementar 182.39 m³ el valor de la función objetivo por cada hectárea asignada al rodal en mención. Una decisión alternativa se encuentra el rodal 1 con un precio doble de 166.8 m³ (Ver formulación del modelo líneas 15 y 9).

Los rendimientos por hectárea se muestran en el cuadro 22. Estos rendimientos en volumen en cada periodo son de 2392.1 m³; sin embargo son menores a los valores periódicos promedio obtenidos con la formulación del modelo 1 (3550.66 m³). Lo anterior se debe particularmente al hecho de que para el año 10 (periodo de corta 2), los coeficientes técnicos de los regímenes óptimos seleccionados son muy bajos y ocurren en los rodales 1, 2, 3, 5 Y 6 con 30, 12, 14, 22, y 41 respectivamente, aplicándose en éste periodo una corta de liberación con pre-aclareo siendo ésta cosecha la más baja que tiene el régimen de manejo silvícola manejado. Se observa en este cuadro que el

rendimiento correspondiente se obtiene de uno o varios rodales. En los periodos 1 (inicial) y 3, las cosechas respectivas se obtienen de los rodales 1 y 3 , 1 y 4. Los periodos 2, 5 y 6 se cosechan de la mayoría de los rodales.

Cuadro21. Valores de holgura o exceso y precio dual obtenidos en el algoritmo de solución del modelo 2 con rendimiento sostenido volumétrico.

LINEA	HOLGURA (-) O EXCESO (+)	PRECIO SOMBRA (DOBLE)
3)	0.000000	1.000000
4)	0.000000	-4.000000
5)	0.000000	-3.000000
6)	0.000000	-2.000000
7)	0.000000	-1.000000
8)	26.033937	0.000000
9)	0.000000	166.800003
10)	16.353659	0.000000
14)	12.000000	0.000000
15)	0.000000	182.399994
16)	12.000000	0.000000
17)	0.639474	0.000000
18)	12.000000	0.000000
19)	4.596667	0.000000
21)	0.000000	150.000000
22)	14.000000	0.000000
24)	14.000000	0.000000
25)	14.000000	0.000000
30)	22.000000	0.000000
31)	0.000000	126.000000
32)	22.000000	0.000000
33)	22.000000	0.000000
34)	22.000000	0.000000
35)	22.000000	0.000000
36)	41.000000	0.000000
37)	0.000000	55.799999
38)	41.000000	0.000000
39)	2.595000	0.000000

Cuadro 22. Hectáreas cortadas y flujos de madera por rodal y periodo de corta del Modelo 2 sin rendimiento sostenido.

Periodo de corta	número del rodal	Hectáreas Cortadas	Rendimientos por hectárea	Flujos de madera
1	1	4.0	132.6	525.9
	3	14.0	133.3	1866.2
	Suma =	18.0		2392.1
2	1	30.0	27.8	834.0
	2	12.0	30.4	364.8
	3	14.0	25.0	350.0
	5	22.0	21.0	462.0
	6	41.0	9.3	381.3
	Suma =	119.0		2392.1
3	1	13.6	41.0	559.5
	4	14.0	130.9	1832.6
	Suma =	27.6		2392.1
4	1	30.0	38.0	1140.0
	2	11.4	38.0	431.7
	3	14.0	38.0	532.0
	4	14.0	20.6	288.4
	Suma =	69.4		2392.1
5	1	30.0	35.0	1050.0
	4	14.0	41.0	574.0
	6	38.4	20.0	768.1
Suma =	82.4		2392.1	
6	1	30.0	30.0	900.0
	2	7.4	30.0	222.1
	4	14.0	38.0	532.0
	6	41.0	18.0	738.0
	Suma =	92.4		2392.1

La figura 5, presenta las superficies a aprovechar en cada periodo de acuerdo al modelo de rendimiento sostenido antes descrito.

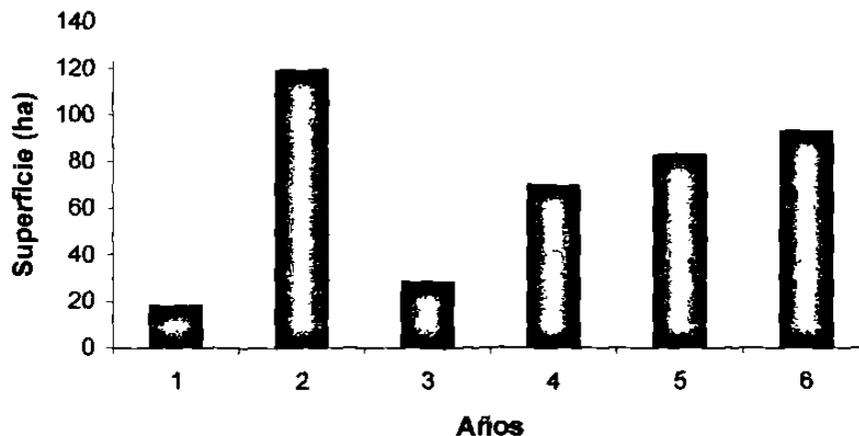


Figura 5. Superficies periódicas de aprovechamiento del modelo 2 con rendimiento sostenido volumétrico.

6.1.3. Modelo 3: rendimiento sostenido volumétrico de regímenes óptimos combinados con alternativos.

El valor de la función objetivo "Z" es de 23304 m³ que es la cosecha total en volumen de los 6 rodales a un turno de 50 años, con cinco periodos de corta de 10 años cada uno más una corta inicial, dividiendo el valor de Z entre el número de periodos, se obtiene un rendimiento periódico sostenido de 3884 m³ (Cuadro 23). Las primeras dos columnas contienen las variables selectas y sus valores de solución, los valores indican la superficie utilizada por cada rodal en éste periodo, por ejemplo, en el periodo 1, se cosechó parcialmente el rodal 1 con 15.2 has. y totalmente el rodal 3 con 14 has. y así cumplir con las restricciones de rendimiento sostenido y de superficie. El manejador forestal debe decidir; si se manejan dos regímenes de manejo por rodal cuales hectáreas de suelo disponible de cada rodal serán cosechadas por el régimen óptimo y cuales por el alternativo al utilizar varios periodos, ya que la solución óptima no especifica cuales de las 30 has. disponibles para el rodal 1, podrán ser cosechadas, lo cual puede observarse en este mismo cuadro en rodal 1, régimen de manejo 1 periodo de corta 1 donde solamente se cosecharan 15.2 has de un total de 30, también debe decidir en cual año del ciclo de corta serán intervenidas éstas hectáreas.

Los costos reducidos muestran valores entre 12 y 66.6, éste 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 30 tendría limitaciones para su consideración.

Cuadro 23. Concentrado de las variables selectas del Modelo 3 que contribuyen a la obtención de un rendimiento sostenido volumétrico.

VARIABLE	VALOR DE LA FUNCIÓN OBJETIVO			
	VALOR	COEF OBJ	CONTRIB VAL OBJ	COSTO REDUCIDO
x111	15.217195	132.6	2017.8	0.000000
x113	30.000000	41	1230	0.000000
x116	0.000000	30	0	30.000000
x122	8.365039	155.6	1301.6	0.000000
x124	30.000000	41	1230	0.000000
x125	30.000000	38	1140	0.000000
x126	30.000000	35	1050	0.000000
x212	12.000000	30.4	364.8	0.000000
x213	12.000000	41	492	0.000000
x216	0.000000	30	0	30.000000
x224	12.000000	41	492	0.000000
x226	12.000000	35	420	0.000000
x311	14.000000	133.3	1866.2	0.000000
x313	8.034146	41	329.4	0.000000
x316	0.000000	30	0	30.000000
x322	14.000000	158.4	2217.6	0.000000
x324	14.000000	41	574	0.000000
x326	14.000000	35	490	0.000000
x413	14.000000	130.9	1832.6	0.000000
x414	1.116505	20.8	23	0.000000
x416	14.000000	38	532	0.000000
x425	14.000000	182.4	2553.6	0.000000
x426	0.000000	26.9	0	66.600006
x512	0.000000	21.0	0	0.180000
x516	0.000000	24	0	12.000000
x524	22.000000	32	704	0.000000
x526	22.000000	26	572	0.000000
x614	41.000000	21	861	0.000000
x616	0.000000	18	0	12.000000
x626	41.000000	20	820	0.000000

23304

En cuanto a las variables de holgura y exceso, se observa que solo dos restricciones presentan valores importantes en holgura. El precio "sombra" o precio doble de una de las restricciones asociada al rodal cuatro es el más alto (228) de los cuatro valores de consideración resultantes; le sigue el asociado a los rodales 1, 2 y 3 con 210. Los

precios dobles correspondientes a las restricciones relacionadas con los rodales 5 y 6 son 156 y 120 respectivamente.

Las restricciones de superficie son de la forma igualdad no estricta o desigualdad por lo que la totalidad de ellas presentan holguras significativas. Respecto a los precios dobles (duales), presentan valores de importancia el rodal 2 como el óptimo para tomar la decisión de incrementar 182.39 m³ el valor de la función objetivo por cada hectárea asignada al rodal en mención; como decisión alternativa se encuentra el rodal 1 con un precio doble de 166.8 m³.

Cuadro 24. Valores de holgura o exceso y precio dual obtenidos en el algoritmo de solución del modelo 3 que contribuyen a la obtención de un rendimiento sostenido volumétrico.

<u>LINEA</u>	<u>HOLGURA (-) O EXCESO (+)</u>	<u>PRECIO SOMBRA (DOBLE)</u>
3)	0.000000	1.000000
4)	0.000000	2.000000
5)	0.000000	3.000000
6)	0.000000	4.000000
7)	0.000000	5.000000
8)	14.782805	0.000000
9)	21.634962	0.000000
13)	0.000000	210.000000
14)	12.000000	0.000000
18)	12.000000	0.000000
19)	0.000000	210.000000
22)	5.965854	0.000000
24)	14.000000	0.000000
27)	12.883495	0.000000
29)	0.000000	228.000000
30)	22.000000	0.000000
31)	22.000000	0.000000
32)	22.000000	0.000000
34)	22.000000	0.000000
35)	0.000000	156.000000
36)	41.000000	0.000000
37)	41.000000	0.000000
38)	41.000000	0.000000
40)	31.933332	0.000000
41)	0.000000	120.000000

Cada rodal muestra las cosechas por periodo de corta (cuadro 25). Los rendimientos totales en volumen por décadas (periodo), son estimados multiplicando las hectáreas

cortadas por los rendimientos por hectárea en ese periodo de corta. Por ejemplo los rendimientos de los periodos de corta 1 y 2 son equivalentes a:

$$\text{Periodo 1} = (15.217195 \times 132.6) + (14 \times 133.3) = 3884 \text{ m}^3$$

$$\text{Periodo 2} = (8.365039 \times 155.6) + (12 \times 30.4) + (14 \times 158.4) = 3884 \text{ m}^3$$

Como resultado de solución del modelo, se obtiene una cosecha volumétrica sostenida de 3884 m³, la cual es mayor al valor periódico, obtenido en la formulación del modelo 2. Lo anterior se debe particularmente al hecho de que para el año 10 (corta 2), los coeficientes técnicos de los regímenes óptimos y alternativos seleccionados son bajos en el modelo 2. Se aplica en este periodo una corta de liberación con pre-aclareo siendo esta cosecha la más baja que tiene el régimen silvícola manejado. El rendimiento correspondiente se obtiene de uno o varios rodales, por ejemplo en la primera corta (inicio), la cosecha se obtiene de los rodales 1 y 3; la segunda corta (periodo 1) de los rodales 1, 2 y 3.

Cuadro 25. Hectáreas cortadas y flujos de madera por periodo de corta y rodal del modelo 3 con rendimiento sostenido.

Periodo de corta	Número de rodal	Hectáreas cortadas	Rendimiento Por hectárea	Flujos De madera
1	1	15.2	132.6	2017.8
	3	14.0	133.3	1866.2
	Suma =	29.2		3884
2	1	8.4	155.6	1301.6
	2	12.0	30.4	364.8
	3	14.0	158.4	2217.6
	Suma =	26.0		3884
3	1	30.0	41	1230
	2	12.0	41	492
	3	8.0	41	329.4
	4	14.0	130.9	1832.6
	Suma =	64.0		3884
4	1	30.0	41	1230
	2	12.0	41	492
	3	14.0	41	574
	4	1.1	20.6	23
	5	22.0	32	704
	6	41.0	21	861
	Suma =	120.1		3884
5	1	30.0	38	1140
	4	14.0	182.4	2553.6
	5	9.1	21	190.4
Suma =	53.1		3884	
6	1	30.0	35	1050
	2	12.0	35	420
	3	14.0	35	490
	4	14.0	38	532
	5	22.0	26	572
	6	41.0	20	820
Suma =	133.0		3884	

Se muestra en la figura 6 gráficamente el plan óptimo de regulación forestal, generado por el modelo 3 con rendimiento sostenido volumétrico, mostrando las superficies periódicas de aprovechamiento.

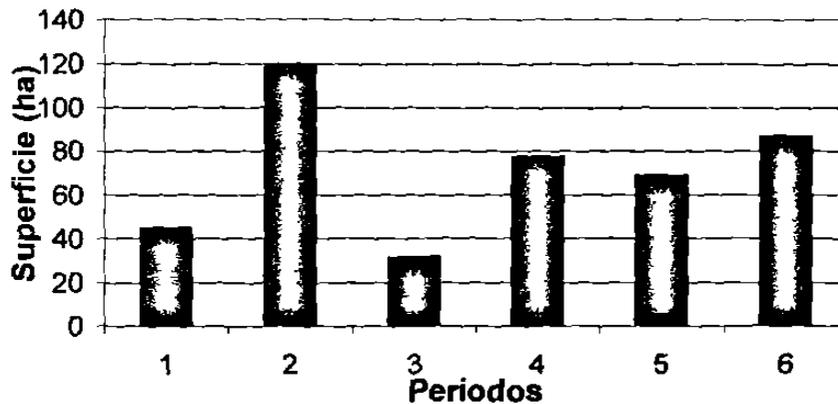


Figura 6. Superficies de aprovechamiento del modelo3 con rendimiento sostenido volumétrico y que constituye el plan de regulación forestal óptimo.

6.1.4. Comparación de los modelos de optimización volumétrica

La comparación de los tres modelos anteriores se muestra en el cuadro 26, observando que el modelo 3, proporcionó el valor de la función objetivo más alto de 23304 m³ en un turno a 50 años. Las restricciones de rendimiento volumétrico sostenido arrojaron un volumen periódico de 3884 m³, siendo el valor más alto y el que le da la prioridad como modelo de regulación forestal que optimiza el rendimiento volumétrico buscado. el signo no estricto de las restricciones de superficie permitió en algunos casos no disponer de la totalidad del área asignada y no forzar la productividad total del bosque. Las restricciones de rendimiento sostenido volumétrico determinaron el valor más alto de 3884 m³ cada 10 años al igualar a cero los valores de un periodo con el siguiente en la formulación del modelo. El modelo 1 a pesar de mostrar el signo estricto en las restricciones de superficie que lo obligan a disponer del total del área asignada, determinó el segundo mejor valor en la función objetivo

Cuadro 26. Comparación de los modelos de programación lineal para optimización volumétrica

Modelos	Alternativa	Turnos 50 años	Valor de la función objetivo (m3)	Valor periodo (m3)
1	Sin rendimiento sostenido	2	78114.5	3550.7
2	Con rendimiento sostenido	1	14352.6	2392.1
3	Combinación de 1 y 2	1	23304	3884

6.2. Maximización del rendimiento financiero

6.2.1 Modelo 1: Rendimiento no sostenido

El valor de la función objetivo es de \$ 9, 667 261. Este es el valor presente o actual a una tasa de interés del 5% ,lo que significa ganar el 5% en adición, sobre la inversión (bosque) de \$ 9, 667 261. Dentro de la maximización financiera se identificaron los regímenes que entraron en la solución óptima y se asignó a cada rodal un tratamiento para la totalidad del área. Los regímenes asignados respectivamente fueron: para los rodales 1-6 con el régimen de manejo 2. El programa de corta o cosecha y los flujos de madera son interpretados de los valores de las variables selectas (Cuadro.x columnas "variable y "valor"). Estas indican por ejemplo, que el Rodal 1 bajo el régimen de tratamiento 2 (x12), cosechará 30 has. que es el total de la superficie disponible para ese régimen. La causa por la que los demás rodales hacen lo mismo es por el signo de igualdad estricto que presentan las restricciones de superficie mostradas en la formulación del modelo.

Los regímenes de manejo óptimos alternativos para los seis rodales se presentaron en el régimen de manejo 3, excepto el rodal 5 que presentó un régimen óptimo alternativo en el régimen de manejo 1. Los valores de costo reducido alternativos son: \$4372 para los Rodales 1-3, \$1620 Rodal 4, \$5481 para Rodal 5 y \$1629 para el Rodal 6. Los valores anteriormente mencionados muestran esquemas alternativos con costos reducidos bajos que los pueden ubicar próximos a esquemas seleccionados por el modelo de programación lineal.

Cuadro 27. Concentrado de variables por rodal y régimen (óptimo y alternativo) del modelo 1 sin rendimiento sostenido financiero

VALOR DE LA FUNCIÓN OBJETIVO				
\$ 9667261				
VARIABLE	VALOR	COEF OBJ	CONTRIB VAL OBJ	COSTO REDUCIDO
x12	30.000000	107626.7	3228801	0.000000
x13	0.000000	103254.9	0	4371.801758
x22	12.000000	93787.7	1125452	0.000000
x23	0.000000	89415.9	0	4371.801758
x32	14.000000	107073.1	1499023	0.000000
x33	0.000000	102701.4	0	4371.801758
x42	14.000000	39127.5	547785	0.000000
x43	0.000000	37507.1	0	1620.398438
x51	0.000000	66723.7	0	5480.997070
x52	22.000000	72204.7	1588503	0.000000
x62	41.000000	40919.4	1677695	0.000000
x63	0.000000	39290.2	0	1629.200806
			\$ 9,667,261	

Los flujos del rendimiento financiero por periodo se muestran en el cuadro 14, en el se observa que los máximos rendimientos se dan en los tratamientos corta de regeneración (\$5871300.3) en el año 5 y primer aclareo (\$970470) para el año 25, contrariamente en el año 95, que corresponde a un segundo aclareo se obtienen los más bajos rendimientos financieros (\$26,465.8). Lo anterior debido básicamente a la naturaleza de aplicación de estas actividades sívcolas.

Del análisis de sensibilidad se derivó el precio doble en el cual se distingue el rodal 1 con \$107,627 como él más alto, siguiendo el rodal 3 con \$107,073760.0 y siendo él más bajo el rodal 6 con \$39,127. De éste análisis se puede tomar la decisión de incrementar el área de los rodales 1, 3 y 2 en primer lugar, segundo y tercero respectivamente. Se le da prioridad al precio doble mas alto para no perder de vista el objetivo principal que es el de lograr la maximización del rendimiento en volumen. En otras palabras por cada unidad de superficie que se incrementara en el rodal No. 1, se aumentaría la función objetivo \$107,627 para el periodo de planeación (Cuadro 29). Alternativamente la misma conclusión es dada de las variables de holgura estimadas como "cero" en las líneas 3-8, ya que el cero se interpreta como la superficie que no se utilizó.

Desarrollo de un modelo de programación lineal para el manejo de ecosistemas forestales

Cuadro 28. Flujo de rendimiento periódico de acuerdo al modelo 1 sin rendimiento sostenido financiero

	A	Ñ	O	S								
Rodal	5	15	25	35	45	55	65	75	85	95	100	Flujo
1	2119590	272400	246990	140535	79467	41817	273405	12720	13224	7524	21129	3228801
2	671430	119298	98796	56214	31786.8	16726.8	109362	5088	5289.6	3009.6	8451.6	1125452.4
3	994194.6	114318.4	115262	65583	37084.6	19514.6	127589	5936	6171.2	3511.2	9860.2	1499024.8
4			368054.4	35519.4	43440.6	24718.4	13976.2	7354.2	48087.2	2237.2	4397.4	547785
5	962698	151368.8	141367.6	84075.2	43289.4	24532.2	151951.8	5385.6	7568	4501.2	11765.6	1588503.4
6	1123387.7	124234.1		106140.8	62057.6	34288.3	202015.2	3919.6		5682.6	15973.6	1677699.5
Suma	5871300.3	781619.3	970470	488067.4	297126	161597.3	878299.2	40403.4	80340	26465.8	71577.4	9667266.1

Cuadro 29. Valores de holgura o exceso y precio dual obtenidos en el algoritmo de solución del modelo 1 que contribuyen a la obtención de un rendimiento no sostenido financiero.

LINEA	HOLGURA (-) O EXCESO (+)	PRECIO SOMBRA (DOBLE)
3)	0.000000	107626.703125
4)	0.000000	93787.703125
5)	0.000000	107073.101562
6)	0.000000	39127.500000
7)	0.000000	72204.703125
8)	0.000000	40919.3984389

Se muestra gráficamente en la figura 7 la distribución del plan óptimo de regulación forestal, generado por el modelo 1 sin rendimiento financiero sostenido, mostrando las ganancias económicas arrojadas periódicamente.

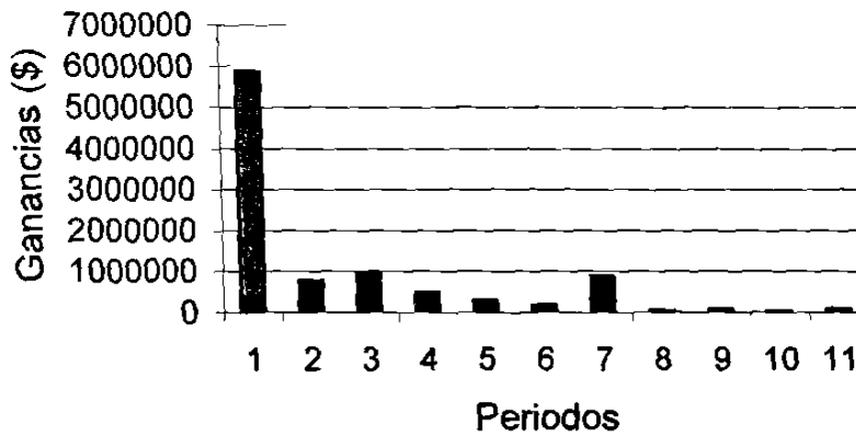


Figura 7. Forma esquemática del flujo de ganancias resultante de la aplicación del Modelo 1 sin rendimiento sostenido.

6.2.2. Modelo 2: Rendimiento sostenido

El valor de la función objetivo es de \$ 3,115,614. Este es el valor presente a una tasa de interés del 5% y se interpreta como ganar adicionalmente este porcentaje sobre la

inversión (bosque) (\$ 3,115,614) (Cuadro 30). El programa de corta o cosecha y los flujos financieros quedan definidos por las variables selectas Por ejemplo el Rodal 1 bajo el régimen de tratamiento 2 (x12), cosechará 30 Has. que es el total de la superficie disponible para ése régimen en los periodos 2, 4, 5 y 6 contribuyendo económicamente a la función objetivo de \$41817 en el periodo 6 a \$272,400 en el periodo 2.

Cuadro 30. Concentrado de las variables selectas de cada rodal y por periodo del Modelo 2 que contribuyen a la obtención de un rendimiento sostenido financiero.

VALOR DE LA FUNCIÓN OBJETIVO				
VARIABLE	VALOR	\$ 3,124,231	CONTRIB VAL	COSTO
		COEF OBJ		
x12	30.000000	9080.0	272400	0.000000
x14	30.000000	4684.5	140535	0.000000
x15	30.000000	2648.9	79467	0.000000
x16	30.000000	1393.9	41817	0.000000
x22	12.000000	9941.5	119298	0.000000
x24	1.002632	4684.5	4684.5	0.000000
x25	12.000000	2648.9	31786.8	0.000000
x26	12.000000	1393.9	16726.8	0.000000
x32	14.000000	8165.6	114318.4	0.000000
x34	14.000000	4684.5	65583	0.000000
x35	14.000000	2648.9	37084.6	0.000000
x36	14.000000	1393.9	19514.6	0.000000
x43	14.000000	26289.6	368054	0.000000
x46	14.000000	1765.6	24718.4	0.000000
x51	3.467722	43759.0	151744	0.000000
x52	22.000000	6880.4	151368.8	0.000000
x53	17.484375	6425.8	112351.1	0.000000
x54	22.000000	3821.6	84075.2	0.000000
x55	16.619230	1967.7	32663.82	0.000000
x56	7.504167	1115.1	8367.9	0.000000
x61	41.000000	27399.7	1123387.7	0.000000
x62	41.000000	3030.1	124234.1	0.000000
			Z= \$ 3,124,231	

Respecto al análisis de sensibilidad, las restricciones de superficie son de la forma igualdad no estricta o desigualdad por lo que la totalidad de ellas presentan holguras significativas; así mismo, los precios dobles (duales), presentan valores de importancia en el rodal 2 (Línea 15) como el óptimo para tomar la decisión de incrementar \$39709.8 el valor de la función objetivo por cada hectárea asignada al rodal en mención; como decisión alternativa se encuentra el rodal 1 (Línea 9) con un precio doble de \$36,302 (Cuadro 31)

Cuadro 31. Valores de holgura o exceso y precio dual obtenidos en el algoritmo de solución del modelo 2 que contribuyen a la obtención de un rendimiento sostenido financiero.

LINEA	HOLGURA (-) O EXCESO (+)	PRECIO SOMBRA (DOBLE)
3)	0.000000	532.996338
4)	0.000000	-446.225830
5)	0.000000	-245.419586
6)	0.000000	-29.386324
7)	0.000000	-46.462502
8)	30.000000	0.000000
9)	0.000000	36302.37500
10)	30.000000	0.000000
11)	0.000000	0.000000
12)	0.000000	0.073077
13)	0.000000	.025000
14)	12.000000	0.000000
15)	0.000000	39709.855469
16)	12.000000	0.000000
17)	11.228948	0.000000
18)	0.000000	0.073077
19)	0.000000	.025000
20)	14.000000	0.000000
21)	0.000000	32646.154297
22)	14.000000	0.000000
23)	0.000000	0.000000
24)	0.000000	0.073077
25)	0.000000	.025000
26)	0.000000	4.061875
27)	14.000000	0.000000
28)	14.000000	0.000000
29)	0.000000	3524.788818
30)	18.639463	0.000000
31)	0.000000	27052.376953
32)	4.790625	0.000000
33)	0.000000	0.034211
34)	5.719231	0.000000
35)	14.862500	0.000000
36)	0.000000	3.687820
37)	0.000000	12136.866211
38)	41.000000	0.000000
39)	41.000000	0.000000
40)	41.000000	0.000000

Con la aplicación del modelo 2, se obtiene un rendimiento volumétrico sostenido, con un rendimiento financiero periódico promedio de \$ 519,269, el cual es mayor a los valores periódicos promedio obtenidos con la formulación del modelo 1 (\$ 439420.9). Lo anterior se debe particularmente al hecho de que los valores volumétricos bajos para el año 10 (periodo de corta 2) del modelo 1, ahora en éste modelo económico se aumentaron por considerar el maximando del valor neto presente (VNP). El rendimiento financiero más

bajo en éste modelo es del periodo 6, ya que como se maneja el valor neto presente, los beneficios que se recibirán en un plazo de tiempo largo tienen menos valor en éste momento (cuadro 32). Se observa en este cuadro que el esquema silvícola, del rendimiento financiero correspondiente se obtiene de uno o varios rodales. Por ejemplo en el periodo 1 (inicial), las cosechas respectivas se obtienen de los rodales 5 y 6.

Cuadro 32. Flujo de rendimiento periódico financiero de acuerdo al modelo 2 con rendimiento sostenido financiero

Periodo de corta	Numero Rodal	Hectáreas Cortadas	Volumen por hectárea	Volumen por periodo	VNP por ha.	VN total por periodo
1	5	3.5	82.1	284.7	43759	151744.047
	6	41.0	51.4	2107.4	27399.7	1123387.7
		44.5		2392.1		1275131.75
2	1	30.0	27.8	834	9080	272400
	2	12.0	30.4	364.8	9941.5	119298
	3	14.0	25	350	8165.6	114318.4
	5	22.0	21	462	6880.4	151368.8
	6	41.0	9.3	381.3	3030.1	124234.1
		89.0		2392.1		781619.3
3	4	14.0	130.9	1832.6	26289.6	368054.4
	5	17.5	32	559.5	6425.8	112351.097
		31.5		2392.1		480405.497
4	1	30.0	38	1140	4684.5	140535
	2	1.0	38	38.1	4684.5	4696.8
	3	14.0	38	532	4684.5	65583
	5	22.0	31	682	3821.6	84075.2
		67.0		2392.1		294890
5	1	30.0	35	1050	2648.9	79467
	2	12.0	35	420	2648.9	31786.8
	3	14.0	35	490	2648.9	37084.6
	5	16.6	26	432.1	1967.7	32701.7
		72.6		2392.1		181040.1
6	1	30.0	30	900	1393.9	41817
	2	12.0	30	360	1393.9	16726.8
	3	14.0	30	420	1393.9	19514.6
	4	14.0	38	532.0	1765.6	24718.4
	5	7.5	24	180.1	1115.1	8367.9
	77.5		2392.1		111144.7	
					Total = Z =	3124234.67

Se muestra gráficamente en la figura 8 la distribución de los rendimientos financieros generada por el modelo con rendimiento financiero sostenido, mostrando las ganancias económicas arrojadas periódicamente.

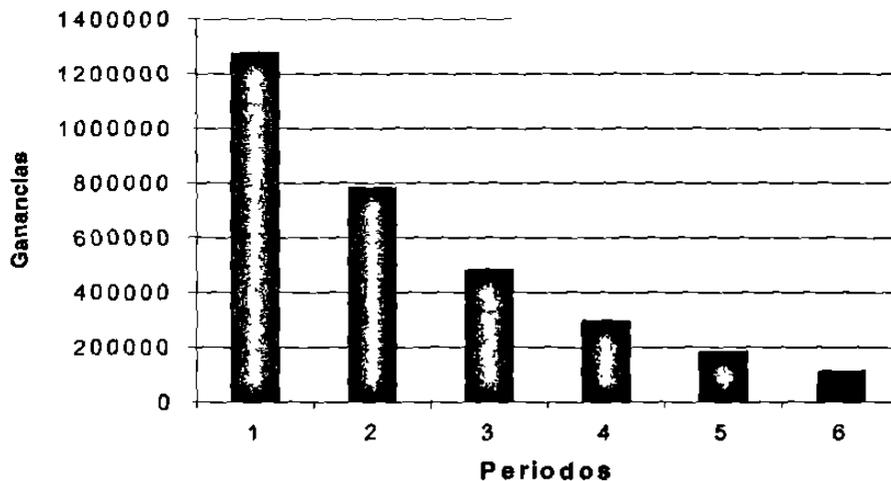


Figura 8. Rendimientos financieros periódicos a obtener de acuerdo al modelo 2 con rendimiento sostenido financiero.

6.2.3. Modelo 3: rendimiento sostenido financiero de regímenes óptimos combinados con alternativos.

El valor de la función objetivo es prácticamente igual a la obtenida en el modelo 2, ya que el rendimiento máximo es de \$ 3,124,235, situación que se debe a que el modelo de programación lineal asigna las mismas superficies a cosechar y el mismo volumen por periodo, consecuentemente los rendimientos financieros resultan ser iguales. Las únicas diferencias se presentan en los costos reducidos (Cuadros x, x y x).

Cuadro 33. Concentrado de las variables selectas del Modelo 3 que contribuyen a la obtención de un rendimiento sostenido financiero de regímenes óptimos combinados con alternativos.

VALOR DE LA FUNCIÓN OBJETIVO				
\\$ 3,124,235				
VARIABLE	VALOR	COEF OBJ	CONTRIBUCION VALOR OBJETIVO	COSTO REDUCIDO
x112	30.000000	9080.0	272400	0.000000
x115	30.000000	2648.9	79467	0.000000
x116	30.000000	1393.9	41817	0.000000
X124	30.000000	3821.6	114648	0.000000
x212	12.000000	9941.5	119298	0.000000
x215	12.000000	2648.9	31786.8	0.000000
X216	12.000000	1393.9	16726.8	0.000000
X224	12.000000	3821.6	45859.2	0.000000
x312	14.000000	8165.6	114318	0.000000
x315	14.000000	2648.9	37084.6	0.000000
X316	14.000000	1393.9	19514.6	0.000000
X324	14.000000	3821.6	53502.4	0.000000
X416	3.634211	1765.6	6416.56	0.000000
X423	14.000000	26289.6	368054	0.000000
X425	12.708824	2573.2	32702.3	0.000000
X511	3.467722	43759.0	151744	0.000000
x522	22.000000	6880.4	151369	0.000000
x523	17.484375	6425.8	112351	0.000000
X524	21.164516	3821.6	80882.3	0.000000
x621	41.000000	27399.7	1123388	0.000000
x622	41.000000	3030.1	124234	0.000000
X626	41.000000	650.5	26670.5	0.000000
Z = \$ 3, 124,234.7				

Respecto al análisis de sensibilidad se encontró un comportamiento similar al modelo de rendimiento financiero, ya que los precios dobles (duals), presentan valores de importancia en el rodal 2 (Línea 15) como el óptimo para tomar la decisión de incrementar \$39709.8 el valor de la función objetivo por cada hectárea asignada al rodal en mención; como decisión alternativa se encuentra el rodal 1 (Línea 9) con un precio doble de \$36,302(

Cuadro 34. Valores de holgura o exceso y precio dual obtenidos en el algoritmo de solución del modelo 3 que contribuyen a la obtención de un rendimiento sostenido financiero, de regímenes óptimos combinados con alternativos.

LINEA	HOLGURA (-) O EXCESO (+)	PRECIO SOMBRA (DÓBLE)
3)	0.000000	532.996338
4)	0.000000	-446.229187
5)	0.000000	-245.422928
6)	0.000000	-122.145508
7)	0.000000	-46.463158
8)	30.000000	0.000000
9)	0.000000	36302.468750
10)	30.000000	0.000000
11)	0.000000	0.000000
12)	0.000000	0.017647
13)	0.000000	0.005263
14)	12.000000	0.000000
15)	0.000000	39709.957031
16)	12.000000	0.000000
17)	0.000000	0.000000
18)	0.000000	0.017647
19)	0.000000	0.005263
20)	14.000000	0.000000
21)	0.000000	32646.238281
22)	14.000000	0.000000
23)	0.000000	0.000000
24)	0.000000	0.017647
25)	0.000000	0.005263
26)	0.000000	4.061875
27)	14.000000	0.000000
28)	1.291176	0.000000
29)	10.365789	0.000000
30)	18.532278	0.000000
31)	0.000000	27444.136719
32)	4.515625	0.000000
33)	0.835484	0.000000
34)	22.000000	0.000000
35)	22.000000	0.000000
36)	0.000000	3.687820
37)	0.000000	12136.897461
38)	41.000000	0.000000
39)	41.000000	0.000000
40)	0.000000	0.015789

El rendimiento financiero promedio de \$ 519269 obtenido con la formulación del modelo es igual al del modelo anterior, debido particularmente al hecho de que con la inclusión de los regímenes alternativos combinados con los óptimos, el algoritmo de solución tuvo más posibilidades de utilizar mejor la superficie disponible por rodal, concluyendo que éste modelo financiero incrementó la función objetivo al considerar el maximando de

valor neto presente (VNP). El rendimiento financiero más bajo en éste modelo es también en el del periodo 6, ya que como se maneja el valor neto presente, los beneficios que se recibirán en un plazo de tiempo largo tienen menos valor en éste momento. El cuadro 35 muestra el mismo esquema silvícola bajo las mismas consideraciones de obtención de los recursos económicos de las unidades de manejo

Cuadro 35. Flujo de rendimiento periódico de acuerdo al modelo 3 con rendimiento sostenido financiero de regímenes óptimos combinados con alternativos.

Periodo de corta	Numero Rodal	Hectáreas Cortadas	Volumen por hectárea	Volumen por periodo	VNP (\$) por ha.	VN total por periodo
1	5	3.5	82.1	284.7	43759	151744.1
	6	41.0	51.4	2107.4	27399.7	1123387.7
		44.5		2392.1		1,275131.7
2	1	30.0	27.8	834	9080	272400.0
	2	12.0	30.4	364.8	9941.5	119298.0
	3	14.0	25	350	8165.6	114318.4
	5	22.0	21	462	6880.4	151368.8
	6	41.0	9.3	381.3	3030.1	124234.1
		89.0		2392.1		781,619.3
3	4	14.0	130.9	1832.6	26289.6	368054.4
	5	17.5	32	559.5	6425.8	112351.1
		31.5		2392.1		480,405.5
4	1	30.0	38	1140	4684.5	140535.0
	2	1.0	38	38.1	4684.5	4696.8
	3	14.0	38	532	4684.5	65583.0
	5	22.0	31	682	3821.6	84075.2
		67.0		2392.1		294,890.0
5	1	30.0	35	1050	2648.9	79467.0
	2	12.0	35	420	2648.9	31786.8
	3	14.0	35	490	2648.9	37084.6
	5	16.6	26	432.1	1967.7	32701.7
		72.6		2392.1		181,040.1
6	1	30.0	30	900	1393.9	41817
	2	12.0	30	360	1393.9	16726.8
	3	14.0	30	420	1393.9	19514.6
	4	14.0	38	532.0	1765.6	24718.4
	5	7.5	24	180.1	1115.1	8367.9
	77.5		2392.1		111,144.7	

Z= 3124231.3

se observa gráficamente en la figura 9 que la distribución de los rendimientos financieros generada por el modelo con rendimiento financiero sostenido de regímenes óptimos combinados con alternativos, es similar a la generada por el modelo de rendimiento financiero sostenido.

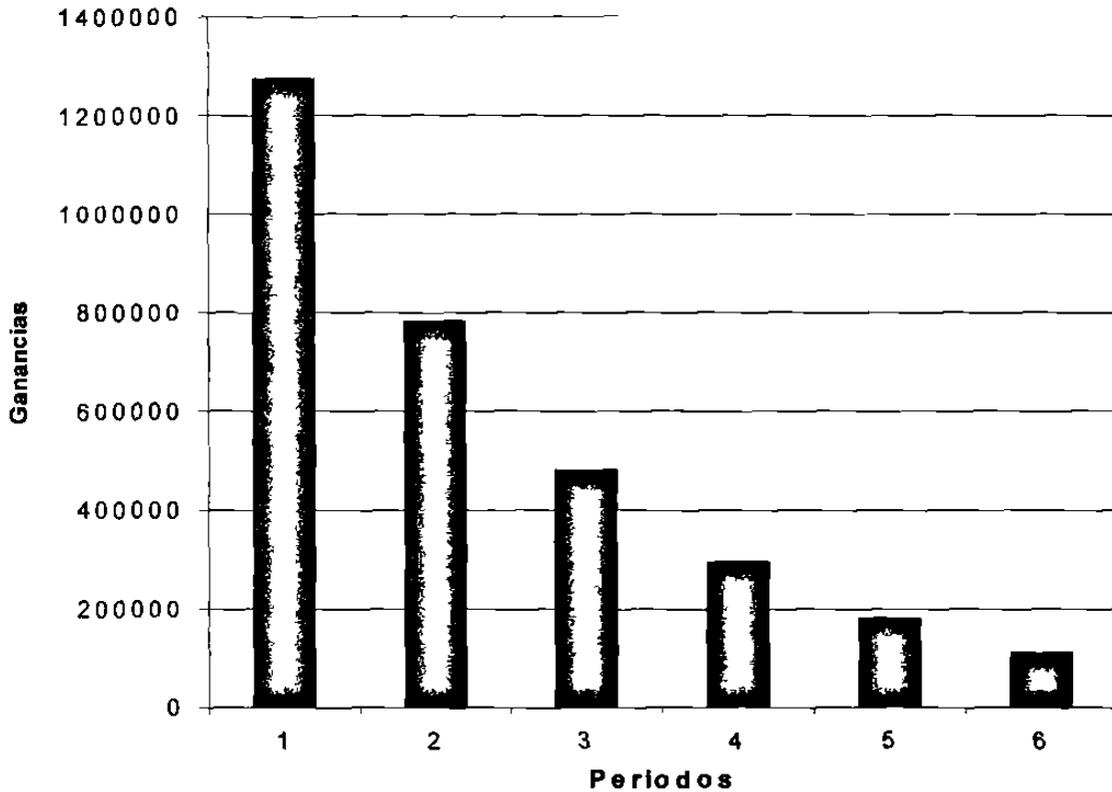


Figura 9. Rendimientos financieros periódicos a obtener de acuerdo al modelo 3 con rendimiento sostenido financiero de regímenes óptimos combinados con alternativos.

6.2.4. Comparación de los modelos de optimización financiera

La toma de decisión para seleccionar el mejor modelo consideró la función objetivo prioritaria que es la de optimización financiera, los modelos 2 y 3 dieron el valor de la función objetivo de \$ 3,124,231 y con el rendimiento promedio periódico más alto con \$ 520,705 a un turno de 50 años y respetando la restricción de un rendimiento periódico

sostenido en volumen de 2392 m³ aunque sus rendimientos financieros periódicos fueron diferentes (Cuadro 36). El signo no estricto utilizado en las restricciones de superficie de los modelos seleccionados favoreció en parte al bosque ya que permite al algoritmo de solución no disponer de la totalidad de la superficie asignada. El modelo 1 con menor rendimiento financiero muestra que aunque el signo estricto de las restricciones le permitió disponer de la totalidad de la superficie asignada, el periodo de planeación de 100 años (2 turnos) le disminuye el valor financiero al utilizar como maximando el valor neto presente (VNP).

Cuadro 36. Comparación de modelos matemáticos lineales financieros

Modelos	Alternativa	Turnos 50 años	Valor de la función objetivo (\$)	Valor periodo (\$)	Rendimientos volumétricos por periodo (m ³)
1	Sin rendimiento sostenido	2	9,667,261	439,421	no hay
2	Con rendimiento sostenido	1	3,124,231	520,705	2392.1
3	Combinación de 1 y 2	1	3,124,235	520,705	2392.1

VI.- CONCLUSIONES

Este trabajo es una aportación al diseño de una estrategia de manejo de los 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 aquellos cuyo objetivo es mantener de 0.9. Los regímenes diseñados con la finalidad de mantener un valor de 1.0 a 0.8 para el grado de densidad, reportan menores rendimientos volumétricos. En optimización financiera Una herramienta para la toma de decisiones sobre la intensidad de los tratamientos silvícolas que se aplicarían al área de estudio la constituyen los esquemas silvícolas con 0.9 de grado de densidad para regímenes óptimos y 0.8 para regímenes alternativos

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

El modelo 2 bajo el esquema para rendimiento sostenido estricto, desarrollado a partir de los regímenes de manejo seleccionados por el modelo 1, presentó un nivel de rendimiento volumétrico constante pero muy bajo para las posibilidades del área. Para optimización financiera el modelo reportó rendimientos periódicos constantes en volumen pero diferentes rendimientos económicos en cada periodo considerado. Por lo expuesto anteriormente el modelo no se adoptó como definitivo para la regulación del bosque en los rodales mencionados.

El modelo de regulación forestal propuesto para el área objeto de estudio, se formuló a partir del modelo 3, con la integración de los resultados del modelo 1 y los del esquema

formulado para cosecha sostenida en sentido estricto, reportando cifras de rendimiento volumétrico sostenido. Para optimización financiera el modelo reportó rendimientos periódicos constantes en volumen pero diferentes rendimientos económicos en cada periodo considerado. Los resultados obtenidos representan una base para la toma de decisiones de manejo del área en cuestión.

VII LITERATURA CITADA

- AGUIRRE, C.O. 1989. Aufstellung von ertragstafeln auf der basis. Einmaliger waldufnahmen am beispiel von *Pinus pseudostrobus* Lindl im nordesten Mexikos. Dissertation Universitat Gottingen.
- BRASNETT, N .V. Planed management of forest. London, George Allen & Unwin, 1953. 239 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. ; Pineaar , L. V. ; Brister , G. H. ; Bailey , R. L. 1983: timber management: A quantitative approach,. John Wiley & Sons. New York 333.
- HILLIER, F. S. ; Lieberman, G. J. 1997. Introducción a la investigación de operaciones. McGraw-Hill. Mexico. 998 p.
- DONADL , F.H. 1975. A Systems of Integrated Forest Products Fir with Decision-Making Aplications. Paper of Ph. Dr. University of Illinois.
- DAVIS , L. S. ; Johnson, K. N. 1987 : Forest management . Third ed McGraw – Hill. Ney York.
- DUERR, W. A. ; Teeguardden, D. E. ; Christiansen, N. B. ; Guttenberg, S. 1982: Forest Resource Management. Decision making principles and cases. OSU Book Stores, Inc. Corvallis. 612 p.
- GREGORY , G. R. 1972. Forest Resources Economics. John Wiley & Sons. New York.

- GUZMAN ZUARTH, David Lázaro 1985,. Aplicación de la programación lineal en la solución de un problema de transporte. Tesis profesional Universidad Autónoma de Chapingo. División de Ciencias Forestales.
- 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.
- KKID , W. E. Jr. E. F. THOMPSON and P. H. HOEPNER. 1966. Forest regulation by Linear Programming : a case study Journal of Forestry. 64 (9) : 611 – 613. Universitat Göttingen.
- MALDONADO HERNÁNDEZ, A. 1992. Modelo para la evaluación cuantitativa de la desertificación. Tesis UANL, Facultad de Ciencias Forestales. Linares, N. L.
- MENDOZA, B., M. 1983. Conceptos Básicos de Manejo Forestal. U. A. CH. Serie Agronomía No. 9. México.
- MORENO SÁNCHEZ RAFAEL 1984. Un modelo de programación lineal para la planeación de las labores de abastecimiento forestal. Tesis Profesional. Universidad Autónoma de Chapingo. Departamento de Enseñanza, Investigación y Servicios En bosque.
- LEUSCHNER, W.A. 1990. Forest regulation, harvest scheduling, and planning techniques. John Wiley & Sons. New York. 281 p.
- OSMASTON, F .C. The management of forests. New York. Hafner, 1968. 383 p.
- PEARSE , P. H. The optimum forest rotation. Forestry Chronicle. pp 178 – 195, 1967.

RIVERO, B., P. 1983. Modelos para la toma de decisiones. Universidad Autónoma de Chapingo. Departamento de Enseñanza, Investigación y Servicio en Bosques. México.

RIVERO, B., P. 1985. Modelo para la regulación de la corta en bosques coetáneos de clima templado frío, un ensayo. U.A.CH. División de Ciencias Forestales

RIVERO B., D. P. Determinación de longitudes de turno criterios financieros. Ciencias Forestales (México). 9 (47) : 21- 47. 1984.

RIVERO – B., D. P. 1984. Modelo para la regulación de la corta en bosques coetáneos de clima templado – frío. Tesis Ing. Arg. Esp. En Bosques. U.A.CH. Chapingo , Mex. 115 p.

THIERAUF , R. J. and R.C. KLEKAMP . 1975 . Decision – Making Through Operations Research. 2nd. Ed. New York. John Willey & Sons. 650p.

WOOLSEY , T. S Jr. American forest regulations. New Haven, Connecticut, Tuttle, Morehouse and Taylor, 1921. 217 p.

APENDICE

Cuadro 1. Tabla de Producción para *Pinus pseudostrobus* Lindl., Índice 11

T	Masa en pie						Masa extraída						Masa total					
	N	Hg	Ho	G	dg	F	V	N	hg	dg	G	V	Σ VE	PVE	PT	IMA	ICA	t
19	4693	4.3	5.0	12.9	6.0	0.753	42	453	3.1	4.0	0.5	1			42	2.21	5.38	19
20	4240	4.6	5.3	13.9	6.4	0.729	47	1245	3.7	4.8	2.3	7	1	2.1	48	2.40	5.54	20
25	2995	5.8	6.6	17.5	8.6	0.662	68	674	4.5	6.1	2.0	6	8	10.5	76	3.03	5.49	25
30	2321	6.9	7.7	20.6	10.6	0.624	89	410	5.1	7.4	1.8	6	14	13.6	103	3.44	5.28	30
35	1911	7.8	8.7	23.3	12.4	0.601	109	275	5.8	8.5	1.6	6	20	15.4	130	3.70	5.06	35
40	1636	8.6	9.5	25.5	14.1	0.585	129	197	6.3	9.5	1.4	6	26	16.8	155	3.87	4.88	40
45	1439	9.4	10.3	27.5	15.6	0.574	147	147	6.8	10.4	1.2	5	32	17.9	179	3.99	4.62	45
50	1292	10.0	11.0	29.2	17.0	0.565	165	114	7.2	11.3	1.1	5	37	18.3	202	4.05	4.42	50
55	1178	10.6	11.6	30.7	18.2	0.558	183	90	7.6	12.0	1.0	5	42	18.7	225	4.08	4.16	55
60	1088	11.2	12.2	32.1	19.4	0.553	198	75	8.0	12.8	1.0	5	47	19.6	245	4.09	4.01	60
65	1013	11.7	12.8	33.3	20.5	0.549	214	61	8.3	13.4	0.9	4	52	19.6	265	4.08	3.83	65
70	952	12.2	13.3	34.4	21.5	0.546	229	53	8.7	14.0	0.8	4	56	19.4	285	4.07	3.70	70
75	899	12.6	13.7	35.4	22.4	0.544	243	44	8.9	14.6	0.7	4	60	19.8	303	4.04	3.46	75
80	855	13.0	14.1	36.4	23.3	0.541	257	39	9.3	15.2	0.7	3	64	19.9	321	4.00	3.38	80
85	816	13.4	14.6	37.2	24.1	0.540	270	36	9.5	15.7	0.7	4	67	19.9	337	3.97	3.19	85
90	780	13.8	15.0	38.1	24.9	0.538	283	28	9.8	16.2	0.6	4	71	20.1	354	3.92	3.08	90
95	752	14.1	15.3	38.7	25.6	0.537	294	26	10.0	16.6	0.6	3	75	20.3	369	3.88	2.96	95
100	726	14.5	15.7	39.4	26.3	0.536	305	26	10.0	16.6	0.6	3	78	20.4	383	3.83	2.96	100

Cuadro 2. Tabla de Producción para *Pinus pseudostrobus* Lindl., Índice de sitio 13.5

Masa en pie										Masa extraída						Masa total		
T	N	Hg	Ho	G	dg	F	V	N	hg	dg	G	V	ΣVE	PVE	PT	IMA	ICA	t
15	4693	4.3	5.0	12.8	5.9	0.746	42	1821	3.6	4.7	3.2	9			42	2.80		15
20	2872	6.0	6.7	18.0	8.9	0.655	71	816	4.7	6.6	2.8	9	9	11.3	80	3.99	7.62	20
25	2056	7.5	8.3	22.2	11.7	0.609	101	442	5.7	8.3	2.4	9	18	15.1	119	4.76	7.85	25
30	1614	8.7	9.6	25.7	14.2	0.584	130	273	6.5	9.8	2.1	8	27	17.2	157	5.24	7.67	30
35	1341	9.8	10.7	28.6	16.5	0.568	159	186	7.2	11.2	1.8	8	35	18.0	194	5.54	7.34	35
40	1155	10.7	11.8	31.0	18.5	0.557	186	131	7.8	12.4	1.6	8	43	18.8	229	5.73	7.01	40
45	1024	11.6	12.7	33.1	20.3	0.550	211	100	8.4	13.5	1.4	7	51	19.5	262	5.83	6.65	45
50	924	12.4	13.5	34.9	21.9	0.545	236	78	8.9	14.5	1.3	7	58	19.7	294	5.87	6.31	50
55	846	13.1	14.2	36.6	23.5	0.541	259	62	9.4	15.5	1.2	6	65	20.1	324	5.89	6.02	55
60	784	13.8	14.9	38.0	24.8	0.538	281	51	9.8	16.3	1.1	6	71	20.2	352	5.87	5.67	60
65	733	14.5	15.6	39.2	26.1	0.537	302	42	10.2	17.1	1.0	6	77	20.3	379	5.83	5.34	65
70	691	14.9	16.1	40.4	27.3	0.535	322	37	10.6	17.8	0.9	6	83	20.5	405	5.78	5.14	70
75	654	15.4	16.7	41.4	28.4	0.534	340	30	11.0	18.5	0.8	5	89	20.7	429	5.72	4.91	75
80	624	15.9	17.2	42.3	29.4	0.533	359	27	11.3	19.1	0.8	5	94	20.8	453	5.66	4.65	80
85	597	16.3	17.6	43.1	30.4	0.532	376	24	11.6	19.7	0.7	5	98	20.8	475	5.59	4.46	85
90	573	16.8	18.1	43.9	31.2	0.534	392	21	11.9	20.3	0.7	5	104	21.0	496	5.51	4.26	90
95	552	17.2	18.5	44.7	32.1	0.533	408	19	12.1	20.8	0.6	4	109	21.0	517	5.44	4.14	95
100	533	17.5	18.9	45.3	32.9	0.533	423	19	12.1	20.8	0.6	4	113	21.1	536	5.36	3.90	100

Desarrollo de un modelo de programación lineal para el manejo de ecosistemas forestales

Cuadro 3. Tabla de Producción para *Pinus pseudostrubus* Lindl., Índice de sitio 16 (Aguirre, 1991)

T	Masa en pie					Masa extraída					Masa total							
	N	Hg	Ho	G	dg	F	V	N	hg	dg	G	V	Σ VE	PVE	PT	IMA	ICA	I
13	4415	4.5	5.2	13.5	6.2	0.734	45	1061	3.5	4.5	1.7	5	1	2.2	46	3.51	10.04	13
15	3354	5.4	6.1	16.3	7.9	0.680	60	1281	4.5	6.3	4.0	12	6	9.1	66	4.38	10.44	15
20	2073	7.4	8.2	22.1	11.7	0.610	100	566	5.8	8.5	3.2	12	18	15.3	118	5.90	10.44	20
25	1507	9.1	10.0	26.7	15.0	0.577	140	311	6.9	10.6	2.7	11	30	17.6	170	6.80	10.11	25
30	1196	10.5	11.5	30.4	18.0	0.560	180	195	7.8	12.4	2.3	11	41	18.6	221	7.36	9.70	30
35	1001	11.8	12.9	33.5	20.7	0.548	217	133	8.7	14.0	2.0	10	52	19.3	269	7.69	9.18	35
40	868	12.9	14.0	36.1	23.0	0.542	253	96	9.4	15.4	1.8	10	62	19.7	315	7.88	8.65	40
45	772	13.9	15.1	38.3	25.1	0.538	286	72	10.0	16.7	1.6	10	72	20.1	358	7.96	8.12	45
50	700	14.8	16.0	40.1	27.0	0.535	317	57	10.8	17.8	1.4	9	82	20.6	399	7.98	7.74	50
55	643	15.6	16.8	41.7	28.7	0.534	347	46	11.2	18.9	1.3	8	91	20.7	438	7.96	7.26	55
60	597	16.3	17.6	43.1	30.3	0.533	376	37	11.7	19.9	1.2	8	99	20.8	475	7.90	6.91	60
65	560	17.0	18.3	44.4	31.8	0.533	401	31	12.1	20.8	1.1	7	107	21.1	508	7.82	6.50	65
70	529	17.6	19.0	45.5	33.1	0.533	427	26	12.5	21.6	1.0	7	114	21.1	541	7.73	6.25	70
75	503	18.2	19.6	46.5	34.3	0.534	451	23	12.9	22.3	0.9	7	121	21.2	572	7.63	5.86	75
80	480	18.7	20.1	47.3	35.4	0.534	473	20	13.3	23.0	0.8	6	128	21.3	601	7.52	5.66	80
85	460	19.2	20.7	48.2	36.5	0.535	496	17	13.6	23.7	0.8	6	134	21.3	630	7.41	5.32	85
90	443	19.7	21.2	48.9	37.5	0.536	516	16	13.9	24.3	0.7	6	140	21.3	656	7.29	5.19	90
95	427	20.1	21.6	49.5	38.4	0.537	536	14	14.3	24.9	0.7	5	146	21.4	682	7.18	4.93	95
100	413	20.6	22.1	50.2	39.3	0.538	556	14	14.3	24.9	0.7	5	151	21.4	707	6.07		100

Cuadro 4. Tabla de Producción para *Pinus pseudostrabus* Lindl., Índice de sitio 18.5

T	Masa en pie							Masa extraída							Masa total			
	N	Hg	Ho	G	dg	F	V	N	hg	dg	G	V	ΣVE	PVE	PT	IMA	ICA	t
11	4557	4.4	5.1	13.2	6.1	0.741	43	2064	3.9	5.2	4.4	13	13	13.7	43	3.96	12.78	11
15	2493	6.7	7.4	19.7	10.0	0.634	82	922	5.4	7.8	4.4	15	28	17.3	95	6.31	13.51	15
20	1571	8.9	9.8	26.1	14.5	0.581	134	416	6.9	10.6	3.7	15	43	18.8	162	8.11	13.44	20
25	1155	10.7	11.8	31.0	18.5	0.557	186	231	8.1	12.9	3.0	15	58	19.7	229	9.18	12.89	25
30	924	12.4	13.5	34.9	21.9	0.545	236	144	9.2	15.0	2.6	13	71	20.0	294	9.80	12.20	30
35	780	13.8	15.0	38.1	25.0	0.538	283	101	10.2	16.8	2.2	13	84	20.4	354	10.14	11.50	35
40	679	15.1	16.3	40.7	27.6	0.535	328	72	10.9	18.4	1.9	12	96	20.6	412	10.31	10.77	40
45	607	16.2	17.5	42.8	30.3	0.533	370	55	11.7	19.9	1.7	12	108	20.9	466	10.36	10.12	45
50	552	17.2	18.5	44.7	32.1	0.533	409	43	12.3	21.2	1.5	11	119	21.1	517	10.34	9.51	50
55	509	18.0	19.4	46.2	34.0	0.534	445	35	12.9	22.3	1.4	10	129	21.2	564	10.26	9.00	55
60	474	18.9	20.3	47.6	35.6	0.535	480	28	13.5	23.3	1.2	10	139	21.3	609	10.16	8.40	60
65	446	19.6	21.1	48.7	37.3	0.536	512	24	14.0	24.4	1.1	9	148	21.4	651	10.02	8.07	65
70	422	20.3	21.8	49.8	38.8	0.538	544	21	14.4	25.2	1.0	9	157	21.5	692	9.88	7.58	70
75	401	20.9	22.5	50.7	40.1	0.540	573	17	14.9	26.0	0.9	8	165	21.6	730	9.73	7.16	75
80	384	21.5	23.1	51.5	41.3	0.542	601	15	15.3	26.8	0.8	8	173	21.6	765	9.57	6.82	80
85	369	22.1	23.7	52.2	42.4	0.544	627								800	9.41		85

Cuadro 5. Tabla de Producción para *Pinus pseudostrubus* Lindl. Índice de sitio 21

T	Masa en pie							Masa extraída							Masa total			
	N	hg	ho	G	dg	F	V	N	Hg	Dg	G	V	ΣVE	PVE	PT	IMA	ICA	t
10	4240	4.6	5.3	13.9	6.5	0.725	47	2311	4.3	6.0	6.5	19	1	2.1	48	4.82	15.96	10
15	1929	7.8	8.6	23.1	12.4	0.602	108	696	6.3	9.6	5.0	19	20	15.6	128	8.55	17.03	15
20	1233	10.3	11.3	30.0	17.6	0.562	174	318	8.0	12.7	4.0	19	39	18.3	213	10.67	16.74	20
25	915	12.5	13.6	35.1	22.2	0.544	239	177	9.4	15.4	3.3	18	58	19.5	297	11.88	15.88	25
30	738	14.3	15.5	39.1	26.0	0.537	300	113	10.6	17.7	2.8	17	76	20.2	376	12.55	14.94	30
35	625	15.9	17.1	42.3	29.3	0.533	358	77	11.6	19.7	2.3	16	93	20.6	451	12.89	13.94	35
40	548	17.2	18.6	44.8	32.2	0.533	412	57	12.5	21.5	2.1	15	109	20.9	521	13.03	13.07	40
45	491	18.4	19.9	46.9	34.9	0.534	462	42	13.3	23.0	1.7	14	124	21.2	586	13.02	12.17	45
50	449	19.5	21.0	48.6	37.1	0.536	509	34	14.0	24.4	1.6	13	138	21.3	647	12.94	11.41	50
55	415	20.5	22.0	50.1	39.2	0.539	553	28	14.7	25.7	1.4	12	151	21.4	704	12.80	10.75	55
60	387	21.4	23.0	51.3	41.1	0.541	595	22	15.3	26.8	1.2	12	163	21.5	758	12.63	10.12	60
65	365	22.2	23.8	52.4	42.7	0.545	634						175	21.6	809	12.44		65

Cuadro 6: rendimientos volumétricos (m3/ha) en el rodal 1

		P	E	R	I	O	D	O	S				
Régimen de Manejo	INICIO	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	TOTAL
1	132.6	27.8	23	21	20	17	357.1	24.2	23	21	20		686.7
2	132.6	27.8	41	38	35	30	319.5	24.2	41	38	35		762.1
3	132.6	27.8	34	31	28	24	281.9	24.2	34	31	28		676.5
4		155.6	31.3	23	21	20	17	357.1	24.2	23	21		693.2
5		155.6	31.3	41	38	35	30	319.5	24.2	41	38		753.6
6		155.6	31.3	34	31	28	24	281.9	24.2	34	31		675.0
7			178.5	34.8	23	21	20	17	357.1	24.2	23		698.7
8			178.5	34.8	41	38	35	30	319.5	24.2	41		742.1
9			178.5	34.8	34	31	28	24	281.9	24.2	34		670.5
10				201.5	38.4	23	21	20	17	357.1	24.2		702.2
11				201.5	38.4	41	38	35	30	319.5	24.2		727.6
12				201.5	38.4	34	31	28	24	281.9	24.2		663.0
													8451.0

Cuadro 7: Rendimientos volumétricos (m3/ha) en el rodal 2

		P	E	R	I	O	D	O	S				
Régimen de Manejo	INICIO	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	TOTAL
1	105.0	30.4	23	21	20	17	357.1	24.2	23	21	20		661.7
2	105.0	30.4	41	38	35	30	319.5	24.2	41	38	35		737.1
3	105.0	30.4	34	31	28	24	281.9	24.2	34	31	28		651.5
4		122.2	33.9	23	21	20	17	357.1	24.2	23	21		662.4
5		122.2	33.9	41	38	35	30	319.5	24.2	41	38		722.8
6		122.2	33.9	34	31	28	24	281.9	24.2	34	31		644.2
7			139.3	37.4	23	21	20	17	357.1	24.2	23		662.0
8			139.3	37.4	41	38	35	30	319.5	24.2	41		705.4
9			139.3	37.4	34	31	28	24	281.9	24.2	34		633.8
10				156.4	40.9	23	21	20	17	357.1	24.2		659.6
11				156.4	40.9	41	38	35	30	319.5	24.2		685.0
12				156.4	40.9	34	31	28	24	281.9	24.2		620.4
													8046.0

Cuadro 8: Rendimientos volumétricos (m³/ha) en el Rodal 3

		P	E	R	I	O	D	O	S				
Régimen de Manejo	INICIO	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	TOTAL
1	133.3	25.0	23	21	20	17	357.1	24.2	23	21	20		684.6
2	133.3	25.0	41	38	35	30	319.5	24.2	41	38	35		760.0
3	133.3	25.0	34	31	28	24	281.9	24.2	34	31	28		674.4
4		158.4	28.4	23	21	20	17	357.1	24.2	23	21		693.1
5		158.4	28.4	41	38	35	30	319.5	24.2	41	38		753.5
6		158.4	28.4	34	31	28	24	281.9	24.2	34	31		674.9
7			183.5	31.9	23	21	20	17	357.1	24.2	23		700.7
8			183.5	31.9	41	38	35	30	319.5	24.2	41		744.1
9			183.5	31.9	34	31	28	24	281.9	24.2	34		672.5
10				208.5	35.4	23	21	20	17	357.1	24.2		706.3
11				208.5	35.4	41	38	35	30	319.5	24.2		731.7
12				208.5	35.4	34	31	28	24	281.9	24.2		667.1
													8462.9

Cuadro 9: Rendimientos volumétricos (m³/ha) en el Rodal 4

		P	E	R	I	O	D	O	S				
Régimen de Manejo	INICIO	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	TOTAL
1				130.9	20.6	23	21	20	17	357.1	24.2	23	636.8
2				130.9	20.6	41	38	35	30	319.5	24.2	41	680.2
3				130.9	20.6	34	31	28	24	281.9	24.2	34	608.6
4					156.6	23.7	23	21	20	17	357.1	24.2	642.7
5					156.6	23.7	41	38	35	30	319.5	24.2	668.1
6					156.6	23.7	34	31	28	24	281.9	24.2	603.5
7						182.4	26.9	23	21	20	17	357.1	647.4
8						182.4	26.9	41	38	35	30	319.5	672.8
9						182.4	26.9	34	31	28	24	281.9	608.2
10							208.1	30.0	23	21	20	17	319.1
11							208.1	30.0	41	38	35	30	382.1
12							208.1	30.0	34	31	28	24	355.1
													6824.6

Cuadro 10: Rendimientos volumétricos (m3/ha) en el Rodal 5

		P	E	R	I	O	D	O	S				
Régimen de Manejo	INICIO	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	TOTAL
1	82.1	21.0	18	16	15	13	270.2	14.0	18	16	15	498.4	
2	82.1	21.0	32	31	26	24	242.1	14.0	32	31	26	561.3	
3	82.1	21.0	16	24	22	20	214.0	14.0	16	24	22	475.2	
4		93.6	23.2	18	16	15	13	270.2	14.0	18	16	497.0	
5		93.6	23.2	32	31	26	24	242.1	14.0	32	31	548.9	
6		93.6	23.2	16	24	22	20	214.0	14.0	16	24	466.8	
7			105.0	25.3	18	16	15	13	270.2	14.0	18	494.6	
8			105.0	25.3	32	31	26	24	242.1	14.0	32	531.5	
9			105.0	25.3	16	24	22	20	214.0	14.0	16	456.4	
10				116.5	27.5	18	16	15	13	270.2	14.0	490.2	
11				116.5	27.5	32	31	26	24	242.1	14.0	513.1	
12				116.5	27.5	16	24	22	20	214.0	14.0	454.0	
													5987.1

Cuadro 11 : Rendimientos volumétricos (m3) en el Rodal 6

		P	E	R	I	O	D	O	S				
Régimen de Manejo	INICIO	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	TOTAL
1	51.4	9.3		12	11	10	192.5	5.5		12	11	314.7	
2	51.4	9.3		21	20	18	172.7	5.5		21	20	338.9	
3	51.4	9.3		17	16	14	152.9	5.5		17	16	299.1	
4		59.9	10.4		12	11	10	192.5	5.5		12	313.3	
5		59.9	10.4		21	20	18	172.7	5.5		21	328.5	
6		59.9	10.4		17	16	14	152.9	5.5		17	292.7	
7			68.4	11.8		12	11	10	192.5	5.5		311.0	
8			68.4	11.6		21	20	18	172.7	5.5		317.2	
9			68.4	11.6		17	16	14	152.9	5.5		285.4	
10				76.9	12.7		12	11	10	192.5	5.5	320.6	
11				76.9	12.7		21	20	18	172.7	5.5	326.8	
12				76.9	12.7		17	16	14	152.9	5.5	295.0	
													3743.0

Desarrollo de un modelo de programación lineal para el manejo de ecosistemas forestales

Cuadro 12. Beneficios ocurridos durante y fuera(valor terminal) del periodo de planeación (100 años), en el Rodal 1.

S	A										VT
	15	25	35	45	55	65	75	85	95	105	
90173.1	18876.7	15640.0	14280.0	13600.0	11560.0	242831.8	16466.5	15640.0	14280.0	13600.0	21144.3
90173.1	18876.7	27880.0	25840.0	23800.0	20400.0	217263.8	16466.5	27880.0	25840.0	23800.0	37718.7
90173.1	18876.7	23120.0	21080.0	19040.0	16320.0	191695.8	16466.5	23120.0	21080.0	19040.0	30494.6
	105781.9	21287.0	15640.0	14280.0	13600.0	11560.0	242831.8	16466.5	15640.0	14280.0	25235.1
	105781.9	21287.0	27880.0	25840.0	23800.0	20400.0	217263.8	16466.5	27880.0	25840.0	45000.7
	105781.9	21287.0	23120.0	21080.0	19040.0	16320.0	191695.8	16466.5	23120.0	21080.0	36836.2
	121390.8	23697.2	15640.0	14280.0	13600.0	11560.0	242831.8	16466.5	15640.0	14280.0	28394.1
	121390.8	23697.2	27880.0	25840.0	23800.0	20400.0	217263.8	16466.5	27880.0	25840.0	40528.5
	121390.8	23697.2	23120.0	21080.0	19040.0	16320.0	191695.8	16466.5	23120.0	21080.0	35516.2
	136999.6	26107.4	15640.0	14280.0	13600.0	11560.0	242831.8	16466.5	15640.0	14280.0	212334.0
	136999.6	26107.4	27880.0	25840.0	23800.0	20400.0	217263.8	16466.5	27880.0	25840.0	199750.2
	136999.6	26107.4	23120.0	21080.0	19040.0	16320.0	191695.8	16466.5	23120.0	21080.0	176639.9

VT—VALOR TERMINAL

Desarrollo de un modelo de programación lineal para el manejo de ecosistemas forestales

Cuadro 13: Beneficios ocurridos durante y fuera(valor terminal) del periodo de planeación (100 años), en el Rodal 2.

	A										VT
	5	15	25	35	45	55	65	75	85	95	
71411.1	20667.7	15640.0	14280.0	13600.0	11560.0	242831.8	16466.5	15640.0	14280.0	13600.0	68068.6
71411.1	20667.7	27880.0	25640.0	23800.0	20400.0	217263.8	16466.5	27880.0	25840.0	23800.0	37718.7
71411.1	20667.7	23120.0	21080.0	19040.0	16320.0	191695.8	16466.5	23120.0	21080.0	19040.0	30494.6
83066.5	23044.3	15640.0	14280.0	13600.0	11560.0	242831.8	16466.5	15640.0	14280.0	25235.1	
83066.5	23044.3	27880.0	25840.0	23800.0	20400.0	217263.8	16466.5	27880.0	25840.0	45000.7	
83066.5	23044.3	23120.0	21080.0	19040.0	16320.0	191695.8	16466.5	23120.0	21080.0	36836.2	
94721.8	25420.9	15640.0	14280.0	13600.0	11560.0	242831.8	16466.5	15640.0	14280.0	28394.1	
94721.8	25420.9	27880.0	25840.0	23800.0	20400.0	217263.8	16466.5	27880.0	25840.0	40528.5	
94721.8	25420.9	23120.0	21080.0	19040.0	16320.0	191695.8	16466.5	23120.0	21080.0	35516.2	
106377.1	27797.5	15640.0	14280.0	13600.0	11560.0	242831.8	16466.5	15640.0	14280.0	213147.0	
106377.1	27797.5	27880.0	25840.0	23800.0	20400.0	217263.8	16466.5	27880.0	25840.0	200563.2	
106377.1	27797.5	23120.0	21080.0	19040.0	16320.0	191695.8	16466.5	23120.0	21080.0	177452.9	

VT—VALOR TERMINAL

Desarrollo de un modelo de programación lineal para el manejo de ecosistemas forestales

Cuadro 14. Beneficios ocurridos durante y fuera(valor terminal) del periodo de planeación (100 años), en el Rodal 3.

	A										V T	
	5	15	25	35	45	55	65	75	85	95		105
90633.7	16975.7	15640.0	14280.0	13600.0	11560.0	242831.8	16466.5	15640.0	14280.0	13600.0	21144.3	
90633.7	16975.7	27880.0	25840.0	23800.0	20400.0	217263.8	16466.5	27880.0	25840.0	23800.0	37718.7	
90633.7	16975.7	23120.0	21080.0	19040.0	16320.0	191695.8	16466.5	23120.0	21080.0	19040.0	30494.6	
	107692.8	19343.6	15640.0	14280.0	13600.0	11560.0	242831.8	16466.5	15640.0	14280.0	25235.1	
	107692.8	19343.6	27880.0	25840.0	23800.0	20400.0	217263.8	16466.5	27880.0	25840.0	45000.7	
	107692.8	19343.6	23120.0	21080.0	19040.0	16320.0	191695.8	16466.5	23120.0	21080.0	36836.2	
		124751.9	21711.4	15640.0	14280.0	13600.0	11560.0	242831.8	16466.5	15640.0	28394.1	
		124751.9	21711.4	27880.0	25840.0	23800.0	20400.0	217263.8	16466.5	27880.0	40528.5	
		124751.9	21711.4	23120.0	21080.0	19040.0	16320.0	191695.8	16466.5	23120.0	35516.2	
			141811.0	24079.3	15640.0	14280.0	13600.0	11560.0	242831.8	16466.5	211358.4	
			141811.0	24079.3	27880.0	25840.0	23800.0	20400.0	217263.8	16466.5	198774.7	
			141811.0	24079.3	23120.0	21080.0	19040.0	16320.0	191695.8	16466.5	175664.4	

VT—VALOR TERMINAL

Desarrollo de un modelo de programación lineal para el manejo de ecosistemas forestales

Cuadro 15. Beneficios ocurridos durante y fuera(valor terminal) del periodo de planeación (100 años), en el Rodal 4.

		A										N										O										S										VT									
		5		15		25		35		45		55		65		75		85		95		105		100																											
	89026.0	13994.6	15640.0	14280.0	13600.0	11560.0	242831.8	16466.5	15640.0	28394.1																																									
	89026.0	13994.6	27880.0	25840.0	23800.0	20400.0	217263.8	16466.5	27880.0	40528.5																																									
	89026.0	13994.6	23120.0	21080.0	19040.0	16320.0	191695.8	16466.5	23120.0	35516.2																																									
	106516.2	16140.3	15640.0	14280.0	13600.0	11560.0	242831.8	16466.5	207539.6																																										
	106516.2	16140.3	27880.0	25840.0	23800.0	20400.0	217263.8	16466.5	194955.9																																										
	106516.2	16140.3	23120.0	21080.0	19040.0	16320.0	191695.8	16466.5	171845.6																																										
	124006.3	18286.0	15640.0	14280.0	13600.0	11560.0	242831.8	136617.6																																											
	124006.3	18286.0	27880.0	25840.0	23800.0	20400.0	217263.8	135447.9																																											
	124006.3	18286.0	23120.0	21080.0	19040.0	16320.0	191695.8	118234.5																																											
	141496.5	20431.7	15640.0	14280.0	13600.0	11560.0	242831.8	94345.9																																											
	141496.5	20431.7	27880.0	25840.0	23800.0	20400.0	217263.8	20400.0	101191.8																																										
	141496.5	20431.7	23120.0	21080.0	19040.0	16320.0	19040.0	16320.0	87094.4																																										

VT—VALOR TERMINAL

Desarrollo de un modelo de programación lineal para el manejo de ecosistemas forestales

Cuadro 16. Beneficios ocurridos durante y fuera(valor terminal) del periodo de planeación (100 años), en el Rodal 5.

	A										VT	
	5	15	25	35	45	55	65	75	85	95		105
55848.8	14303.9	12240.0	10880.0	10200.0	8840.0	183768.3	9506.2	12240.0	10880.0	10200.0	16041.6	
55848.8	14303.9	21760.0	21080.0	17680.0	16320.0	164660.3	9506.2	21760.0	21080.0	17680.0	29840.5	
55848.8	14303.9	10880.0	16320.0	14960.0	13600.0	145552.3	9506.2	10880.0	16320.0	14960.0	23999.3	
	63632.0	15759.6	12240.0	10880.0	10200.0	8840.0	183768.3	9506.2	12240.0	10880.0	19438.5	
	63632.0	15759.6	21760.0	21080.0	17680.0	16320.0	164660.3	9506.2	21760.0	21080.0	35369.0	
	63632.0	15759.6	10880.0	16320.0	14960.0	13600.0	145552.3	9506.2	10880.0	16320.0	23258.2	
		71415.2	17215.3	12240.0	10880.0	10200.0	8840.0	183768.3	9506.2	12240.0	19381.9	
		71415.2	17215.3	21760.0	21080.0	17680.0	164660.3	9506.2	21760.0	21760.0	29161.9	
		71415.2	17215.3	10880.0	16320.0	14960.0	13600.0	145552.3	9506.2	10880.0	21726.9	
			79198.4	18671.0	12240.0	10880.0	10200.0	8840.0	183768.3	9506.2	160294.5	
			79198.4	18671.0	21760.0	21080.0	17680.0	16320.0	164660.3	9506.2	151326.9	
				79198.4	18671.0	10880.0	16320.0	14960.0	13600.0	145552.3	9506.2	131790.8

VT—VALOR TERMINAL

Desarrollo de un modelo de programación lineal para el manejo de ecosistemas forestales

Cuadro 16. Beneficios ocurridos durante y fuera(valor terminal) del periodo de planeación (100 años), en el Rodal 5.

		A										N										O										S											
		5		15		25		35		45		55		65		75		85		95		105		100		VT																	
55848.8	14303.9	12240.0	10880.0	10200.0	8840.0	183768.3	9506.2	12240.0	10880.0	10200.0	16041.8	55848.8	14303.9	21760.0	21080.0	17680.0	16320.0	164660.3	9506.2	21760.0	21080.0	17680.0	29840.5	55848.8	14303.9	10880.0	16320.0	14960.0	13600.0	145552.3	9506.2	10880.0	16320.0	14960.0	23899.3								
63632.0	15759.6	12240.0	10880.0	10200.0	8840.0	183768.3	9506.2	12240.0	10880.0	10200.0	19438.5	63632.0	15759.6	15759.6	21760.0	21080.0	17680.0	16320.0	164660.3	9506.2	21760.0	21080.0	17680.0	35369.0	63632.0	15759.6	15759.6	10880.0	14960.0	13600.0	145552.3	9506.2	10880.0	16320.0	14960.0	23258.2							
71415.2	17215.3	12240.0	10880.0	10200.0	8840.0	183768.3	9506.2	12240.0	10880.0	10200.0	19381.9	71415.2	17215.3	17215.3	21760.0	21080.0	17680.0	16320.0	164660.3	9506.2	21760.0	21080.0	17680.0	29161.9	71415.2	17215.3	17215.3	10880.0	14960.0	13600.0	145552.3	9506.2	10880.0	16320.0	14960.0	21726.9							
79198.4	18671.0	12240.0	10880.0	10200.0	8840.0	183768.3	9506.2	12240.0	10880.0	10200.0	160294.5	79198.4	18671.0	18671.0	21760.0	21080.0	17680.0	16320.0	164660.3	9506.2	21760.0	21080.0	17680.0	160294.5	79198.4	18671.0	18671.0	10880.0	14960.0	13600.0	145552.3	9506.2	10880.0	16320.0	14960.0	151326.9							
79198.4	18671.0	12240.0	10880.0	10200.0	8840.0	183768.3	9506.2	12240.0	10880.0	10200.0	131790.8	79198.4	18671.0	18671.0	21760.0	21080.0	17680.0	16320.0	164660.3	9506.2	21760.0	21080.0	17680.0	131790.8	79198.4	18671.0	18671.0	10880.0	14960.0	13600.0	145552.3	9506.2	10880.0	16320.0	14960.0	131790.8							

VT—VALOR TERMINAL

Desarrollo de un modelo de programación lineal para el manejo de ecosistemas forestales

Cuadro 17. Beneficios ocurridos durante y fuera(valor terminal) del periodo de planeación (100 años), en el Rodal 6.

	A										VT	
	5	15	25	35	45	55	65	75	85	95		105
34969.7	6299.3	8160.0	7480.0	6800.0	130927.5	3712.5	8160.0	7480.0	6800.0	130927.5	3712.5	11999.6
34969.7	6299.3	14280.0	13600.0	12240.0	1177463.5	3712.5	14280.0	13600.0	12240.0	1177463.5	3712.5	21345.1
34969.7	6299.3	11560.0	10880.0	9520.0	103999.5	3712.5	11560.0	10880.0	9520.0	103999.5	3712.5	17102.3
40734.0	7084.4	8160.0	7480.0	6800.0	130927.5	3712.5	8160.0	7480.0	6800.0	130927.5	3712.5	7366.7
40734.0	7084.4	14280.0	13600.0	12240.0	1177463.5	3712.5	14280.0	13600.0	12240.0	1177463.5	3712.5	13104.0
40734.0	7084.4	11560.0	10880.0	9520.0	103999.5	3712.5	11560.0	10880.0	9520.0	103999.5	3712.5	10499.3
46498.4	7869.5	8160.0	7480.0	6800.0	130927.5	3712.5	8160.0	7480.0	6800.0	130927.5	3712.5	7431.4
46498.4	7869.5	14280.0	13600.0	12240.0	1177463.5	3712.5	14280.0	13600.0	12240.0	1177463.5	3712.5	10953.6
46498.4	7869.5	11560.0	10880.0	9520.0	103999.5	3712.5	11560.0	10880.0	9520.0	103999.5	3712.5	9354.5
	52262.8	8654.7	0.0	8160.0	7480.0	6800.0	130927.5	3712.5	109524.6			
	52262.8	8654.7	0.0	14280.0	13600.0	12240.0	1177463.5	3712.5	101137.5			
	52262.8	8654.7	0.0	11560.0	10880.0	9520.0	103999.5	3712.5	89606.5			

VT—VALOR TERMINAL

Desarrollo de un modelo de programación lineal para el manejo de ecosistemas forestales

Cuadro 18. Valor neto presente total de los beneficios ocurridos durante y fuera del periodo de planeación en el Rodal 1.

	A										S	SBAPP	BTA	VNAT
	5	15	25	35	45	55	65	75	85	95				
70653.0	9080.0	4618.5	2588.8	1513.6	789.9	10185.9	424.0	247.3	138.6	81.0	100320.7	160.8	100481.5	
70653.0	9080.0	8233.0	4684.5	2648.9	1393.9	9113.5	424.0	440.8	250.8	141.8	107064.2	286.8	107351.0	
70653.0	9080.0	6827.4	3821.6	2119.1	1115.1	8041.0	424.0	365.5	204.6	113.4	102764.7	231.9	102996.6	
50882.9	6286.1	2835.4	1589.3	929.2	484.9	6253.3	260.3	151.8	85.1	69758.3	191.9	69950.2		
50882.9	6286.1	5054.4	2875.9	1626.2	855.7	5594.9	260.3	270.6	154.0	73860.9	342.2	74203.1		
50882.9	6286.1	4191.4	2346.1	1300.9	684.6	4936.5	260.3	224.4	125.6	71238.9	280.1	71519.0		
		35847.0	4296.1	1740.7	975.7	570.5	297.7	3839.0	159.8	93.2	47819.6	215.9	48035.5	
		35847.0	4296.1	3102.9	1765.6	998.3	525.3	3434.8	159.8	166.1	50296.0	308.2	50604.2	
		35847.0	4296.1	2573.2	1440.3	798.7	420.3	3030.6	159.8	137.8	48703.7	270.1	48973.7	
		24836.7	2905.7	1068.6	599.0	350.2	182.8	2356.8	98.1	32397.9	1614.7	34012.6		
		24836.7	2905.7	1904.9	1083.9	612.9	322.5	2108.6	98.1	33873.4	1519.0	35392.4		
		24836.7	2905.7	1579.7	884.2	490.3	258.0	1860.5	98.1	32913.2	1343.3	34256.5		

SBAPP—SUMA DE BENEFICIOS ACTUALIZADOS EN EL PERIODO DE PLANEACIÓN

BTA—BENEFICIO TERMINAL ACTUALIZADO AL FIN DEL PERIODO DE PLANEACIÓN

VNAT—VALOR NETO ACTUALIZADO TOTAL

Desarrollo de un modelo de programación lineal para el manejo de ecosistemas forestales

Cuadro 20. Valor neto presente total de los beneficios ocurridos durante y fuera del periodo de planeación en el Rodal 3.

	A										N										O										S										SBAPP	BTA	VNAT																																																																																																												
	5	15	25	35	45	55	65	75	85	95	105	5	15	25	35	45	55	65	75	85	95	105	5	15	25	35	45	55	65	75	85	95	105	5	15	25	35	45	55	65				75	85	95	105																																																																																																								
71013.9	8165.6	4618.5	2588.8	1513.6	789.9	10185.9	424.0	247.3	138.6	81.0	99767.2	160.8	99928.0	71013.9	8165.6	8233.0	4684.5	2648.9	1393.9	9113.5	424.0	440.8	250.8	141.8	106510.6	286.8	106797.5	71013.9	8165.6	6827.4	3821.6	2119.1	1115.1	8041.0	424.0	365.5	204.6	113.4	102211.2	231.9	102443.1	51802.1	5712.2	2835.4	1589.3	929.2	484.9	6253.3	260.3	151.8	85.1	70103.6	191.9	70295.5	51802.1	5712.2	5054.4	2875.9	1626.2	855.7	5594.9	260.3	270.6	154.0	74206.2	342.2	74548.4	51802.1	5712.2	4191.4	2346.1	1300.9	684.6	4936.5	260.3	224.4	125.6	71584.1	280.1	71884.2	36839.6	3936.1	1740.7	975.7	570.5	297.7	3839.0	159.8	93.2	48452.2	215.9	48868.1	36839.6	3936.1	3102.9	1765.6	998.3	525.3	3434.8	159.8	166.1	50928.5	308.2	51236.7	36839.6	3936.1	2573.2	1440.3	798.7	420.3	3030.6	159.8	137.8	49336.2	270.1	49606.3	25709.0	2679.9	1068.6	599.0	350.2	182.8	2356.8	98.1	33044.4	1607.3	34651.7	25709.0	2679.9	25709.0	2679.9	1904.9	1083.9	612.9	322.5	2108.6	98.1	34519.9	1511.6	36031.5	25709.0	2679.9	1579.7	884.2	490.3	258.0	1860.5	98.1	33559.8	1335.8	34895.6
SBAPP—SUMA DE BENEFICIOS ACTUALIZADOS EN EL PERIODO DE PLANEACIÓN																																																																																																																																																							
BTA—BENEFICIO TERMINAL ACTUALIZADO AL FIN DEL PERIODO DE PLANEACIÓN																																																																																																																																																							
VNAT—VALOR NETO ACTUALIZADO TOTAL																																																																																																																																																							

Desarrollo de un modelo de programación lineal para el manejo de ecosistemas forestales

Cuadro 21. Valor neto presente total de los beneficios ocurridos durante y fuera del periodo de planeación en el Rodal 4

	A										S			
	5	15	25	35	45	55	65	75	85	95	105	SBAPP	BTA	VNAT
			26289.6	2537.1	1740.7	975.7	570.5	297.7	3839.0	159.8	93.2	36503.2	215.9	36719.2
			26289.6	2537.1	3102.9	1765.6	998.3	525.3	3434.8	159.8	166.1	38979.6	308.2	39287.8
			26289.6	2537.1	2573.2	1440.3	798.7	420.3	3030.6	159.8	137.8	37387.3	270.1	37657.4
			19310.3	1796.4	1068.6	599.0	360.2	182.8	2356.8	98.1	25762.2	1578.2	27340.4	
			19310.3	1796.4	1904.9	1083.9	612.9	322.5	2108.6	98.1	27237.7	1482.5	28720.2	
			19310.3	1796.4	1579.7	884.2	490.3	258.0	1860.5	98.1	26277.6	1306.8	27584.4	
			13801.5	1249.4	656.0	367.7	215.0	112.2	1446.9	17848.7	1038.9	18887.6		
			13801.5	1249.4	1169.5	665.4	376.3	198.0	1294.5	18754.6	1030.0	19784.6		
			13801.5	1249.4	969.8	542.8	301.0	158.4	1142.2	18165.1	899.1	19084.2		
			9667.9	857.0	402.8	225.8	132.0	68.9	11354.4	717.5	12071.8			
			9667.9	857.0	718.0	408.5	231.0	121.5	12004.0	769.5	12773.5			
			9667.9	857.0	595.4	333.3	184.8	97.2	11735.6	662.3	12398.0			

SBAPP—SUMA DE BENEFICIOS ACTUALIZADOS EN EL PERIODO DE PLANEACIÓN

BTA—BENEFICIO TERMINAL ACTUALIZADO AL FIN DEL PERIODO DE PLANEACIÓN

VNAT—VALOR NETO ACTUALIZADO TOTAL

Desarrollo de un modelo de programación lineal para el manejo de ecosistemas forestales

Cuadro 22. Valor neto presente total de los beneficios ocurridos durante y fuera del periodo de planeación en el Rodal 5.

	A										N										O										S										SBAPP	BTA	VNAT																																																																																																																					
	5	15	25	35	45	55	65	75	85	95	105	5	15	25	35	45	55	65	75	85	95	105	5	15	25	35	45	55	65	75	85	95	105	5	15	25	35	45	55	65				75	85	95	105																																																																																																																	
43759.0	6880.4	3614.5	1972.4	1135.2	604.0	7708.4	244.8	193.5	105.6	60.8	66278.7	122.0	66400.7	43759.0	6880.4	6425.8	3821.6	1967.7	1115.1	6906.9	244.8	344.0	204.6	105.3	71775.3	226.9	72002.2	43759.0	6880.4	3212.9	2958.7	1665.0	929.2	6105.4	244.8	172.0	158.4	89.1	66174.9	182.5	66357.4	30608.1	4653.9	2219.0	1210.9	696.9	370.8	4732.3	150.3	118.8	64.8	44825.8	147.8	44973.6	30608.1	4653.9	3944.9	2346.1	1208.0	684.6	4240.2	150.3	211.2	125.6	48172.8	269.0	48441.8	30608.1	4653.9	1972.4	1816.4	1022.2	570.5	3748.2	150.3	105.6	97.2	44744.7	176.9	44921.5	21089.1	3121.0	3121.0	1362.3	743.4	427.9	227.6	2905.2	92.3	72.9	30041.6	147.4	30189.0	21089.1	3121.0	21089.1	3121.0	2421.8	1440.3	741.6	420.3	2603.1	92.3	129.7	32059.1	221.8	32280.9	21089.1	3121.0	21089.1	3121.0	1210.9	1115.1	627.5	350.2	2301.1	92.3	64.8	29972.0	165.2	30137.2	14357.9	2078.0	14357.9	2078.0	836.3	456.4	262.7	139.8	1783.6	56.6	19971.2	1219.0	21190.2	14357.9	2078.0	14357.9	2078.0	1486.8	884.2	455.3	258.0	1598.1	56.6	21175.0	1150.8	22325.7	14357.9	2078.0	14357.9	2078.0	743.4	684.6	385.2	215.0	1412.7	56.6	19933.4	1002.2	20935.6

SBAPP—SUMA DE BENEFICIOS ACTUALIZADOS EN EL PERIODO DE PLANEACIÓN

BTA—BENEFICIO TERMINAL ACTUALIZADO AL FIN DEL PERIODO DE PLANEACIÓN

VNAT—VALOR NETO ACTUALIZADO TOTAL

Desarrollo de un modelo de programación lineal para el manejo de ecosistemas forestales

Cuadro 23. Valor neto presente total de los beneficios ocurridos durante y fuera del periodo de planeación en el Rodal 6.

	A										SBAPP			BTA		VNAT	
	5	15	25	35	45	55	65	75	85	95	105						
27399.7	3030.1	1479.3	832.5	464.6	5491.9	95.6	79.2	44.6	38917.5	91.3	39008.7						
27399.7	3030.1	2588.8	1513.6	836.3	4927.2	95.6	138.6	81.0	40610.9	162.3	40773.2						
27399.7	3030.1	2095.7	1210.9	650.5	4362.4	95.6	112.2	64.8	39021.8	130.1	39151.9						
19593.8	2092.0	908.2	511.1	285.2	3371.6	58.7	48.6	26869.2	56.0	26925.2							
19593.8	2092.0	1569.3	929.2	513.4	3024.9	58.7	85.1	27896.4	99.6	27986.1							
19593.8	2092.0	1286.6	743.4	399.3	2678.1	58.7	68.9	26920.8	79.8	27000.7							
13731.1	1426.7	557.5	313.8	175.1	2089.9	36.0	18310.1	56.5	18366.6								
13731.1	1426.7	975.7	570.5	315.2	1857.0	36.0	18912.2	83.3	18995.5								
13731.1	1426.7	789.9	456.4	245.2	1644.1	36.0	18329.3	71.1	18400.5								
	9474.7	963.2	342.3	192.6	107.5	1270.7	22.1	12373.2	832.9	13206.1							
	9474.7	963.2	599.0	350.2	193.5	1140.0	22.1	12742.8	769.1	13511.9							
	9474.7	963.2	484.9	280.2	150.5	1009.4	22.1	12385.0	681.4	13066.4							

SBAPP—SUMA DE BENEFICIOS ACTUALIZADOS EN EL PERIODO DE PLANEACIÓN

BTA—BENEFICIO TERMINAL ACTUALIZADO AL FIN DEL PERIODO DE PLANEACIÓN

VNAT—VALOR NETO ACTUALIZADO TOTAL

