



COLEGIO DE POSTGRADUADOS

**INSTITUCIÓN DE ENSEÑANZA E INVESTIGACIÓN
EN CIENCIAS AGRÍCOLAS**

**CAMPUS MONTECILLO
FORESTAL**

**ESTIMACIÓN MADERABLE Y EVALUACIÓN FINANCIERA DE
PLANTACIONES FORESTALES COMERCIALES DE CEDRO Y
CAOBA EN OAXACA, MÉXICO**

ADRIÁN BRAVO MEDEL

T E S I S

**PRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL
PARA OBTENER EL GRADO DE:**

MAESTRO EN CIENCIAS

MONTECILLO, TEXCOCO, EDO. DE MÉXICO

2007

La presente tesis titulada “Estimación maderable y evaluación financiera de plantaciones forestales comerciales de cedro y caoba en Oaxaca, México” realizada por Adrián Bravo Medel, bajo la dirección del Consejo Particular indicado, ha sido aprobada por el mismo y aceptada como requisito parcial para obtener el grado de:

**MAESTRO EN CIENCIAS
FORESTAL**

CONSEJO PARTICULAR

Consejero:

Dr. Manuel de J. González Guillén

Asesor:

Dr. Héctor M. de los Santos Posadas

Asesor:

Dra. Patricia Hernández de la Rosa

Asesor:

Dr. J. René Valdez Lazalde

Asesor:

Dr. Miguel Acosta Mireles

Montecillo, Texcoco, Estado de México, Mayo de 2007.

La presente investigación fue financiada con recursos del proyecto “EVALUACIÓN FINANCIERA Y ECONÓMICA DE PLANTACIONES FORESTALES ESTABLECIDAS CON SUBSIDIO DEL PRODEPLAN EN LA REGIÓN OAXACA-GUERRERO, MEXICO” (Proyecto: **CONAFOR-2002-C01-5645**).

AGRADECIMIENTOS

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT), por el apoyo financiero para la realización de mis estudios de maestría, así como a la Comisión Nacional Forestal a través del su personal técnico presente en Tuxtepec, Oaxaca.

Al Colegio de Postgraduados, por su excelencia en educación agrícola y forestal, y por otorgar las facilidades para realizar estudios de postgrado.

Al Dr. Manuel de J. González Guillén, quien con paciencia e interés condujo y dirigió la presente investigación plasmada en este documento.

A la Dra. Patricia Hernández de la Rosa, por su valiosa dedicación para llevar acabo el presente trabajo de investigación.

Al Dr. Héctor Manuel de los Santos Posadas, por su paciencia, conocimientos y sugerencias para llevar a buen termino la presente investigación.

Al Dr. José René Valdez Lazalde, por sus valiosas aportaciones y conocimientos para el enriquecimiento de este trabajo.

Al Dr. Miguel Acosta Míreles, por sus aportaciones y atinadas sugerencias para culminar la presente investigación.

Al Dr. Arnulfo Aldrete, por sus constantes y atinadas muestras de apoyo para llevar a buen termino la investigación que culmina con este documento.

Al Consultor Forestal Ingeniero Clemente Martínez Acevedo, por su valioso e incondicional apoyo en la realización de la presente investigación.

A la Ingeniera Maria de los Ángeles Romero, por su desinteresado apoyo y facilidades para llevar a cabo el presente trabajo en el área de estudio.

Al M.C. Eugenio Telles Mejía por su gran apoyo en el logro de la presente investigación.

A todos y cada uno de los productores forestales de los diferentes municipios que participaron de una u otra forma y que hicieron posible la presente investigación.

Al Personal Académico del Colegio de Postgraduados, por sus enseñanzas y disposición en todo momento para realizar el presente estudio.

Al Personal Administrativo y de Apoyo del Postgrado Forestal, quienes con su trabajo y apoyo hicieron más placentera mi estancia en el Colegio de Postgraduados.

A mis compañeros y amigos, de los distintos Programas de Postgrado con quienes compartí y encontré el apoyo necesario en momentos difíciles e hicieron llevadera esta etapa de estudiante.

A mis compañeros y amigos de trabajo del Área de Agronomía de la Preparatoria Agrícola de la Universidad Autónoma Chapingo, por su apoyo e insistencia para realizar estudios de postgrado.

A toda aquella persona que de una u otra manera se involucró directa e indirectamente con el desarrollo de la presente investigación. Muchas gracias.

CONTENIDO

	Página
AGRADECIMIENTOS	<i>i</i>
ÍNDICE DE CUADROS	<i>vi</i>
ÍNDICE DE FIGURAS	<i>viii</i>
RESUMEN GENERAL	<i>ix</i>
GENERAL SUMMARY	X
CAPÍTULO	
I INTRODUCCIÓN: PLANTACIONES DE CAOBA (<i>Swietenia macrophylla</i> K.) Y CEDRO ROJO (<i>Cedrela odorata</i> L.)	1
1.1 Planteamiento del problema.....	1
1.2 Situación actual de la caoba y el cedro.....	3
1.2.1 Caoba.....	3
1.2.2 Cedro rojo.....	5
1.2.3 Plantaciones mixtas.....	6
1.3 Área de estudio.....	9
1.3.1 Localización.....	9
1.3.2 Clima.....	10
1.3.3 Suelos.....	10
1.3.4 Vegetación.....	10
1.3.5 Fisiografía.....	11
1.3.6 Hidrografía.....	11
1.3.7 Fauna.....	11
1.4 Propósito general del estudio y objetivos de la investigación...	13
1.5 Literatura citada.....	14
II SISTEMA DE CRECIMIENTO Y RENDIMIENTO PARA PLANTACIONES DE CAOBA Y CEDRO ROJO EN TUXTEPEC, OAXACA	16
2.1 Resumen.....	16
2.2 Summary.....	17
2.3 Introducción.....	18
2.4 Materiales y métodos.....	20
2.4.1 Área de estudio y obtención de la información.....	20
2.4.2 Modelos de volumen total y comercial por árbol.....	21
2.4.3 Modelos de crecimiento en altura dominante.....	23

2.4.4	Modelos de predicción y proyección de volumen maderable por hectárea.....	25
2.4.5	Métodos de ajuste.....	28
2.5	Resultados y discusión	29
2.5.1	Ajuste de modelos de volumen total y comercial por árbol.....	29
2.5.2	Ajuste de modelos de crecimiento en altura dominante.....	30
2.5.3	Ajuste de modelos para estimar y proyectar área basal y volumen por hectárea.....	32
2.5.4	Diámetro cuadrático y mortalidad simulada.....	33
2.5.5	Tablas de producción de densidad variable.....	36
2.6	Conclusiones.....	38
2.7	Literatura citada.....	39
2.8	Anexos.....	41
2.1	Coordenadas de las poligonales de las plantaciones y punto central de las parcelas de medición.....	41
III	EVALUACIÓN FINANCIERA DE PLANTACIONES FORESTALES EN CAOBA Y CEDRO EN LA REGIÓN DE TUXTEPEC, OAXACA..	42
3.1	Resumen.....	42
3.2	Summary.....	43
3.3	Introducción.....	44
3.4	Materiales y métodos.....	47
3.4.1	Localización del área de estudio y captura de información.....	47
3.4.2	Diseño, construcción, calibración y aplicación de encuestas.....	49
3.4.3	Cálculo de costos y beneficios.....	49
3.4.4	Determinación del periodo de rotación.....	53
3.4.5	Estimación de los indicadores de rentabilidad.....	54
3.4.6	Análisis de sensibilidad.....	55
3.5	Resultados y discusión.....	57
3.5.1	Rotación óptima financiera.....	57
3.5.2	Evaluación financiera de las plantaciones de caoba-cedro.....	61
3.5.3	Análisis de sensibilidad.....	62
3.6	Conclusiones.....	69
3.7	Literatura citada.....	70
3.8	Anexos.....	72
3.1	Formato de encuesta para obtener información sobre el proceso de producción de plantaciones de caoba y cedro..	72

3.2 Valor de la producción considerando un precio nominal de la madera de $\$2,500 \cdot \text{m}^{-3}$ a lo largo del horizonte de planeación e índice de sitio (<i>IS</i>).....	76
IV CONCLUSIONES E IMPLICACIONES.....	77
4.1 Limitaciones.....	82
4.2 Recomendaciones para futuros trabajos.....	84
4.3 Literatura citada.....	86

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro		Página
2.1	Bondad de ajuste y parámetros estimados para los modelos de volumen comercial y ahusamiento propuestos.....	29
2.2	Bondad de ajuste y parámetros estimados para el modelo diámetro-altura.....	30
2.3	Bondad de ajuste y parámetros estimados para el modelo promedio de altura dominante en función de la edad.....	31
2.4	Bondad de ajuste y parámetros estimados para estimar área basal por ha.....	33
2.5	Bondad de ajuste y parámetros estimados para estimar volumen-total y a una punta de 5 cm por ha.....	33
2.6	Coeficientes y estadísticos asociados para la ecuación del diámetro cuadrático.....	34
2.7	Edad, altura dominante, área basal, volumen e <i>ICA</i> para <i>IS</i> de 6, 8, 10 y 12 en parcelas fertilizadas de caoba y cedro en Tuxtepec, Oaxaca.....	37
2.8	Edad, altura dominante, área basal, volumen e <i>ICA</i> para <i>IS</i> de 6, 8, 10 y 12 en parcelas no fertilizadas de caoba y cedro en Tuxtepec, Oaxaca.....	37
3.1	Relación de productores, edad de las plantaciones y superficies bajo estudio en la región de Tuxtepec, Oaxaca.....	48
3.2	Resumen de los costos promedio ($\$ \cdot \text{ha}^{-1}$) incurridos en el proceso de establecimiento y manejo de plantaciones de caoba-cedro durante el horizonte de planeación (15 años) en la región de Tuxtepec, Oaxaca.....	50
3.3	Volumen comercial ($\text{m}^3 \cdot \text{ha}^{-1}$) estimado con la ecuación $V = 0.88359 AB^{1.06914} H^{0.88325}$ a una densidad de 1,100 árboles $\cdot \text{ha}^{-1}$ en diferentes índices de sitio (<i>IS</i>).....	52
3.4	Valores obtenidos del <i>VES</i> sin subsidio del PRODEPLAN con diferentes combinaciones entre la tasa real de descuento (<i>r</i>), precios de la madera (<i>p</i>) y los costos de establecimiento (<i>Co</i>), en rodales de 4 años de edad e <i>IS</i> 10.....	56
3.5	<i>VES</i> estimado ($\$ \cdot \text{ha}^{-1}$) para el escenario base y diferentes índices de sitio en rodales de caoba y cedro en la región de Tuxtepec, Oaxaca.....	58

3.6	Cálculo del Valor Neto Presente (VNP), Relación Beneficio-Costo (R^B/c) y Tasa Interna de Retorno (TIR) en plantaciones forestales comerciales de caoba y cedro bajo el esquema con subsidio.....	61
-----	---	----

|

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura		Página
1.1	Localización del área de estudio.....	9
2.1	Familias de <i>IS</i> de 6, 8, 10 y 12 m para sitios fertilizados y sin fertilizar a edad base de 80 meses.....	32
2.2	Mortalidad simulada para densidad inicial de 1,200 árboles ha^{-1} en cuatro <i>IS</i> (a-1 y a-2) y cuatro densidades un <i>IS</i> de 10 (b-1 y b-2).....	35
3.1	Ubicación de las comunidades con plantaciones de caoba y cedro por municipio en la región Papaloapan, Oaxaca.....	47
3.2	Diseño de la forma y distribución de las parcelas en las plantaciones seleccionadas.....	49
3.3	Edades de rotación óptima en rodales de caoba y cedro con <i>IS</i> de 8, 10 y 12 m, bajo el escenario base y un esquema sin subsidio.....	59
3.4	Efecto del incremento de la tasa de descuento (r) y la edad sobre el valor esperado del suelo (<i>VES</i>) en especies de caoba y cedro en la región bajo estudio.....	63
3.5	Efecto del incremento del precio de la madera (p) a través del periodo estudiado sobre el valor esperado del suelo (<i>VES</i>) en especies de caoba y cedro en Tuxtepec, Oaxaca.....	65
3.6	Efecto del incremento en el costo de establecimiento (Co) y de la edad sobre el valor esperado del suelo (<i>VES</i>) en especies de caoba y cedro en el área de estudio.....	66
3.7	Efecto de cambios en la tasa de descuento (r) y el precio de la madera (p) en el <i>VES</i> . Se consideró un <i>IS</i> de 10 en especies de caoba y cedro bajo el esquema sin subsidio en Tuxtepec, Oaxaca	67
3.8	Efecto del incremento de la tasa de descuento (r) y del costo de establecimiento (Co) sobre el <i>VES</i> en rodales de <i>IS</i> 10 m en especies de caoba-cedro bajo el esquema sin subsidio.....	68
3.9	Efecto del incremento en el precio de la madera (p) y del costo de establecimiento (Co) sobre el <i>VES</i> en especies de caoba	68

RESUMEN GENERAL

Este estudio generó conocimiento técnico y económico en plantaciones de caoba (*Swietenia macrophylla* King) y cedro rojo (*Cedrela odorata* L.) en la región de Tuxtepec, Oaxaca. Los datos de crecimiento provinieron de 58 parcelas permanentes establecidas en 19 plantaciones de caoba-cedro. Los modelos que estiman el volumen total y comercial fueron ajustados con datos provenientes de una muestra no destructiva de árboles. Se construyó un sistema de crecimiento y rendimiento (SCR) que incluye ecuaciones para altura dominante, área basal, diámetro cuadrático, volumen total y volumen comercial a un diámetro mínimo de 5 cm en la punta del fuste. La mayoría de los modelos proporcionaron buenos ajustes y su construcción se basó en la estructura de Schumacher. La mortalidad se puede simular en un diagrama de autoaclareo de Reineke en parcelas con arbolado mayor de 15 años.

Con el SCR se determinó la edad de rotación óptima. Para el índice de sitio (*IS*) más pobre (*IS*=6), el valor neto presente proyectado (*VNP*) fue negativo en los 15 años de edad. Sin embargo, éste es redituable en *IS* de 8, 10 y 12 m después de 5, 4 y 2 años de edad, alcanzando su máximo en 9, 7 y 5 años, respectivamente. El análisis financiero para plantaciones con subsidio reportó una relación beneficio-coste (R^B/C) de 2.24 y una tasa interna de retorno (*TIR*) de 10.51% por ha. En plantaciones sin subsidio la R^B/C es 2.13 con una *TIR* de 9.34%. El subsidio del PRODEPLAN no afectó significativamente la longitud de la edad de rotación, tampoco los indicadores de rentabilidad financiera (R^B/C , *TIR* y *VNP*) en las plantaciones estudiadas.

Palabras clave: Análisis de sensibilidad, PRODEPLAN, evaluación financiera, modelos de crecimiento y rendimiento, parcelas permanentes, edad de rotación.

GENERAL SUMMARY

In this study technical and financial information for plantations of American mahogany (*Swietenia macrophylla* King) and Spanish cedar (*Cedrela odorata* L.) was produced for the region of Tuxtepec, Oaxaca. The growth data were taken from 58 measurement plots on 19 mahogany-cedar planted stands. Total and commercial tree volume models were fitted with data from non destructive tree sampling. A growth and yield system (GYS) that includes equations for dominant height, basal area, mean square diameter, total volume and merchantable volume up to a 5 cm top diameter was built. Most models were based on the Schumacher structure providing good fit conditions. Mortality can be simulated with the self-thinning Reineke plot on ages older than 15 years.

Based on the GYS it was possible to evaluate optimal rotation age. For the poorest site index ($SI=6$) the Net Present Value (NPV) is always negative (on 15 years old projections) but remains profitable for SI of 8, 10 and 12 m after 5, 4 and 2 years of age, peaking at 9, 7 and 5 years. The financial analysis for the subsidized plantations suggests a cost-benefit ratio (CBR) of 2.24 and an Internal Rate of Return (IRR) of 10.51% per hectare. For the non- subsidized stands the CBR is 2.13 with an IRR of 9.34%. The PRODEPLAN subsidy does not impact the rotation age, neither the economic indicator values in the studied plantations.

Key words: Sensitivity analysis, PRODEPLAN, financial evaluation, growth and yield models, permanent sites, rotation age.

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN: PLANTACIONES DE CAOBA (*Swietenia macrophylla* K.) Y CEDRO ROJO (*Cedrela odorata* L.)

1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Las áreas tropicales de México se caracterizan por presentar una gran diversidad de especies arbóreas; sin embargo, los aprovechamientos maderables tradicionalmente se han enfocado en torno a la caoba (*Swietenia macrophylla* K.) y el cedro (*Cedrela odorata* L.), lo que ha ocasionado un fuerte desabasto en estas especies para la industria establecida (Ramírez y Zepeda, 1994).

Con el fin de solucionar la deficiencia de materia prima en la industria y hacer más eficiente el mercado de exportación en el sureste de México, se están implementando programas de reforestación o plantaciones por parte del gobierno federal y particulares. A partir de 1997 las plantaciones comerciales se han incrementado de manera importante en diversos estados del país, debido principalmente a la creación y apoyos otorgados por el Programa de Desarrollo de Plantaciones Comerciales (PRODEPLAN) dependiente de la Comisión Nacional Forestal (CONAFOR).

Entre 1997 y 2004, el PRODEPLAN apoyó 1,572 proyectos de plantaciones forestales comerciales en un total de 303,036.64 ha, de las cuales aproximadamente 130,863 ha fueron de caoba y cedro asociadas con otras especies de maderas preciosas. La inversión aportada por CONAFOR para este rubro fue de aproximadamente \$845 millones; a la fecha tal cantidad continua incrementándose (FMIAFAC, 2005). De acuerdo al PRODEPLAN, Oaxaca es uno de los Estados

donde más plantaciones se han establecido durante la última década coincidiendo con la puesta en marcha de este Programa, de tal manera que se reportan 15,150 ha plantadas y de éstas, 12,000 ha son con especies de hojosas (CONAFOR, 2005).

Debido a que las poblaciones naturales tanto de caoba como de cedro son muy reducidas, queda clara la importancia que representan éstas en el trópico mexicano ya que a través de ellas se puede contribuir localmente al desarrollo económico y social. Además, en el mediano plazo, podrían contribuir a disminuir la balanza comercial negativa que se tiene de productos derivados de estas especies. Por lo tanto, es de suma importancia generar conocimiento acerca de su manejo, modelos de crecimiento y rendimiento, evaluación económico-financiera, entre otros. La presente investigación pretende generar información sobre estos aspectos en plantaciones de caoba y cedro en la región de Tuxtepec, Oaxaca, México.

1.2. SITUACIÓN ACTUAL DE LA CAOBA Y EL CEDRO

1.2.1. Caoba

El área de distribución natural de la caoba en México abarca los estados de Campeche, Chiapas, Oaxaca, Puebla, Tabasco, Quintana Roo, Veracruz y Yucatán. Forma parte de selvas altas y medianas perennifolias y subperennifolias. Esta especie no tolera heladas, sequías prolongadas y es muy susceptible a las quemadas (Gordillo, 2000).

El cambio de uso de suelo, la extracción clandestina y las plagas son las principales amenazas de la especie. Dentro de las plagas que enfrenta la caoba se encuentra el barrenador de brotes (*Hypsiphylia grandella* Z.) que daña la forma del fuste y afecta el crecimiento de los árboles, aunque existen otras de menor importancia como *Platypus* spp, *Zeuzara coffeae* y *Atta* spp.

El control químico de *Hypsiphylia grandella* en plantaciones de caoba y cedro se realiza mediante la aplicación de piretroides en una dosis de 20 a 25 ml por 20 litros de agua en periodos de 15 o 20 días. En forma natural, este barrenador de yemas y otras plagas se pueden controlar mediante la asociación de la caoba con otras especies maderables como el tzalam (*Lysiloma bahamensis* Benth.), machiche (*Lonchocarpus castilloi* Standley), chacá (*Bursera simaruba* L.), siricote (*Cordia dodecandra* DC), granadillo (*Platymicium yucatanum* Standl.), entre otras (Moreno, 2003). En caso de presentarse la gallina ciega, ésta se controla con Carbofuran granulado al 5% en una dosis de 19 a 15 g alrededor de la planta y a una distancia del fuste de 5 a 10 cm (Rojas, 1995).

En relación a la densidad natural, Pennington y Sarukhán (1998) reportan de 0.22 a 45.8 árboles·ha⁻¹ en Quintana Roo. Sin embargo, ellos estimaron que las poblaciones naturales de caoba en el trópico mexicano habían disminuido hasta un 80%. Por ejemplo, los estados de Campeche y Quintana Roo tenían en promedio entre 0.01 y 7.95 m³·ha⁻¹ en 1998. Los mismos autores señalan que aunque el inventario actual es estable, existe la tendencia a aumentar la superficie de caoba debido al establecimiento de plantaciones forestales comerciales promovidas por distintas instancias tanto gubernamentales como particulares.

Una evaluación dasométrica realizada por Rodríguez (1996) en plantaciones de caoba de 23 años de edad en el estado de Quintana Roo estimó alturas totales promedio de 18.8 m y 31.1 cm de diámetro normal. En las Filipinas la especie llega a alcanzar 1.8 m de altura en el primer año y de 15 a 20 cm de diámetro en 14 años. En Iquitos, Perú alcanza los 27 cm de diámetro y de 20 a 25 m de altura en 12 años (CONABIO, 2001). En Las Antillas se han obtenido incrementos promedio de 15 a 20 m³·ha⁻¹·año⁻¹ con turnos de 40 a 50 años.

A raíz de la necesidad de manejar y fomentar la caoba, el Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP) ha generado información durante los últimos 40 años en los campos experimentales de “San Felipe Bacalar”, en Quintana Roo y “Eduardo Sangri Serrano” en Campeche. La información generada incluye aspectos sobre fenología reproductiva, regeneración natural, producción de planta en vivero y establecimiento de plantaciones y muy poca información cuantitativa del crecimiento y desarrollo de esta especie (Rodríguez, 1996). Por lo anterior, es necesario redoblar esfuerzos para generar información sobre crecimiento y rendimiento de dicha especie.

1.2.2. Cedro rojo

El cedro rojo es una especie que crece en selvas altas y medianas perennifolias que se distribuyen en la vertiente del Golfo de México, desde el sur de Tamaulipas y sureste de San Luís Potosí hasta la península de Yucatán. En la vertiente del Pacífico, éste crece desde Sinaloa hasta Guerrero, y desde la Depresión Central hasta la Costa de Chiapas. La especie alcanza su máximo tamaño e incrementos en áreas con precipitaciones que van de los 2,500 a 4,000 mm anuales (Pennington y Sarukhán, 1998).

El cedro rojo encuentra condiciones óptimas de crecimiento en bosques húmedos deciduos donde la precipitación va de 1,200 a 1,800 mm, de 4 a 5 meses secos y en altitudes de 0 a 1,200 m; es una especie que exige suelos profundos con buen drenaje y aereación (Gordillo, 2000). Dada su condición de especie pionera y longeva, se regenera naturalmente en los claros del bosque, en áreas previamente cultivadas y bajo un dosel ralo con condiciones ambientales favorables.

En condiciones naturales, actualmente el cedro rojo se ha visto reducido a tal grado que algunos autores señalan existencias de un árbol por cada dos ha, esto como consecuencia de la extracción selectiva, escasa o nula regeneración natural y cambios de uso del suelo principalmente (Melchor y Barrosa, 1992). La baja densidad y la alta demanda que la especie presenta la hacen atractiva para el establecimiento de plantaciones.

En condiciones de vivero las plántulas de cedro, obtenidas y germinadas en una mezcla de sustrato de suelo de rendzina y bagazo a razón de 3:1, responden satisfactoriamente en altura con aplicaciones bajas de N (300 mg y 500 mg) y concentraciones altas de P (900 mg y 1500 mg) (Pastor, 1992).

Las plantaciones de cedro establecidas a un distanciamiento de 6×3 m (550 plantas·ha⁻¹) permiten a los productores establecer y cosechar otros cultivos agrícolas durante los primeros 4 o 5 años, antes de que las plantas del cedro alcancen alturas mayores.

Algunas experiencias han demostrado que plantar en cepas grandes con fertilización en el fondo promueve un mejor desarrollo al inicio y disminuye el estrés en época de sequía. Las plantaciones a raíz desnuda establecidas a inicios de la temporada de lluvias con plantas vigorosas logran crecimientos extraordinarios y supervivencia de hasta 95% cuando se deshierba manualmente y se aplica fertilizante foliar cada 15 ó 20 días al inicio y final de lluvias (Rojas, 1995).

El desarrollo del cedro en altura y en diámetro depende del manejo de factores como la sombra, topografía, exposición, viento y las plagas al momento de establecer la plantación y posterior a ésta. Cuando se consideran y manejan de manera adecuada los factores señalados, se puede alcanzar supervivencias de hasta un 97%, pero cuando no se les reconsidera en su totalidad se obtiene un 84%; sin embargo, cuando no se toman las medidas adecuadas en el manejo de dichos factores la supervivencia puede reducirse hasta un 78% o menos (Martínez, 1999).

1.2.3. Plantaciones mixtas

Para que la repoblación artificial de caoba y cedro sea técnica y económicamente satisfactoria se deben considerar los siguientes aspectos: Precipitación pluvial no menor de 1,500 mm, suelos profundos o medianamente profundos y regular drenaje. Los bajos porcentajes de supervivencia se presentan en el primer año debido a la sequía, competencia, suelo, plagas y manejo; en el

segundo año debido a la competencia, sequía y plagas; y en el tercer año, por competencia, plagas y sequía. Estos factores causantes de mortalidad se manifiestan indistintamente en plantaciones establecidas de manera directa o trasplante en el terreno (Gutiérrez, 1952).

En plantaciones mixtas establecidas en suelos de 50 cm de profundidad y con edades entre los 5 y 20 años se han presentado diámetros de 12.55 cm, alturas de 9.03 m y áreas basales de $2.19 \text{ m}^2 \cdot \text{ha}^{-1}$ para caoba y de 10.45 cm, 7.06 m y $9.12 \text{ m}^2 \cdot \text{ha}^{-1}$ para las mismas variables en cedro (Gordillo, 2000).

En plantaciones mezcladas de caoba y cedro evaluadas después de 5 o 6 años de establecidas en suelos del tipo ya' ax-hom (vertisol pelico) y con buen manejo, los árboles presentaron en promedio 5 m de altura y 6.9 cm de diámetro. Sin embargo, el cedro en una condición pura y establecido sobre suelos del tipo pus-lum (rendzinas líticas) y un manejo medio se obtuvieron valores de 5.4 m de altura y 7.07 cm de diámetro normal (Sosa, 1997).

En un estudio comparativo realizado en Teapa, Tabasco sobre la productividad de algunos sistemas agroforestales: (a) combinación de cedro con dos variedades de plátano (enano gigante y dátil) y (b) cedro únicamente. Se obtuvo que el sistema cedro presentó el mayor volumen con $397.7 \text{ m}^3 \cdot \text{ha}^{-1}$ y un IMA de $79.5 \text{ m}^3 \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{año}^{-1}$ a la edad de 9 años y una densidad de $825 \text{ árboles} \cdot \text{ha}^{-1}$. Le siguieron el sistema cedro-plátano variedad gigante con $189.3 \text{ m}^3 \cdot \text{ha}^{-1}$ y un IMA de $37.8 \text{ m}^3 \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{año}^{-1}$ y por último el sistema de cedro-plátano variedad "dátil" con $98.1 \text{ m}^3 \cdot \text{ha}^{-1}$ y un IMA de $19.2 \text{ m}^3 \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{año}^{-1}$. Al comparar entre sí a los dos sistemas de cedro-plátano, el que presentó mayor productividad fue el de cedro-plátano variedad enano gigante

dando una productividad total de $372.6 \text{ m}^3 \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{año}^{-1}$ ($105.24 \text{ T} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{año}^{-1}$ de biomasa de plátano más $183.3 \text{ m}^3 \cdot \text{ha}^{-1}$ de cedro) (Maldonado, 2003).

En la región de Tuxtepec, Oaxaca aún cuando se encuentran plantaciones mezcladas con caoba y cedro no se tiene información cuantitativa de variables dasométricas como altura y diámetro que permitan concluir sobre la conveniencia de establecer de manera pura o mezclada dichas especies. En condiciones similares, y dado que ambas especies son de la familia de las meliáceas, se esperaría que crecieran de manera muy similar.

1.3. ÁREA DE ESTUDIO

1.3.1. Localización

Este estudio se desarrolló en plantaciones forestales de caoba y cedro localizadas en la región forestal 5 (Papaloapan), que comprende el Distrito de Tuxtepec y Choapan, y localizada dentro de la región del Golfo, al noreste de la Sierra de Oaxaca. Se considera la región más rica y productiva del estado de Oaxaca en cuanto a la fertilidad de la tierra; su clima es cálido húmedo. Estas características hacen de esta región y la costa, localizada en la vertiente de Océano Pacífico, las más importantes para el establecimiento de plantaciones (Milera, 2001).

Geográficamente el área de estudio se localiza entre las coordenadas $17^{\circ} 35'$ a $18^{\circ} 15'$ de latitud norte y $95^{\circ} 53'$ a $96^{\circ} 24'$ de longitud oeste y a altitudes que oscilan entre los 20 y 150 m (Figura 1.1).

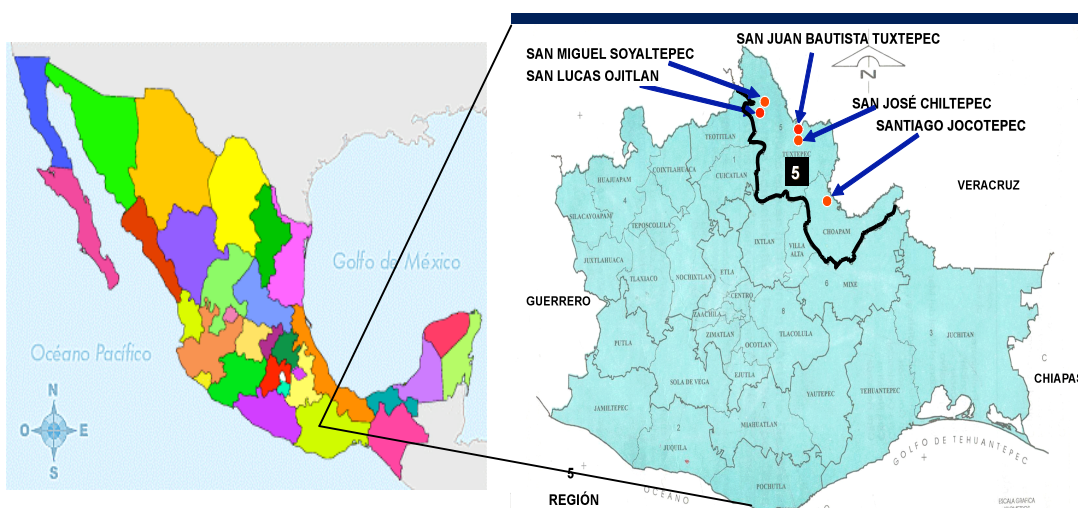


Figura 1.1. Localización del área de estudio.

1.3.2. Clima

El clima predominante en la región es el Am(i) que corresponde a un cálido húmedo con lluvias abundantes en verano; precipitación invernal de 7.2% del total anual que se presenta entre los meses de enero a marzo debido a la fuerte influencia de los nortes que se presentan. La temperatura media anual es de 25° C con máximas de 42° C en el mes de mayo. La precipitación media anual oscila entre los 2,473 y 2,680 mm. El mes más seco es febrero con una precipitación de 29.8 mm y el mes más húmedo es julio con 588 mm (Enciclopedia de los Municipios de México, 2001).

1.3.3. Suelos

Los suelos que predominan en los municipios donde se localizan las plantaciones de interés son del tipo luvisol órtico de color rojizo en Santiago Jocotepec y San José Chiltepec, luvisol vértico en San Lucas Ojitlán, fluvisol éutrico en Tuxtepec y suelos arcillosos de color rojo o café en San Miguel Soyaltepec (Enciclopedia de los Municipios de México, 2001).

1.3.4. Vegetación

La vegetación presente en la región corresponde a un tipo de selva mediana, aunque existen algunos relictos de selva alta perennifolia, donde predominan especies como *Terminalia amazonica*, *Cordia alliodora*, *Swietenia macrophylla*, *Spondias bombin*, *Ficus cotinifolis* y *Didymopanax morototoni*, entre otras. También es común ver áreas con cierto grado de disturbio donde se presentan especies como *Enterolobium cyclocarpum*, *Cedrela odorata*, *Bursera simaruba*, *Ceiba pentandra*,

Sweetia panamensis, *Brosimum alicastrum*, entre otras (Enciclopedia de los Municipios de México, 2001).

En el estrato inferior abundan las plantas umbrófilas y palmas espinosas, también se encuentran comunmente bejucos, plantas trepadoras, epífitas y estranguladoras de los géneros *Clusia* y *Ficus* (Fierros, 1982).

1.3.5. Fisiografía

Las plantaciones bajo estudio se encuentran establecidas en terrenos ondulados y planos, dentro de la región fisiográfica “Sierra Madre Oriental” y la provincia XIII de la Llanura Costera del Golfo Sur (Enciclopedia de los Municipios de México, 2001).

1.3.6. Hidrografía

Las plantaciones se encuentran dentro de la región hidrológica del Papaloapan. Las corrientes de agua que confluyen y enriquecen dicha región son los ríos Arroyo de en Medio, Chichicazapa, Amapa, y Tonto en San Miguel Soyaltepec; los arroyos Choapan, Cerro de Flores, Guadalupe y Cerro Viejo en San José Chiltepec; El río Monte Negro en Santiago Jocotepec. En la región existen las presas Presidente Alemán en San Miguel Soyaltepec y Cerro de Oro en San Lucas Ojitlán (Enciclopedia de los Municipios de México, 2001).

1.3.7. Fauna

La fauna silvestre predominante en la región incluye: Jabalí (*Pecari tajacu*), conejo (*Sylvilagus floridanus*), venado (*Odocoileus* spp.), tlacuache (*Didelphys*

marsupiales), armadillo (*Dasypus novemcinctus*), tepezcuintle (*Agouti paca*), mapache (*Porción Iotor*), tejón (*Nasua nasua*), puma (*Felis concolor*), jaguar (*Felis onca*), puerco espín (*Coendón mexicanus*), zorro (*Urocyon cinereoargenteus*), oso hormiguero (*Tamandua mexicana*), entre otros.

Dentro de las aves se pueden mencionar la chachalaca (*Ortalis vetula*), el loro (*Amazona* spp.), el pájaro carpintero (*Centurus aurifrons*), la codorniz (*Dactylortis* spp.), el gavilán (*Buteo magnirostri*), entre otros. Algunos reptiles como la víboras (*Crotalus* spp.), la nauyaca (*Bothrops* spp.), la víbora sorda (*Bothrops atrox*), la iguana (*Ctenosaura similis*) y algunas especies de tortuga (Sánchez, 2005; Enciclopedia de los Municipios de México, 2001).

1.4. PROPÓSITO GENERAL DEL ESTUDIO Y OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN

La presente investigación tiene como propósito generar herramientas que permitan estimar las existencias volumétricas actuales y futuras de plantaciones forestales de caoba-cedro, y aportar elementos para decidir cuándo y cuánto aprovechar de las mismas, sugiriendo se haga cuando se obtenga la máxima ganancia económica. Lo anterior se logrará a través de los siguientes objetivos generales:

- a) Construir un sistema de cubicación de árboles en pie a partir de algunas variables dasométricas para la creación de modelos de crecimiento y rendimiento maderable de plantaciones de caoba y cedro en el área de estudio;
- b) Generar información cuantitativa y establecer una estructura de costos y beneficios actuales y prospectivos a lo largo del horizonte de planeación de plantaciones forestales comerciales de caoba y cedro en la región de Tuxtepec, Oaxaca; y
- c) Determinar la edad de rotación y evaluar financieramente plantaciones de caoba y cedro, asumiendo diferentes escenarios de producción (v.g. cambios en los precios de la madera, costos de establecimiento, y cambios en la tasa de interés).

1.5. LITERATURA CITADA

- Comisión Nacional de la Biodiversidad (CONABIO). 2001. Árboles y arbustos nativos potencialmente valiosos para la restauración ecológica y la reforestación. Instituto de Ecología. Universidad nacional Autónoma de México. México D. F. 236 p.
- Comisión Nacional Forestal (CONAFOR). 2005. Proyectos de plantaciones forestales comerciales apoyados de 1997-2004. México.
www.conafor.gob.mx/portal/docts/subsecciones/portal_trans/programas/prodeplan/resultados.
- Enciclopedia de los Municipios de México. 2001. Estado de Oaxaca- Santiago Jocotepec, San José Chiltepec, San Juan Bautista Tuxtepec, San Lucas Ojitlán, y San Miguel Soyaltepec. Centro Nacional de Estudios Municipales.
[http://www.e_local.gob.mx/wb2/ELOCAL/EMM_Enciclopedia Oaxaca](http://www.e_local.gob.mx/wb2/ELOCAL/EMM_Enciclopedia_Oaxaca).
- FMIAFAC (Fundación Mexicana para la Investigación Agropecuaria y Forestal A. C.) 2005. Plan de negocios para el cultivo de las especies forestales comerciales de caoba (*Swietenia macrophylla* K.) y cedro (*Cedrela odorata* L.). Noviembre del 2005.
www.aneuaaan.org.mx/planesdenegocios/reporte_cultivos.pdf.
- Fierros G., A. M. 1982. El bosque tropical húmedo. Boletín Técnico No. 1. Departamento de Bosques. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, Méx. 44 p.
- Gordillo L., E. 2000. Evaluación de la regeneración natural de cedro rojo (*Cedrela odorata* L.) y caoba (*Swietenia macrophylla* K) en la zona Maya de Quintana Roo. Tesis de Licenciatura. División de Ciencias Forestales. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, México. 97 p.
- Gutiérrez J., T. 1952. La repoblación artificial de bosques del estado de Campeche con especies preciosas de caoba y cedro. Tesis de Licenciatura. Escuela Nacional de Agricultura. Chapingo, México. 111 p.
- Maldonado M., F. 2003. Análisis comparativo de la productividad de sistemas agroforestales de Cedro-Plátano en Tabasco. Tesis de Maestría en Ciencias. Colegio de Postgraduados. Montecillo, México. 108 p.
- Martínez D., P. M. 1999. Caracterización técnica del componente arbóreo del sistema agroforestal Café-Cedro rojo en Los Tuxtlas, Veracruz. Tesis de Maestría en Agroforestería para el Desarrollo Sostenible. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, México. 151 p.

- Melchor M., J. I. y Barrosa C., J. T. 1992. Producción de planta y establecimiento de plantaciones de cedro rojo (*Cedrela odorata* L) en el estado de Veracruz. Secretaria de Recursos Hidráulicos. Folleto Técnico No. 12. México, D. F. 28 p.
- Milera M., M. E. 2001. Tesoros de México. Siglo XXI. Tomo 3. Ediciones Euroméxico. pp. 609-640.
- Moreno R., D. 2003. Evaluación de la reforestación en bacadillas con caoba (*Swietenia macrophylla* K.) y cedro rojo (*Cedrela odorata* L.) para el ejido Noh Bec, Quintana Roo. Tesis de Licenciatura. División de Ciencias Forestales. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, México. 72 p.
- Pastor C., A. del R. 1992. Ensayo de fertilización en cedro (*Cedrela odorata* L.), caoba (*Swietenia macrophylla* K.) y ramón (*Brosimum alicastrum*) bajo condiciones de vivero. Tesis de licenciatura. Dpto. de Fitotecnia. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, México. 70 p.
- Pennington T, D. y J. Sarukhán. 1998. Árboles tropicales de México. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, México, D. F. 238 p.
- Ramírez M. H y M. Zepeda B. 1994. Rendimientos maderables de especies forestales; actualidades en México. En: IV Reunión Nacional de Plantaciones Forestales. SF y de FS/INIFAP. México, D. F. 169-179
- Rodríguez B., S. 1996. Estimación del crecimiento y relaciones dasométricas de caoba (*Swietenia macrophylla* K.) en plantaciones forestales. Tesis de Maestría en Ciencias. Colegio de Postgraduados. Montecillo, México. 104 p.
- Rojas M., G. 1995. Experiencias de plantaciones comerciales de *Cedrela odorata* L. en sistemas agroforestales en la región de los Tuxtlas, Veracruz. Tesis de Licenciatura. División de Ciencias Forestales. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, México. 114 p.
- Sánchez M., E. A. 2005. Plantaciones forestales comerciales: Base de datos y análisis financiero. Tesis de Maestría en Ciencias. Colegio de Postgraduados. Montecillo, México. 141 p.
- Sosa J., L. 1997. Evaluación de plantaciones de cedro rojo (*Cedrela odorata* L.) y caoba (*Swietenia macrophylla* K.) en sistemas agroforestales en el Área de Bosque Modelo, Calakmul, Campeche. Tesis de Licenciatura. División de Ciencias Forestales. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, México. 106 p.

CAPÍTULO II

SISTEMA DE CRECIMIENTO Y RENDIMIENTO PARA PLANTACIONES DE CAOBA Y CEDRO ROJO EN TUXTEPEC, OAXACA¹

2.1. RESUMEN

Utilizando datos de una cronosecuencia se construyó un sistema de crecimiento y rendimiento maderable (SCRM) para plantaciones de caoba (*Swietenia macrophylla* King) y cedro rojo (*Cedrela odorata* L.) localizadas en la región de Tuxtepec, Oaxaca, México. El SCRM incluye modelos de cubicación a nivel árbol para el volumen total y comercial con corteza y un sistema explícito de predicción y proyección de volumen maderable por hectárea. La estructura matemática de Schumacher fue la que mejor se ajustó a la base de datos tanto para altura dominante, área basal, volumen y diámetro cuadrático. La mortalidad por autoaclareo se simuló en base al diagrama de Reineke. El SCRM es válido para plantaciones menores de 10 años. Al momento de la evaluación no se encontraron diferencias estadísticas para el crecimiento entre especies.

Palabras clave: Estimación de volumen, sitios experimentales, modelos, patrones de crecimiento.

¹ Manuscrito sometido a arbitraje a la Revista Fitotecnia Mexicana.

2.2. SUMMARY

A growth and yield prediction system (GYPS) based on a chrono-sequence was fitted to plantations of American mahogany (*Swietenia macrophylla* King) and Spanish cedar (*Cedrela odorata* L.) located at Tuxtepec, Oaxaca in Mexico. The GYPS includes total and merchantable volume tree equations and per hectare volume models. The Schumacher structure was used to model dominant height, basal area, volume and mean square diameter. Mortality was simulated based on a self-thinning Reineke's plot. The GYPS produced valid projections at stands less than 10 years old. No statistically significant differences were found between the two species considered.

Key words: Volume estimation, experimental plots, models, growth patterns.

2.3. INTRODUCCIÓN

Dos de las especies de mayor valor comercial en las áreas tropicales de México son la caoba (*Swietenia macrophylla* King) y el cedro rojo (*Cedrela odorata* L.) cuyas existencias en bosques naturales se han visto mermadas dada la selectividad de los aprovechamientos maderables en el trópico húmedo y seco, y a su baja capacidad de propagación natural. Por el contrario, la demanda de estas especies no ha decaído y el balance comercial negativo favorece las importaciones legales e ilegales de Centroamérica y Asia, así como el clandestinaje (Blundell y Rodan, 2003).

En bosques naturales, la silvicultura tiende a recuperar el valor de las selvas húmedas favoreciendo la regeneración de estas especies en mayores densidades, sobre todo ante el fracaso de las plantaciones a gran escala de meliáceas en América dada la alta incidencia de plagas (Newton *et al.*, 1993). A pesar de ello, las experiencias bajo manejo intensivo en áreas pequeñas recuperadas al uso agrícola o ganadero sugieren que es posible establecer cedro rojo y caoba en altas densidades. En la región de Tuxtepec, Oaxaca, con apoyo del Programa de Desarrollo de Plantaciones Comerciales (PRODEPLAN) se han logrado establecer en pequeñas superficies plantaciones de caoba y cedro rojo durante los últimos siete años con un éxito inusitado en supervivencia y crecimiento. Sin embargo, actualmente no se cuenta con datos duros que permitan evaluar el rendimiento maderable y potencialidad de las mismas como alternativa comercial.

Con estos antecedentes, la presente investigación busca construir un sistema de crecimiento y rendimiento maderable (SCRM) para las plantaciones de caoba y

cedro rojo de la región a partir de datos en una cronosecuencia de diversas edades y condiciones iniciales de densidad. Este método aunque menos preciso que los sitios con remediciones permite construir un SCRM, el cual es sin duda una de las técnicas matemático-estadísticas más importantes para optimizar y manejar eficientemente los recursos forestales (Aguilar, 1983; Torres y Magaña, 2001). Para garantizar su utilidad práctica el SCRM propuesto integra la información obtenida durante el inventario forestal y permite simular la dinámica del crecimiento en volumen así como la mortalidad por auto-aclareo.

2.4. MATERIALES Y MÉTODOS

2.4.1. Área de estudio y obtención de la información

El estudio se realizó en plantaciones de caoba y cedro rojo localizadas en los municipios de San Juan Bautista Tuxtepec, San José Chiltepec, Santiago Jocotepec, San Miguel Soyaltepec y San Lucas Ojitlán de la región del Papaloapan en el estado de Oaxaca, entre las coordenadas 17° 35' y 18° 15' de latitud norte y 95° 53' y 96° 24' de longitud oeste.

Se identificaron 18 plantaciones (Anexo 2.1) distribuidas entre 14 productores. En términos generales, las plantaciones bajo estudio presentan edades de 18 a 84 meses, con superficies que van de 0.75 a 3.3 ha, todas ellas de propiedad particular y en un intervalo altitudinal de 20 a 150 m. En cada plantación se establecieron de una a cuatro parcelas de 50 × 20 m y al centro de éstas se delimitaron parcelas de medición de 500 m² (16.66 × 30 m) cada una. En cada parcela se dejó un área de amortiguamiento de 500 m² que puede ser usada para mediciones y análisis de tipo destructivo. Las parcelas de medición se establecieron entre junio y julio del 2005.

En cada parcela se midió el diámetro normal de todos los árboles, también se midió la altura total y de fuste limpio a seis árboles: Tres dominantes y tres no dominantes en plantaciones totalmente monoespecíficas (sólo cedro o caoba). En las plantaciones mezcladas (cedro y caoba), la altura dominante se midió en 12 árboles, seis de cada especie. Ante la ausencia de modelos de volumen de fuste para la zona, se realizaron mediciones de arbolado en pie con la ayuda de una escalera, cinta métrica y cinta diamétrica. Los intervalos de medición del diámetro fueron de la base del árbol a cada metro hasta donde la copa se bifurca y el resto se consideró

como punta. Se buscó que estos árboles abarcaran todas las categorías diamétricas posibles. Para ello se midieron 77 árboles de los cuales 33 fueron de caoba y 44 de cedro, registrándose un total de 441 datos entre diámetros y alturas a diferentes niveles del fuste.

2.4.2. Modelos de volumen total y comercial por árbol

La construcción del SCRM se inició a partir de los modelos de cubicación a nivel árbol para el volumen total y comercial con corteza. A través de la cubicación de trozas traslapadas, como sugiere Bailey (1995), se obtuvo el volumen total comercial acumulado. Los modelos de volumen total y comercial por árbol a diferentes alturas y diámetros comerciales se ajustaron a los modelos de Clutter (1980) (1) y Pienaar y Rheney (1988) (2) de la forma:

$$V_c = \alpha_0 D^{\alpha_1} H^{\alpha_2} \times \left(1 - \beta_0 \frac{d^{\beta_1}}{D^{\beta_2}} \right) \quad (1)$$

$$V_c = \alpha_0 D^{\alpha_1} H^{\alpha_2} - \beta_0 \frac{d^{\beta_1}}{D^{\beta_1-2}} (H - 1.3) \quad (2)$$

Donde: V_c es el volumen comercial por árbol en m^3 , D es el diámetro normal con corteza en cm; H es la altura total del árbol en m; d es el diámetro al límite comercial en cm; α_0, α_1 y α_2 son los parámetros que definen el volumen total; β_0, β_1 y β_2 son los parámetros que definen a la punta comercial e implícitamente el ahusamiento.

$V_c = V_{total}$ cuando $d = 0$ en ambos casos.

Ambos modelos incluyen una ecuación de ahusamiento compatible, que para el

modelo (1) es $d = \left[\frac{k(H - M)}{\beta_0 \alpha_0 D^{\alpha_1 - \beta_2} H^{\alpha_2}} \left(1 - \frac{2}{\beta_1} \right) \right]^{\frac{1}{\beta_1 - 2}}$ donde $k = \pi / 40,000$ y M es la altura en

m desde el tocón al diámetro d . El modelo (2) tiene la expresión de ahusamiento

compatible de la forma $d = D \times \left[\frac{H - M}{H - 1.3} \right]^{\frac{1}{\beta_1 - 2}}$ que además garantiza que $d = D$

cuando $H=M$.

Para cubicar cada parcela se requiere medir el diámetro y la altura total de todos los árboles presentes. Sin embargo, debido al alto costo que ello representa, rara vez se miden todas las alturas durante un inventario forestal. En el presente estudio, para compensar esa falta de información, las alturas de los árboles no medidos fueron estimadas a través de una ecuación o modelo de diámetro-altura (Husch *et al.*, 1982; Valdez-Lazalde y Lynch, 2000). Este tipo de ecuaciones se usan para compensar los errores que se producirían si solo se usaran modelos de una entrada (diámetro normal) tendiendo, en general, a producir volúmenes conservadores sobre todo en árboles grandes. Para los datos obtenidos se generó una ecuación de diámetro-altura de la forma:

$$H = \delta_0 D^{\delta_1} A^{\delta_2} \quad (3)$$

Donde: A es la altura dominante del sitio en m, δ_0, δ_1 y δ_2 son los parámetros a estimar.

La ecuación (3) fue diseñada para obtener las mejores estimaciones en las parcelas establecidas ya que produce alturas asintóticas que tienden a aproximarse

a la altura dominante sin sobrepasarla y en cada parcela se cuenta con datos de altura dominante.

2.4.3. Modelos de crecimiento en altura dominante

La integración de un SCRM tiene como piedra angular a la familia de curvas que expresan los patrones de crecimiento en altura dominante ya que ésta representa una medida directa de la productividad del sitio forestal. A la altura dominante evaluada a una edad de referencia se le denomina Índice de Sitio (*IS*) y es una forma de etiquetar la productividad de los sitios forestales (Zepeda y Rivero, 1984; Clutter *et al*, 1983). Además, el área basal, la mortalidad y el volumen maderable como partes de un SCRM están estrechamente correlacionados con la altura dominante. Debido a que no se tiene más que una sola medición en las plantaciones y éstas son de edades jóvenes, se decidió usar un modelo sencillo (Schumacher) para caracterizar el crecimiento (Avery y Burkhart, 1983; Bruce y Schumacher, 1950) y es el siguiente:

$$A = \phi_0 \times \exp\left(-\frac{\phi_1}{E}\right) \quad (4)$$

Donde: A es la altura dominante del sitio de muestreo en m; E es la edad de la plantación en meses y ϕ_0 y ϕ_1 son los parámetros a estimar.

En cada plantación y con ayuda del productor fue posible identificar aquellas plantaciones a las cuales se les había o no aplicado fertilización. No existe información específica sobre periodicidad y dosis de fertilización usada, ya que cada productor aplica fertilizante dependiendo de sus recursos. En general, la dosis de fertilización depende de los excedentes con que se cuente después de la cosecha de

caña. El control de plagas se realiza anualmente durante los primeros 5 años y se acompaña con podas de formación.

Para incluir el efecto de la fertilización, se decidió reformular la expresión (4) quedando el modelo de la siguiente forma:

$$A = (\phi_0 + \phi_{0F} I_F) \times \exp\left(-\frac{\phi_1 + \phi_{1F} I_F}{E}\right) \quad (5)$$

Donde: ϕ_{0F} y ϕ_{1F} son los parámetros que representan el efecto de la fertilización en el crecimiento y se asocian a las variables indicadoras I_F que es una variable dual igual a 1 cuando el sitio se fertilizó, 0 de otra forma.

Un análisis preliminar de los datos surge que para sitios de menos de 10 años (120 meses) el crecimiento de la caoba es similar al del cedro, por lo que las familias de IS derivadas se pueden usar indistintamente, al menos hasta esta edad. La familia de curvas de IS propuestas en este trabajo es de tipo anamórfica ya que la fertilización a edades tempranas tiende a modificar la potencialidad inicial del sitio. Las expresiones (6) y (7) muestran los modelos usados para estimar el IS y la proyección de altura para las plantaciones:

$$IS = A \times \exp\left(-\frac{\phi_1 + \phi_{1F} I_F}{E_b}\right) \times \exp\left(\frac{\phi_1 + \phi_{1F} I_F}{E}\right) \quad (6)$$

$$A = IS \times \exp\left(\frac{\phi_1 + \phi_{1F} I_F}{E_b}\right) \times \exp\left(-\frac{\phi_1 + \phi_{1F} I_F}{E}\right) \quad (7)$$

Donde: E_b es la edad base en meses e IS es el índice de sitio en m.

2.4.4. Modelos de predicción y proyección de volumen maderable por hectárea

La FAO (1980) establece que el volumen total de un rodal o plantación puede estimarse con precisión utilizando ecuaciones de la forma $V = \eta_0 + \eta_1 \times (AB \times A)$ o bien $\ln(V) = \eta_0 + \eta_1 \times \ln(AB) + \eta_2 \times \ln(A)$, donde V es el volumen en $\text{m}^3 \cdot \text{ha}^{-1}$, AB es el área basal en $\text{m}^2 \cdot \text{ha}^{-1}$ y η_0, η_1 y η_2 son los parámetros a estimar. El presente estudio propuso un grupo de modelos que permitiera cierta flexibilidad para obtener las estimaciones de volumen·rollo total árbol·ha⁻¹ con base en la información disponible; estos son:

$$V = \eta_0 \times AB^{\eta_1} \times A^{\eta_2} \quad (8)$$

$$V = \eta_0 \times AB \times A^{\eta_1} \times \exp\left(-\frac{\eta_2}{E}\right) \quad (9)$$

$$V = \eta_0 \times AB \times \exp\left(-\left(\frac{\eta_1}{E}\right) + \eta_2 \times \left(\frac{A}{E}\right)\right) \quad (10)$$

La ecuación (8) es un modelo que se puede usar para obtener estimaciones rápidas del inventario total maderable ya que es independiente de la edad. Sin embargo, para proyectar el crecimiento en volumen se partió de los modelos (9) y (10) para derivar los modelos de proyección en volumen a través de la diferencia algebraica expresados en las Ecuaciones (11) y (12), respectivamente.

$$V_2 = V_1 \times \left(\frac{AB_2}{AB_1}\right) \times \left(\frac{A_2}{A_1}\right)^{\eta_1} \times \exp\left(\frac{\eta_2}{E_1} - \frac{\eta_2}{E_2}\right) \quad (11)$$

$$V_2 = V_1 \times \left(\frac{AB_2}{AB_1}\right) \times \exp\left(-\left(\frac{\eta_1}{E_2} + \frac{\eta_1}{E_1}\right) + \eta_2 \times \left(\frac{A_2}{E_2} - \frac{A_1}{E_1}\right)\right) \quad (12)$$

Donde: V_1 , AB_1 y A_1 , corresponden al volumen, el área basal y la altura dominante a la edad inicial E_1 (o edad de referencia) y V_2 , AB_2 y A_2 son volumen, área basal y altura dominante a la edad E_2 (o edad de proyección).

Para evaluar el volumen comercial a una punta (diámetro) comercial mínima de 5 cm se uso la siguiente expresión (13):

$$V_5 = \rho \times V \quad (13)$$

Donde: ρ representa la fracción porcentual del volumen total que corresponde a trozas con diámetros con corteza mayores a 5 cm. Este modelo es una aproximación lineal a una punta comercial dada y puede mejorarse al usar el modelo de fracciones comerciales de Amateis *et al.* (1986). Por la edad de las plantaciones se consideró que esta aproximación, aunque simple, es más que suficiente para aproximar los volúmenes comerciales.

Evidentemente los modelos de proyección obligan a tener modelos de predicción y proyección para el AB . Las Ecuaciones (14) y (15) muestran los modelos propuestos para estimar y proyectar el área basal, respectivamente.

$$AB = \varphi_0 \times N \times \exp\left(\frac{-\varphi_1 + \varphi_2 \times A}{E}\right) \quad (14)$$

$$AB_2 = AB_1 \times \left(\frac{N_2}{N_1}\right) \times \left(\frac{\exp\left(\frac{-\varphi_1 + \varphi \times A_2}{E_2}\right)}{\exp\left(\frac{-\varphi_1 + \varphi_2 \times A_1}{E_1}\right)}\right) \quad (15)$$

Donde: N es el número de fustes vivos por ha, y φ_i son los parámetros a estimar.

Para la proyección AB_1 , A_1 y N_1 corresponden al área basal, la altura dominante y los fustes por ha a la edad inicial E_1 mientras que AB_2 , A_2 y N_2

representan el área basal, la altura dominante y los fustes por ha a la edad E_2 (o edad de proyección).

Los modelos de área basal requieren estimar la mortalidad natural bajo autoaclareo. Sin embargo, dado que sólo se tiene una medición, es muy difícil estimar las tasas de mortalidad que ocurren. Por lo observado en campo y dado el cultivo intensivo que se tiene en el área, es muy posible que la mortalidad, hasta edades menores de 10 años (120 meses), pueda considerarse nula. Sin embargo, la mortalidad por competencia intra-específica se puede simular a través de autoaclareo utilizando al diámetro cuadrático. Para ello, se ajustó un modelo de diámetro cuadrático de la forma:

$$D_q = \gamma_0 \times A^{\gamma_1} \times \exp\left(\frac{-\gamma_2}{E}\right) \quad (16)$$

Donde: D_q es el diámetro cuadrático en cm, γ_0, γ_1 y γ_2 son los parámetros a estimar.

Por definición, se sabe que:

$$D_q = \sqrt{\frac{AB}{N} \frac{40000}{\pi}} \quad (17)$$

por lo que despejando N de la Ecuación (17) es posible conocer y obtener el número de fustes por ha:

$$N = \frac{40000}{\pi} \frac{AB}{D_q^2} \quad (18)$$

De tal forma, que al sustituir (16) y (14) en la expresión (18) se tiene:

$$N_r = \frac{40000}{\pi} \frac{\varphi_0 \times N \times \exp\left(\frac{-\varphi_1 + \varphi_2 \times A}{E}\right)}{\left(\gamma_0 \times A^{\gamma_1} \times \exp\left(\frac{-\gamma_2}{E}\right)\right)^2} \quad (19)$$

Donde: N_r es el número de árboles remanentes por ha.

La simulación de la mortalidad requiere que se proyecte N_r hasta que el número inicial de fustes sea menor que la densidad inicial, de otra forma se asume mortalidad 0 para las proyecciones. Para asegurar que se obtienen resultados lógicos, se grafica de forma interactiva la mortalidad con un diagrama de Reineke (Reineke, 1933; Torres y Magaña, 2001) hasta la zona de autoaclareo por IS y densidad inicial de plantación. Cuando la mortalidad ocurre, se usa este dato para corregir AB y V . En todo caso, los verdaderos modelos de mortalidad serán posibles una vez que se obtengan remediciones de las parcelas establecidas.

2.4.5. Métodos de Ajuste

Con excepción de los modelos de volumen comercial y de ahusamiento, los otros elementos del SCRM fueron ajustados a través de mínimos cuadrados no lineales. Para los modelos de cubicación por árbol, se decidió usar mínimos cuadrados aparentemente no correlacionados (Borders, 1989) ya que se ajustó el volumen y el ahusamiento de manera simultánea.

2.5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

2.5.1. Ajuste de modelos de volumen total y comercial por árbol

Las estadísticas de bondad de ajuste así como los parámetros estimados para los modelos de volumen comercial y de ahusamiento se presentan en el Cuadro 2.1.

Cuadro 2.1. Bondad de ajuste y parámetros estimados para los modelos de volumen comercial y ahusamiento propuestos.

MODELO	G.L.	CME	R ²	Parámetros estimados	Error estándar del parámetro	Pr> t
$V_c = \alpha_0 D^{\alpha_1} H^{\alpha_2} \times \left(1 - \beta_0 \frac{d^{\beta_1}}{D^{\beta_2}}\right)$	441	0.000518	0.8570	$\hat{\alpha}_0 = 0.000111$	0.000017	<.0001
				$\hat{\alpha}_1 = 1.694505$	0.0587	<.0001
				$\hat{\alpha}_2 = 1.045679$	0.0276	<.0001
$d = \left[\frac{k(H-M)}{\beta_0 \alpha_0 D^{\alpha_1 - \beta_2} H^{\alpha_2}} \left(1 - \frac{2}{\beta_1}\right) \right]^{\frac{1}{\beta_1 - 2}}$	441	1.3091	0.9569	$\hat{\beta}_0 = 0.127401$	0.0203	<.0001
				$\hat{\beta}_1 = 2.91832$	0.0240	<.0001
				$\hat{\beta}_2 = -2.52351$	0.0625	<.0001
$V_c = \alpha_0 D^{\alpha_1} H^{\alpha_2} - \beta_0 \frac{d^{\beta_1}}{D^{\beta_1 - 2}} (H - 1.3)$	441	0.000089	0.9755	$\hat{\alpha}_0 = 0.000114$	5.396E-6	<.0001
				$\hat{\alpha}_1 = 1.937747$	0.0273	<.0001
				$\hat{\alpha}_2 = 0.883302$	0.0267	<.0001
$d = D \times \left[\frac{H-M}{H-1.3} \right]^{\frac{1}{\beta_1 - 2}}$	441	1.7137	0.9432	$\hat{\beta}_0 = 0.000062$	8.171E-7	<.0001
				$\hat{\beta}_1 = 3.077731$	0.0276	<.0001

El ajuste sugiere que la formulación de Pienaar y Rheney (2) es la más adecuada tanto para estimar el volumen comercial y total como para la distribución de productos por fuste. Es interesante notar como los parámetros para el volumen total ($\hat{\alpha}_i$) en (2) tienen errores estándar menores que los obtenidos con el modelo (1)

lo que los hace mucho más confiables. Además el modelo (2) es más sencillo en su estructura y con menos parámetros.

Aunque el ahusamiento del modelo (1) es superior, en este caso se optó por el (2) debido a que el modelo de volumen comercial es mucho mejor para describir los datos. Finalmente, en el Cuadro 2.2 se muestran los valores de los parámetros estimados para δ_0, δ_1 y δ_2 y las estadísticas de ajuste del modelo de regresión empleado para estimar la altura promedio de cada parcela de muestreo (modelo 3).

Cuadro 2.2. Bondad de ajuste y parámetros estimados para el modelo diámetro-altura.

MODELO	G.L.	CME	R ²	Parámetros estimados	Error estándar del parámetro	Pr> t
$H = \delta_0 D^{\delta_1} A^{\delta_2}$	407	1.0863	0.7091	$\hat{\delta}_0 = 0.88439$	0.0683	<.0001
				$\hat{\delta}_1 = 0.53308$	0.0271	<.0001
				$\hat{\delta}_2 = 0.43568$	0.0436	<.0001

2.5.2. Ajuste de modelos de crecimiento en altura dominante

En el Cuadro 2.3 se presentan las condiciones de ajuste y los parámetros estimados del modelo (5). De esta forma, las familias de IS para las parcelas fertilizadas

quedan definidas como: $IS = A \times \exp\left(-7.71 \times \left(\frac{1}{E_b} + \frac{1}{E}\right)\right)$ mientras que para sitios sin

fertilización es: $IS = A \times \exp\left(-20.26 \times \left(\frac{1}{E_b} + \frac{1}{E}\right)\right)$. Aún cuando el valor de la R^2 del

modelo puede considerarse bajo (0.3581) los parámetros estimados son bastante robustos (Cuadro 2.3).

Cuadro 2.3. Bondad de ajuste y parámetros estimados para el modelo promedio de altura dominante en función de la edad.

MODELO	G.L.	CME	R ²	Parámetros estimados	Error estándar del parámetro	Pr> t
$A = (\phi_0 + \phi_{0F} I_F) \times \exp\left(-\frac{(\phi_1 + \phi_{1F} I_F)}{E}\right)$	50	1.7997	0.3581	$\phi_0 = 12.97472$	1.5023	<.0001
				$\phi_1 = 20.26554$	5.0575	<.0002
				$\phi_{0F} = -4.0860$	1.6083	<.0142
				$\phi_{1F} = -12.55$	5.7756	<.0345

La familia de curvas (Figura 2.1) sugiere que la fertilización reportada por la mayoría de los productores se dio a edades jóvenes y que no se repitió en etapas posteriores. Esto ofrece una ventaja para el crecimiento del rodal ya que la fertilización impulsa el potencial de crecimiento de la masa pero a la vez una mayor biomasa demanda una mayor cantidad de nutrientes (Hunter y Smith, 1995). Esto implica que la fertilización inicial debe de reforzarse con fertilizaciones subsecuentes (intermedias) de forma tal que el potencial de crecimiento se mantenga por más tiempo. Lo anterior conlleva una mayor inversión financiera por parte del productor sin embargo, esta estrategia le podría permitir cosechar el producto comercial a edades más tempranas.

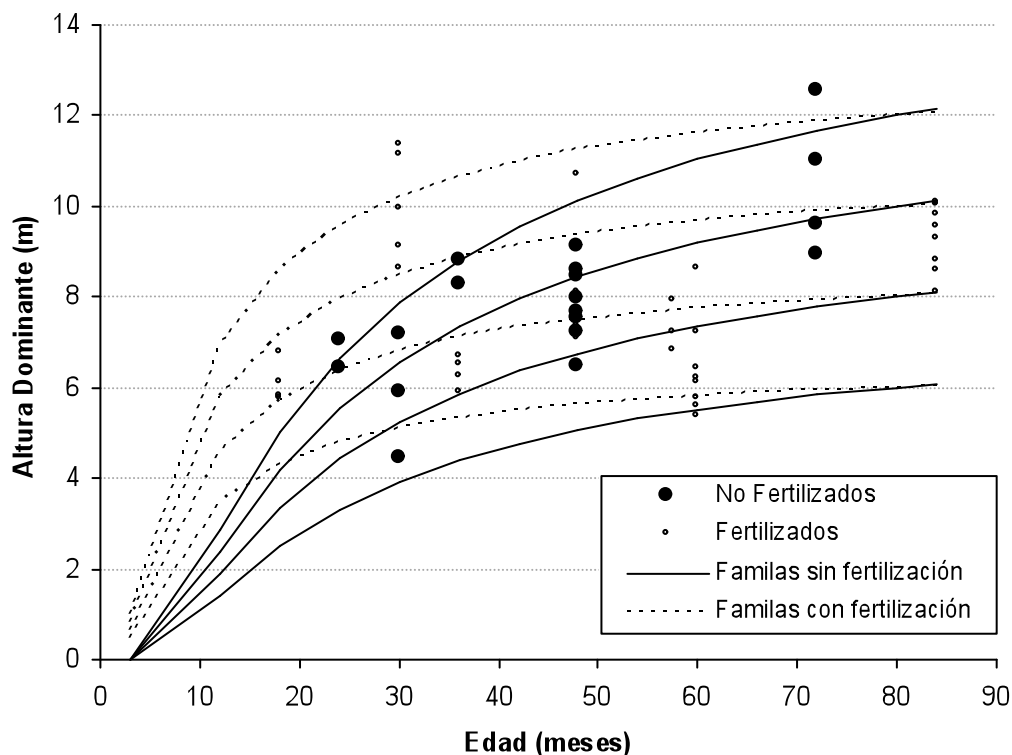


Figura 2.1. Familias de *IS* de 6, 8 10 y 12 m para sitios fertilizados y sin fertilizar a una edad base de 80 meses.

2.5.3. Ajuste de modelos para estimar y proyectar área basal y volumen por hectárea

Los Cuadros 2.4 y 2.5 muestran el ajuste y los parámetros de los modelos de AB y volumen por ha propuestos. Es interesante notar como $\hat{\rho}$ estimado sugiere que el 90% del volumen total corresponde a trozas mayores de 5 cm. Trozas de este diámetro son utilizadas para la realización de artesanías y esto es importante ya que permite capitalizar una porción del volumen total maderable a edades relativamente tempranas, aunque es claro que sería difícil cuantificar este volumen, por sus dimensiones.

Cuadro 2.4. Bondad de ajuste y parámetros estimados para estimar área basal por hectárea.

MODELO	G.L.	CME	R ²	Parámetros estimados	Error estándar del parámetro	Pr> t
$AB = \varphi_0 \times N \times \exp\left(\frac{-\varphi_0 + \varphi_0 \times A}{E}\right)$	55	1.4218	0.875	$\varphi_0 = 0.01146$	0.00102	<.0001
				$\varphi_1 = -131.552$	9.5181	<.0001
				$\varphi_2 = 10.497$	0.8956	<.0001

Cuadro 2.5. Bondad de ajuste y parámetros estimados para estimar volumen total y a una punta de 5 cm por hectárea.

MODELO	G.L.	CME	R ²	Parámetros estimados	Error estándar del parámetro	Pr> t
$V = \eta_0 \times AB^n \times A^{\eta_2}$	55	3.9168	0.9972	$\hat{\eta}_0 = 1.541861$	0.0924	<.0001
				$\hat{\eta}_1 = 1.037428$	0.0132	<.0001
				$\hat{\eta}_2 = 0.713919$	0.0337	<.0001
$V = \eta_0 \times AB \times A^{\eta_1} \times \exp\left(-\frac{\eta_2}{E}\right)$	55	7.3555	0.9947	$\hat{\eta}_0 = 1.7462$	0.0933	<.0001
				$\hat{\eta}_1 = 4.653855$	0.7217	<.0001
				$\hat{\eta}_2 = 0.732692$	0.0212	<.0001
$V = \eta_0 \times AB \times \exp\left(-\left(\frac{\eta_1}{E}\right) + \eta_2 \times \left(\frac{A}{E}\right)\right)$	55	2.5149	0.9982	$\hat{\eta}_0 = 9.434328$	0.1973	<.0001
				$\hat{\eta}_1 = 45.17669$	2.0586	<.0001
				$\hat{\eta}_2 = 4.039645$	0.207	<.0001
$V_5 = \rho \times V$	55	6.7113	0.994	$\hat{\rho} = 0.908$	0.00606	<.0001

2.5.4. Diámetro cuadrático y mortalidad simulada

Debido a que las plantaciones no se han remedido no se cuenta con información dinámica, por lo que es difícil estimar la tasa de mortalidad que ocurre. Sin embargo, a través del diámetro cuadrático (Cuadro 2.6) y asumiendo mortalidad natural por autoaclareo fue posible ajustar las predicciones de área basal y sugerir

Cuadro 2.6. Coeficientes y estadísticos asociados para la ecuación del diámetro cuadrático.

MODELO	G.L.	CME	R ²	Parámetros estimados	Error estándar del parámetro	Pr> t
$D_q = \gamma_0 \times A^{\gamma_1} \times \exp\left(\frac{-\gamma_2}{E}\right)$	55	1.1185	0.8212	$\hat{\gamma}_0 = 1.25272$	0.2805	<.0001
				$\hat{\gamma}_1 = 1.00655$	0.0959	<.0001
				$\hat{\gamma}_2 = 15.52844$	2.3353	<.0001

edades y densidades de aclareo óptimas. Para ilustrar el proceso de mortalidad de manera indirecta se plantearon dos escenarios que simulan los posibles patrones de reducción de individuos de acuerdo con los patrones de crecimiento obtenidos. El primero utiliza cuatro *IS* de 6, 8, 10 y 12 m a la edad base de 80 meses y sin fertilización y el segundo usa un *IS* de 10 m con cuatro densidades iniciales: 1000, 1500, 2000 y 2500 árboles·ha⁻¹ y sin fertilización. Las gráficas de la mortalidad teórica se compararon además con un modelo de Reineke de la forma $N = 80,000 \times 10^{-1.605}$.

En el primer caso fue posible observar que para la densidad promedio de 1,200 árboles·ha⁻¹ es posible simular la mortalidad de forma satisfactoria y se requiere ajustar el número de árboles·ha⁻¹ a partir de los 60 meses en los *IS* 10 y 12. Para el *IS* 6 y 8 es posible considerar que no existe autoaclareo hasta antes de los 10 años (Figura 2.2 a-1) y en cualquier caso se llega al autoaclero (Figura 2.2 a-2). En altas densidades y un índice de sitio bueno (*IS* 10) el sistema es adecuado para describir mortalidades probables para densidades de 1,000 y 1,500 árboles·ha⁻¹ (Figura 2.2 b-1). Sin embargo, para densidades de 2,000 y 2,500 fustes el diagrama

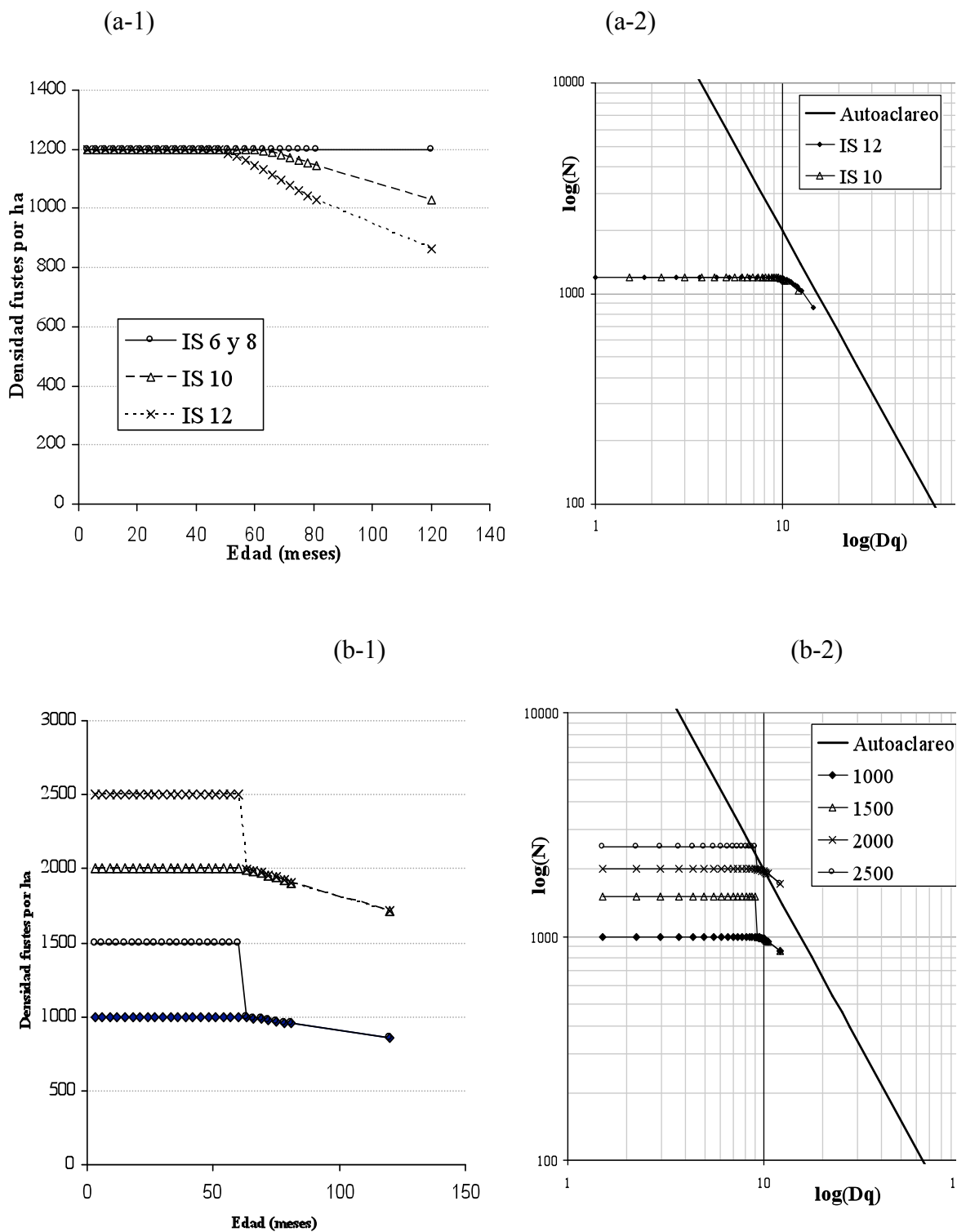


Figura 2.2. Mortalidad simulada para densidad inicial de 1,200 árboles·ha⁻¹ en cuatro IS (a-1 a-2) y cuatro densidades en un IS de 10 (b-1 y b-2).

de Reineke sugiere que se sobrepasa la densidad máxima por lo que el autoaclareo debe suceder en este *IS* a edades menores de 60 meses (Figura 2.2 b-2).

Lo anterior ilustra como simular mortalidad con el sistema construido para diferentes escenarios de densidad. Los escenarios probados son sólo algunos de los más probables en la región, sin embargo, la cantidad de estos es prácticamente ilimitada. Bajo fertilización, la edad de mortalidad natural se reduce al ocuparse más rápidamente el espacio de crecimiento.

2.5.5. Tablas de producción de densidad variable

El sistema de crecimiento permite obtener tablas de producción probables. Los Cuadros 2.7 y 2.8 presentan, de manera tabular, tablas de producción con y sin fertilización para las especies estudiadas a densidades iniciales de 1,200 árboles·ha⁻¹ por considerarse la densidad mas frecuente entre los predios analizados. Como era de esperarse, el volumen en sitios fertilizados de alta calidad (10 y 12 m de *IS*) es mayor a edades tempranas (40 meses) pero después de este punto parece estancarse ante la falta de fertilización intermedia para compensar la demanda de la biomasa.

En sitios pobres, fertilizar y no fertilizar produce diferencias marginales por lo que una vez identificado un sitio pobre (6 m de *IS*) económicamente es conveniente no invertir en ellos. En los demás casos, la fertilización debe de adelantar la posibilidad de una cosecha intermedia por aclareo al tener más volumen comercial. Debe hacerse notar que aquellos productores que declararon no fertilizar realizan labores intensivas de control de vegetación competidora para compensar la falta de

ésta práctica. En cualquier caso, se necesita un estudio más detallado y completo sobre las labores silvícolas intensivas para las dos especies en el área de estudio.

Cuadro 2.7. Edad, altura dominante, área basal, volumen e *ICA* para *IS* de 6, 8, 10 y 12 en parcelas fertilizadas de caoba y cedro en Tuxtepec, Oaxaca.

Edad (años/ meses)	Altura Dominante por <i>IS</i> (m edad base 80 meses)				Área Basal por <i>IS</i> (m ² ha ⁻¹)				Volumen por <i>IS</i> (m ³ ha ⁻¹)				ICA volumen por <i>IS</i> (m ³ ha ⁻¹ año ⁻¹)			
	6	8	10	12	6	8	10	12	6	8	10	12	6	8	10	12
0.25/3	0.5	0.7	0.8	1.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0				
1/12	3.5	4.6	5.8	7.0	0.0	0.1	0.1	0.2	0.1	0.1	0.4	0.9	0.1	0.1	0.4	0.9
1.5/18	4.3	5.7	7.2	8.6	0.3	0.5	0.9	1.6	0.8	1.9	4.5	9.9				
2/24	4.8	6.4	8.0	9.6	0.8	1.3	2.2	3.6	2.8	6.2	12.8	25.7	2.0	4.3	8.4	15.7
2.5/30	5.1	6.8	8.5	10.2	1.5	2.3	3.5	5.4	5.8	11.7	22.5	41.5				
3/36	5.3	7.1	8.9	10.7	2.2	3.2	4.7	6.7	9.1	17.4	31.5	54.8	3.3	5.7	9.0	13.3
3.5/42	5.5	7.3	9.2	11.0	2.9	4.0	5.6	7.7	12.5	22.8	39.3	65.4				
4/48	5.6	7.5	9.4	11.3	3.5	4.7	6.3	8.5	15.7	27.7	46.0	73.8	3.2	4.9	6.7	8.4
4.5/54	5.7	7.6	9.5	11.5	4.1	5.4	7.0	9.1	18.7	32.0	51.6	80.4				
5/60	5.8	7.7	9.7	11.6	4.6	5.9	7.5	9.5	21.5	35.8	56.4	85.7	2.7	3.8	4.8	5.3
5.5/66	5.9	7.8	9.8	11.8	5.1	6.3	7.9	9.9	24.0	39.2	60.4	89.9				
6/72	5.9	7.9	9.9	11.9	5.5	6.7	8.3	10.1	26.2	42.1	63.9	93.4	2.3	3.0	3.5	3.5
6.6/80	6.0	8.0	10.0	12.0	6.0	7.2	8.6	10.4	29.0	45.6	67.8	97.2				
7.5/90	6.0	8.0	10.0	12.1	6.4	7.6	9.0	10.6	31.7	48.8	71.0	99.6	1.8	2.1	2.1	1.6

Cuadro 2.8. Edad, altura dominante, área basal, volumen e *ICA* para *IS* de 6, 8, 10 y 12 en parcelas no fertilizadas de caoba y cedro en Tuxtepec, Oaxaca.

Edad (años/ meses)	Altura Dominante por <i>IS</i> (m edad base 80 meses)				Área Basal por <i>IS</i> (m ² ha ⁻¹)				Volumen por <i>IS</i> (m ³ ha ⁻¹)				ICA volumen por <i>IS</i> (m ³ ha ⁻¹ año ⁻¹)			
	6	8	10	12	6	8	10	12	6	8	10	12	6	8	10	12
0.25/3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0				
1/12	1.4	1.9	2.4	2.9	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
1.5/18	2.5	3.3	4.2	5.0	0.0	0.0	0.1	0.1	0.0	0.1	0.2	0.5				
2/24	3.3	4.4	5.5	6.6	0.2	0.3	0.6	1.1	0.4	0.9	2.2	5.3	0.3	0.8	2.0	4.8
2.5/30	3.9	5.2	6.6	7.9	0.5	0.9	1.7	3.2	1.4	3.5	8.3	18.7				
3/36	4.4	5.9	7.3	8.8	1.0	1.8	3.2	5.7	3.3	7.9	17.9	38.7	1.9	4.4	9.6	20.0
3.5/42	4.8	6.4	8.0	9.5	1.6	2.8	4.7	8.1	6.0	13.6	29.2	60.5				
4/48	5.1	6.8	8.4	10.1	2.3	3.8	6.2	10.1	9.0	19.6	40.6	80.9	3.0	6.1	11.4	20.4
4.5/54	5.3	7.1	8.9	10.6	2.9	4.6	7.4	11.7	12.2	25.7	51.2	98.5				
5/60	5.5	7.4	9.2	11.0	3.5	5.4	8.4	12.9	15.4	31.4	60.7	112.9	3.2	5.7	9.4	14.4
5.5/66	5.7	7.6	9.5	11.4	4.1	6.1	9.2	13.7	18.5	36.7	68.9	124.5				
6/72	5.8	7.8	9.7	11.7	4.6	6.7	9.8	14.4	21.5	41.5	75.9	133.7	3.0	4.8	7.0	9.2
6.6/80	6.0	8.0	10.0	12.0	5.2	7.4	10.5	15.0	25.1	47.2	83.6	143.0				
7.5/90	6.1	8.1	10.1	12.1	5.8	7.9	10.9	14.9	28.4	51.2	87.5	144.1	2.2	2.7	2.6	0.7

2.6. CONCLUSIONES

Con los datos obtenidos y los modelos empleados fue posible integrar un SCRM preliminar para edades tempranas en plantaciones de cedro y caoba. Se requiere de remediciones sobre las parcelas establecidas a fin de descartar o aceptar definitivamente las tendencias encontradas sobre todo para edades mayores de 10 años. El SCRM sugiere que cuando se realiza fertilización ésta debe llevarse a cabo durante varios años para mantener el ritmo de crecimiento de los rodales y su rentabilidad.

Las tablas de rendimiento ejemplificadas son solo algunas de múltiples alternativas que pueden ser evaluadas con el sistema. Para edades mayores de 10 años se considera que las estimaciones del volumen se vuelven muy conservadoras, por lo que se estaría subestimando de manera importante el rendimiento maderable. El SCRM se puede utilizar también para simular aclareos aunque los resultados de éstos son altamente conservadores; también muestra propiedades lógicas deseables como el auto-aclareo pero estas aproximaciones no substituyen del todo a la información proveniente de experimentos de espaciamiento y aclareo.

Finalmente queda el proceso de implementación del modelo en la región como una herramienta para estimar el rendimiento y las ganancias probables de proyectos de plantaciones de estas especies. Evidentemente que una red de sitios permanentes donde se recolecte información del crecimiento para mantener actualizados los modelos es necesaria para que estos permanezcan vigentes.

2.7. LITERATURA CITADA

- Aguilar R., M. 1983. Estudio del crecimiento de *Pinus douglasiana* Mtz. y *Pinus lawsonii* Roehl en la región central de Michoacán. *Ciencia Forestal* 22 (81): 41-65.
- Amateis R. L., H. E. Burkhart T. E. Burk. 1986. A ratio approach to predicting merchantable yields of unthinned loblolly pine plantations. *Forest Science* 32 (2): 287-296.
- Avery T. E., H. E. Burkhart. 1983. *Forest measurements*. McGraw-Hill. New York. 331 p.
- Bailey R. L. 1995. Upper stem volumes from stem analysis data: an overlapping bolts method. *Can. J. For. Res.* 25: 170-173.
- Blundell A.G. y B.D. Rodan. 2003. Mahogany and CITES: moving beyond the veneer of legality. *Oryx*. 37: 85-90.
- Borders B. E. 1989. Systems of equations in forest modeling. *Forest Science* 35:548-556.
- Bruce T. E. y F. X. Schumacher. 1950. *Forest ministration*. McGraw-Hill. New York. 483 p.
- Clutter J. L. 1980. Development of taper function from variable-top merchantable volume equations. *Forest Science* 26:117-120.
- Clutter J. L., J. C. Fortson, L. V. Pienaar, G. H. Brister, R. L. Bailey. 1983. *Timber management a quantitative approach*. John Wiley & Sons, New York. 333 p.
- FAO. 1980. *Estimación del volumen forestal y predicción del rendimiento*. Vol. 2. *Predicción del rendimiento*. Roma, Italia. 80 p.
- Hush B., C. I. Miller, y T. W. Beers. 1982. *Forest mensuration*. John Wiley & Sons. New York. 347 p.
- Hunter R. y Smith W. 1995. Principles of forest fertilization - illustrated by New Zealand experience. *Nutrient Cycling in Agroecosystems* 43(1): 21-29.
- Newton A. C., P. Baker, S. Ramnarines, J. F. Mesen y R. R. B. Leakey. 1993. The mahogany shoot borer: prospects for control. *Forest Ecology and Management*. 57 (1-4): 301-328.

- Pienaar L. V. y J. W. Rheney. 1988. Yield prediction for mechanically site-prepared Flash pine plantations in the southeastern coastal plain. School of Forest Resources, University of Georgia, Athens. Pp:163-173.
- Reineke L. H. 1933. Perfecting stand density index for even-aged forests. Journal of Agricultural Research 46: 627-638.
- Torres R. J. M. y O. S. Magaña. 2001. Evaluación de plantaciones forestales. Limusa. México, D. F. 472 p.
- Valdez-Lazalde J. R. y T. B. Lynch. 2000. Merchantable and total volume equations for thinned stands of patula pine in Puebla, Mexico. Agrociencia 34(6): 747-758.
- Zepeda B. E. M. y P. Rivero B. 1984. Construcción de curvas anamórficas de índice de sitio: ejemplificación del método de la curva guía. Ciencia Forestal 9(51): 3-38.

2.8. ANEXO

Anexo 2.1. Coordenadas de las poligonales de las plantaciones y punto central de las parcelas de medición.

COORDENADAS EN (UTM) ¹														
Productor	Poligonales		Punto central		Productor	Poligonales		Punto central		Productor	Poligonales		Punto central	
	LO	LN	LO	LN		LO	LN	LO	LN		LO	LN	LO	LN
1. Crispin Altamirano (P-1.5ha-7 a)	2006664	783387				1952396	194340				2000862	793250		
	2006734	783469				1952884	194941				2000966	793361		
	2006689	783497				1952834	194898				2000986	793381	2000937	793287
	2006680	783563	2006674	783417		1952759	194836	1952871	194918		2001140	793270	2001011	793153
	2006616	783486	2006637	783483	2. Melitón	1952913	194669	1952854	194892	3. Isidro	2001121	793240	2001038	793187
	2006606	783489	2006666	783511	Mendoza	1953007	194788	1952898	194903	Anaya	2001091	793205	2000893	793027
	2006595	783478	2006708	783473		1952955	194856	1952930	194871	(P-2.5ha-7 a)	2001111	793177		
	2006614	783454				1952935	194839				2001123	793147		
2006623	783454				1952895	194885				2001093	793110			
2006655	783419				1952868	194860				2001062	793111			
										2000916	793195			
4. Crispin Altamirano (P-2ha-2.5 a)	2006677	783372				2008177	781883				1999247	794323		
	2006713	783400				2008219	781921				1999208	794289		
	2006702	783421	2006703	783382		2008242	781947				1999184	794306	1999257	794386
	2006736	783470	2006785	783323	5. Juan E	2008286	781908	2008194	781891		1999238	794389	1999280	794400
	2006773	783454	2006790	783325	Lucas	2008260	781880	2008231	781880	6. Maximino	1999271	794448	1999292	794425
	2006787	783454	2006840	783387		2008270	781857			Esteban	1999292	794499		
	2006860	783400				2008247	781809				1999353	794496		
	2006775	783292				2008209	781798				1999321	794432		
2006733	783309				2008187	781856				1999275	794372			
7. Lorenzo Martínez	1952342	194250	1952363	194248		1984497	797151	1984560	797096		1953403	194342	1953532	194221
	1952406	194178	1952390	194315	8. Félix	1984594	797194	1984525	797118	9. Juan	1953504	194417	1953582	194255
	1952463	194264	1952432	194288	Esteban	1984652	797111	1984565	797152	Ramírez	1953619	194263	1953481	194389
	1952396	194340	1952406	194222		1984544	797072	1984601	797124		1953538	194183	1953464	194325
10. Isidro Anaya (P-1.5 ha-5 a)	2000986	793381	2001141	793320	11. Benito.	2007744	779963			12. José	2008069	779889		
	2001022	793420	2001111	793338	Martínez	2007675	779973	2007719	779982	Largo	2008026	779873		
	2001168	793341	2001038	793396		2007726	780069	2007758	780028		2007995	779856	2008025	779888
	2001140	793270	2001074	793348		2007790	780045				2007967	779850		
										2007997	779907			
13. Isidro Anaya (P-2ha- 4 a)	2000777	792937					(96° 14' 39") ²				2007803	780075		
	2000641	793023					96° 14' 10.4"				2007818	780113		
	2000614	992954	2000893	793027	14. Isidro		96° 14' 10"			15. Lucio	2007874	780100		
	2000723	792944	2000854	792977	Anaya		96° 14' 12.5"	2000920	792667	Dominguez	2007882	780116	2007779	780092
	2000758	792918	2000806	792949	(P-3.3 ha-3 a)		96° 14' 11.8"	2000810	792674		2007846	780133		
	2000772	792903	2000833	792912			96° 14' 9.8"	2000783	792608		2007860	780149		
	2000752	792839					96° 14' 8.5"	2000857	792589		2007740	780178		
	2000804	792867					96° 14' 7.7"							
2000831	792888					96° 14' 5.8"								
16. Policarpio Cuevas	2008194	780039				1984186	797329	1984350	797340		1984697	796268		
	2008212	780038			17. Julio	1984301	797392	1984236	797276	18. Máximo	1984727	796211		
	2008230	780063	2008221	780035	Torres	1984380	797333	1984212	797337	Terán	1984796	796252	1984724	796252
	2008362	780033	2008254	780034		1984370	797323	1984281	797363		1984849	796194	1984792	796284
	2008312	779931	2008210	779994		1984229	797259				1984848	796192		
	2008261	779938									1984795	796305		
2008182	779985													

¹Universal Transverse Mercator

(P - # -# a) Corresponde a la superficie en ha y edad en años parcela o plantación, respectivamente.

²Coordenadas geográficas.

CAPÍTULO III

EVALUACIÓN FINANCIERA DE PLANTACIONES FORESTALES DE CAOBA Y CEDRO EN LA REGIÓN DE TUXTEPEC, OAXACA

3.1. RESUMEN

Con la finalidad de conocer la rentabilidad financiera de plantaciones de caoba y cedro establecidas con apoyo del PRODEPLAN en la región de Tuxtepec, Oaxaca, se realizó un análisis sobre la determinación de la edad óptima de rotación, evaluación financiera y un análisis de sensibilidad sobre el valor esperado del suelo (*VES*) ante cambios en los costos de establecimiento (*Co*), precio de la madera (*p*) y tasa de descuento (*r*).

Los resultados indican que con índices de sitio (*IS*) más productivos, la edad de rotación disminuye y viceversa. El *VES* en sitios pobres (*IS*= 6) y sin subsidio del PRODEPLAN no llegó a ser positivo durante los 15 años proyectados. Sin embargo, en *IS* de 8, 10 y 12, éste se vuelve positivo a partir de 4, 2 y 1 años y alcanza su máximo entre edades de 8-9, 6-7 y 4-5, respectivamente. El análisis financiero con subsidio presentó valores de 2.24, 10.51% y \$74,408.56·ha⁻¹ para la relación beneficio-costo (R^B/C), tasa interna de retorno (*TIR*) y valor neto presente (*VNP*), respectivamente.

El análisis de sensibilidad mostró que el *VES* se incrementa cuando *r* o *Co* bajan y ante una alza en *p*, y viceversa. El impacto de los apoyos del PRODEPLAN en plantaciones forestales pequeñas no repercute significativamente en la edad de rotación ni en los valores de los indicadores económicos.

Palabras clave: Análisis financiero, análisis de sensibilidad, edad óptima de

cosecha, caoba, cedro rojo, PRODEPLAN.

3.2. SUMMARY

This study analyses the financial profitability of Spanish cedar-mahogany plantations in Tuxtepec, Oaxaca. The optimal rotation age, financial evaluation and sensitivity analysis on the expected soil value (bare land value) (BLV) were performed considering establishing costs (C_0), timber price (p) and discount rate (r).

Results indicate that the most productive sites, have shorter rotations, the opposite is also true. For site index (IS) 6, the BLV was negative for the projected 15 years period, without the PRODEPLAN subsidy. However, for IS 8, 10 and 12, the BLV was positive after 4, 2 and 1 years, getting a maximum for ages 8-9, 6-7 and 4-5, respectively. The financial analysis, including the PRODEPLAN subsidy, was 2.24, 10.51% and $\$74,408.56 \text{ ha}^{-1}$, for benefit/cost ratio (R^B/C), internal rate of return (IRR) and net present value (NPV).

The sensitivity analysis showed that BLV goes up when r or C_0 goes down and when p goes up and viceverse. The PRODEPLAN subsidy does not impact the rotation age neither the economic indicators value in small forest plantations.

Key words: Financial analysis, sensitivity analysis, optimum age rotation, Spanish cedar, mahogany, PRODEPLAN.

3.3. INTRODUCCIÓN

Una plantación comercial, al igual que cualquier empresa, es un proyecto de inversión donde usualmente se busca maximizar la rentabilidad. Una forma de estimar el grado de aproximación a este objetivo es mediante una evaluación financiera del proyecto.

En México las evaluaciones de plantaciones forestales se desarrollaron a partir de los años 70's con el fin de conocer el crecimiento o desarrollo de algunas variables dasométricas, o simplemente para observar las condiciones físicas de las mismas. Actualmente se consideran, además de lo anterior, aspectos financieros y económicos en dichas evaluaciones (Ramírez y Torres, 1984).

Oaxaca es uno de los Estados donde más plantaciones se han establecido a partir de 1997 con la puesta en operación del Programa de Plantaciones Forestales Comerciales (PRODEPLAN) dependiente de la Comisión Nacional Forestal (CONAFOR). Dado lo incipiente de esta actividad en el Estado a la fecha no ha sido posible generar suficiente información cuantitativa sobre aspectos de crecimiento, incremento y rendimiento, e información financiera que permita un manejo adecuado de las especies plantadas, específicamente sobre caoba y cedro.

En este sentido, evaluar el comportamiento biológico de las plantaciones (v.g. determinación de la calidad de sitio, niveles de densidad y distribución de diámetros, entre otros) para estimar y predecir su crecimiento y rendimiento maderable constituye un primer paso para posteriormente realizar la evaluación financiera y de esta manera determinar la rentabilidad monetaria de la inversión (Noguéz, 2004).

El análisis financiero de proyectos sobre plantaciones forestales debe considerar los elementos técnicos, la actualización de costos y beneficios derivados de la plantación y el cálculo de los indicadores económicos como el valor neto presente (*VNP*), la tasa interna de retorno (*TIR*) y la relación beneficio costo (R^B/C) (Muñante, 2004; Losa, 2002; Coss, 1993). La homologación de los costos y beneficios a precios de mercado o a precios reales referenciados a un año base es importante en proyectos de plantaciones forestales comerciales debido a que el valor de los mismos es diferente a lo largo del proyecto (Hernández y Prieto, 1992; Protti, 1982). Para éste tipo de análisis los subsidios se consideran beneficios, mientras que los intereses, préstamos e impuestos se consideran costos (Gittinger, 1983).

El flujo típico de costos del ciclo de producción de la masa forestal se da desde el establecimiento de la plantación hasta el término de los estados de desarrollo de monte bravo y latizal. Por otra parte, el flujo de los ingresos se presenta con la venta de la madera proveniente de aclareos y la corta final en el estado fustal de la masa forestal (Martínez, 1999). En este sentido, los apoyos a productores provenientes del gobierno federal como el PRODEPLAN son de carácter temporal y permiten compensar parcialmente los costos de establecimiento y el mantenimiento de plantaciones forestales comerciales en los primeros años.

El precio de madera en rollo de cedro y caoba puesto en la plantación es muy variable y depende de la zona y de las características del aprovechamiento. En México el precio promedio de madera en rollo de estas especies oscila entre \$3,000 y \$4,000·m⁻³, respectivamente. Si los trozos son aserrados en ese mismo lugar, el precio se incrementa en un intervalo de \$5,000 a \$6,000·m⁻³ para cada una de las especies en cuestión (FMIAFAC, 2005). Asimismo, en los estados de Veracruz y

Quintana Roo, el precio promedio por m^3 en pie para cedro es de \$1,800 y para caoba de \$2,200, situación que no se recomienda como alternativa de venta por representar un valor más bajo comparado con el precio de venta a pie de la plantación.

A nivel comercial el precio promedio en madererías se incrementa de manera considerable, oscilando entre \$10,000 y \$11,000· m^{-3} para cedro y caoba respectivamente. Consultores profesionales y la CONAFOR-SEMARNAT (2003), reportan un precio promedio nacional para maderas preciosas de \$2,500· m^{-3} -rollo para los años del 2001 al 2003.

Durante el periodo de planeación existen factores de riesgo e incertidumbre que pueden hacer cambiar el escenario base. Por tal motivo es importante realizar un análisis de sensibilidad para determinar la influencia que tienen algunas variaciones en los precios de insumos y productos, costos de producción, inflación, tasa de interés, entre otros (Ikäheimo *et al.*, 1995). El análisis de sensibilidad es una herramienta importante que permite tomar decisiones sobre la viabilidad de un proyecto de inversión (Protti, 1982).

Con base en lo anterior, este estudio tiene como objetivos determinar la edad de rotación, evaluar financieramente plantaciones de caoba y cedro y realizar un análisis de sensibilidad de la rentabilidad financiera en 18 plantaciones en estudio bajo diferentes escenarios (*i.e.* variando el precio de la madera, los costos de establecimiento y las tasa de interés o descuento), en la región de Tuxtepec, Oaxaca.

3.4. MATERIALES Y METODOS

3.4.1. Localización del área de estudio y captura de información

El presente estudio se realizó en plantaciones de caoba y cedro establecidas por productores particulares en las localidades de Soledad Mazín, Mazín Grande, Cerro Tepezcuinte, Arroyo Fríjol y Paso de San Jacobo en los Municipios de Tuxtepec, San Lucas Ojitlán, San Miguel Soyaltepec, San José Chiltepec y Santiago Jocotepec en el estado de Oaxaca (Figura 3.1).

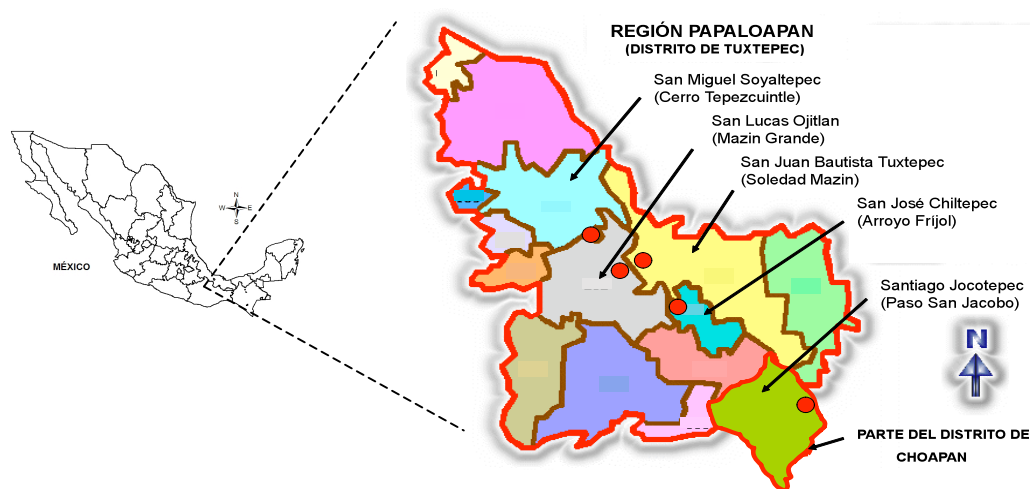


Figura 3.1. Ubicación de las comunidades (●) con plantaciones de caoba y cedro por municipio en la región Papaloapan, Oaxaca.

Con ayuda de la base de datos del PRODEPLAN, apoyo del personal técnico de la CONAFOR en la región y entrevistas con autoridades ejidales, se identificaron 19 productores que poseen 24 plantaciones forestales de caoba y cedro en el área de estudio (Cuadro 3.1). De las 24 plantaciones identificadas, se seleccionaron

únicamente 18 (14 de cedro y cuatro de caoba) que están distribuidas en 14 propietarios (Cuadro 3.1).

Cuadro 3.1. Relación de productores, edad de las plantaciones y superficies bajo estudio en la región de Tuxtepec, Oaxaca.

Nombre del productor	Comunidad	Municipio	Edad de la plantación (años)	Superficie total (ha)	Superficie Estudiada (ha)
1. Policarpio Cuevas Largo	Cerro Tepezcuintle	Sn. Miguel Soyaltepec	4.0	2.00	0.75
2. Sebereano Cruz Marcos	Cerro Tepezcuintle	Sn. Miguel Soyaltepec	3.0	0.50	0.00
3. Juan Lucas Estrada	Cerro Tepezcuintle	Sn. Miguel Soyaltepec	3.0	2.75	0.75
4. Reyes Victoria Cruz	Cerro Tepezcuintle	Sn. Miguel Soyaltepec	4.0	1.00	0.00
5. Lucio Domingo Largo	Cerro Tepezcuintle	Sn. Miguel Soyaltepec	2.5	1.00	0.50
6. José Largo Terán	Cerro Tepezcuintle	Sn. Miguel Soyaltepec	2.5	1.25	0.25
7. Alejandro Victoria Matías	Cerro Tepezcuintle	Sn. Miguel Soyaltepec	3.0	1.00	0.00
8. Victorino Lucas E	Cerro Tepezcuintle	Sn. Miguel Soyaltepec	4.0	1.50	0.00
9. Benito Martínez Lavida	Cerro Tepezcuintle	Sn. Miguel soyaltepec	2.5	1.00	1.00
10. Julio Torres Jiménez	Arroyo Frijol	San José Chiltepec	2.5	1.60	1.60
11. Máximo Terán Benítez	Arroyo Frijol	San José Chiltepec	2.0	1.00	1.00
12. Félix Esteban Martínez	Arroyo Frijol	San José Chiltepec	1.5	1.40	1.40
13. Lorenzo Martínez Jiménez	Paso San Jacobo	Santiago Jocotepec	4.0	1.00	1.00
14. Juan Ramírez Jiménez	Paso San Jacobo	Santiago Jocotepec	6.0	3.00	3.00
15. Meliton Mendoza Martínez	Paso San Jacobo	Santiago Jocotepec	4.0	3.25	0.75
16. Alejandro Anaya Hgo.	Soledad Mazin	Tuxtepec	1.5 y 1.0	2.40	0.00
17. Isidro Anaya Hgo.	Soledad Mazin	Tuxtepec	3, 4, 5 y 7 ¹	9.30	9.30
18. Maximino Esteban C.	Soledad Mazin	Tuxtepec	4.8	3.64	1.64
19. Crispín Altamirano Rivera	Mazin Grande	San Lucas Ojitlan	2.5 y 7 ²	5.00	3.50
Total	5	5		43.54	24.80

¹ Productor que posee plantaciones de 2.5, 1.5, 2.0 y 3.3 ha (total =9.3 ha) y edades de 7, 5,4 y 3 años de edad, respectivamente.

² Productor que cuenta con plantaciones bajo estudio de 1.5 y 2.0 ha (total = 3.5 ha) y edades de 7 y 2,5 años de edad respectivamente.

La superficie de cada plantación bajo estudio varió de 0.5 a 3.3 ha, con intervalos de edad entre 1.5 y 7 años (Cuadro 3.1). Los árboles están distribuidos en marco real con espaciamientos de 3 × 3 m. En cada plantación se establecieron de una a cuatro parcelas de 1,000 m² cada una sumando un total de 58. Dentro de cada parcela se delimitó un área de 500 m² (Figura 3.2) y en ella se midieron variables dasométricas de los árboles circunscritos; posteriormente se ajustaron modelos de

crecimiento y rendimiento, además de obtener los índices de sitio de acuerdo al procedimiento mostrado en el Capítulo II.

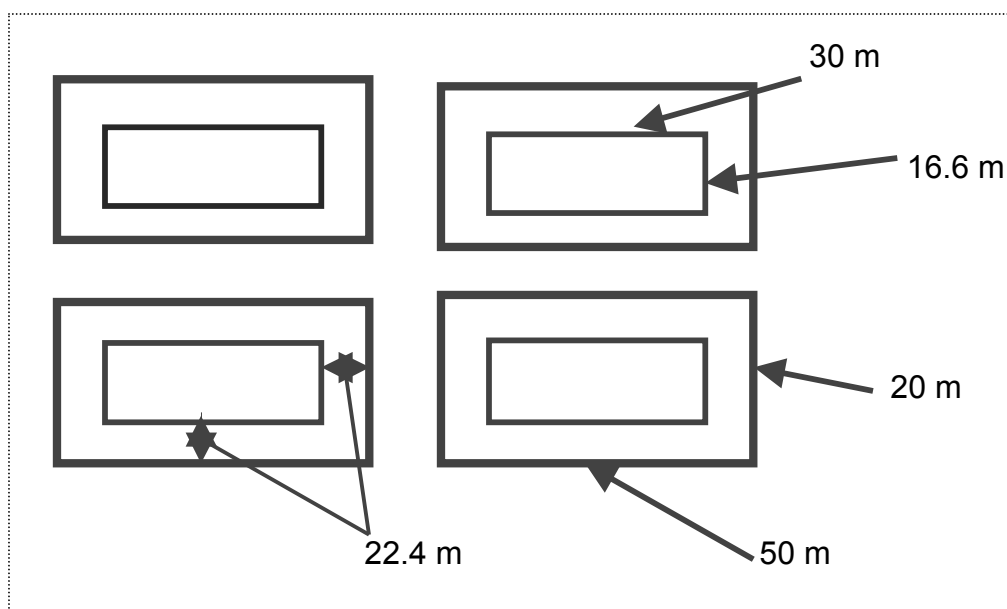


Figura 3.2. Diseño de la forma y distribución de las parcelas en las plantaciones seleccionadas.

3.4.2. Diseño, construcción, calibración y aplicación de encuestas

Con la finalidad de identificar y determinar los costos incurridos en el establecimiento y manejo de las plantaciones se construyó, calibró y aplicó una encuesta a cada uno de los 19 dueños de las plantaciones inicialmente identificados (Cuadro 3.1). El Anexo 3.1 muestra el formato empleado en las encuestas aplicadas.

3.4.3. Cálculo de costos y beneficios

Costos

Con la información obtenida de las encuestas se estimaron los costos incurridos en el establecimiento y manejo de las plantaciones de caoba y cedro en el

área de estudio. El Cuadro 3.2 muestra el resumen de los costos promedio involucrados en cada etapa del proceso durante los 15 años proyectados.

Cuadro 3.2. Resumen de los costos promedio¹ (\$·ha⁻¹) incurridos en el proceso de establecimiento y manejo de plantaciones de caoba-cedro durante el horizonte de planeación (15 años) en la región de Tuxtepec, Oaxaca.

Concepto	Cantidad/ha	Precio unitario	Año						
			0	1	2	3	4-9	10-15	
Adquisición de planta	1,100 Plantas	5.0	5,500.0						
Subtotal			5,500.0						
Preparación del terreno									
Roza-tumba-quema	33 Jornales	81.6	2,695.0						
Trazado, apertura de cepa y plantación	25.3 jornales	80	1,951.0						
Subtotal			4,646.0						
Fertilización									
Fertilizante	132 Kg	3.0		396.0	396.0				
Aplicación	1 Jornal	100.0		100.0	100.0				
Subtotal				496.0	496.0				
Control de malezas									
Productos químicos	3.2 L	82.9		267.0	267.0	267.0			
Aplicación (MO) ²	4.8 Jornales	88.9		517.0	517.0	517.0			
Manual (2.6 veces/año)	7.9 Jornales	93.3		1,916.0	1,916.0	1,916.0			
Subtotal				2,700.0	2,700.0	2,700.0	2,700.0		
Control de plagas									
Productos químicos (lts)	21.5 Jornales	108.8		2,342.7	2,342.7	2,342.7			
Aplicación (27.6 veces/año)	2.5 Jornales	83.8		5,782.2	5,782.2	5,782.2			
Subtotal				8,125.0	8,125.0	8,125.0			
Cercado del terreno									
Postes	132	5.0	660.0						
Alambre	4 rollos	335.0	1,340.0						
Mono de obra	15 Jornales	100.0	1,500.0						
Subtotal			3,500.0						
Otros									
Herramientas ³			800.0						
Vigilancia									200.0
Subtotal			800.0						200.0
Total			14,446.0	11,321.0	11,321.0	10,825.0	2,700.0		200.0

¹ Costos nominales promedio al año 2005-2020.

² MO =Mano de obra.

³ Bomba aspersora, hacha, machetes, pico, palas, entre otros.

Durante el periodo considerado (i.e. 2005-2020), los costos totales ascienden a \$65,313·ha⁻¹, de éstos, \$14,446·ha⁻¹ (22% del total) se destinan al establecimiento

de las plantaciones. Durante los primeros tres años, incluyendo los costos de establecimiento, se destinan $\$47,913 \cdot \text{ha}^{-1}$ lo que representa el 73.35% del costo total. Sin embargo, del año 4 al 9 el costo erogado es de $\$16,200 \cdot \text{ha}^{-1}$ (24.78% del total) y finalmente los costos involucrados del año 10 al 15, ascienden a $\$1,200 \cdot \text{ha}^{-1}$ (1.86% del total) (Cuadro 3.2). De lo anterior se concluye que los dueños de las plantaciones deberán contar con el recurso necesario durante los primeros tres años debido a que casi tres cuartas partes del recurso total se gastan en este periodo.

Ingresos

El turno de cosecha de 15 años se considera un periodo relativamente largo para las estimaciones, sobre todo porque no se cuenta con remediciones y los datos usados para las proyecciones provienen de plantaciones jóvenes (1.5 - 7.0 años). Sin embargo, se consideró ese periodo ya que se estima que a esta edad las plantaciones pudieran ser cosechadas para la obtención de algún producto maderable tales como chapa rebanada, artesanías, tablas, entre otros. Además, es un punto de referencia que sirve de base para obtener estimaciones robustas y útiles en la toma de decisiones. Los datos y modelos generados en este estudio pueden ser calibrados y validados a través del periodo de los 15 años.

Asimismo, el análisis no consideró la aplicación de cortas intermedias (aclareos) durante el periodo de planeación. De tal manera que los ingresos se calcularon con base a los volúmenes comerciales estimados $\cdot \text{ha}^{-1}$ a un diámetro mínimo de 5 cm a la punta en índices de sitio de 6, 8, 10 y 12 m de altura dominante. Bajo esta condición el volumen comercial estimado $\cdot \text{ha}^{-1}$ fue del 90% del volumen total en el año 15. Se tomó en cuenta el diámetro mínimo de 5 cm a la punta por

considerarse que con él es posible obtener productos comerciales de pequeñas dimensiones (*i.e.* artesanías, chapa enlistonada, y otros) (Cuadro 3.3). Otra razón fue la falta de identificación de un mercado diferenciado para los productos en rollo de las especies bajo estudio.

Cuadro 3.3. Volumen comercial ($\text{m}^3 \cdot \text{ha}^{-1}$)¹ estimado con la ecuación

$$V = 0.88359 AB^{1.06914} H^{0.88325} \text{ a una densidad de } 1,100$$

árboles·ha⁻¹ en diferentes índices de sitio (*IS*).

Edad (meses)	V O L U M E N ($\text{m}^3 \cdot \text{ha}^{-1}$)			
	<i>IS</i> = 6	<i>IS</i> = 8	<i>IS</i> = 10	<i>IS</i> = 12
3	5.64E-16	1.1349E-15	2.1571E-15	3.9548E-15
12	0.03	0.08	0.23	0.61
24	2.11	4.82	10.43	21.74
36	7.36	14.55	27.17	48.94
48	13.13	23.76	40.60	66.94
60	18.28	31.19	50.28	78.17
72	22.63	37.04	57.29	85.45
84	26.26	41.68	62.50	90.39
96	29.29	45.41	66.48	93.90
108	31.86	48.46	69.62	96.48
120	34.05	50.99	72.13	98.44
132	35.93	53.12	74.20	99.96
144	37.56	54.94	75.91	101.17
156	38.99	56.51	77.36	102.16
168	40.25	57.87	78.60	102.97
180	41.36	59.07	79.67	103.65

¹ Volumen estimado a un diámetro mínimo a la punta \geq a 5 cm.

El precio promedio nacional considerado fue de $\$2,500 \cdot \text{m}^{-3}$ rollo para especies preciosas (caoba y cedro) reportado por la CONAFOR-SEMARNAT (2003). El Anexo 3.2 muestra el valor de la producción·ha⁻¹ de las plantaciones de caoba-cedro en la región estudiada. Adicionalmente, se consideró el apoyo que recibieron los productores de $\$7,000 \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{año}^{-1}$ otorgado por el PRODEPLAN para gastos de establecimiento y mantenimiento.

3.4.4. Determinación del periodo de rotación

Desde un punto de vista financiero la edad óptima de cosecha ocurre cuando el valor neto presente (*VNP*) (*i.e.* una sola rotación) o valor esperado del suelo (*VES*) (*i.e.* rotaciones infinitas) es máximo o bien cuando el valor del crecimiento marginal es mínimo (Klemperer, 1996; Pearse, 1990). En este estudio se empleó el *VES* para determinar tal edad a través del modelo de Faustmann-Fischer (Faustman, 1995; Fischer, 1930) (Ecuación 1). Uno de los supuestos bajo el que opera este modelo es que el uso forestal del suelo será permanente, situación que se espera se presente en la región objeto de estudio.

$$VES = \frac{p \cdot V(T) \cdot e^{-r \cdot T} - C_o}{1 - e^{-r \cdot T}} + \text{Subsidio de Prodeplan} \quad \dots(1)$$

Donde: p es el precio de la madera ($\$ \cdot m^3$), $V(T)$ es el volumen comercial maderable (en $m^3 \cdot ha^{-1}$) a la edad T en años, C_o son los costos de regeneración o establecimiento ($\$ \cdot ha^{-1}$), $e^{-r \cdot T}$ es el factor de descuento en tiempo continuo, y el subsidio del PRODEPLAN correspondiente a $\$7,000 \cdot ha^{-1} \cdot año^{-1}$.

Al derivar el modelo (1) con respecto a los ingresos se obtiene el beneficio marginal (B_m) (Ecuación 2) y cuando se deriva con respecto a los costos se obtiene el costo marginal (C_m) (Ecuación 3). El tiempo de cosecha óptimo ocurre cuando los B_m y C_m son iguales.

$$B_m = p \cdot V'(T) \quad \dots(2)$$

$$C_m = r \cdot p \cdot V'(T) + r \cdot VES \quad \dots(3)$$

Donde:

$V'(T)$ = Crecimiento marginal ($m^3 \cdot ha^{-1} \cdot año^{-1}$), y r = Tasa de descuento (%).

3.4.5. Estimación de los indicadores de rentabilidad

Con la finalidad de conocer la rentabilidad de las plantaciones de caoba y cedro con apoyos del PRODEPLAN, se realizó una evaluación financiera utilizando los siguientes indicadores financieros: VNP , R^B/C y TIR durante el periodo de planeación. En la evaluación financiera se consideró el VNP o VAN (valor actual neto), y no el VES , por tratarse de un solo periodo de rotación (15 años), a diferencia del VES que también es un indicador financiero que actualiza el flujo de fondos pero con rotaciones infinitas (Clutter, 1983). Consecuentemente, el VNP permite hacer estimaciones comparativas con la R^B/C y la TIR en el mismo periodo de planeación.

Para el cálculo de los indicadores financieros se consideró una tasa anual de descuento real (r) de 3%. Lo anterior basado en Bilek (1996) quien indica que la tasa de descuento, a nivel internacional, varía entre 3 y 9%, correspondiendo la tasa de descuento más alta para plantaciones forestales de rotaciones cortas y viceversa. A nivel nacional, en la evaluación del PRODEPLAN (COLPOS, 2006)², para estimar el VNP del ejercicio fiscal 2005 se utilizó una tasa de descuento promedio anual de CETES³ de 7% (i.e. $r= 3\%$ e inflación= 4%) que correspondió al periodo de 1998 a 2003, más 3% como tasa de riesgo (Souto, 2003), la tasa resultante fue del 10%.

Asimismo, este estudio no incluyó la prima de riesgo e incertidumbre debido a la dificultad en su estimación (Souto, 2003; Valdez-Lazalde y Lewis, 2000). Sin embargo, aunque la estimación del riesgo e incertidumbre quedó fuera del alcance de este estudio, resulta importante su estimación debido a que una inversión en

² Colegio de Postgraduados (COLPOS). 2006. Evaluación del Programa para el Desarrollo de Plantaciones Comerciales (PRODEPLAN). Reporte de la Evaluación. Ejercicio Fiscal, 2005. 184 p + Anexos.

³ Certificados de la Tesorería de la Federación a 28 días; es una tasa de interés pasiva -Instituciones de ahorro no bancarios- en México. Títulos de crédito al portador denominados en moneda nacional a cargo del Gobierno Federal.

plantaciones forestales no produce un retorno económico inmediato y está sujeta a eventos casuales e incertidumbre que pueden alterarla (Acuña y Drake, 2003).

Además se consideró un IS de 10 con un rendimiento promedio de $52.6 \text{ m}^3 \cdot \text{ha}^{-1}$ durante el periodo de rotación. Finalmente, como la evaluación de la plantación se realiza con el arbolado en pie no se incurre en costos del proceso de abastecimiento y además por tratarse de plantaciones muy pequeñas tampoco se consideraron los costos de administración del proceso productivo.

En resumen, el análisis financiero consideró como escenario base lo siguiente: Una $r= 3\%$, p de $\$2,500 \cdot \text{m}^{-3}$ rollo de madera en pie para las dos especies (cedro y caoba), un Co de $\$14,000 \cdot \text{ha}^{-1}$ y un IS de 10 m. Las proyecciones se hicieron a un año base de cuatro años.

3.4.6. Análisis de sensibilidad

Se realizó un análisis de sensibilidad con la finalidad de observar el efecto en el VES ante posibles cambios de p , r y Co . Los valores considerados para p fueron $\$2,250$, $\$2,500$, $\$2,750$ y $\$3,000 \cdot \text{m}^{-3}$; para r de 2%, 4%, 6%, 8% y 10%; y finalmente, los valores de Co fueron $\$10,000$, $\$12,000$, $\$14,000$ y $\$16,000 \cdot \text{ha}^{-1}$. El Cuadro 3.4 muestra las diferentes combinaciones del análisis de sensibilidad mencionado sin considerar el subsidio otorgado por el PRODEPLAN.

Cuadro 3.4. Valores obtenidos del *VES* sin subsidio del PRODEPLAN con diferentes combinaciones entre la tasa real de descuento (r), precios de la madera (p) y los costos de establecimiento (Co), en rodales de 4 años de edad e *IS* 10.

		Edad del rodal 4 años			<i>IS</i> 10 m			
		$Co = \$14,000/ha$		$p = \$2,500 \cdot m^3$		$r = 3\%$		
r	P ($\$ \cdot m^{-3}$)	VES ($\$ \cdot ha^{-1}$)	r (%)	Co ($\$ \cdot ha^{-1}$)	VES ($\$ \cdot ha^{-1}$)	P ($\% \cdot m^{-3}$)	Co ($\$ \cdot ha^{-1}$)	VES ($\$ \cdot ha^{-1}$)
2	2250	323075.7	2	10000	496976.5	2250	10000	232178.7
4	2250	133790.9	4	10000	219345.1	2250	12000	214492.0
6	2250	71017.5	6	10000	127185.5	2250	14000	196805.3
8	2250	39871.3	8	10000	81393.2	2250	16000	179118.7
10	2250	21375.3	10	10000	54146.8	2500	10000	311792.7
2	2500	444949.9	2	12000	470963.2	2500	12000	294106.1
4	2500	192291.7	4	12000	205818.4	2500	14000	276419.4
6	2500	108438.9	6	12000	117812.2	2500	16000	258732.7
8	2500	66786.7	8	12000	74090.0	2750	10000	391406.8
10	2500	42013.8	10	12000	48080.3	2750	12000	373720.1
2	2750	566824.0	2	14000	444949.9	2750	14000	356033.4
4	2750	250792.6	4	14000	192291.7	2750	16000	338346.8
6	2750	145860.4	6	14000	108438.9	3000	10000	471020.8
8	2750	93702.1	8	14000	66786.7	3000	12000	453334.1
10	2750	62652.4	10	14000	42013.8	3000	14000	435647.5
2	3000	688698.2	2	16000	418936.5	3000	16000	417960.8
4	3000	309293.5	4	16000	178765.1	----	----	----
6	3000	183281.9	6	16000	99065.6	----	----	----
8	3000	120617.5	8	16000	59483.5	----	----	----
10	3000	83290.9	10	16000	35947.4	----	----	----

3.5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.5.1. Rotación óptima financiera

Los resultados indican valores negativos de *VES* a lo largo de todo el horizonte de planeación bajo el escenario base ($p= \$2,500.00 \cdot m^{-3}$ rollo de madera, $r= 0.03$ y $C_0= \$14.000 \cdot ha^{-1}$) y sin subsidio en rodales con $IS= 6$. Sin embargo, en plantaciones subsidiadas para el mismo IS , el *VES* se vuelve positivo después del año 13, alcanzando su máximo entre el año 14 y 15 (Cuadro 3.5). Es decir, rodales que crecen en sitios muy pobres ($IS= 6$) no alcanzan a acumular el suficiente volumen, consecuentemente, los costos superan a los ingresos a obtener por la venta de la madera. El impacto del PRODEPLAN es importante al principio del periodo de planeación y ésto se ve reflejado al convertir el *VES* en positivo al final del mismo (Cuadro 3.5).

La situación anterior cambia para los IS de 8, 10 y 12, obteniéndose valores de *VES* negativos solamente para los primeros cuatro, dos y un año, respectivamente (Cuadro 3.5). Lo anterior demuestra que la cosecha durante estos primeros años no es rentable. Esta situación es entendible debido a que el volumen diferenciado en esos años y con esos IS es muy cercano a cero.

El incremento positivo alcanza un máximo en $IS= 8, 10$ y 12 , para luego descender a través del horizonte de planeación; por ejemplo, para el IS de 8, el *VES* máximo ocurre entre los 7 y 8 años, mientras que para el IS de 12, éste se presenta entre 4 y 5 años (Cuadro 3.5). Los cambios crecientes y decrecientes del *VES* están estrechamente relacionados con el rendimiento en volumen de madera y éste a su vez con el IS .

Cuadro 3.5. *VES* estimado ($\$ \cdot \text{ha}^{-1}$) para el escenario base¹ y diferentes índices de sitio en rodales de caoba y cedro en la región de Tuxtepec, Oaxaca.

Edad (años)	IS 6 m		IS 8 m		IS 10 m		IS 12 m	
	C/SUB	S/SUB	C/SUB	S/SUB	C/SUB	S/SUB	C/SUB	S/SUB
0.25	-3850228.5	-3857228.5	-3850228.5	-3857228.5	-3850228.5	-3857228.5	-3850228.5	-3857228.5
1	-1218511.9	-1225511.9	-1214069.2	-1221069.2	-1202130.1	-1209130.1	-1170874.9	-1177874.9
2	-705948.4	-712948.4	-596142.1	-603142.1	-369584.1	-376584.1	87884.8	80884.8
3	-452651.1	-459651.1	-261796.7	-268796.7	73213.9	66213.9	651130.9	644130.9
4	-255293.6	-262293.6	-46920.0	-53920.0	283419.4	276419.4	799841.0	792841.0
5	-149235.7	-156235.7	50247.3	43247.3	345097.7	338097.7	776033.7	769033.7
6	-90737.0	-97737.0	92012.8	85012.8	348603.8	341603.8	705635.7	698635.7
7	-58098.6	-65098.6	106906.3	99906.3	329616.7	322616.7	628056.9	621056.9
8	-40107.1	-47107.1	108404.7	101404.7	302660.4	295660.4	555308.8	548308.8
9	-30698.2	-37698.2	103169.1	96169.1	273838.8	266838.8	490469.2	483469.2
10	-13081.3	-20081.3	107891.2	100891.2	258990.8	251990.8	446927.6	439927.6
11	-6124.3	-13124.3	103735.6	96735.6	238492.7	231492.7	403243.8	396243.8
12	-2098.4	-9098.4	98089.6	91089.6	219085.0	212085.0	364839.1	357839.1
13	-25.6	-7025.6	91715.0	84715.0	201019.2	194019.2	331005.5	324005.5
14	731.3	-6268.7	85059.7	78059.7	184345.3	177345.3	301089.1	294089.1
15	596.4	-6403.6	78388.0	71388.0	169018.2	162018.2	274520.9	267520.9

¹ donde: $p = \$2,500.00 \cdot \text{m}^{-3}$ rollo de madera, $r = 0.03$ y $Co = \$14,000 \cdot \text{ha}^{-1}$;

IS= Índice de sitio;

VES C/SUB = Valor esperado del suelo con subsidio;

VES S/SUB = Valor esperado del suelo sin subsidio.

Las condiciones con y sin subsidio para los IS= 8, 10 y 12 fueron irrelevantes en este caso (Cuadro 3.5), ya que no hay cambio en la variable respuesta (*VES*) que permita tomar una decisión diferente en cuanto a acortar o alargar la edad de cosecha.

Por otro lado, la Figura 3.3 muestra la tendencia de los *Bm* y *Cm* así como las edades de rotación óptimas encontradas con los IS= 8, 10 y 12. La igualdad entre el beneficio marginal (*Bm*) y los costos marginales (*Cm*) ocurre a edades más tempranas conforme el IS se incrementa (Figura 3.3). Por ejemplo, con el IS de 12 se obtiene una edad óptima de cosecha a los 5.5 años, con el IS de 10 se logra a los 9.6 y con IS de 8 la edad óptima aumenta a 10.2 años aproximadamente.

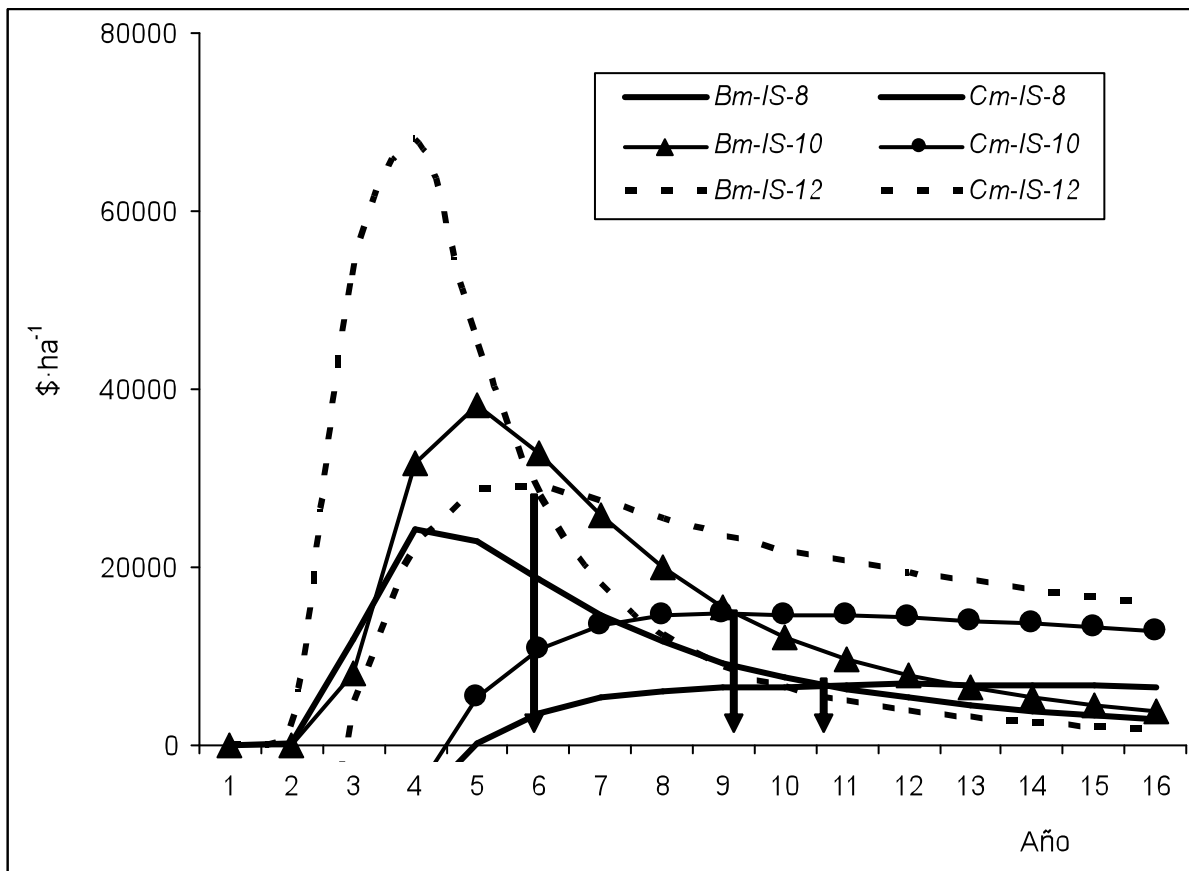


Figura 3.3. Edades de rotación óptima en rodales de caoba y cedro con *IS* de 8, 10 y 12 m, bajo el escenario base y un esquema sin subsidio.

Al analizar los *Bm* y *Cm* para el *IS* 12, se observa (Figura 3.3) que inicialmente el volumen de madera, traducido en *Bm*, crece a tasas crecientes superando a los *Cm*.

Al acumular biomasa, la plantación llega al punto en que su ritmo de crecimiento alcanza un máximo para luego disminuir aceleradamente e incluso más que los *Cm*, los cuales superan a los *Bm* después de la edad de rotación óptima (*i.e.* 5.5 años).

La disminución del ritmo de crecimiento y de su rentabilidad (Bm) probablemente se deba a la competencia de los árboles por luz, nutrimentos y espacio. Para seguir manteniendo el ritmo inicial de crecimiento de los árboles sería recomendable realizar prácticas culturales tales como los aclareos y la fertilización a lo largo del periodo de planeación. La determinación de un programa adecuado de tratamientos intermedios (aclareos, podas, fertilización, otros) será materia prima para investigaciones posteriores en las plantaciones bajo estudio.

Finalmente, las edades óptimas encontradas a edades tempranas de cosecha tiene implicaciones financieras, por ejemplo, después de la edad óptima, los Cm tienden a estabilizarse, sin embargo, los Bm continúan decreciendo lo que implica que el VES tienda a disminuir (Figura 3.3). Esta disminución será cada vez mayor a medida que se alargue la cosecha. Es decir, después de la edad óptima de cosecha, el propietario empieza a perder sus ganancias a medida que deja pasar más tiempo.

Además, desde el punto de vista biológico, las edades óptimas de cosecha estimadas bajo los IS analizados, se consideran muy cortas. Cosechar a esas edades implicaría obtener arbolado de pequeñas dimensiones y consecuentemente es probable que no se obtendrían productos comerciales. Es decir, aunque la edad de rotación sea óptima para cualquier IS (Figura 3.3), no se recomienda realizar su cosecha. En su lugar se sugiere aplicar prácticas de manejo para mantener los Bm por arriba de los Cm hasta llegar al punto en el tiempo en que el arbolado adquiriera las dimensiones adecuadas para la obtención de los productos requeridos en el mercado.

3.5.2. Evaluación financiera de las plantaciones de caoba-cedro

El Cuadro 3.6 presenta el flujo de fondos de los beneficios y costos actualizados a una $r=3\%$ desde el año 0 al año 15 (2005-2020), así como los indicadores de rentabilidad (R^B/c , TIR y VNP) bajo el esquema con y sin subsidio en el proceso de producción de caoba-cedro en la región bajo estudio.

Cuadro 3.6. Cálculo del valor neto presente (VNP), relación beneficio-costos (R^B/c) y tasa interna de retorno (TIR) en plantaciones forestales comerciales de caoba y cedro bajo el esquema con subsidio.

Año del proyecto	CI (\$/ha)	FA 3%	VAC (3%) (\$/ha)	Beneficios (\$/ha)	FA 3%	VAB (3%) (\$/ha)
0	14,446.00	1.00	14,446.00		1.00	
1	11,321.00	0.97	10,991.26	7,000.00	0.97	6,796.12
2	11,321.00	0.94	10,671.13		0.94	
3	10,825.00	0.92	9,906.41		0.92	
4	2,700.00	0.89	2,398.92		0.89	
5	2,700.00	0.86	2,329.04		0.86	
6	2,700.00	0.84	2,261.21		0.84	
7	2,700.00	0.81	2,195.35		0.81	
8	2,700.00	0.79	2,131.40		0.79	
9	2,700.00	0.77	2,069.33		0.77	
10	200.00	0.74	148.82		0.74	
11	200.00	0.72	144.48		0.72	
12	200.00	0.70	140.28		0.70	
13	200.00	0.68	136.19		0.68	
14	200.00	0.66	132.22		0.66	
15	200.00	0.64	128.37	199,175.00	0.64	127,842.85
Total	65,313.00	12.94	60,124.05	206,175.00	12.93	134,638.97
			Con PRODEPLAN		SIN PRODEPLAN	
		R^B/c	2.24		2.13	
		TIR	10.51		9.34	
		VNP	74,408.56		67,612.45	

CI = Costo de inversión;
 FA = Factor de actualización;
 VAC = Valor actual de costos;
 VAB = Valor actual de los beneficios.

Bajo el esquema con subsidios del PRODEPLAN, los indicadores demuestran una rentabilidad aceptable del proyecto (Cuadro 3.6). Por ejemplo, la R^B/c obtenida indica que por cada peso que invierte el productor, éste recobra lo invertido y

además obtiene una ganancia de \$1.24 en un período de 15 años. La *TIR* promedio obtenida es casi 4% más alta que los CETES (7%), y el *VNP* promedio es de $\$6,200 \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{año}^{-1}$.

Por otro lado, al comparar los esquemas con y sin subsidio, se observa que existe una reducción a 0.11, 1.17% y $\$6,796.11 \cdot \text{ha}^{-1}$ en la R^B/C , *TIR* y *VNP*, respectivamente (Cuadro 3.6). Con lo anterior, y por el tamaño pequeño que tienen las plantaciones bajo estudio, se puede decir que el impacto del PRODEPLAN no es significativo durante el periodo de planeación. Sin embargo, este apoyo se considera importante al principio del mismo (*i.e.* al establecimiento de las plantaciones) ya que es en esta etapa donde el productor requiere de una mayor inversión (Cuadro 3.6).

3.5.3. Análisis de sensibilidad

A continuación se describen los resultados del análisis de sensibilidad sobre el valor esperado del suelo (*VES*) considerando cambios en la tasa de descuento (r), en el precio de la madera (p) y el costo de establecimiento (C_0) a través del periodo de planeación. El análisis se basó en edades de rodales con *IS* 10 y bajo un esquema sin subsidio.

VES vs r

La Figura 3.4 muestra el efecto de diferentes r sobre el *VES* a lo largo del horizonte de planeación. Se observa que manteniendo constante una r ($r= 2\%$) el *VES* se incrementa de manera importante con valores negativos que van desde $\$550,000 \cdot \text{ha}^{-1}$ en el año 1 hasta alcanzar un máximo positivo de $\$560,000 \cdot \text{ha}^{-1}$ en el

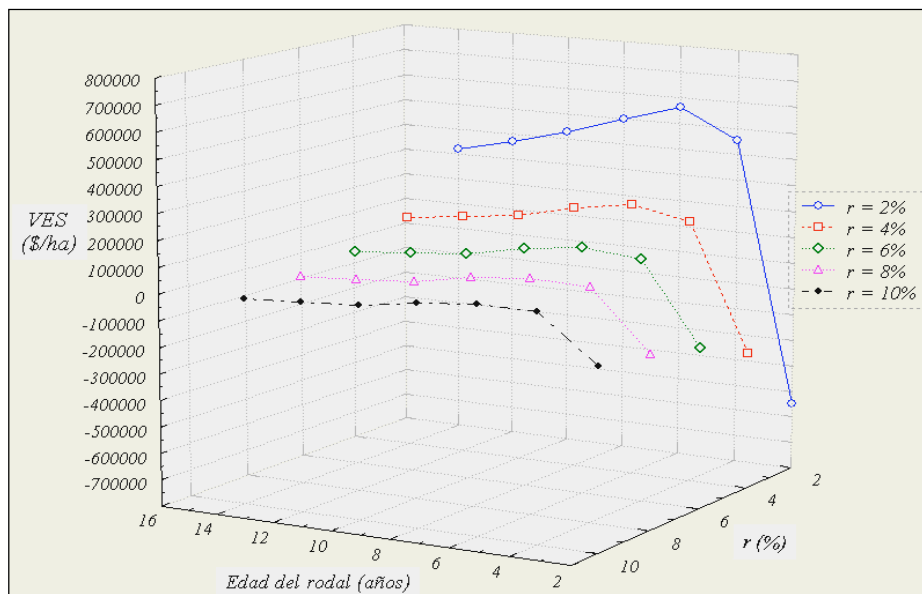


Figura 3.4. Efecto del incremento de la tasa de descuento (r) y la edad sobre el valor esperado del suelo (VES) en especies de caoba y cedro en la región bajo estudio.

año 6. Después de este año, el VES tiende a disminuir de manera gradual a lo largo del horizonte de planeación hasta alcanzar valores de $\$300,000 \cdot \text{ha}^{-1}$ en el año 15.

El comportamiento anterior es de esperarse, de acuerdo al modelo (1), ya que al inicio del periodo únicamente se contabilizan los costos. Sin embargo, a medida que transcurre el tiempo la plantación empieza a acumular biomasa aceleradamente hasta alcanzar un máximo en volumen y valor. Lo anterior hace que los Bm superen en gran medida a los Cm . Después del punto máximo, la biomasa disminuye su ritmo de crecimiento y su rentabilidad probablemente debido a la competencia ejercida entre los individuos (Figura 3.3) consecuentemente la diferencia entre los Cm y Bm se hace cada vez más grande. Por lo tanto, después del año 6, el VES tiende a disminuir paulatinamente.

Por otro lado, al empezar a incrementar la r ($r= 4, 6, 8, \text{ y } 10\%$), el VES decrece inversamente (Figura 3.4). Por ejemplo, con $r= 2$ y 4% se obtiene un VES positivo y a medida que r aumenta ($r = 6, 8 \text{ y } 10\%$) el VES adquiere valores negativos a lo largo del periodo de planeación (Figura 3.4).

De lo anterior se deriva que entre más baja sea una r , mayor rentabilidad podría haber en los proyectos de inversión. Tal como lo considera Polyakov (1999), la r resulta ser uno de los aspectos polémicos en la economía forestal, por lo que puede impactar significativamente al momento de estimar el valor de los flujos de efectivo en el tiempo (Bullard *et al.*, 2002). De hecho, una de las grandes preocupaciones de los gobiernos en vías de desarrollo es mantener las tasas de interés estables y lo más bajo posible con la finalidad de alcanzar niveles productivos aceptables en los proyectos de inversión pero sobre todo para conservar los recursos naturales (González *et al.*, 1990).

VES vs p

Este escenario muestra el comportamiento del VES ante un incremento gradual en p , el cual va desde $\$2,250$ a $\$3,000 \cdot \text{m}^{-3}$ en intervalos de $\$250 \cdot \text{m}^{-3}$ (Figura 3.5). Para una $p= \$3,000 \cdot \text{m}^{-3}$, el VES alcanza su máximo a la edad de 6 años para luego descender rápidamente. Esto se debe a que el crecimiento marginal de la biomasa decrece de igual manera y consecuentemente su rentabilidad (Figura 3.3).

Finalmente, a medida que p incrementa o disminuye, el VES también lo hace de manera proporcional (Figura 3.5).

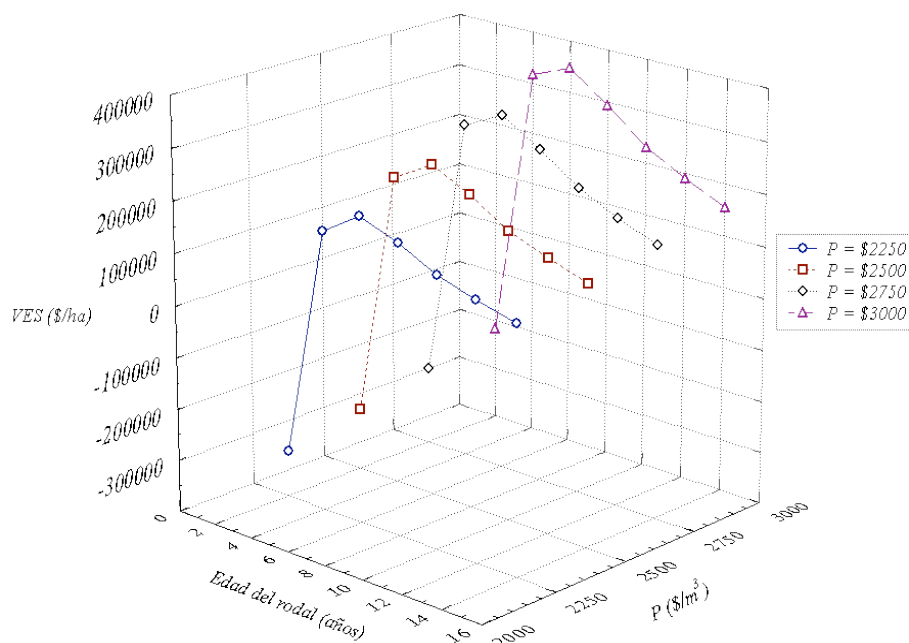


Figura 3.5. Efecto del incremento del precio de la madera (p) a través del periodo estudiado sobre el valor esperado del suelo (VES) en especies de caoba y cedro en Tuxtepec, Oaxaca.

VES vs C_0

La Figura 3.6 muestra que manteniendo un $C_0 = \$10,000 \cdot \text{ha}^{-1}$ constante, el VES incrementa inicialmente en forma acelerada hasta alcanzar un máximo a la edad de 6 años, después de ese tiempo, éste disminuye gradualmente a través del periodo de planeación. Lo anterior se debe a que después del punto máximo, los B_m decrecen más que los C_m (Figura 3.3). En general, cuando C_0 aumenta, el VES disminuye y viceversa (Figura 3.6).

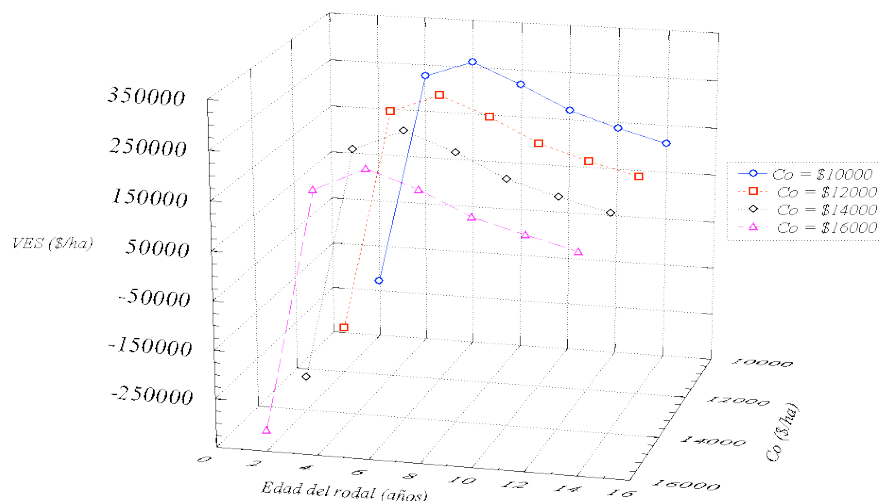


Figura 3.6. Efecto del incremento en el costo de establecimiento (C_o) y de la edad sobre el valor esperado del suelo (VES) en especies de caoba y cedro en el área de estudio.

VES vs r y p

La Figura 3.7 muestra el comportamiento del VES^4 ante cambios en r y p , manteniendo constante C_o . Bajo este escenario, el VES alcanza su máximo valor a una $r=2\%$ y un $p= \$3,000 \cdot m^{-3}$, y un mínimo a una $r=10\%$ y un $p= \$2,250 \cdot m^{-3}$.

Por otro lado, manteniendo constante C_o (v.g. $C_o= \$2,250 \cdot ha^{-1}$), y aumentando r se observa que el VES es mayor a intervalos de 2 a 4% en r en comparación a intervalos superiores de la misma. Con respecto a p , y manteniendo constante r (v.g. $r=10$), se observa que el comportamiento del VES es proporcional a los incrementos en p . En general, se aprecia que el VES es más sensible ante cambios en r que en p . (Figura 3.7). Consecuentemente, uno de los elementos decisivos en la toma de decisiones en las plantaciones bajo estudio es el análisis de la r .

⁴ Cada punto mostrado en la Figura 3.7 corresponde a un nivel de VES producto de la combinación de r y p . Los colores de cada franja indican intervalos de VES de $\$60,000 \cdot ha^{-1}$.

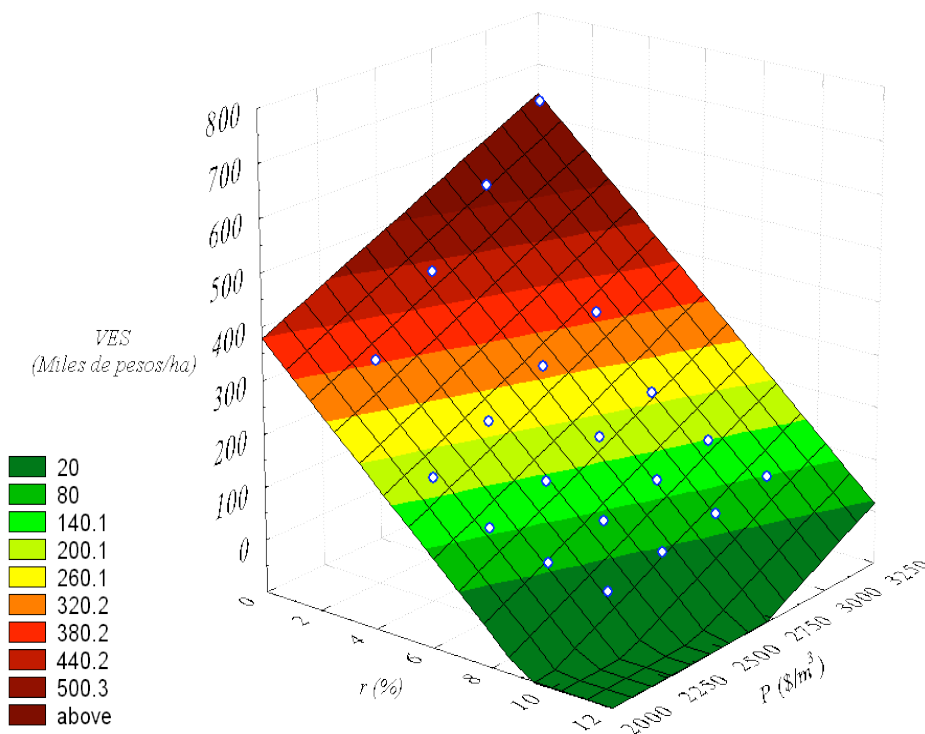


Figura 3.7. Efecto de cambios en la tasa de descuento (r) y el precio de la madera (p) en el VES . Se consideró un IS de 10 en especies de caoba y cedro bajo el esquema sin subsidio en Tuxtepec, Oaxaca.

VES vs C_o y r

En la Figura 3.8 se muestra que conforme aumenta C_o y r , el VES tiende a disminuir de manera gradual y viceversa. En este escenario, al igual que el anterior, el VES es más sensible a cambios pequeños en r que ante cambios en los C_o .

VES vs C_o y p

Este escenario muestra que el VES mantiene una relación directamente proporcional ante incrementos en p y disminuciones en C_o (Figura 3.9). Es decir, a p altos y C_o bajos, el VES tiende a ser máximo y mínimo cuando ocurre lo contrario. Sin embargo, bajo este escenario, el VES presenta una mayor sensibilidad a los cambios en p en comparación a los C_o , lo cual se manifiesta en la amplitud de los ervalos (Figura 3.9)

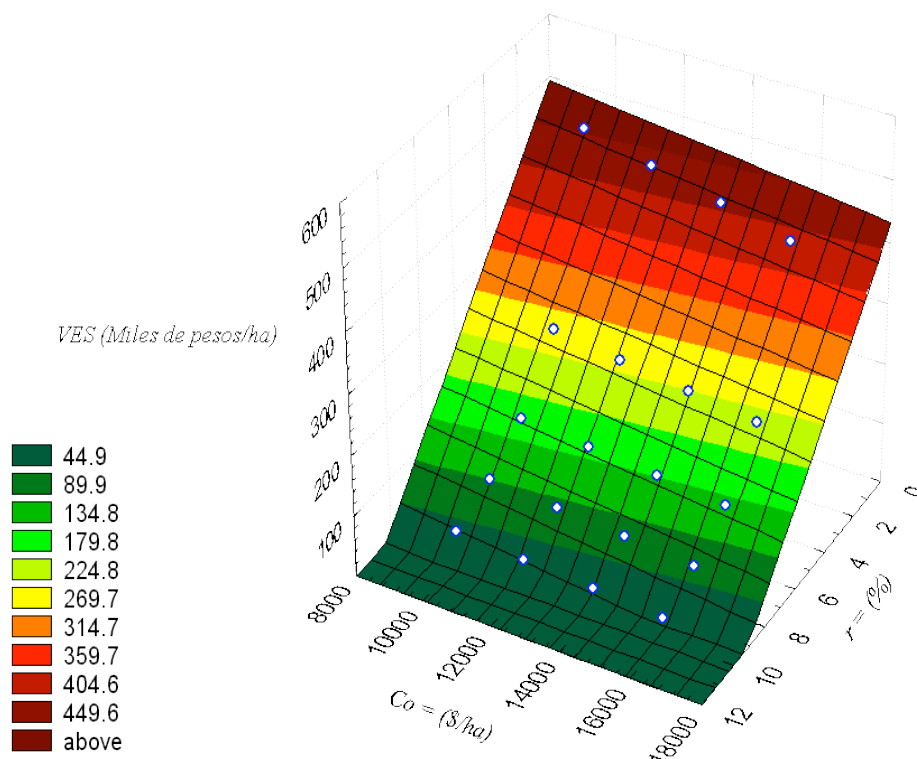


Figura 3.8. Efecto del incremento de la tasa de descuento (r) y del costo de establecimiento (C_o) sobre el VES en rodales de IS 10 m en especies de caoba-cedro bajo el esquema sin subsidio.

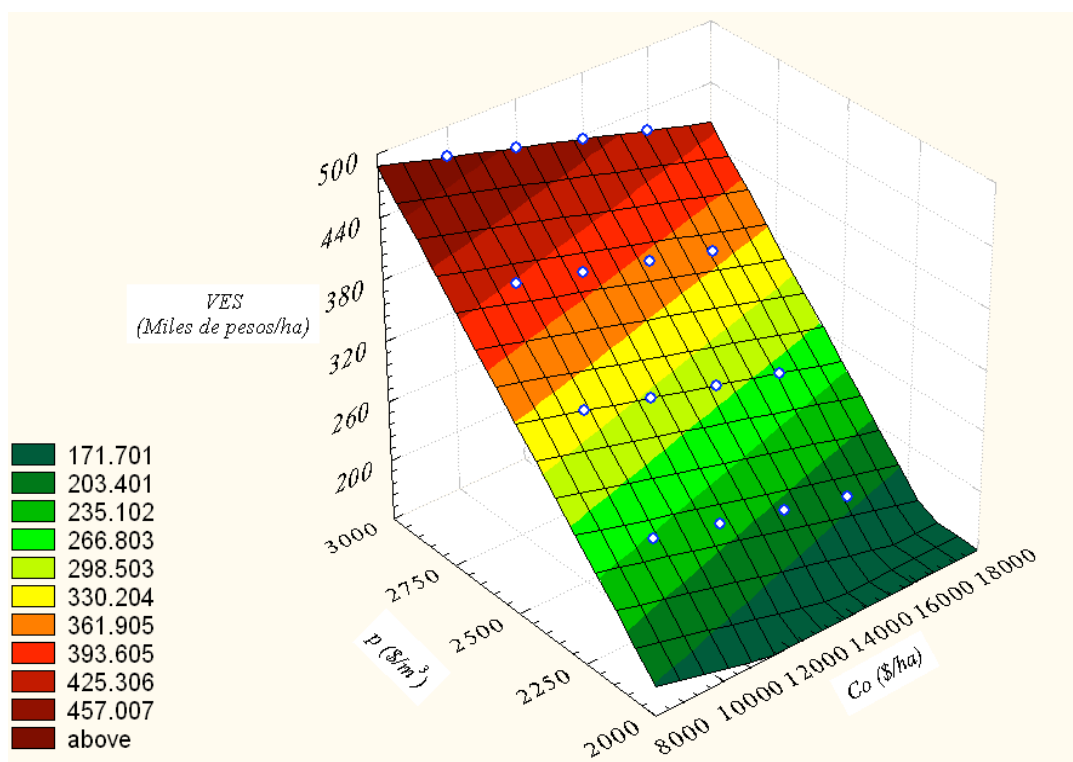


Figura 3.9. Efecto del incremento en el precio de la madera (p) y del costo de establecimiento (C_o) sobre el VES en especies de caoba.

3.6. CONCLUSIONES

La edad de rotación de las plantaciones de caoba y cedro en la región de Tuxtepec, Oaxaca, presenta una relación inversa con la calidad de sitio (IS). Cuando se estima el VES para un sitio pobre ($IS= 6$) y con una tasa real de descuento (r) del 3%, éste no alcanza a ser positivo durante los 15 años proyectados sin subsidio del PRODEPLAN. Sin embargo, en $IS= 8, 10$ y 12 , el VES se vuelve positivo después de los años 4, 2 y 1, alcanzando su máximo entre la edad de 8-9, 6-7 y 4-5, respectivamente.

El análisis financiero en plantaciones subsidiadas indican una R^B/C de 2.24, TIR de 10.51% y VAN de $\$74,408.56 \cdot \text{ha}^{-1}$. Sin embargo, cuando las plantaciones no reciben subsidio, la R^B/C es 2.13, TIR de 9.34% y VAN de $\$67,612.45 \cdot \text{ha}^{-1}$. El impacto de los apoyos del PRODEPLAN en microempresas forestales, como las estudiadas, no repercute significativamente en la longitud del periodo de rotación ni en los indicadores económicos. Probablemente, esta situación se invierta en empresas medianas y grandes.

Los escenarios construidos indican que el VES se incrementa ante una baja en r o en Co , y ante una alza en p , y viceversa.

3.7. LITERATURA CITADA

- Acuña, C. E. y A. F. Drake. 2003. Análisis del riesgo en la gestión forestal e inversiones silviculturales: Una revisión bibliográfica. Universidad de Concepción. Valdivia, Chile. *Revista Bosque* 24(1):113-124.
- Bilek, T. 1996. Rate of return in forestry. www.metla.fi/archive/forest/1996/03/msg00047.html.
- Bullard, S. H., Gunter, J. E., Doolittle, M. L. y K. G. Arano. 2002. Discount rate for nonindustrial private forest landowners in Mississippi: ¿How high a hurdle?. *Southern Journal of Applied Forestry* 26(1):27-31.
- Coss B., R. 1993. Análisis y evaluación de proyectos de inversión. Editorial Limusa. 2ª México, DF. 375 p.
- CONAFOR, SEMARNAP. 2003. Anuarios estadísticos de la producción forestal. Subsecretaría de Recursos Naturales. Dirección General Forestal. México. www.semarnat.gob.mx/ssrn/DGForestal/dirgenfor.htm.
- Clutter J. L., J. C. Fortson, L. V. Pienaar, G. H. Brister, R. L. Bailey. 1983. Timber management a quantitative approach. John Wiley & Sons, New York. 333 p.
- Faustmann M. 1995. Calculation on the value which forest land and immature stands possess for forestry. *Journal of Forest Economics* 1(1):7-44.
- Fisher I. N. 1930. The theory of interest. Macmillan. Londres, K.E. 612 p.
- FMI AFAC (Fundación Mexicana para la Investigación Agropecuaria y Forestal A. C.) 2005. Plan de negocios para el cultivo de las especies forestales comerciales de caoba (*Swietenia macrophylla* K.) y cedro (*Cedrela odorata* L.). Noviembre del 2005. www.aneuaaan.org.mx/planesdenegocios/reporte_cultivos.pdf.
- Gittinger J., P. 1983. Análisis económico de proyectos agrícolas. 2ª. Edición. Ed. Tecnos. Madrid. 532 p.
- González G., M. de J., M. Mendoza B., G. Bueno de A., y S. A. Winter. 1990. Representación de la empresa forestal en un sistema económico. *Agrociencia* 1 (1): 65-82.
- Hernández D., J. C. y Prieto R., J. A. 1992. Análisis de rentabilidad financiera en plantaciones forestales. Memoria del simposio sobre reforestación forestal, Chihuahua, Chih. INIFAP. 402 p.

- Ikäheimo, E., Kosonen, M., Lehtonen, P. y Nogués, H. A. 1995. Manual del programa de evaluación de proyectos de plantaciones forestales, Versión 3.1. Acuerdo de cooperación en materia forestal entre México y Finlandia. México, D. F. 40 p.
- Klemperer, W. D. 1996. Forest resource economics and finance. McGraw Hill, New York. 551 p.
- Losa E., G. 2002. Proceso de planificación para el establecimiento de proyectos de plantaciones forestales comerciales. Tesis de Maestría. División de Ciencias Forestales. Chapingo, México. 275 p.
- Martínez E., R. 1999. Manual de valoración de montes y aprovechamientos forestales. Ed. Mundi-Prensa. 163 p.
- Muñante P., D. 2004. Apuntes para el seminario de titulación sobre formulación y evaluación de proyectos de inversión. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, México. 141 p.
- Nogués H., A. 2004. Evaluación financiera de una plantación forestal comercial de cedro rosado (*Acrocarpus flaxinifolius*) en el municipio de Coyutla, Edo. De Veracruz. Seminario de titulación. División de Ciencias Forestales. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, México. 43 p.
- Pearse, P. H. 1990. Introduction to forestry economics. University of British Columbia Press. 248 p.
- Polyakov, M. O. 1999. Valuation of forest in Ukraine. Master of Science, N° 7. Section of Building and Real Estate Economics Department of Real Estate and Construction Management Royal. Institute of Technology. Stockholm, Sweden. 58 p.
- Protti A., F. 1982. Evaluación económica financiera del proyecto de plantaciones forestales en La Frailesca, Chiapas. Tesis de Maestría. Colegio de Posgraduados. Chapingo, México. 143 p.
- Ramírez., M. H. y Torres., R. M. A. 1984. Plantaciones forestales. In: Tercera reunión nacional sobre plantaciones forestales. Publicación especial No. 48. INIF. México. 332-334 p.
- Souto N., G. 2003. El descuento social. Revista de Economía Pública 165(2): 99-126.
- Valdez-Lazalde, J. R. y D. K. Lewis. 2000. Merchantable and total volume equations for thinned natural stands of *patula* pine in Puebla, Mexico. Agrociencia 34(6):759-771.

3.8. ANEXOS

ANEXO 3.I. Formato de encuesta para obtener información sobre el proceso de producción de plantaciones de caoba y cedro.

Datos de control

NOMBRE PRODUCTOR (RA) JEFE (FA) DE FAMILIA _____
 DOMICILIO _____
 LOCALIDAD _____
 MUNICIPIO _____
 NOMBRE DEL PREDIO _____
 NOMBRE DEL ENTREVISTADO _____
 FECHA DE ENTREVISTA: DÍA _____ MES _____ AÑO **2005**

Características generales de la parcela o plantación

Ubicación geográfica: Longitud O: _____ Latitud N: _____
 Profundidad del suelo: 1 (Profundo) 2 (Poco profundo) 3 (Somero)
 Topografía: 1 (Plana) 2 (Ondulada) 3 (Accidentada)
 Exposición del terreno: 1 (Norte) 2 (Sur) 3 (Este) 4 (Oeste)
 Textura: 1 (Fina) 2 (Media) 3 (Gruesa)
 Tipo de erosión: 1 (Severa) 2 (Moderada) 3 (Imperceptible)
 % de pedregosidad _____
 Densidad de plantación _____
 Arreglo de las plantas _____

Consideraciones técnicas

1. Origen y obtención de la planta _____

1. Produce Ud. la planta si () no ()
2. Precio de la semilla (k) _____
3. Dónde compra la semilla _____
4. Tipo de sustrato germinativo _____
5. Tipo y precio de bolsa para la germinación _____
6. Tiempo de germinación _____
7. Edad y tamaño requerido para el trasplante _____
8. No. y costo de jornales familiares _____
9. No. y costo de jornales asalariado _____
10. No. y costo de jornales para transportar la planta a la parcela _____

2. Como adquiere la planta

1. La compra si () no ()
2. Costo unitario _____
3. Se la regalan si () no ()
4. Quien se las regala _____
5. No. y costo de jornales para transportar la planta a la parcela _____

3. Prepara el terreno para la plantación si () no ()
4. Que actividades realiza
1. Roza y quema: si () no () Equipo utilizado _____
a) No. y costo de jornales familiares o asalariados _____
 2. Barbecha y rastrea si () no ()
a) Yunta propia b) Tractor propio c) renta yunta o tractor
5. costo/ha de dichas actividades _____
6. Marcan o tienden hilo para ubicar el lugar de las cepas si () no ()
1. Número y costo de jornales para esta actividad _____
 2. Costo/ha y número de jornales familiar o asalariado en la construcción de las cepas _____
7. La plantación se realiza de manera:
1. Familiar
 2. Asalariada
 3. Costo y Número de jornales/ha
8. Controlan la maleza o hierbas si () no ()
1. Si es manual:
 - a) Herramientas utilizadas _____
 - b) Cuántas veces al año _____
 - c) Costo y número de jornales familiares o asalariados que emplea _____
 2. Si es químico:
 - a) Productos utilizados _____
 - b) Método y periodos de aplicación _____
 - c) Dosis aplicadas de los productos _____
 - d) Valor de los productos _____
 - e) Si existe asesoría técnica quién la da y costo _____
 - f) No. y costo de jornales en la aplicación _____
9. Fertiliza si () no ()
- 1) Tipos de fertilizantes _____
 - 2) Periodos de aplicación _____
 - 3) Forma y dosis de aplicación _____
 - 4) Precios de los fertilizantes _____
 - 5) No. y costo de jornales para aplicar los fertilizantes _____
10. Controlan plagas y enfermedades si () no ()
- 1) Tipo de plagas y enfermedades que atacan cedro y caoba _____
 - 2) Época de incidencia _____
 - 3) Cómo las controlan _____

- 4) Productos químicos utilizados _____
- 5) Dosis de aplicación _____
- 6) Costo de los productos _____
- 7) No. Y costo de jornales en la aplicación de químicos _____
- 8) Si existe asesoría técnica cuánto cuesta y quién la da _____

11. Cosecha y comercialización de la producción regional

- 1) Edad de cosecha de la plantación _____
- 2) Destino de la cosecha _____
- 3) Forma de comercialización _____
 - a) Trozo corto
 - b) Medida comercial
 - c) Brazuelo
- 4) Precio de la madera _____

12. Que otros productos agrícolas produce de manera combinada con caoba y cedro

- 1) Maíz
- 2) Fríjol
- 3) Otro

13. Que otros cultivos realiza diferentes a la caoba y cedro de manera independiente

- 3) Caña de azúcar
- 4) Árbol del hule
- 5) Otros

14. Costo por actividad de cada cultivo de la pregunta 13 y 16

- 1) Barbecho (\$/ha)
- 2) Rastreo (\$/ha)
- 3) Siembra (\$/ha)
- 4) Fertilización (\$/ha)
- 5) Deshierbes (\$/ha)
- 6) Doblado del maíz (\$/ha)
- 7) Cosecha (\$/ha)

15. Número y costo de jornales familiares o asalariados donde se hace necesario

16. Cuanto produce de cada cultivo (Kg. o ton)

17. Precio y valor de cada producto cosechado

18. Destino de lo producido

- 1) Consumo familiar
- 2) Venta

19. Subsidios

- 1) Procampo (\$/ha) _____
 - 2) Prodeplan (\$/ha) _____
 - 3) Sanidad vegetal (\$/ha) _____
 - 4) Otros subsidios _____
-

Anexo 3.2. Valor de la producción considerando un precio nominal de la madera de \$2,500·m⁻³ rollo al año 2005 a lo largo del horizonte de planeación e índice de sitio (*IS*).

<i>Edad (años)</i>	<i>IS 6</i>	<i>IS 8</i>	<i>IS 10</i>	<i>IS 12</i>
1	75.00	200.00	575.00	1,525.00
2	5,275.00	12,050.00	26,075.00	54,350.00
3	18,400.00	36,375.00	67,925.00	122,350.00
4	32,825.00	59,400.00	101,500.00	167,350.00
5	45,700.00	77,975.00	125,700.00	195,425.00
6	56,575.00	92,600.00	143,225.00	213,625.00
7	65,650.00	104,200.00	156,250.00	225,975.00
8	73,225.00	113,525.00	166,200.00	234,750.00
9	79,650.00	121,150.00	174,050.00	241,200.00
10	85,125.00	127,475.00	180,325.00	246,100.00
11	89,825.00	132,800.00	185,500.00	249,900.00
12	93,900.00	137,350.00	189,775.00	252,925.00
13	97,475.00	141,275.00	193,400.00	255,400.00
14	100,625.00	144,675.00	196,500.00	257,425.00
15	103,400.00	147,675.00	199,175.00	259,125.00
Total	947,725.00	1,448,725.00	2,106,175.00	2,977,425.00

CAPÍTULO IV

CONCLUSIONES E IMPLICACIONES

México junto con América Latina y el Caribe son las regiones que cuentan con la mayor diversidad de especies animales, vegetales y de ecosistemas en el mundo, lo que constituye un gran potencial para su conservación y aprovechamiento. Sin embargo, conflictos políticos y sociales, el abandono de las tierras o los cambios de uso, así como el fomento de las prácticas ilegítimas como la tala clandestina, han provocado un problema socio-ambiental que ha contribuido a que México presente una de las tasas más altas de deforestación del planeta, con superficies que fluctúan alrededor de las 650,000 ha·año⁻¹ (Masera *et al.*, 1992).

Asimismo, a pesar del enorme potencial forestal que México tiene, estimado en poco más de 56 millones de hectáreas de bosques y selvas, la productividad es poca, sobrepasando en promedio un m³·ha⁻¹·año⁻¹, mientras que en países como Canadá o los Estados Unidos este rendimiento es tres veces mayor. Por otra parte, mientras la productividad por hectárea en bosques naturales es relativamente poca, en plantaciones tropicales se han llegado a obtener rendimientos superiores a los 50 m³·ha⁻¹·año⁻¹ (Subcomité Técnico de Plantaciones Forestales, 1995).

De acuerdo a datos del Inventario Nacional Forestal Periódico, México cuenta con aproximadamente 8 millones de ha con aptitud para establecer plantaciones forestales de especies coníferas y latifoliadas con un excelente potencial biológico, físico y climático (CONAFOR, 2007). Consecuentemente, el establecimiento de las plantaciones forestales y la obtención de productos y servicios derivados de las

mismas, podría contrarrestar la presión ejercida en el aprovechamiento de los bosques naturales evitando su disminución y deterioro, además de ayudar a disminuir la balanza negativa que México tiene en productos forestales como los celulósicos.

La primera plantación forestal con propósitos comerciales en México se estableció hace más de treinta años en el estado de Oaxaca con la participación de algunas empresas internacionales. Sin embargo, a partir de la implementación del PRODEPLAN en 1997, esta actividad se ha incrementado en México sobretodo en el mismo estado de Oaxaca, con el establecimiento de especies de maderas tropicales de rápido crecimiento y de mayor valor económico entre las que destacan la caoba y cedro rojo.

En la región de Tuxtepec, Oaxaca ha proliferado el establecimiento de plantaciones de caoba y cedro cuyas edades oscilan actualmente entre 10 y un año. Estas plantaciones se caracterizan por ser pequeñas a muy pequeñas (alrededor de 1-2 ha), en regímenes de propiedad privada y que se desarrollan en distintas condiciones biofísicas y ambientales. Los productores son de bajos recursos económicos que complementan sus ingresos con otras actividades como el cultivo de caña de azúcar y la engorda de becerros.

Debido a lo reciente de la actividad en materia de plantaciones forestales en la región y a la falta de recursos económicos, actualmente los propietarios no cuentan con suficiente información útil requerida en el proceso de la toma de decisiones para el buen manejo actual y futuro de sus empresas. Por tal motivo, en 2005 se inició el presente estudio con la finalidad de conocer el comportamiento del crecimiento y otras variables dasométricas ante condiciones físico-ambientales en 18 plantaciones

de caoba y cedro establecidas en la región y con apoyos del PRODEPLAN. Asimismo, como parte del estudio, se adaptó una metodología para generar información referencial sobre la determinación de la edad óptima de cosecha, evaluación financiera y análisis de sensibilidad sobre las plantaciones bajo estudio.

El Capítulo II describe la forma en que se establecieron 58 parcelas permanentes en las plantaciones estudiadas y cómo se obtuvo información dasométrica para ajustar una serie de modelos y definir aquel que mejor explicara y se ajustara a la tendencia de variables como altura, volumen, índice de sitio, área basal, entre otras, a través del tiempo.

Los modelos seleccionados de crecimiento y rendimiento fueron el de Schumacher para altura total, índice de sitio, volumen·ha⁻¹ y área basal, mientras que para el volumen comercial y total, el modelo de ahusamiento de Peinaar-Rheney fue el que mejor se ajustó a la base de datos. Finalmente, con ambos modelos se construyó una tabla de volúmenes para caoba y cedro en la región de Tuxtepec.

Uno de los aspectos valiosos de esta parte del estudio es el contar con parcelas permanentes de caoba-cedro que permitirán la remediación del arbolado con la finalidad de aceptar o ajustar las tendencias encontradas con los modelos generados. Asimismo, a través de las tablas de rendimiento se pueden generar y evaluar múltiples alternativas (v.g. aclareos, efectos de fertilización, otros) lo que constituye una herramienta útil en la toma de decisiones para el administrador o productor.

El Capítulo III determina la conveniencia financiera del establecimiento de plantaciones forestales comerciales a través de determinar y analizar la edad óptima de cosecha, estimar los costos y beneficios y construir el flujo de fondos para realizar

la evaluación financiera con y sin apoyos provenientes del PRODEPLAN. Asimismo, se realizó un análisis de sensibilidad para ver los efectos del valor esperado del suelo (VES) ante posibles cambios de la tasa real de descuento (r), costos de establecimiento (Co) y precios de la madera (p) obtenidos al final de la rotación (15 años).

En relación a la edad óptima de rotación, el análisis indicó que ésta tiende a disminuir a mayores índices de sitio (IS). En sitios pobres (*i.e.* $IS= 6$) no se cuenta con la capacidad productiva suficiente y en consecuencia la producción de madera ocurre de manera más lenta en comparación a aquellos sitios más productivos (*v.g.* $IS= 8, 10$ o 12).

El análisis financiero, a través de los indicadores y con el subsidio del PRODEPLAN, mostró una rentabilidad de 2.24, 10.51% y $\$74,408.56 \cdot \text{ha}^{-1}$ para la R^B/C , TIR y VAN, respectivamente.

Finalmente, el análisis de sensibilidad indica que el VES incrementa cuando r o Co bajan y p incrementa y viceversa.

A nivel general, este capítulo muestra, bajo los supuestos considerados, que las plantaciones comerciales bajo estudio son rentables dentro del periodo de 15 años evaluado. Sin embargo, los resultados aquí reportados deben de considerarse con cautela principalmente por la falta de información y por tratarse únicamente de la primera medición. Remediones posteriores permitirán aceptar o ajustar las tendencias encontradas. Por otra parte, también es importante considerar que el subsidio que proporciona el PRODEPLAN para el establecimiento de las plantaciones no será indefinido por lo que los análisis económicos más reales son aquellos que no consideran a éste.

Finalmente, con las adecuaciones que al caso correspondan, es importante resaltar que los propietarios de plantaciones de caoba y cedro en la región de Tuxtepec, Oaxaca podrán hacer uso de los resultados encontrados en este estudio, ya que se considera una herramienta útil para la toma de decisiones futuras.

4.1. LIMITACIONES

La presente investigación se realizó con microempresas familiares las cuales son plantaciones forestales pequeñas de 0.25 a 5 ha. Aunado a lo reciente de las mismas, y a la falta de experiencia en la actividad por parte de los dueños, se carece de un sistema de contabilidad preciso que detalle los costos que los productores han desembolsado en las diferentes etapas del proceso productivo.

Las plantaciones forestales de caoba y cedro en la región constituyen una inversión de mediano plazo para los productores. Ellos han invertido en las plantaciones muchas veces incentivados por el apoyo que actualmente brinda el PRODEPLAN con la esperanza de obtener beneficios futuros. Debido a que son empresas muy pequeñas, los productores no cuentan con economías de escala, lo que se refleja en los costos incurridos en el proceso productivo y como consecuencia en el margen de las ganancias netas a ser obtenidas.

La falta de información del mercado local o regional sobre el precio futuro de los insumos y de los productos y subproductos que obtendrían al final del periodo de rotación, hace difícil la precisión en los resultados. Asimismo, el volumen estimado y los análisis posteriores en este estudio se basaron únicamente en la calidad de sitio intermedio ($IS= 10$ m) y no con otros IS que permitieran comparar los resultados o sus tendencias.

Por otro lado, este trabajo valoró el volumen comercial al 90% del total, obtenido con el modelo de ahusamiento de Pienaar-Rheney. No se consideró una distribución de productos que pudiera arrojar estimaciones más precisas sobre el volumen de los productos y subproductos a obtener en las plantaciones estudiadas. Esta decisión se tomó como un ejercicio académico; sin embargo, se considera que

el volumen comercial y los beneficios obtenidos están sobrestimados. Aún cuando se hubiera podido construir una tabla de volumen considerando una distribución de productos, ésta no hubiera arrojado resultados realistas debido a lo joven de las plantaciones y a la escasez de información de la dinámica de crecimiento de las especies, por lo es muy importante considerar lo anterior en trabajos futuros.

Asimismo, los modelos construidos no deben generalizarse ya que son producto de una sola medición. Las plantaciones no solamente producen bienes sino también servicios, los cuales no se contabilizaron en el análisis.

Por lo anterior, el análisis financiero, así como la determinación de la edad óptima de rotación y los escenarios sobre el análisis de sensibilidad, deberían de considerarse con cautela.

4.2. RECOMENDACIONES PARA FUTUROS TRABAJOS

Se sugiere realizar trabajos similares en plantaciones más grandes, con edades mayores y diferentes regiones con la finalidad de contar con un marco comparativo e integral que permita tomar decisiones más acertadas en el manejo de las plantaciones forestales.

El PRODEPLAN ha canalizado recursos económicos significativos para el desarrollo de las plantaciones. Sin embargo, por el tamaño de las plantaciones estudiadas, el apoyo no resulta significativo en aquellos productores que tienen acceso al subsidio ya que no reduce significativamente los costos del proceso productivo. En este sentido, el gobierno federal a través de la CONAFOR, debería canalizar recursos para la generación de paquetes tecnológicos útiles a los pequeños y medianos productores en la toma de decisiones a nivel regional. Aunque existen recursos a través de los proyectos sectoriales, no existe una política orientada con tal finalidad.

El establecimiento de las parcelas permanentes y la medición misma implica la inversión de mucho esfuerzo y recursos, razón por la cual se deben resguardar o conservar para llevar a cabo las remediciones y obtener la información que permita realimentar y validar los modelos generados.

La información generada a través de investigación en donde participa personal técnico, investigadores y productores debe socializarse en todos los niveles de manera oportuna y expedita para complementar o retroalimentar el conocimiento lo cual puede derivar en la generación de paquetes tecnológicos o capacitación directa

a través de talleres o asistencia técnica para el buen desempeño de las labores y obtención del máximo beneficio.

En este mismo contexto, es de suma importancia realizar un estudio de distribución de productos y un análisis de mercado a nivel local, regional e internacional de los diferentes productos y subproductos que se esperan obtener considerando la oferta, demanda, análisis de precios y su comercialización, todo esto enfocado a lograr una mejor competitividad.

4.3. LITERATURA CITADA

Masera O., M. Ordóñez y R. Dirzo. 1992. Evaluación y vigilancia de los bosques. Emisiones de carbono a partir de la deforestación en México. *Unasylva* 210 (43):151-153.

Subcomité Técnico de Plantaciones Forestales-Consejo Nacional Forestal. 1995. Impulso a las Plantaciones Forestales Comerciales. <http://www.ine.gob.mx/ueajei/publicaciones>

CONAFOR. 2007. Bosque y desarrollo. <http://www.conafor.gob.mx/portal/index.php>.