

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA  
ANTONIO NARRO

DIVISIÓN DE AGRONOMÍA



**Programa de Cortas Intermedias Para Conducir un Bosque de *Pinus rudis* Endl.  
Hacia una Condición Futura Deseada en Arteaga, Coahuila.**

**POR:**

**RUSBELI GARCÍA PINTO**

**TESIS**

**Presentada como requisito parcial para obtener el título de:**

**INGENIERO FORESTAL**

**Saltillo, Coahuila, México**

**Mayo de 2012**

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO  
DIVISIÓN DE AGRONOMÍA  
DEPARTAMENTO FORESTAL

Programa de Cortas Intermedias Para Conducir un Bosque de *Pinus rudis* Endl. Hacia  
una Condición Futura Deseada en Arteaga, Coahuila.

POR:

**RUSBELI GARCÍA PINTO**

TESIS

Presentada como requisito parcial para obtener el título de:

**INGENIERO FORESTAL**

Aprobada

M.C. José Armando Nájera Castro  
Asesor Principal

M.C. José Aniseto Díaz Balderas  
Coasesor

M.C. Jorge David Flores Flores  
Coasesor

Dr. Leobardo Bañuelos Herrera  
Coordinador de la División de Agronomía

Coordinación  
División de Agronomía  
Saltillo, Coahuila, Mexico

Mayo de 2012

## DEDICATORIA

**A mis queridos padres, Rafael García Roblero y Guadalupe Pinto Velasco.** Por estar a mi lado, por sus consejos, apoyo y alegría que siempre me han brindado.

**A mis hermanos** por sus consejos, cariño y bendiciones, que de una u otra forma me brindaron siempre su apoyo.

## AGRADECIMIENTOS

**A Dios** por darme la vida, salud, inteligencia, por guiarme en el mejor camino, porque con su grandeza, todo ha sido posible.

**A la Universidad Autónoma Agraria “Antonio Narro” mi “ALMA MATER”** por abrirme sus puertas, y de esa forma lograr uno de los sueños más anhelados, dando un paso más en mi vida profesional.

**Al Departamento Forestal** y a sus maestros por apoyarme en mi formación y brindarme sus conocimientos, que sin duda me servirán en el desarrollo como profesionista.

**Al M.C. José Armando Nájera Castro** Maestro del Departamento Forestal, por asesorarme durante este trabajo de tesis, así como por su orientación, apoyo, amistad y confianza brindada como persona.

**Al M. C. Aniseto Díaz Balderas** Maestro del Departamento Forestal, por su asesoría y participación en la revisión de este trabajo y por compartir sus conocimientos como maestro.

**Al M. C. Jorge David Flores Flores** Maestro del Departamento Forestal, por su asesoría y participación en la revisión de este trabajo y por compartir sus conocimientos como maestro.

A mis amigos y compañeros de la generación (Eber Addael López Juárez, Bartolomé Santiago García y Leonardo Daniel Ramírez Ruíz) que me apoyaron en la toma de datos de campo.

A mis compañeros de generación que me brindaron su apoyo y amistad durante mi estancia en la universidad y a todas aquellas personas que por el momento mi mente deja escapar.

<b>ÍNDICE DE CONTENIDO</b>	Pag.
<b>ÍNDICE DE CUADROS</b> .....	iv
<b>ÍNDICE DE FIGURAS</b> .....	vi
<b>RESUMEN</b> .....	vii
<b>I. INTRODUCCIÓN</b> .....	1
1.1 Objetivos.....	2
1.2 Hipótesis.....	2
<b>II. REVISIÓN DE LITERATURA</b> .....	3
2.1 Aspectos silvícolas.....	3
2.2 Cortas intermedias y de regeneración.....	4
2.2.1 Cortas intermedias.....	4
2.2.2 Tratamientos complementarios.....	6
2.2.3 Corta de regeneración.....	8
2.3 Métodos de regeneración para rodales coetáneos.....	8
2.4 Método de regeneración para rodales incoetáneos.....	9
2.5 Estructuras del bosque de coníferas.....	9
2.6 Turno.....	11
2.7 Uso múltiple del bosque.....	14
2.8 Métodos de ordenación.....	15
2.9 Sistema de manejo regular.....	16
2.10 El proceso de manejo u ordenación forestal.....	17
2.11 Manejo de la densidad en rodales coetáneos.....	21
2.12 Tablas de producción.....	22
2.13 Crecimiento.....	23
2.14 Modelos de crecimiento.....	25
2.15 Condición futura deseada.....	27
2.16 Trabajos afines.....	27
<b>III. MATERIALES Y MÉTODOS</b> .....	29
3.1 Localización y descripción del área de estudio.....	29
3.1.1 Ubicación.....	29

3.1.2	Clima.....	30
3.1.3	Suelo.....	30
3.1.4	Vegetación.....	30
3.1.5	Especie objeto de estudio.....	31
3.2	Metodología.....	31
3.2.1	Diseño de muestreo.....	31
3.2.2	Forma y tamaño de los sitios.....	31
3.2.3	Selección del sitio.....	31
3.2.4	Registro de datos.....	32
3.2.5	Registro de datos para sitios .....	32
3.2.6	Determinación de la condición silvícola presente.....	34
3.2.7	Ajuste de variables dasométricas.....	34
3.2.8	Cálculo de parámetros dasométricos.....	35
3.2.9	Uso de los incrementos originales y de los resultados de investigación en cada etapa de las diferentes alternativas.....	37
3.2.10	Distribución de productos.....	39
3.2.12	Cálculo de la distribución de productos en porcentaje de las diferentes alternativas silvícolas.....	41
3.2.13	Valor de la producción de cada alternativa silvícola.....	41
3.2.14	Condición silvícola y dasométrica futura deseada.....	42
3.2.15	Distribución de productos deseada.....	43
3.2.16	Análisis de alternativas silvícolas.....	43
<b>IV.</b>	<b>RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....</b>	<b>46</b>
4.1	Condición original.....	46
4.1.1	Densidad y grado de densidad.....	49
4.1.2	Crecimiento e incremento.....	49
4.2.	I.C.A. en diámetro posterior al aclareo con los datos generados por Hernández (1994).....	54
4.3	Volumen y porcentajes de la distribución de productos original.....	55
4.4	Condición silvícola futura deseada.....	56
4.5	Selección de alternativas.....	57
4.5.1	Alternativa 1 sin manejo silvícola.....	57
4.5.2	alternativa 2 aclareo por lo alto.....	63

4.4 Alternativa 3 aclareo mixto.....	70
4.6 Distribución de productos.....	77
4.6.1 Volumen de la distribución de productos de la alternativa 1 sin aclareo silvícola.....	77
4.6.2 Volumen de la distribución de productos de la alternativa 2 aclareo por lo alto.....	78
4.6.3 Volumen de la distribución de productos de la alternativa 3 aclareo mixto.....	79
4.7 producción total y valor de la producción.....	80
4.7.1 Producción total para la alternativa 1 sin manejo silvícola.....	80
4.7.2 Valor de la producción total de la alternativa 1 sin manejo silvícola...	81
4.7.3 Producción total para la alternativa 2 aclareo por lo alto.....	81
4.7.4 Valor de la producción total de la alternativa 2 aclareo por lo alto.....	82
4.7.5 Producción total para la alternativa 3 aclareo mixto.....	83
4.7.6 Valor de la producción total de la alternativa 3 aclareo mixto.....	84
4.8 Proyección final de la alternativa seleccionada y su comparación con la condición silvícola futura deseada.....	84
4.8.1 Condición silvícola futura deseada.....	84
4.9 Turno.....	88
<b>V. CONCLUSIONES.....</b>	<b>89</b>
<b>VI. RECOMENDACIONES.....</b>	<b>91</b>
<b>VII. LITERATURA CITADA.....</b>	<b>92</b>
<b>APÉNDICE.....</b>	<b>96</b>

## ÍNDICE DE CUADROS

Figura		Pág.
1	Número de árboles ha <sup>-1</sup> para diferentes grados de densidad de acuerdo con la guía de densidad para <i>Pinus rudis</i> Endl. elaborada por Alonso (1996).....	36
2	Incremento corriente anual promedio por categoría diamétrica antes y después del aclareo de la tesis de Hernández (1994).....	38
3	Valor de los productos forestales.....	42
4	Densidad, volumen y área basal del área de estudio.....	46
5	Altura ajustada con respecto a la edad.....	50
6	Diámetro medio con respecto a la edad.....	51
7	Incremento corriente anual e incremento medio anual promedio en volumen por categoría diamétrica.....	52
8	Incremento corriente anual e incremento medio anual promedio en diámetro por categoría diamétrica.....	53
9	Incremento corriente anual e incremento medio anual promedio en altura por categoría diamétrica.....	54
10	Incrementos antes y después del aclareo, y el porcentaje de I.C.A. e I.M.A. ganado después del aclareo en diámetro.....	55
11	Volumen (m <sup>3</sup> r. t. a. ha <sup>-1</sup> ) y porcentajes de la distribución de productos original.....	56
12	Estructura dasométrica meta al final del turno.....	57
13	Densidad ha <sup>-1</sup> , área basal ha <sup>-1</sup> y volumen ha <sup>-1</sup> de la proyección al año 2022 de la alternativa 1 sin manejo silvícola.....	58
14	Densidad ha <sup>-1</sup> , área basal ha <sup>-1</sup> y volumen ha <sup>-1</sup> de la proyección al año 2032 de la alternativa 1 sin manejo silvícola.....	59
15	Condición original remoción y condición residual en densidad, área basal y volumen por categoría diamétrica para los años 2012, 2022 y 2032 de la alternativa 1 sin manejo silvícola.....	61
16	Grado de densidad original y proyectado para el año 2022 y 2032.....	63
17	Altura, diámetro y edad media original y proyectada para el año 2022 y 2032.....	63
18	Densidad ha <sup>-1</sup> , área basal ha <sup>-1</sup> y volumen ha <sup>-1</sup> de la proyección al año 2022 de la alternativa 2 aclareo por lo alto.....	64
19	Densidad ha <sup>-1</sup> , área basal ha <sup>-1</sup> y volumen ha <sup>-1</sup> de la proyección al año 2032 de la alternativa 2 aclareo por lo alto.....	65
20	Condición original, remoción y condición residual en densidad, área basal y volumen por categoría diamétrica para los años 2012, 2022 y	

	2032 de la alternativa 2 aclareo por lo alto.....	68
21	Grado de densidad original y proyectado para el año 2022 y 2032.....	70
22	Altura, diámetro y edad media original y proyectada para el año 2022 y 2032.....	70
23	Densidad ha <sup>-1</sup> , área basal ha <sup>-1</sup> y volumen ha <sup>-1</sup> de la proyección al año 2022 de la alternativa 3 aclareo mixto.....	71
24	Densidad ha <sup>-1</sup> , área basal ha <sup>-1</sup> y volumen ha <sup>-1</sup> de la proyección al año 2032 de la alternativa 3 aclareo mixto.....	72
25	Condición original, remoción y condición residual en densidad, área basal y volumen por categoría diamétrica para los años 2012, 2022 y 2032 de la alternativa 3 aclareo mixto.....	75
26	Grado de densidad original y proyectado para el año 2022 y 2032.....	77
27	Altura, diámetro y edad media original y proyectada para el año 2022 y 2032.....	77
28	Volumen (m <sup>3</sup> r. t. a. ha <sup>-1</sup> ) y porcentajes de la distribución de productos de la alternativa 3 sin aclareo silvícola.....	78
29	Volumen (m <sup>3</sup> r. t. a. ha <sup>-1</sup> ) y porcentajes de la distribución de productos del la alternativa 2 aclareo por lo alto.....	79
30	Volumen (m <sup>3</sup> r. t. a. ha <sup>-1</sup> ) y porcentajes de la distribución de productos del la alternativa 3 aclareo mixto.....	80
31	Producción total para la alternativa 1 sin manejo silvícola en m <sup>3</sup> r. t. a. ha <sup>-1</sup> al final del turno.....	81
32	Valor de la producción total de la alternativa 1 sin manejo silvícola en pesos (\$ ha <sup>-1</sup> ).....	81
33	Producción total por etapa intervenida en m <sup>3</sup> r. t. a. ha <sup>-1</sup> de la alternativa 2 aclareo por lo alto.....	82
34	Valor de la producción por etapa intervenida en pesos (\$), de la alternativa 2 aclareo por lo alto.....	83
35	Producción total por etapa intervenida en m <sup>3</sup> r. t. a. ha <sup>-1</sup> .....	83
36	Valor de la producción por etapa intervenida en pesos (\$ ha <sup>-1</sup> ).....	84
37	Estructura dasométrica meta al final del turno de la condición silvícola futura deseada.....	85
38	Variables dasométricas de la alternativa seleccionada 3 aclareo mixto.....	86

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura		Pág.
1	Localización del área de estudio en la Sierra de las Alazanas, Arteaga, Coahuila.....	29
2	Densidad por categoría diamétrica de la estructura original.....	47
3	Área basal por categoría diamétrica de la estructura original.....	48
4	Volumen por categoría diamétrica de la estructura original.....	49
5	Curva de crecimiento ajustada de edad-altura del área de estudio.....	50
6	Curva de crecimiento edad-diámetro medio del área de estudio.....	51
7	Densidad, área basal y volumen proyectado al año 2022 de la alternativa 1 sin majo silvícola.....	59
8	Densidad, área basal y volumen proyectado al año 2032 de la alternativa 1 sin majo silvícola.....	60
9	Condición original remoción y condición residual en densidad, área basal y volumen por categoría diamétrica para los años 2012, 2022 y 2032 de la alternativa 1 sin manejo silvícola.....	62
10	Densidad, área basal y volumen original, residual y proyectado al año 2022 de la alternativa 2 aclareo por lo alto.....	65
11	Densidad, área basal y volumen original, residual y proyectado al año 2032 de la alternativa 2 aclareo por lo alto.....	66
12	Condición original, remoción y condición residual en densidad, área basal y volumen por categoría diamétrica para los años 2012, 2022 y 2032 de la alternativa 2 aclareo por lo alto.....	69
13	Densidad, área basal y volumen original, residual y proyectado al año 2022 de la alternativa número 3 a clareo mixto.....	72
14	Densidad, área basal y volumen original, residual y proyectado al año 2032 de la alternativa 3 aclareo mixto.....	73
15	Condición original, remoción y condición residual en densidad, área basal y volumen por categoría diamétrica para los años 2012, 2022 y 2032 de la alternativa 3 aclareo mixto.....	76
16	Densidad, área basal y volumen de la condición silvícola futura deseada.....	85
17	Densidad, área basal y volumen original y proyectado de la alternativa seleccionada aclareo mixto.....	87

## RESUMEN

El presente trabajo se elaboró con el fin de analizar 3 alternativas de manejo silvícola y llevar el rodal de *Pinus* a una condición silvícola futura deseada, se hizo un diagnóstico de la condición silvícola presente y de esa forma se propuso la condición silvícola futura deseada donde la densidad antes y después de las cortas se mantuviera entre el 60 y 80 %, un 80 % de grado de densidad al final del turno, un área basal mínima de  $30 \text{ m}^2 \text{ ha}^{-1}$ , un diámetro medio del rodal de 40 cm, una amplitud máxima de 5 categorías diamétricas con un diámetro mínimo de 30 cm y finalmente se esperó que al menos el 60 % del volumen total generara productos primarios y la curva generada por la estructura en densidad, área basal y volumen presente una distribución normal. Las alternativas de manejo silvícola fueron: 1 sin manejo silvícola, 2 aclareo por lo alto y 3 aclareo mixto.

La mejor alternativa de manejo fue la 3 aclareo mixto, presentando un grado de densidad de 74.01 % en 2012, 77.88 % en 2022 y 74.86 % en 2032, un área basal de  $32.714 \text{ m}^2 \text{ ha}^{-1}$ , 38 cm de diámetro medio del rodal, una amplitud de 5 categorías diamétricas con un diámetro mínimo de 28 cm, el 83.27 % del volumen total genera productos primarios, la curva generada en densidad, área basal y volumen presenta una distribución normal, además la edad para el diámetro medio de 38 cm con 18 metros de altura media es de 82 años, lo que representa una reducción del turno en comparación con las otras dos alternativas de manejo. La producción y el valor de la producción para la alternativa 3 aclareo mixto es de  $530.280 \text{ m}^3 \text{ r. t. a. ha}^{-1}$  con un valor de \$ 507,558  $\text{ha}^{-1}$  al final del turno, por lo que se recomienda usar esta alternativa de manejo silvícola para llevar el bosque a la condición silvícola futura deseada, ya que presenta una mayor producción y valor del mismo, en comparación con la alternativa 1 sin manejo silvícola y alternativa 2 aclareo por lo alto.

Palabras clave: Alternativas de manejo silvícola, condición silvícola futura deseada, *Pinus rudis* Endl, escenarios futuros.

## I. INTRODUCCIÓN

Grandes extensiones de bosques se pierden en el mundo, provocado por los efectos antropogénicos sobre los ecosistemas forestales; se estima que anualmente se destruyen alrededor de 11 millones de hectáreas de bosques, provocándose cambios marcados en la estructura y composición de los ecosistemas forestales, aunque parte de estas, se regeneran por medio del proceso sucesional (Jardel y Sánchez, 1989).

Por otra parte Caballero (2000) menciona que el recurso forestal y las diferentes actividades que se desarrollan a partir de este, han tenido una importante influencia en la vida nacional, y han constituido también, el hábitat de la fauna silvestre y de numerosas asociaciones vegetales; regulan y generan los mantos acuíferos indispensable para la supervivencia de las zonas urbanas y de la agricultura; mientras que desde el punto de vista social, la importancia del recurso forestal la ha constituido el hecho de que, al aportar madera y otras materias primas, ha generado empleos y una cantidad de bienes, como el caso de los productos aserrados, los tableros de madera o el papel; así mismo, estos han sido relevantes en el contexto de la actividad económica y el desarrollo del país.

Los bosques son ecosistemas dinámicos que están en constante cambio, y para obtener información relevante que sirva en la toma de decisiones durante el manejo, es necesario proyectar esos cambios (Vargas *et al.*, 2008). El Método de Desarrollo Silvícola (MDS) constituye una opción metodológica, que puede considerarse para manejar un bosque bajo lineamientos de regularidad, en el cual los aclareos se aplican en la etapa de mayor crecimiento, la corta de regeneración en las etapas de menor crecimiento del bosque, que es donde el turno finaliza, y promoverá la regeneración natural, misma que se liberará en el siguiente ciclo de corta (Cano, 1998).

Un plan de cortas intermedias es de mucha importancia en la regularización del bosque, y en la producción de bienes y servicios para satisfacer muchas de las necesidades de la sociedad; para tal efecto, se deben tomar en cuenta todos los factores que

influyen en la productividad del sitio (Vargas *et al.*, 2008). Con la elaboración de un plan de cortas intermedias se cuenta con una herramienta que brinda información del tiempo y la intensidad en que las cortas puedan aplicarse, según los objetivos a alcanzar, las condiciones del sitio y del arbolado. En la Sierra de Arteaga, Coahuila, México se han elaborado estudios relevantes en el manejo forestal. Tal es el de caso una guía de densidad elaborada por Alonso (1996), así como una tabla de producción por Franco (1997) y la evaluación de la estructura y crecimiento de un bosque de *Pinus* después de un aclareo por Hernández (1994), herramientas de gran importancia en el manejo forestal, que pueden ayudar en el proceso de regularización. Por lo anterior es importante elaborar un programa de cortas intermedias para llevar al bosque a una condición regular futura, tomando en cuenta su condición original y así contar con una herramienta más, que ayudará en el proceso de regularización y mejorar la productividad del bosque.

## 1.1 Objetivos

### Objetivo General

- ❖ Elaborar un programa de intervenciones silvícolas para conducir a un bosque de coníferas a una condición futura deseada.

### Objetivos Específicos

- ❖ Elaborar un diagnóstico de la condición silvícola presente.
- ❖ Establecer la condición silvícola y dasométrica ideal futura.
- ❖ Analizar alternativas silvícolas.

## 1.2 Hipótesis

Ho: Ninguna alternativa silvícola permite obtener la condición silvícola futura deseada.

Ha: Al menos una alternativa permite obtener la condición silvícola futura deseada.

## II. REVISIÓN DE LITERATURA

### 2.1 Aspectos silvícolas

Fredericksen *et al.* (2001) consideran que la silvicultura es la ecología forestal aplicada que tiene como objetivo inducir la regeneración natural, aumentar la tasa de crecimiento, disminuir la mortalidad, aumentar la abundancia de los árboles valiosos, mejorar la forma de los fustes y por consiguiente aumentar la producción forestal.

De igual forma, en México la Ley General de Desarrollo Forestal Sustentable (LGDFS, 2003) define a la silvicultura como la teoría y práctica de controlar el establecimiento, composición, constitución, crecimiento y desarrollo de los ecosistemas forestales para la continua producción de bienes y servicios.

Por otra parte Kirchner *et al.* (2008) consideran que es una ciencia que estudia las técnicas mediante las cuales se crean y conservan no solo los bosques, si no cualquier masa forestal, aprovechándola de un modo continuo con la mayor utilidad posible y teniendo especial cuidado en su regeneración, mientras que en la práctica implica la manipulación de las masas forestales con el propósito de obtener los productos forestales deseados (como madera, leña, frutos, etc.) y beneficios indirectos (como evitar la erosión del suelo, regular el microclima, regular el caudal de los manantiales, entre otros), y al mismo tiempo, lograr su permanencia y renovabilidad, considerando los criterios biológicos, ecológicos, dasonómicos, económicos y sociales.

Sobre estas bases, Cano (1988) destaca que cualquier rodal coetáneo bajo manejo tiene un inicio, un periodo relativamente largo de crecimiento (turno), y un final; por tanto, los objetivos silviculturales de un método de regulación se encuentran claramente ubicados en tiempo; estos son, la distribución del incremento durante el turno y la obtención de la regeneración al final del mismo. Durante el turno, el objetivo principal silvícola es la reducción periódica del número de árboles por hectárea, manteniendo siempre una densidad residual que proporcione las condiciones necesarias para obtener

productos de las dimensiones requeridas en el menor tiempo y en la mayor cantidad posible. Al final del turno, el objetivo cambia a la obtención de un renuevo abundante y bien distribuido espacialmente.

## **2.2 Cortas intermedias y de regeneración**

### **2.2.1 Cortas intermedias**

Durante la mayor parte del turno, desde el momento del establecimiento de la regeneración hasta que llega el periodo de repoblación, pueden realizarse cortas a distintos intervalos, con el fin de corregir los defectos del monte no administrado y aumentar la cantidad o el valor de la madera producida. A todas las cortas realizadas durante este periodo se le denominan cortas intermedias, que además son invariablemente cortas parciales y suelen suponer la extracción de árboles de calidad inferior o de tamaño menor de los que se dejan. En las cortas intermedias pueden distinguirse las limpias, la corta de liberación, los aclareos, las cortas de mejora, las cortas de recuperación y las podas; estas cortas pueden ser aplicadas tanto en masas uniformes como en irregulares (Hawley y Smith, 1972).

#### **Limpias**

Se realizan en una masa muy joven que no haya superado la edad de renuevo, puede realizarse en la etapa de brinzal o monte bravo. El objetivo principal es liberar los arbolitos de las malezas y de las diferentes especies de arbolitos indeseables que detienen su desarrollo (Hawley y Smith, 1972).

#### **Preclareo o corta precomercial**

Se practica durante el primer periodo de intervención del turno. Es opcional considerando que se puede practicar o no, según la densidad y la distribución de los arbolitos, pero se ha comprobado que es una inversión muy redituable cuando se aplica a las

masas densamente pobladas, aun que los productos pueden ser no comerciales. El preaclareo lleva los objetivos de una corta de limpia de refinamiento, de reducción de la densidad, de regularización de las alturas y de los diámetros. Bien efectuada, inicia el control de los diámetros (Cano, 1988).

#### Corta de liberación

Se utiliza con el método de regeneración de árboles padre y de cortas sucesivas, esto es para referirse a la última corta de regeneración, la corta de liberación elimina el piso de los árboles semilleros, dejando un solo piso bajo de renuevo (Cano, 1988; Hawley y Smith, 1972).

#### Aclareo

A lo largo de la vida del arbolado, llega un momento en el que los arbolitos, con su progresivo crecimiento, comienzan a competir entre sí. Si se dejaran a la libre competencia acabarían los unos por dominar a los otros y, finalmente, muchos de ellos acabarían muriendo en beneficio del resto. Con los aclareos, el técnico se adelanta a estos efectos; así, elimina a los peores individuos de la población en beneficio de los mejores, los extrae o elimina, para su aprovechamiento o para prevenir posibles daños futuros en el monte. Los aclareos deben persistir a lo largo de casi toda la vida del arbolado, hasta que se llega a la edad óptima para la sustitución y aprovechamiento final del mismo; a partir de ese momento comienzan las cortas de regeneración, las cuales se distinguen de todas las cortas intermedias por su finalidad, que no es otra que la finalización de un cultivo para el inicio del siguiente (Meson y Montoya, 1993).

Kirchner *et al.* (2008) definen al aclareo como la corta parcial de árboles en rodales inmaduros, en el que se trata de combinar los beneficios de un espaciamiento reducido con un desarrollo óptimo económico y ecológico de los árboles.

El objetivo del aclareo es regular la distribución del espacio de crecimiento para favorecer el cultivo existente, en el cual los árboles dominantes suelen ser favorecidos de un modo positivo, cortando los árboles menores. Finalmente el aclareo produce el mayor volumen posible en el menor tiempo y en los mejores árboles (Cano, 1988; Hawley y Smith, 1972; Minguell, 2008).

Entre los métodos de aclareo se pueden mencionar:

Aclareo ascendente: se cortan los árboles suprimidos y los árboles intermedios, dejando los árboles dominantes y codominantes.

Aclareo descendente: se cortan los árboles de las clases dominantes y codominantes, para favorecer el crecimiento de la clase de árboles intermedios y de árboles suprimidos vigorosos.

Aclareo selectivo: se cortan los árboles de la clase dominante, para estimular el crecimiento de árboles codominantes, intermedios y suprimidos vigorosos.

Aclareo mecánico: se debe tomar en cuenta la clase de los árboles. Se cortan en hileras o por áreas preestablecidas, este puede ser selectivo o no selectivo, en el primero se dejan algunos de los mejores árboles en las hileras o áreas a ser aclareadas, en el segundo se cortan todos los árboles en las hileras o áreas.

Cortas de mejora

Se realizan con el fin de mejorar la calidad y composición de la masa forestal, extrayendo los árboles de especies o estados indeseables del vuelo principal. Estas cortas corrigen las condiciones insatisfactorias que se hubieran evitado si se hubieran hecho cortas de limpieza o liberación al principio de la vida del rodal (Hernández, 2001).

## Cortas de recuperación

Son las cortas que se realizan con el fin de extraer los árboles muertos o lesionados por diversos agentes naturales o inducidos (Hernández, 2001).

## Poda

Es la remoción de las ramas inferiores del fuste, vivas o muertas de un árbol en pie, para dejar el tronco libre de nudos, mediante un corte completo y limpio con el uso de las herramientas adecuadas; el principal objetivo es evitar la formación de nudos muertos, reducir y concentrar los nudos vivos en una parte específica del árbol, y mejorar la calidad de la madera (CONAFOR, 2009).

### **2.2.2 Tratamientos complementarios**

En muchas ocasiones, la sola exposición del suelo mineral no es suficiente para proporcionar buenas condiciones para la germinación de las semillas y el desarrollo y supervivencia inicial de las plántulas. Lo anterior puede deberse a las condiciones del suelo, dadas sus propiedades físicas y químicas naturales o modificadas por el tipo de uso pasado, estado después de las operaciones de extracción, o presencia de algún tipo de vegetación menor existente; ante estos problemas, se deben aplicar tratamientos complementarios, tanto a la vegetación como al suelo, para promover la regeneración. En estas labores se pueden incluir la eliminación de los desperdicios de extracción, eliminación de la vegetación herbácea, se puede usar maquinaria para hacer rastro, barbecho, subsoleo, incorporar materia orgánica, cercado de las áreas, quemas prescritas, brechas cortafuego y métodos directos de control de depredadores como son los pesticidas, el empleo de cebos, trampas y la caza (Musálem y Fierros, 1996).

### **2.2.3 Corta de regeneración**

La corta de regeneración es la que tiene como finalidad asegurar por medio del tratamiento efectuado, la continuidad de la masa forestal (SEMARNAT, 2006).

La corta de regeneración mediante árboles padres, se aplica para propiciar el establecimiento de la nueva masa de arbolitos que se establecerán de forma natural; esta es la corta final o cosecha del bosque, donde los árboles son seleccionados por su morfología así como por su fenología, estos árboles deben ser buenos productores de semilla; estas cortas se llevan a cabo en rodales maduros cercanos a la finalización del turno, su intensidad depende de la especie y de la calidad de estación (Cano, 1988; Hawley y Smith, 1972).

### **2.3 Métodos de regeneración para rodales coetáneos**

Para generar rodales coetáneos existen tres métodos de regeneración (Hawley y Smith, 1972; SEMARNAT, 1994; Young, 1991).

#### **Método de matarrasa**

Cuando llega el final del turno, la masa se extrae completamente en una sola operación, la regeneración puede ser natural, proveniente de la semilla de los árboles derribados o de la semilla de los árboles adyacentes o puede ser por medio de reproducción artificial.

#### **Método de árboles padre**

La masa es removida totalmente, excepto algunos árboles, a los cuales se les llama árboles padre, pueden quedar aislados o en pequeños grupo, los que producirán semillas para que el área intervenida se regenere de forma natural.

## Método de cortas de protección

Implica la extracción gradual de la masa completa en una serie de cortas parciales que se extienden en una parte del turno. Este método se caracteriza por el establecimiento de la nueva población, antes de que termine el turno, la regeneración genera una masa uniforme, la que es protegida por el arbolado grande, en las primeras etapas de desarrollo, a la vez se van liberando gradualmente.

## **2.4 Método de regeneración para rodales incoetáneos**

### Método de selección

El manejo de las masas incoetáneas se lleva a cabo por el método de selección, en el que se cortan árboles dispersos o en pequeños grupos de ellos, este método asegura que estén mezclados los árboles de todas las edades; en este método se establece un diámetro equivalente al turno, el que sirve para definir los tipos de corta que generalmente se aplican en forma simultánea, como es la corta de arbolado con fines de cosecha y regeneración y cortas de aclareo con fines de regulación de la densidad del rodal (Hawley y Smith, 1972; SEMARNAT, 1994; Young, 1991).

## **2.5 Estructura del bosque de coníferas**

La estructura es la principal característica que distingue a un rodal, hace referencia a la distribución de las principales características arbóreas en el espacio, teniendo especial importancia la distribución de las diferentes especies y la distribución de las mismas por clases de dimensión (Gadow *et al.*, 2007).

Por otra parte Daniel *et al.* (1982) mencionan que la estructura se refiere a la distribución de las clases de edad, diámetro y por sus copas. Cano (1988) agrega que la

estructura es el arreglo o la distribución de algunas variables del rodal. Además, considera que la composición botánica arbórea, arbustiva y herbácea forma parte de la estructura. Esta puede visualizarse desde el punto de vista aéreo (estructura horizontal) o desde el punto de vista perpendicular al suelo (estructura vertical), utilizándose la densidad de la masa, el número de pisos existentes, la regeneración, el renuevo existente y la distribución de frecuencias del arbolado en relación al diámetro, la altura y la edad como variables importantes que definen la estructura de una masa.

Las estructuras encontradas actualmente en las masas de coníferas en México, se deben a algunos factores como la tolerancia de las especies, la calidad de sitio, las perturbaciones naturales y el grado de intervención del hombre a manera de corta y extracción (Cano, 1988).

Alvis (2009) considera que las características estructurales de un bosque natural son un aspecto muy importante para conocer su dinámica y composición, lo que permite diseñar un plan de manejo dependiendo de la tolerancia de la especie.

#### Estructura de los bosques coetáneos

Las masas coetáneas presentan en su forma más sencilla un solo piso, aunque, en las estructuras más complejas se pueden diferenciar dos y hasta tres pisos cuando se encuentra el renuevo, encontrándose en cada piso cierta irregularidad de parámetros, donde consecuentemente cada piso tiende a la cotaneidad y según la tolerancia de las especies se pueden encontrar masas coetáneas, incoetáneas o indefinidas; para lograr pisos más definidos o tendientes a la cotaneidad, se pueden cortar los árboles codominantes. En el sistema de manejo regular no es conveniente mantener más de un piso en una masa, cuando estas se encuentran ya establecidos. Una de las herramientas más utilizadas en el sistema de manejo regular para modificar las estructuras de los bosques son los aclareos (Cano, 1988; Hawley y Smith, 1972).

## Estructura de los bosques incoetáneos

Los rodales de estructuras irregulares están conformados principalmente por especies tolerantes. El bosque puede tener una estructura de edad uniforme o no uniforme; la primera lo integran rodales en el que todos los árboles tienen, de modo aproximado, la misma edad, aunque los distintos rodales pueden ser de diferentes edades; en la segunda, las edades de las masas no son uniformes y pueden contar al menos con tres o cuatro clases bien definidas por su edad (Cano 1988; Daniel *et al.*, 1982; Hawley y Smith, 1972).

Los rodales de estructura incoetánea están formados por varios estratos de árboles en los que se distinguen individuos dominantes, codominantes, intermedios y suprimidos, con una gran diversidad de formas y tamaños, o incluso por individuos de varias especies mezclados (Gadow *et al.*, 2007).

### **2.6 Turno**

Mendoza (1993), menciona que dentro de la teoría del manejo coetáneo se conoce como turno a la duración del cultivo forestal. Romero (1994), menciona que dentro de la terminología forestal española, la vida óptima de una plantación se conoce con el nombre de turno optimo; Rivero y Zepeda (1990) agregan que el turno es el tiempo requerido para que los árboles alcancen el tamaño o edad determinada; por su parte, Cano (1988) menciona que el turno es el tiempo que se le proporciona a las masas para establecerse, desarrollarse y finalizar su existencia. Los procesos que más se han utilizado en México para calcular el turno, se agrupan en tres niveles como se describen a continuación.

#### Nivel 3

Se presentan dos procesos rápidos y sencillos.

## Turno técnico

Relación de la edad con el diámetro. Se obtiene una colección de virutas con el taladro de Pressler de algunos árboles dominantes y libres de competencia, detectándose la edad media a la cual se obtiene un producto (diámetro) deseado.

## Turno absoluto

Relaciona el incremento corriente anual (ICA) con el incremento medio anual (IMA). Proceso muy similar al anterior, pero se mide el tiempo de paso de las virutas extraídas. Se necesita además calcular el parámetro de densidad, como las existencias en pie ( $m^3$ ), utilizando posteriormente alguna fórmula parecida a la siguiente.

$$ICA = 1 + \frac{(Existencias \text{ en pie } m^3 / ha)(10)}{(Diamétero normal)(Tiempo de paso)}$$

Finalmente se calcula el IMA para determinar la edad a la cual el ICA y el IMA se cruzan.

## Nivel 2

Se requiere de análisis práctico que se ha utilizado en México, donde después de efectuar el análisis troncal de la muestra se procede a encontrar las condiciones que dieron lugar a los incrementos. Se deben visitar rodales de cierta estructura regular de un solo piso y por calidad de estación, efectuando otra serie de análisis troncales o por lo menos, una comparación de incremento diametral utilizando el taladro de Pressler.

## Nivel 1

Proceso en el que se desarrollan modelos matemáticos sencillos de simulación y/o de proyección.

Se requiere tomar en cuenta los principales factores que afectan el crecimiento en altura y diámetro a nivel árbol individual o a nivel masa completa. Requiere como mínimo un análisis troncal y de un estudio de relación entre la densidad de la masa y el crecimiento diametral de los árboles. La selección del proceso a utilizar para la determinación del turno y del periodo de intervención depende de la importancia del área de estudio, la extensión de la superficie a manejar y de los recursos disponibles para tal propósito, así como la precisión requerida y del uso que se pretende dar a los resultados obtenidos.

#### Turno silvícola

Mendoza (1993) menciona que una variante importante del turno técnico es el turno silvícola, que sería operativo únicamente cuando los rodales coetáneos se reprodujeran en forma natural y la edad de madurez reproductiva del rodal fuera superior al turno técnico. Por lo anterior, la labor de regeneración obliga a posponer la corta final hasta que suficientes árboles de la masa se encuentren en condiciones de reproducirse. Por consiguiente el turno silvícola está determinado por la madurez natural del arbolado.

#### Turno financiero

Es otra variante del turno técnico, éste se refiere al caso en el que el volumen de productos de cosecha se mide en valor económico; este turno obliga a reconocer el carácter económico, de la actividad de la empresa forestal. Sería entonces este turno un ciclo de cultivo tal que, dada la combinación del sitio, mezcla de especies y técnica silvícola, permita lograr el mayor valor económico descontado de todos los costos de producción, incluyendo el costo del capital, esto es, el máximo valor neto presente (Mendoza, 1993). Este mismo autor menciona que si se considera un solo producto, es el turno técnico, el cual se refiere a terminar el ciclo del cultivo en el momento en que la

masa alcanza el máximo incremento medio potencialmente posible para la técnica silvícola utilizada y la combinación de sitio y especie que se maneja.

#### Turno físico

Coincide con la duración natural de vida de una especie en un sitio determinado. Tiene importancia solo para bosques de protección, tales como parques nacionales o reservas (Mendoza, 1993).

Rivero (1984) agrega que la longitud del turno es función del objetivo que pretende optimizar el dueño y poseedor de recursos forestales.

#### Turno técnicamente óptimo

Es aquel para el que la productividad marginal (tiempo en años) se iguala a la productividad media (productividad media en función del tiempo). Este punto puede interpretarse geométricamente como el punto de tangencia entre la curva de crecimiento y una recta que pasa por el origen. En efecto, las tangentes de un haz de rectas que pasan por el origen representan las productividades medias; por lo tanto, como a mayor ángulo mayor tangente, el comentado por la tangencia nos mide la productividad media máxima o turno técnicamente óptimo (Romero, 1994).

## **2.7 Uso múltiple del bosque**

El enfoque ecológico incluye todos los recursos naturales y sus interrelaciones; y postula la conveniencia de hacer una utilización completa de los mismos; así, bajo la perspectiva de uso múltiple del bosque, además de explotar la madera de los árboles, se aprovecha para el ganado o se utiliza la laguna para fines de pesca o piscicultura. El uso múltiple del bosque encierra muchos valores intrínsecos que en conjunto contribuyen a regular el equilibrio dentro del ecosistema y a los cuales no se les puede poner un precio (Granados *et al.*, 2007).

Los ecosistemas forestales generan una amplia gama de numerosos bienes y servicios que integran su capacidad productiva total, en donde se pueden destacar la producción de madera, forraje, agua, fauna silvestre, productos alimenticios, oportunidad recreativa y valores escénicos; los valores ambientales como lo es la regulación hidrológica, el control de la erosión, la influencia en el microclima, mejoramiento del ambiente u otros bienes como productos con valor medicinal, ornamental, artesanal, entre otros. Todos están muy lejos de satisfacer las demandas concretas de los diversos sectores de la sociedad involucrados, por este motivo, el hombre interacciona con los ecosistemas a través de las técnicas de manejo forestal, buscando reorientar la capacidad de producción de los mismos hacia la mezcla de bienes y servicios que mejor satisfagan sus necesidades (Caballero, 2000; Cano, 1988).

Romero (1994) menciona que los bosques se consideran como sistemas biológicos con propósitos múltiples, en los que además de producir madera, los recursos forestales juegan un papel esencial para proteger la fauna, controlar la erosión de los suelos, evitar desequilibrios climáticos, proporcionar servicios recreativos, entre otros.

La transferencia de tecnología a las comunidades rurales tiene especial importancia para hacer viable y sostenible el uso múltiple de los recursos naturales de los agostaderos (Cavazos, 1997).

## **2.8 Métodos de ordenación**

La ordenación de los bosques de nuestro país no es regido por uno solo método, sino que existen dos, el Método Mexicano de Ordenación de Montes (MMOM) que es aplicable a las masas forestales incoetáneas o irregulares y el Método de Desarrollo Silvícola (MDS) introducido en México en los años setentas (Cano, 1988). En Durango se aplican ahora, además del MMOBI y el MDS, cuatro métodos mixtos, que combinan en el mismo predio los sistemas de manejo de bosque regular e irregular, que son: el Sistema de Conservación y Desarrollo Silvícola (SICODESI), el Sistema Integral de Ma-

nejo de Bosques de la Unidad Santiago (SIMBUS), el Sistema de Manejo Integral Forestal de Tepehuanes (SMIFT) y el llamado Método Mixto (Hernández *et al.*, 2008).

El Sistema de Cortas Sucesivas de Protección (SICOSUP), (SEMARNAT, 2006) puede generar masas regulares e irregulares; con el método de tallar simple, en una plantación, se pueden obtener masas regulares; con el método de tallar con resalvos se obtienen masas irregulares (Kirchner *et al.*, 2008; SEMARNAT, 2006). También puede mencionarse el Sistema Integral de Manejo de Bosques y Aplicaciones Terrestres (SIMBAT), y el Sistema Silvícola de Selección (SISISE) (SEMARNAT, 2006).

## 2.9 Sistema de manejo regular

Cano (1988), menciona que los métodos o componentes de los métodos de regularización son diversos. El MDS es solo una de las tantas formas metodológicas que pueden utilizarse para el manejo de los bosques bajo lineamientos de regularidad. En este método se practican aclareos sensiblemente por lo bajo y cortas de regeneración por medio de árboles padre; el bosque se pretende regularizar por superficie estricta en un solo turno, se efectúa un balance teórico de superficies por clases de corta, no contempla la regularización a nivel masa, aun que sí el cultivo de un solo piso; el bosque se divide en tantas áreas de corta como años tenga el periodo de intervención, las áreas de corta se dividen en tantas parcelas como años de intervención tenga el turno y se calcula la posibilidad provisionalmente para el periodo de intervención actual.

La fórmula utilizada para el cálculo de la posibilidad es:  $P = (R_1 + R_2 \dots R_n) / N$

Donde: P = posibilidad actual anual

R = remoción de volumen en un rodal

N = periodo de intervención

El parámetro básico es  $R$ , calculado por la condición residual del bosque, en base a cobertura de copa.

Hawley y Smith (1972) mencionan que el uso del método tienen como consecuencia la producción de masas uniformes y que prácticamente todos los árboles deben ser de tamaño comercial independientemente del número de clases de edad que estén presentes. Agregan que en la forma más sencilla del método, los árboles padre se dejan aislados una vez que ha sido extraída la mayor parte de la masa.

La regeneración es un aspecto importante en los diferentes métodos de ordenación, ya que de ello depende la composición, calidad y continuidad de un bosque. Se han desarrollado métodos de regeneración natural y artificial; en ambos métodos se pueden obtener masas coetáneas e incoetáneas, la corta con árboles padre, la regeneración natural bajo dosel protector (cortas sucesivas o cortas de protección). En el sistema de cortas sucesivas o de protección, por medio de una serie de cortas se remueve el arbolado maduro, el objetivo principal es que la regeneración se establezca con características de una masa regular, en el que en las primeras atapas de la regeneración permanecerá bajo el dosel protector del arbolado.

## **2.10 El proceso de manejo u ordenación forestal**

El proceso del manejo forestal comprende una serie de pasos o etapas, de las cuales las más relevantes son las siguientes:

- **Definición de objetivos**

En el plan o programa de manejo forestal se deben definir los objetivos, estos pueden ser de aprovechamiento de recursos forestales maderables o no maderables, con objetivos específicos de producción, aprovechamiento, conservación, restauración o protección (SEMARNAT, 2006).

➤ Evaluación del recurso forestal

Incluye principalmente el desarrollo de la metodología del inventario forestal, ya que a través de este se obtiene la determinación del estado actual del bosque, por medio del cual se pueden redefinir los objetivos. Es la herramienta básica, ya que ofrece información de la vegetación arbórea necesaria para planificar el manejo del bosque o rodal (Orosco, 2004; SEMARNAT, 2006).

➤ Condiciones y necesidades silvícolas

La información obtenida del inventario se combina con datos sobre tendencias en el mercado, el marco jurídico legal y las condiciones sociales y económicas en el área. Deben tomarse en cuenta las políticas locales, nacionales y aun internacionales, así también las limitaciones socioeconómicas, financieras y ecológicas. En base a las condiciones y necesidades silvícolas se puede discutir las diferentes alternativas de manejo (Orosco, 2004).

Mendoza (1993) menciona que los pasos básicos en la secuencia de decisiones de manejo forestal son:

Definición del producto (s) final (es). Esta decisión involucra las siguientes determinaciones:

Establecer especificaciones y características de los productos en el momento de la venta.

Seleccionar una especie o mezcla de especies cuyo desarrollo es factible en el área forestal de la que puede disponer la empresa, y son capaces de brindar los productos que la empresa forestal desea obtener.

Definir las características que deberá tener el árbol para que se le considere como producto, tal como el criterio de explotabilidad. La distribución de productos es el medio por el cual se establece la condición de explotabilidad, pues esta es una función matemática que estima el contenido potencial de cada tipo de trocería en el árbol conforme éste crece.

➤ Elección del sistema silvícola

En el proceso de manejo u ordenación forestal es indispensable seleccionar el sistema silvícola, el que comprende a todo el plan o programa de tratamientos silvícolas que se han de aplicar durante toda la vida o período de rotación del rodal, es decir, que incluye al método de regeneración y a todos los cultivos o tratamientos intermedios que se aplican al rodal, con el fin de regenerarlo, mantenerlo, protegerlo y de promover su crecimiento (Musálem y Fierros, 1996).

➤ Determinación del criterio de madurez

La condición específica para definir el criterio de madures de un rodal o bosque es el turno, el que a la vez determina la duración del cultivo, obteniendo los productos deseados del bosque, de acuerdo al sistema silvícola seleccionado (Musálem y Fierros, 1996; Romero, 1994).

Por su parte Mendoza (1993) menciona que la duración del régimen silvícola definirá el ciclo del cultivo, es decir el tiempo que se requerirá para que un rodal recién establecido produzca la cantidad y tipo de productos deseados. A las condiciones del árbol individual y de la masa al final del ciclo del cultivo, se les define como madurez; o sea que el árbol o la masa madura será aquel que tiene las condiciones que se buscan para su cosecha y venta, aun cuando quizá su potencial de crecimiento o de reproducción no haya culminado todavía.

- Diseño de un régimen de regulación de la corta

Por este medio se asignan tratamientos de cultivo a los rodales del bosque, se define la secuencia de aplicación en el terreno y el ritmo con que se ejecutarán los tratamientos, particularmente los de cosecha. Indirectamente, a partir de la determinación del esquema de regulación de la corta se obtiene la estimación de la corta permisible o posibilidad (Mendoza, 1993).

- Diseño de un plan de cortas

Como complemento de la regulación de las cortas, y al mismo tiempo que ésta, se debe elaborar un programa que establezca la forma como la corta permisible se ejecutará en el terreno; este programa por lo general conduce a una cierta forma de división dasocrática del terreno en la que todos los rodales del bosque pueden constituir un plan único de cortas o separarse en compartimientos donde las actividades de cultivo sean independientes de las actividades en otros compartimientos. El plan de cortas se debe realizar con base a las condiciones pertinentes sobre la planeación silvícola y de extracción, y sobre todo, del acomodamiento de cada tipo de rodal dentro del área forestal, el cual se tendría que modificar para adecuarlo a su función de producción maderable (Mendoza, 1993).

- Organización de la producción

Para la realización del plan de cortas es indispensable que la empresa forestal se estructure de forma que las actividades planeadas cuenten con el personal y recursos materiales propios para su ejecución (Mendoza, 1993).

- Control de la producción

Este aspecto depende grandemente de que exista un sistema de información que sea la base de la planeación del aprovechamiento y que funcione como un sistema

de vigilancia para detectar la reacción del bosque a las actividades culturales (Mendoza, 1993).

## **2.11 Manejo de la densidad en rodales coetáneos**

La densidad es el número de individuos por unidad de área, aunado a esto la densidad de los rodales está determinada por la distribución de los árboles, factor que afecta en forma directa el crecimiento (Daniel *et al.*, 1982; Hawley y Smith, 1972; Young, 1991).

Daniel *et al.* (1982) mencionan que es el segundo factor más importante después de la calidad de sitio, para la determinación de la productividad en un sitio forestal, variable que el silvicultor puede manejar durante el desarrollo del rodal.

La densidad se puede expresar en términos de número de árboles, de área basal o del volumen por unidad de superficie, así mismo se puede regular por medio de dichas variables (Daniel *et al.*, 1982 y Musálem y Fierros, 1996); Así mismo, Clutter *et al.* (1983), menciona que además del número de árboles por unidad de superficie, área basal por unidad de superficie, el índice de densidad del rodal, relación área área-árbol y el factor de competencia de copas, son otras formas de medir la densidad del rodal.

La principal forma de controlar el número de árboles por unidad de área es con la aplicación de los aclareos; el número de aclareos depende principalmente del turno y ciclo de corta que se establezcan; el principal objetivo del aclareo es abrir la masa, pero sin propiciar las condiciones para el establecimiento de la regeneración (Cano, 1998; Hawley Smith, 1972; Mendoza, 1993; Young, 1991).

En el manejo de rodales coetáneos, los arboles se remueven durante un periodo relativamente breve, creando condiciones de espacio abierto y soleado y conduciendo al desarrollo regular de la masa (Young, 1991).

Por su parte Alonso (1996), destaca que la guía de densidad es un instrumento que facilita y fundamenta las actividades silvícolas, para decidir adecuadamente el desarrollo de la densidad del rodal, así también menciona que para efectos de ordenación del bosque es importante contar con índices de densidad para las diferentes edades del rodal.

## **2.12 Tablas de producción**

Las tablas de producción, también denominadas tablas de rendimiento, son representaciones tabulares del crecimiento y aprovechamiento de los rodales de una especie determinada a lo largo de su vida, considerando la calidad de sitio y el tratamiento silvícola aplicado (Kramer, 1988, citado por Aguirre, 1991).

Por su parte Daniel *et al.* (1982) consideran que las tablas de rendimiento (producción) contienen estimaciones del crecimiento, en lo relativo al incremento anual acumulativo y periódico, que pueden esperarse a partir de una gran variedad de tratamientos silvícolas relacionados con los efectos de las áreas basales residuales y los patrones de raleo. Las variables independientes utilizadas son la edad, el índice de sitio y la densidad del rodal.

Las tablas de producción constituyen un instrumento muy adecuado para obtener información práctica sobre el crecimiento característico promedio de las especies forestales y posibilitan además una estimación rápida y poco costosa del volumen y el incremento de los rodales (Aguirre, 1991).

Aguirre (1991) mediante sitios temporales de muestreo, elaboró tablas de producción para diferentes índices de sitio en bosques de *Pinus pseudostrubus* Lindl. en el noreste de México; utilizó la metodología de Magin para el cálculo de la producción total, donde esta posibilita la determinación de la producción total de una serie de rodales de todas las edades cuyas edades se localizan a lo largo del turno, con la ayuda de los datos que se obtienen en un inventario convencional para manejo forestal sin medicio-

nes adicionales y sin conocimiento de los volúmenes extraídos anteriormente. Construyó un diagrama de curvas de índices de sitio, el cual consta de varias curvas de incremento en altura, graduados a la edad de 50 o 100 años dependiendo de la altura alcanzada. Se tomaron datos sobre el desarrollo de 63 árboles dominantes mediante análisis troncales y encontraron que la culminación de los incrementos corriente y medio presentan desplazamientos debido a la calidad de sitio.

Franco (1997) menciona que la función de las tablas de producción tienen que ver con los objetivos propuestos. Uno de ellos es conocer el volumen a extraer por edad; de acuerdo al número de árboles por categoría diámetrica así como sus dimensiones en diámetro, altura y el grado de densidad a manejar en las cortas, la intensidad y el tiempo de aprovechamiento, el ciclo de corta en cada etapa de desarrollo cambiará de acuerdo a los incrementos reportados por edad y diámetro.

### **2.13 Crecimiento**

El crecimiento es el fenómeno de desarrollo del árbol o masa observado en ellos íntegramente; dicho crecimiento está representado por su respectivo desarrollo, de aquí el desarrollo del árbol en altura, diámetro, área basal y el desarrollo en volumen de un árbol o de una masa (Gajardo, 2005; Klepac, 1976).

El crecimiento es el incremento gradual de un organismo, población u objeto en un determinado tiempo, en tanto que la estimación de crecimiento es una etapa esencial en el manejo forestal, su estudio es muy importante para su planificación y administración. El crecimiento de árboles individuales está influido por sus características genéticas y su interrelación con el medio ambiente, tolerancia, factores climáticos, de suelo y características topográficas, cuya suma representa el concepto de calidad de sitio. Además de estos factores la competencia es un factor importante y el más controlable a través del manejo silvicultural (Fredericksen *et al.*, 2001; Gajardo, 2005; Imaña y Encinas, 2008; Prodan *et al.*, 1997).

Por su parte Fredericksen *et al.* (2001) mencionan que los árboles aumentan sus dimensiones, de aquí el incremento, y que el incremento es la magnitud del crecimiento. Matemáticamente lo definen como la diferencia de mediciones de alguna variable dasométrica, por ejemplo el diámetro a la altura del pecho (DAP), y puede expresarse como  $DAP2 - DAP1$ , donde DAP2 es la segunda evaluación del diámetro y DAP1 la primera evaluación de la misma variable y del mismo individuo. Existen dos tipos de incrementos:

#### Incremento corriente anual (ICA)

Al ICA también se le conoce como crecimiento acumulado o simplemente incremento anual y es el cambio de crecimiento en un periodo de tiempo; puede ser en un periodo de 12 meses o entre dos años consecutivos, y se puede calcular con la siguiente fórmula (Imaña y Encinas, 2008).

$$ICA = \frac{TF - TI}{T2 - T1}$$

Donde

TF = Tamaño final

TI = Tamaño inicial

T2 = Año de medición final

T1 = Año de medición inicial

Incremento periódico (IP): Es el crecimiento que logra un árbol o masa en un tiempo determinado.

Incremento total (IT): Es el crecimiento que logra un árbol o masa durante toda su vida.

Incremento periódico anual (IPA): Es el promedio anual del incremento periódico.

Incremento medio anual (IMA): Se puede definir como el crecimiento acumulado en relación con la edad. Se puede calcular con la siguiente fórmula:

$$IMA = \frac{TF}{Edad} \quad \text{Donde TF es el tamaño acumulado a una cierta edad.}$$

Con la estimación de estos incrementos se pueden obtener curvas de incremento; si estas curvas se analizan se puede distinguir tres fases, fase juvenil, fase madura y fase senil. La identificación de esas fases en un gráfico se hace en base de los puntos de inflexión de la curva, o sea, cuándo hay una modificación en el ritmo del crecimiento. Cuándo el IMA alcanza su máximo valor, se define en los sistemas de manejo forestal como el mejor momento, desde el punto de vista silvicultural, para poder intervenir en los rodales a través de raleos o cortas. El máximo raleo se alcanza en el momento en que se consigue el mayor crecimiento, por el menor número de árboles. En ese sentido se diferencian raleos cuantitativos y raleos cualitativos, que naturalmente deben ser extraídos de las curvas de crecimiento. Esta es la forma en la que se puede planificar en mejor forma como conducir el bosque, en un sentido de producción (Imaña y Encinas, 2008).

## 2.14 Modelos de crecimiento

Los modelos de crecimiento son vitales para la planificación forestal, y su uso es una de las herramientas más socorridas para la generación de conocimiento en el estudio de crecimiento, reproducción y rendimiento de masas forestales sujetas o no a un régimen de cultivo (Cortés *et al.*, 2003). Proyectar el crecimiento y rendimiento de rodales individuales es un prerrequisito para planear el manejo de los montes a cualquier nivel. Intentan predecir directamente el curso en el tiempo de las cantidades de interés como volúmenes y diámetros medios (García, 1988). Los modelos de crecimiento pueden clasificarse comúnmente en tres tipos que difieren en el nivel de detalle de la descripción de estado. Los tipos de modelos se mencionan en seguida:

➤ Modelos a nivel rodal

Describen el estado del rodal con unas pocas variables que representan agregados a nivel de rodal tales como área basimétrica, diámetro medio, volumen por hectárea, árboles por hectárea, espaciamiento medio, altura dominante, etc.

➤ Modelos de árbol individual dependientes de distancia

En estos se incluye la ubicación (coordenadas), el diámetro y a veces altura y dimensiones de copa de cada árbol, en una parcela de muestra. El crecimiento y probabilidades de mortalidad para cada árbol se expresan como funciones de sus dimensiones y de la posición relativa y las dimensiones de sus vecinos. Algunos autores coinciden al señalar que los índices dependientes de la distancia son los más eficientes para predecir el crecimiento en bosques coetáneos (Reyes, 2011).

➤ Modelos de árbol individual independientes de distancia

Es modelado separadamente y su posición competitiva se determina comparando su diámetro individual, altura y su condición con las características del rodal (Reyes, 2011). El tipo de modelo más apropiado a usar depende de las circunstancias. La homogeneidad de los rodales y la naturaleza de los tratamientos a ser analizados determina cuán detallada necesita ser la descripción del estado (García, 1988).

Los modelos utilizados para predecir el crecimiento e incremento en el manejo de los recursos forestales maderables, son necesarios para la identificación de las intensidades de manejo y turnos de cosecha (Monárrez y López, 2010).

La compatibilidad entre el crecimiento y la producción es muy importante en la modelación matemática del crecimiento y de la producción de rodales forestales, siendo la compatibilidad una de las características más deseables en la creación de modelos de producción forestal (Imaña y Encinas, 2008).

## **2.15 Condición futura deseada**

La condición futura deseada es la meta. Refleja una relación de propósito, algo a alcanzar. Su marco de tiempo tiende a ser de largo alcance. Las metas tienden a ser de alto enfoque, aunque suficientemente específicas para proporcionar dirección y empuje, por consiguiente los objetivos dan resultados tangibles en productos y servicios que son necesarios para alcanzar las metas y constituyen la situación deseada que se pretende alcanzar con el plan. Por lo anterior, la situación deseada es el futuro imaginado pretendido por un factor y constituye un polo de referencia para las decisiones y acciones del plan (Osorio, 2003; Quintana, 2005). Se refiere a las condiciones de los recursos que se consideran necesarios si las metas y objetivos son plenamente logrados, se deben tomar en cuenta los recursos naturales, considerando las condiciones ecológicas, sociales y económicas durante el proceso de manejo (Boone, 2009).

Para llevar un bosque a la condición futura deseada es necesario identificar los problemas que el mismo presenta, así como las oportunidades que puede tener la sociedad, es importante establecer criterios de planificación, la toma de datos por medio del inventario, formular alternativas de manejo, estimación de los efectos de cada alternativa de manejo, evaluación de las alternativas, selección de la mejor alternativa de manejo, ejecución del plan, seguimiento y monitoreo del plan (Ken, 1995).

## **2.16 Trabajos afines**

Hernández (1994) realizó un estudio de la estructura y crecimiento de un bosque de *Pinus* después de un aclareo en Arteaga, Coahuila y encontró que la densidad actual, el área basal actual y volumen actual, son superiores a los obtenidos en las estructuras originales, en las categorías diámetro de 30 y 35 cm, y que los árboles que pertenecen a las categorías de 25 cm, para el tiempo de paso e incremento corriente anual, respondieron mayormente al efecto del aclareo.

Alonso (1996) construyó una guía de densidad para *Pinus rudis* Endl. en la Sierra de Arteaga, Coahuila. Utilizó el índice densidad de Reineke y la relación área árbol para la determinación de la línea "A". Para la determinación de la línea "B" se emplearon los valores obtenidos del factor de competencia de copas y para la línea "C" se basó en los incrementos medios por categorías diámetro, obteniéndose una media general de los incrementos de acuerdo al incremento en diámetro en los últimos 10 años.

Franco (1997) realizó una tabla de producción en Arteaga, Coahuila. Los datos para la elaboración fueron obtenidos a partir de análisis troncales en *Pinus rudis* Endl. Para la estimación del diámetro normal con corteza, altura, volumen unitario y número de árboles se utilizó la guía de densidad elaborada por Alonso (1996) para *Pinus rudis* en la Sierra de Arteaga, Coahuila; el método de cortas de protección fue utilizado en este trabajo donde se propone una serie de aclareos de acuerdo a sus incrementos. En los primeros años los ciclos de corta fueron de cinco años, proponiéndose cuatro pre-aclareos; debido a la disminución de los incrementos y nivel de densidad requerido a partir de los 40 años, los ciclos de corta fueron de 10 años, posponiéndose 5 aclareos hasta la edad de 90 años; se proponen tres cortas de regeneración aplicados a partir de la edad de 100 años, que es el turno para el diámetro deseado de 36 cm, mientras que las cortas finales se plantearon a la edad de 105 y 110 años.

García y Rodríguez (1993) realizaron cortas intermedias en sitios de vegetación secundaria, para las especies de *Dendropanax arboreus* y *Lysiloma bahamensis* y en sus análisis encontraron que para ambas especies sus incrementos son positivos en diámetro normal y área basal, a medida que es mayor la apertura del dosel.

Hernández *et al.* (2008) evaluaron la recuperación del volumen de *Pinus* en pie después de una corta, en bosque tratados con los sistemas de manejo regular e irregular y encontraron que en el año 2004, aunque ya había transcurrido casi un ciclo de corta, el volumen por hectárea en seis de las 12 unidades básicas de manejo analizadas del MMOBI y en 19 de las 34 unidades de manejo del MDS fue significativamente diferente.

### III. MATERIALES Y MÉTODOS

#### 3.1 Localización y descripción del área de estudio

##### 3.1.1 Ubicación

El presente estudio se realizó dentro del área conocida como las Hoyas, en la Sierra de las Alazanas, Municipio de Arteaga, Coahuila, México, localizada dentro de la Sierra Madre oriental, en un rodal con una superficie de 28.3 hectáreas, entre los paralelos  $25^{\circ} 15' 55''$  Norte y el meridiano  $100^{\circ} 36' 27''$  Oeste a una altitud de 3200 msnm (CETENAL 1977).

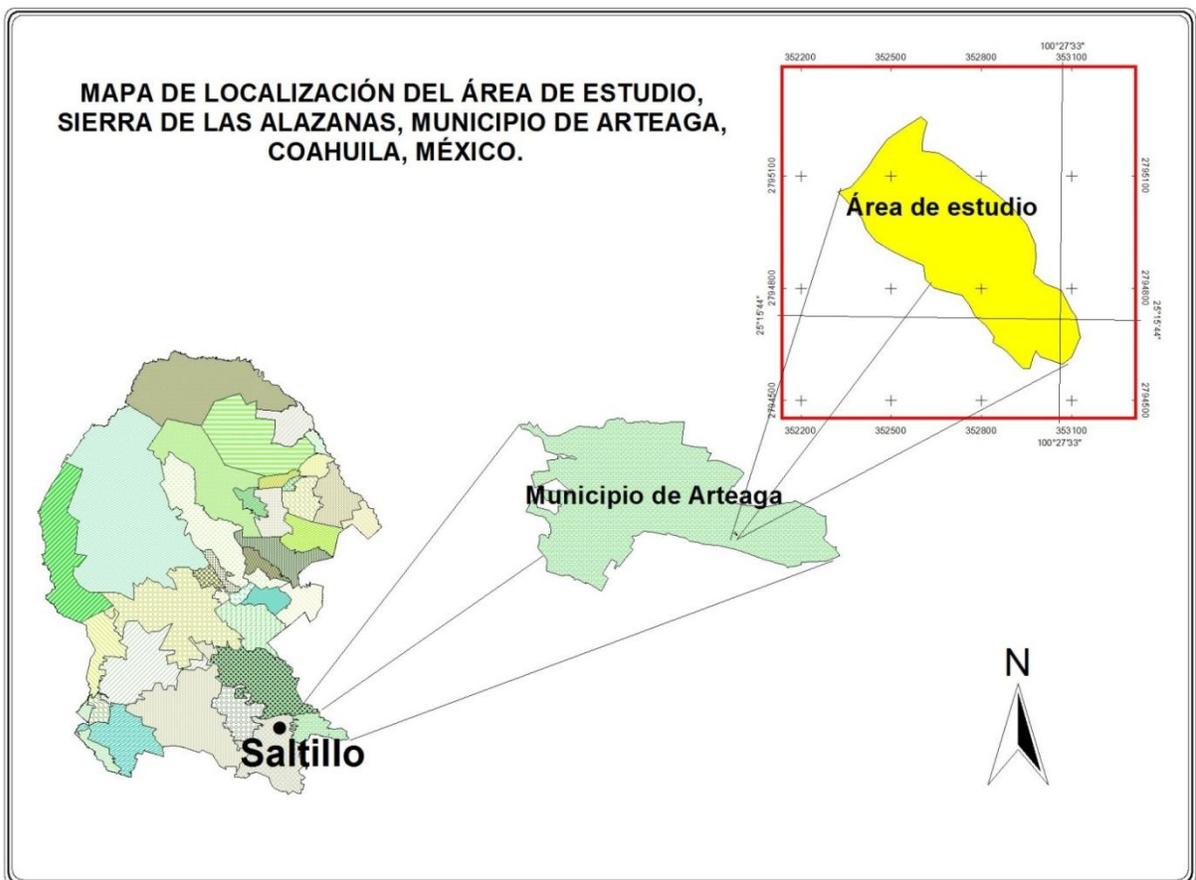


Figura 1. Localización del área de estudio en la Sierra de las Alazanas, Arteaga, Coahuila.

### 3.1.2 Clima

De acuerdo al sistema de clasificación de Köppen, modificado por García (1981) el tipo de clima es Cx' b (e') g, que corresponde a un clima templado subhúmedo, lluvias escasas todo el año, un verano fresco largo y muy extremoso.

La estación meteorológica de San Antonio de Las Alazanas, Arteaga, Coahuila, reporta una temperatura media anual de 12.7°C. Las temperaturas son extremas, y van hasta - 8 °C. Mayo es el mes más caliente con una temperatura media de 15.8°C. La precipitación media anual es de 470.6 mm (Mendoza, 1983).

### 3.1.3 Suelo

El origen del suelo es a partir de rocas sedimentarias, se encuentran rocas calizas (CZ) (CETENAL, 1976). El tipo de suelo es litosol (I) con clase textural media (CETENAL, 1976). En el área y áreas aledañas al rodal se puede encontrar suelo de tipo: Xerosol, que es un suelo de color claro y pobre en materia orgánica y el subsuelo es rico en arcilla y carbonatos con baja susceptibilidad a la erosión. También se encuentra el Regosol, el cual no presenta capas distintas es claro y se parece a la roca que le da origen, la susceptibilidad a la erosión no es muy variable. Feozem; su capa superficial es suave, rica en materia orgánica y nutrientes, la susceptibilidad a la erosión (De la Madrid, 1988).

### 3.1.4 Vegetación

En el área de estudio se puede encontrar vegetación que corresponde a un bosque de pino asociado a oyamel y otras especies. De acuerdo al inventario realizado en campo, la especie dominante y que se encuentra en mayor densidad es *Pinus rudis*, la cual se asocia con *Pinus ayacahuite*; en el estrato arbustivo se encuentra *Agave sp.*, y el estrato herbáceo lo constituye gramíneas como *Bromus sp.* (DETENAL, 1979).

### **3.1.5 Especie objeto de estudio**

La especie de importancia para este estudio es *Pinus rudis* Endl. la que encuentra formando un rodal coetáneo, con presencia de algunos ejemplares de *Pinus ayacahuite*. El rodal tiene una alta densidad, y se pretende regularizar estableciendo un sistema silvícola, el que llevará al rodal a una condición silvícola futura deseada.

## **3.2 Metodología**

Para la evaluación del recurso se realizó un inventario forestal de acuerdo a las siguientes especificaciones:

### **3.2.1 Diseño de muestreo**

El tipo de muestreo para llevar a cabo el presente estudio fue el sistemático, con el que se trazaron líneas de reconocimiento sobre el rodal muestreado. Debido a que se utilizó una intensidad de muestreo del 5% se calculó poner 6 líneas a lo ancho y 3 líneas a lo largo del rodal y así formar la cuadrícula donde se tomaron los datos en los cruces de cada línea, de tal manera que quedaron a una distancia de 150 por 107 metros entre puntos tomando 18 sitios en total.

### **3.2.2 Forma y tamaño de los sitios**

Los sitios de muestreo fueron de dimensiones fijas, de forma circular, con una superficie de 1000 m<sup>2</sup> y un radio de 17.84 metros, compensado por pendiente.

### **3.2.3 Selección del sitio**

Debido a que en el área de estudio se presentó la especie *Pinus ayacahuite*, especie medianamente tolerante, en algunos sitios en número no apto para cumplir con los objetivos del presente estudio, o donde el sitio no cumplía con la densidad espera-

da, se recorrieron dichos sitios 50 metros hacia los lados de cada línea con el fin de conseguir las características deseadas para manejar un bosque regular.

Una vez encontrado el sitio con las características deseadas, se trazaron líneas a partir del centro con el radio antes mencionado, hacia los cuatro puntos cardinales para obtener cuatro cuadrantes y se procedió a levantar los datos.

#### **3.2.4 Registro de datos**

En el primer sitio se tomó la altura, diámetro normal, número de árboles por categoría dímétrica, se escogió el árbol con la categoría dímétrica promedio y se tomó la edad, el tiempo de paso, la longitud de los primeros diez anillos, diámetro de copa mayor y menor y la clase de copa. En este mismo sitio se realizó una distribución de productos para el árbol representativo de cada categoría dímétrica, este último dato se tomó cada tres sitios.

En el segundo sitio se excluyeron los datos de edad, tiempo de paso, la longitud de los primeros diez anillos y la distribución de productos, tomándose solo las medidas dasométricas de los árboles como se mencionó en el párrafo anterior; en el tercer sitio se vuelve a tomar los datos completos, como se menciona en el párrafo anterior con excepción de la distribución de productos.

En todos los sitios se identificaron características ecológicas y silvícolas como son: exposición, pendiente (%), altitud sobre el nivel del mar, profundidad del suelo, pedregocidad (%), afloramiento rocoso (%), vegetación arbustiva, renuevo, presencia de fauna silvestre, condición del arbolado y el estado sanitario del arbolado.

#### **3.2.5 Registro de datos para sitios**

Una vez ubicado y delimitado el sitio se tomaron los siguientes datos:

- ▶ Medición de la densidad. Se registró el número de individuos por categoría diámetro en cada unidad de muestreo.
- ▶ Medición del diámetro normal. Con el empleo de una cinta diámetro se midió el diámetro normal de cada árbol presente en el sitio a la altura de 1.30 metros en relación al suelo.
- ▶ Medición de la altura. Se midió con el nivel Haga y con un clinómetro, tomando en cuenta la pendiente y la distancia a la que se tomaron las lecturas.
- ▶ Medición de la edad. Se obtuvo con el taladro de Pressler, con el que se extrajo una viruta a la altura de 1.30 m, en esta se contaron los anillos desde el centro hasta la periferia.
- ▶ Medición del tiempo de paso. Se usó una regla graduada en centímetros para medir 2.5 centímetros desde la periferia hacia adentro de la viruta y se contó el número de anillos.
- ▶ Medición del diámetro de copa. Con la ayuda de una cinta métrica se midió el diámetro mayor y menor de la copa de cada árbol promedio. Para esta medición se encargaron dos personas quienes se ubicaron de forma que cada uno quede tangencialmente en los límites de la copa.
- ▶ Determinación de la clase de copa. El anotador tomando como referencia la condición del árbol promedio de cada categoría, se registró como dato si es dominante, codominante, intermedio o suprimido.
- ▶ Estimación de la distribución de productos. El anotador consideró para cada árbol promedio de cada categoría diámetro en el sitio las medidas establecidas para la distribución de productos (TMC: trozas medidas comerciales; TCD: trozas cortas dimensiones; PM: pilotes para minas; MO: morillos; C: celulósicos) y en donde para cada medida se tomó en cuenta el refuerzo para cada troza.

El anotador con la ayuda de una tabla de contenido de las medidas de cada troza, realizó la distribución de productos para cada árbol de las categorías existentes en el sitio.

### **3.2.6 Determinación de la condición silvícola presente**

Para determinar la condición silvícola del rodal se capturaron los datos en hojas de Excel y se procesaron en el mismo programa de acuerdo a los siguientes procedimientos.

### **3.2.7 Ajuste de variables dasométricas**

#### Altura ajustada

Debido a la dispersión de los datos de altura y la inconsistencia de los mismos se procedió a ajustarlos, como primera instancia se recurrió a obtener las medias en altura por categoría diamétrica, se prosiguió a realizar regresiones mediante el programa estadístico SPSS 8.0, probando la ecuación de Henriksen, la función de Power y la ecuación de Schumacher. El modelo seleccionado fue el que presentó mayor  $R^2$  y menor CME (Apéndice 1).

#### Edad ajustada

Se obtuvieron medias de los datos y mediante el programa estadístico SPSS 8.0 se probó la ecuación de Henriksen, la función de Power y la ecuación de Schumacher. El modelo seleccionado fue el que presentó mayor  $R^2$  y menor CME (Apéndice 2).

#### Altura ajustada con respecto a la edad.

Para obtener la curva de crecimiento en altura, con los datos ajustado de edad y altura se prosiguió a probar la ecuación de Henriksen y la ecuación de Schumacher. El modelo seleccionado fue el que presento mayor  $R^2$  y menor CME (Apéndice 3).

### 3.2.8 Cálculo de parámetros dasométricos

Existencias volumétricas: Se obtuvo la densidad y la altura promedio por categoría diamétrica en cada sitio y se procedió a obtener el volumen unitario con el empleo de la tabla de volúmenes para *Pinus rudis* Endl. elaborada para la Sierra de Arteaga por Torres y Cano (1993), en la que se utilizó la ecuación generada siguiente.

$$\text{VOL} = 0.2279648 (\text{DN}^{1.80560}) (\text{HT}^{1.165869})$$

Donde

VOL = volumen unitario en metros cúbicos

DN = diámetro normal en cm

HT = altura total m

El volumen unitario se multiplicó por el número de árboles de cada categoría diamétrica para obtener el volumen por categoría diamétrica. Se sumaron los volúmenes de todas las categorías diamétricas para obtener el volumen por sitio y a partir de este se convirtió al volumen por hectárea.

Área basimétrica: El área basal  $\text{ha}^{-1}$  se obtuvo con base al área basimétrica que corresponde a cada categoría diamétrica, para lo cual se utilizó la fórmula para calcular el área del círculo, y se multiplicó el área basal unitaria por el número de árboles de cada categoría diamétrica, obteniendo de esta manera el A.B. por C.D. La suma del A.B. de las C.D. arrojó el A.B. por sitio y este valor se multiplicó por 10 para obtener el A.B.  $\text{ha}^{-1}$ .

Densidad y grado de densidad: La densidad del rodal se determinó considerando todos los árboles que se registraron en cada sitio, y de los cuales se obtuvo la densidad media por sitio, sumando todas las densidades de los sitios y dividiendo entre el número de sitios; con este valor se calculó la densidad  $\text{ha}^{-1}$ , multiplicando por 10 el valor promedio sitio<sup>-1</sup>.

Para determinar el grado de densidad del rodal en la condición original se utilizó la guía de densidad elaborada por Alonso (1996) (Cuadro 1), primero se calculó el diámetro medio del rodal, mediante una media ponderada por densidad y categoría diamétrica, y posteriormente se relacionó la densidad del rodal con el diámetro promedio y se obtuvo el grado de densidad con el empleo de la guía de densidad, de la misma manera se calculó el grado de densidad de las proyecciones en las diferentes alternativas (sin manejo silvícola, aclareo por lo alto y aclareo mixto).

Cuadro 1. Número de árboles  $ha^{-1}$  para diferentes grados de densidad de acuerdo con la guía de densidad para *Pinus rudis* Endl. elaborada por Alonso (1996).

Diámetro promedio del rodal	Número de árboles $ha^{-1}$ por grado de densidad				
	100 %	90 %	80 %	70 %	60 %
10	2881	2593	2305	2017	1729
15	1540	1386	1232	1078	924
20	988	889	790	692	593
25	700	630	560	490	420
30	528	475	422	370	317
35	416	374	333	291	250
40	339	305	271	237	203
45	282	254	226	197	169
50	240	216	192	168	144

### Crecimiento e incremento

Curva de crecimiento en altura. Para determinar la curva de crecimiento en altura se realizaron análisis de regresión probando varios modelos, para escoger el de mejor ajuste. Se probó la ecuación de Henriksen, la función de Power y la ecuación de Schumacher. El modelo seleccionado fue el que presentó mayor  $R^2$  y menor CME.

Curva de crecimiento en diámetro. Para la curva de crecimiento en diámetro se utilizó la edad ajustada y se relacionó con el diámetro promedio de las diferentes categorías diamétricas.

Incremento en volumen. Para calcular el incremento en volumen se calculó el incremento corriente anual (I.C.A.) y el incremento medio anual (I.M.A.) Para calcular el I.C.A. se utilizó la metodología de Klepac que consiste en calcular el incremento de cada árbol de cada categoría diamétrica (C.D.) el que multiplicado por la densidad de cada categoría arroja el incremento por categoría. La suma de los incrementos de todas las categorías diamétricas arroja el incremento. Esta metodología se basa en la diferencia de volumen entre árboles de C.D. sucesivas  $ha^{-1}$  y el tiempo de paso (T. P.). El I.M.A se obtuvo dividiendo las existencias volumétricas (E.R.  $ha^{-1}$ ) entre la edad.

Incremento en diámetro. El I.C.A. en diámetro se obtuvo para cada C.D. dividiendo el rango entre C.D. (5 cm) entre el T.P. El I.M.A. en diámetro se obtuvo por C.D. dividiendo la C.D. entre la edad y para el rodal se dividió el diámetro promedio entre la edad.

Incremento en altura. El I.C.A. en altura se obtuvo para cada C.D. en el que se obtuvo la diferencia entre la edad mayor y la edad menor, el resultado se dividió entre el tiempo de paso. El I.M.A. en altura se obtuvo de la división de la altura de cada C.D. y la edad.

### **3.2.9 Uso de los incrementos originales y de los resultados de investigación en cada etapa de las diferentes alternativas**

Para poder proyectar el crecimiento del rodal después del aclareo por lo alto y aclareo mixto se tomó en cuenta el incremento en diámetro y altura de la condición original por categoría diamétrica para cada etapa, aumentándole el porcentaje del crecimiento por categoría diamétrica de los resultados de la tesis de Hernández (1994), con estos incrementos para los aclareos proyectados a diez años se calculó la densidad  $ha^{-1}$ , altura  $ha^{-1}$ , edad  $ha^{-1}$ , área basal  $ha^{-1}$  y volumen  $ha^{-1}$  por categoría diamétrica.

Para la alternativa sin aclareo, se tomó en cuenta los incrementos originales en diámetro y altura, para cada etapa de crecimiento, para después poder calcular la densidad  $ha^{-1}$ , altura  $ha^{-1}$ , edad  $ha^{-1}$ , área basal  $ha^{-1}$  y volumen  $ha^{-1}$  por categoría diamétrica. Para esta alternativa se usó los datos del inventario en el que se revisó la clase de copa de las diferentes categorías diamétricas, donde para el caso de las categorías diamétricas de 10 cm y 15 cm son suprimidas las que por efecto del auto aclareo desaparecerían.

Incremento corriente anual antes y después del aclareo de la tesis de Hernández (1994).

La categoría diamétrica que respondió mejor al aclareo fue la 25 cm presentando un incremento antes del aclareo de  $0.4258 \text{ cm año}^{-1}$  y después del aclareo de  $0.4680 \text{ cm año}^{-1}$  (Cuadro 2)

Cuadro 2. Incremento corriente anual promedio por categoría diamétrica antes y después del aclareo de la tesis de Hernández (1994).

Categoría diamétrica	Antes	Después
10	0.3912	0.4159
15	0.4110	0.4287
20	0.3952	0.4303
25	0.4258	0.4680
30	0.4259	0.4748
35	0.4127	0.4345

### 3.2.10 Distribución de productos

Calculo del volumen por troza

Para el cálculo del volumen por troza se uso la fórmula de Smalian, esta fórmula parte de las áreas de sus secciones extremas y su longitud (Prodan *et al.*, 1997), la fórmula es la siguiente:

$$VOL = 0.7854 [(D^2+d^2) / 2 * L$$

Donde

VOL = Volumen

D = Diámetro de la sección mayor

d = Diámetro de la sección menor

L = Longitud

Para el cálculo del volumen de la punta se uso la fórmula del cono que es la siguiente:

$$VOL = 1/3 * 3.1416 * r^2 * L$$

Donde

r = Radio al cuadrado

L = Longitud

Para determinar el volumen del tocón se utilizaron en cuenta los resultados de la tesis de Hernández (1998), en el que se probaron varios modelos de regresión lineal con la relación diámetro de la base del árbol – diámetro a 0.30 metros de altura del árbol, este autor utilizó los datos de 211 pares de valores de la tesis de Franco (1997). Concluyendo que el mejor modelo fue:

$$DBAS = 0.940577 + 1.000775 (D^3)$$

Donde

DBAS = Diámetro a la base del árbol en cm.

$D^3$  = Diámetro a 0.30 m de la altura del árbol en cm.

Donde el área basal de la base y a 0.30 m de altura del árbol se determinó con las siguientes fórmulas:

$$ABBAS = 0.0000785391 (DBAS)^2 \text{ y } AB3 = 0.0000785391 (D3)^2$$

Donde:

ABBS = Área basal de la base del árbol.

DBAS = Diámetro de la base del árbol.

AB3 = Área basal a 0.30 m de altura del árbol.

D3 = Diámetro a 0.30 metros de altura del árbol.

El volumen del tocón se determinó con base al área basal de la base y al área basal a 0.30 m de altura del árbol y al igual que Hernández (1998) se obtuvo el volumen del cono con la formula mencionada por Romahn *et al.* (1994) la cual es la siguiente:

$$VOLN = ((SSUPTO + RA\_CUB) ( RACUBAS + RACU3) / 4) (0.3)$$

Donde:

VOLN = Volumen del cono truncado

SSUPTO = ABBAS + AB3

RA\_CUB = (ABBAS) ((AB3)<sup>1/3</sup>)

RACUBAS = ABBAS<sup>1/3</sup>

4 = Constante

0.3 = Altura del tocón en metros

Los volúmenes que se obtuvieron de los árboles por categoría diamétrica en los diferentes sitios, se separaron por árbol y categoría diamétrica sin tomar en cuenta los sitios en los que se obtuvieron los datos, para después calcular el volumen por categoría diamétrica y producto, se prosiguió a calcular el porcentaje por producto de las diferentes categorías diamétricas, para generar una matriz que representara los porcentajes de la distribución de productos de las diferentes categorías diamétricas.

### **3.2.12 Cálculo de la distribución de productos en porcentaje de las diferentes alternativas silvícolas**

Para el cálculo de la distribución de productos de las tres alternativas silvícolas, se calculó el volumen de los diferentes productos con respecto al volumen total de las categorías diamétricas en la última etapa de los escenarios haciendo uso de la matriz de porcentajes de la distribución de productos. Con la suma de los volúmenes de los diferentes productos y el total del volumen  $\text{ha}^{-1}$  se calculó la distribución de productos en porcentaje  $\text{ha}^{-1}$ .

### **3.2.13 Valor de la producción para cada alternativa silvícola**

Para hacer el cálculo del valor de la producción se utilizó la matriz de porcentajes por categoría diamétrica, para repartir el volumen extraído de los diferentes productos en las diferentes etapas proyectadas, obtenidos los valores en metros cúbicos  $\text{ha}^{-1}$  de los diferentes productos se multiplicó por el valor económico de cada producto, para el caso de pilotes para mina y morillos se convirtieron los valores a piezas para darle valor a cada pieza (Cuadro 3)

Cuadro 3. Valor de los productos forestales.

TMC	TCD	PM	MO	C	DESP
\$ 1000.00 m <sup>3</sup> r.	\$ 600.00 m <sup>3</sup> r.	\$200.00 pieza	\$ 180.00 pieza	\$ 300.00 m <sup>3</sup> r.	\$ 0.00 m <sup>3</sup>

TMC = Trozas medidas comerciales, TCD = Trozas cortas dimensiones, PM = Pilotes para mina, MO = Morillos, C = Celulósicos y DESP = Desperdicio.

### 3.2.14 Condición silvícola y dasométrica futura deseada

#### Duración y tipo de turno

Se analizó el comportamiento del desarrollo del rodal, básicamente lo referente a la curva de crecimiento en diámetro para determinar la edad a la cual se puede lograr un diámetro promedio del rodal aceptable. Por lo anterior, el tipo de turno a emplear será el técnico para lograr el diámetro deseado.

#### Condición silvícola y dasométrica futura deseada

Para encontrar la condición silvícola deseada fue necesario analizar la condición silvícola presente, revisando la estructura diamétrica, grado de densidad, existencias volumétricas y los crecimientos e incrementos, así como el uso de los resultados de investigación sobre el efecto del tratamiento de aclareo en el incremento, y con el auxilio de la guía de densidad elabora por Alonso (1996) se elaboró una estructura meta en el que cumpliera con los objetivos para llevar a la mejor condición al rodal, por lo que fue necesario aprovechar algunos árboles de las categorías diamétricas de 10 cm, 15 cm y 20 cm, así como también aprovechar las categorías diamétricas de 45 cm y 50 cm, de tal manera que el bosque alcance la normalidad y al relacionar la categoría diamétrica con el número de árboles ha<sup>-1</sup>, área basal ha<sup>-1</sup> y volumen ha<sup>-1</sup>, la curva generada presente una distribución normal.

Con la ayuda de la guía de densidad, y eliminados los árboles ya mencionados, en las 3 alternativas de manejo silvícola se busco el diámetro medio, altura media y

edad media ponderada, de tal forma que al relacionar dichas variables la distribución de las variables dasométricas presentaran una distribución normal llevando al bosque a la coetaneidad.

### **3.2.15 Distribución de productos deseada**

Al hacer el análisis de la condición original y al aprovechar los árboles de las diferentes categorías diamétricas se buscó que por lo menos el 60 % de la distribución de productos generará productos primarios.

### **3.2.16 Análisis de alternativas silvícolas**

Después del análisis de la condición silvícola presente se diseñaron varias alternativas compatibles. Se analizaron tres alternativas silvícolas, las que consistieron en:

#### **Alternativa 1 Sin manejo silvícola**

Con la ayuda de los I.C.A. por categoría diamétrica, altura y los datos de campo se hicieron proyecciones de la evolución del rodal para el 2022 y 2032, en cada etapa de crecimiento proyectada a cada 10 años se le eliminó la categoría diamétrica de 10 y 15 cm las que se morirían por efecto del autoaclareo, en esta última etapa se obtuvo la densidad  $ha^{-1}$ , altura  $ha^{-1}$ , edad  $ha^{-1}$ , área basal  $ha^{-1}$  y volumen  $ha^{-1}$  por categoría diamétrica. En cada etapa proyectada se calculó el diámetro promedio, altura media y edad media ponderada, con estos datos y haciendo uso de la guía de densidad elaborada por Alonso (1996), se obtuvo el grado de densidad para cada etapa de desarrollo. Se hizo la distribución de productos y finalmente se obtuvo el valor de producción para cada producto para el año 2032.

## **Alternativa 2 aclareo por lo alto**

Para el año 2012 se simuló un primer aclareo en el que se remueven las categorías diamétricas de 45 y 50 cm. Usando los I.C.A. originales por categoría diamétrica y aumentando los porcentajes de I.C.A. de las diferentes categorías diamétricas del resultado de la tesis de Hernández (1994) después de un aclareo, así como también haciendo uso de los I.C.A. originales en altura, se proyectó una primera etapa al año 2022, para este año se proyecta de acuerdo a los datos de la clase de copa obtenidos en campo, que la mitad de los árboles de las categorías diamétricas de 10 y 15 cm se pierden por efecto del autoaclareo, para este año todas las categorías diamétricas pasan a la siguiente y es necesario hacer una remoción, por lo que se removió la última categoría diamétrica que es la que alcanzó el diámetro aprovechable, de la misma manera se hizo una proyección al 2032, para este año las categorías diamétricas que en el año 2012 eran de 10 y 15 cm desaparecen por efecto del autoaclareo, y finalmente se obtiene la estructura dasométrica para el año 2032. En cada condición se calculó la densidad  $ha^{-1}$ , altura  $ha^{-1}$ , edad  $ha^{-1}$ , área basal  $ha^{-1}$  y volumen  $ha^{-1}$  por categoría diamétrica. En cada etapa proyectada se calculó el diámetro promedio, altura media y edad media ponderada, con estos datos y haciendo uso de la guía de densidad elaborada por Alonso (1996), se obtuvo el grado de densidad para cada etapa de desarrollo, se le hizo la distribución de productos y finalmente se obtuvo el valor de producción de cada producto para el año 2032.

## **Alternativa 3 aclareo mixto**

Para el año 2012 se hace un primer aclareo en el que se remueven las categorías diamétricas de 10, 15 y 50 cm. Usando los I.C.A. en diámetros originales y aumentando los porcentajes de I.C.A. después de un aclareo, resultado de la tesis de Hernández (1994), así como también haciendo uso de los I.C.A. originales en altura se hizo una primera proyección al año 2022, para este año todas las categorías diamétricas pasan a la siguiente, por lo que es necesario hacer un segundo aclareo, se remueve la última categoría diamétrica que es la que alcanzó el diámetro aprovechable y para fines

de alcanzar un bosque regular se extraen 6 árboles de el diámetro de 23 cm y 9 árboles del diámetro de 43 cm, se hizo una segunda proyección al año 2032, tomando en cuenta los I.C.A. originales y los del resultado de la tesis de Hernández (1994). En cada condición se calculó la densidad  $\text{ha}^{-1}$ , altura  $\text{ha}^{-1}$ , edad  $\text{ha}^{-1}$ , área basal  $\text{ha}^{-1}$  y volumen  $\text{ha}^{-1}$  por categoría diamétrica. En cada etapa proyectada se calculó el diámetro promedio, altura media y edad media ponderada, con estos datos y haciendo uso de la guía de densidad elaborada por Alonso (1996), se obtuvo el grado de densidad para cada etapa de desarrollo. Se le hizo la distribución de productos y finalmente se obtuvo el valor de producción de cada producto para el año 2032.

## IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 4.1 Condición original

#### Densidad

La densidad promedio original fue de 467 árboles  $\text{ha}^{-1}$  con un total de 13,190 árboles en el rodal, el mayor número de árboles  $\text{ha}^{-1}$  se encontró en la categoría diamétrica de 30 y 35 cm con 79 y 75 árboles  $\text{ha}^{-1}$  respectivamente, se puede observar que en la categoría diamétrica de 10 cm empieza con un número alto de árboles (69 árboles) disminuye en la categoría diamétrica de 20 cm (36 árboles), en la categoría diamétrica de 25 cm tiende a aumentar (63 árboles) hasta la categoría diamétrica de 35 cm (75 árboles), de la categoría diamétrica de 40 cm disminuye (33 árboles) hasta la categoría diamétrica de 50 cm (16 árboles). Este comportamiento es debido a que la especie es intolerante y que además se encuentra formando un rodal cercano a la coetaneidad (Cuadro 4).

Cuadro 4. Densidad, volumen y área basal del área de estudio.

Categoría diamétrica (cm)	Altura ajustada (m)	Densidad (árboles $\text{ha}^{-1}$ )	Densidad total (árboles)	Área basal ( $\text{m}^2 \text{ha}^{-1}$ )	Área basal total ( $\text{m}^2$ )	Volumen ( $\text{m}^3 \text{ha}^{-1}$ )	Volumen total ( $\text{m}^3$ )
10	8	69	1948	0.541	15.297	2.624	74.244
15	11	57	1604	1.001	28.339	6.673	188.854
20	13	36	1015	1.127	31.902	9.076	256.854
25	15	63	1769	3.068	86.824	27.823	787.392
30	17	79	2236	5.584	158.033	54.569	1544.291
35	18	75	2123	7.216	204.209	73.690	2085.434
40	19	39	1101	4.887	138.300	51.000	1443.302
45	19	33	936	5.261	148.877	55.152	1560.794
50	19	16	460	3.191	90.297	33.153	938.237
<b>Total</b>		467	13,190	31.876	902.077	313.760	8879.402

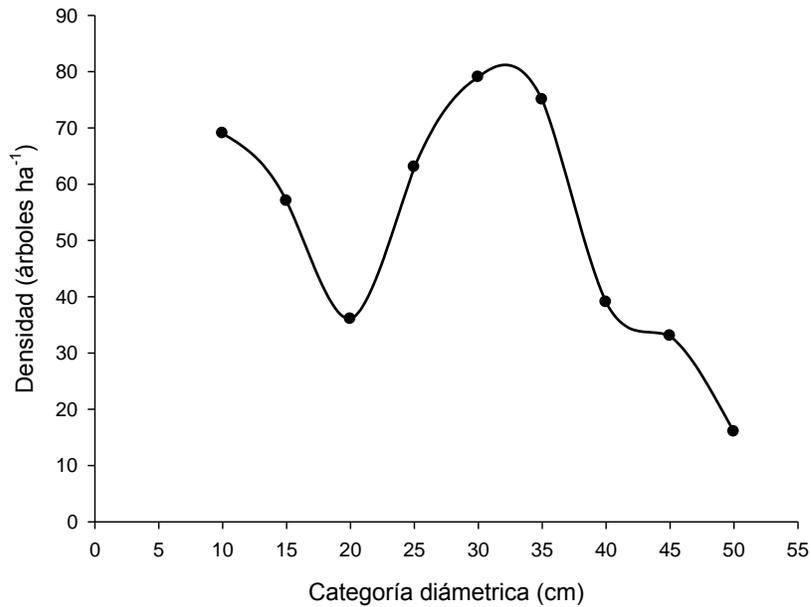


Figura 2. Densidad por categoría diamétrica de la estructura original.

### Área basal

El área basal ha<sup>-1</sup> es de 31.855 m<sup>2</sup>, el mayor valor de área basal se puede observar en la categoría diamétrica de 35 cm con 7.2159 m<sup>2</sup> ha<sup>-1</sup>, la categoría diamétrica que prosigue es la de 30 cm con 5.5842 m<sup>2</sup>, el área basal se comporta de forma creciente, de manera que aumenta la categoría diamétrica aumenta el área basal, este comportamiento es debido a que en las categorías mayores se concentra el mayor número de árboles, en la categoría diamétrica de 50 cm puede observarse que el área basal es de 3.1907 m<sup>2</sup> con 16 árboles ha<sup>-1</sup>, este comportamiento es debido a que el rodal se encuentra cercano a la coetaneidad de tal manera que para las categorías diamétricas mayores el número de árboles ha<sup>-1</sup> es menor. El área basal total para el rodal es de 902.0772 m<sup>2</sup> (Cuadro 4).

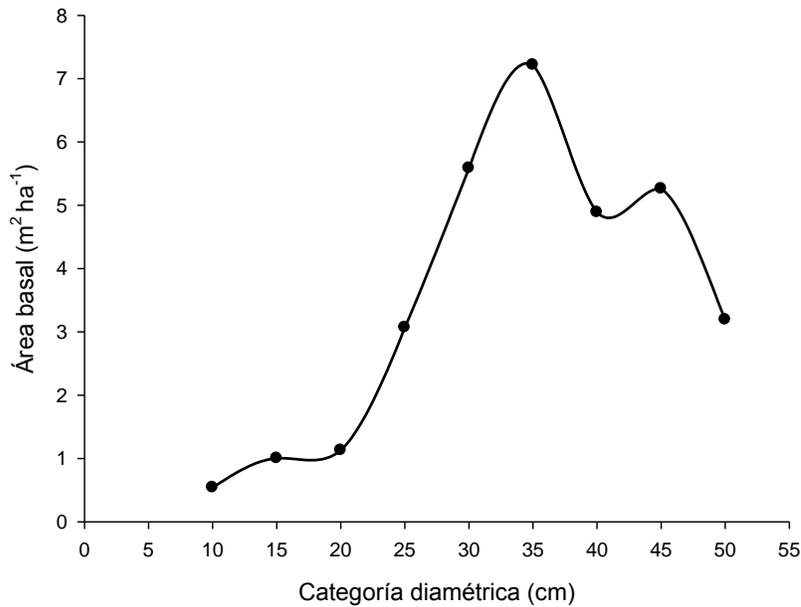


Figura 3. Área basal por categoría diamétrica de la estructura original.

### Volumen

El volumen total  $\text{ha}^{-1}$  es de  $313.7598 \text{ m}^3$ , el volumen total en el área de estudio es de  $8,879.4015 \text{ m}^3$ , el mayor volumen se encuentra en la categoría diamétrica de 35 y 45 cm con  $73.0902$  y  $55.1517 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$  respectivamente, este comportamiento es debido a que en estas categorías se concentra un buen número de árboles  $\text{ha}^{-1}$  (75 y 33 respectivamente), la categoría de 30 cm presenta  $54.5686 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$  con 79 árboles, la categoría diamétrica de 40 cm con  $51.0001 \text{ m}^3$  y 39 árboles  $\text{ha}^{-1}$ , la categoría diamétrica de 50 cm presenta  $33.1532 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ , en las categorías diamétricas antes mencionadas se encuentra el 85.28 % del volumen con respecto al volumen total, y el menor volumen se concentra en las categorías diamétricas de 10, 15, 20 y 25 cm (Cuadro 4).

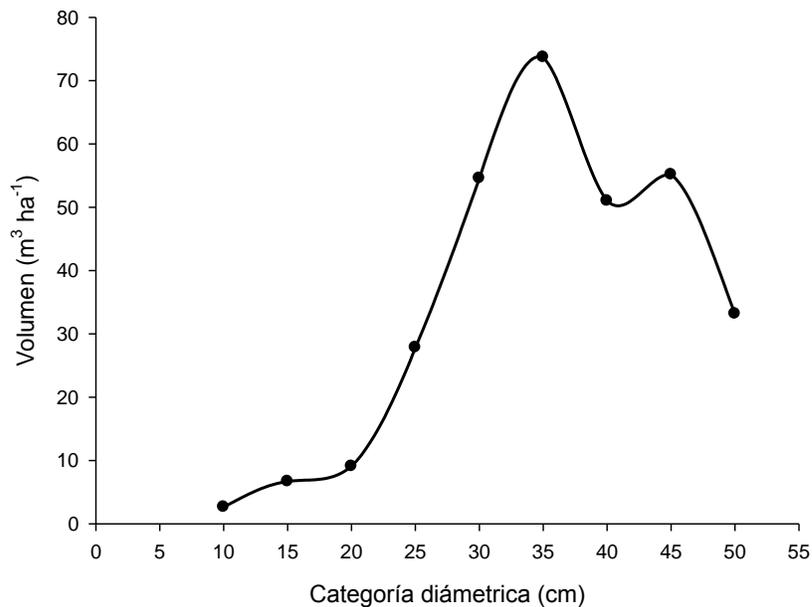


Figura 4. Volumen por categorías diamétricas de la estructura original.

#### 4.1.1 Densidad y grado de densidad

El diámetro promedio ponderado fue de 27 cm, con el empleo de la guía de densidad elaborada por Alonso (1996) (Cuadro 1) se obtuvo el grado de densidad para el diámetro promedio ponderado, resultando 631 árboles ha<sup>-1</sup> como máxima densidad para el diámetro promedio resultante de 27 cm; la densidad original para el rodal es de 467 árboles, que corresponde al 74.01 % de grado de densidad con respecto a la máxima densidad.

#### 4.1.2 Crecimiento e incremento

Curva de crecimiento en altura

Se muestra la curva de altura ajustada y la dispersión de los datos de alturas promedio original, la altura media para el rodal es de 15 metros a la edad de 61 años de la estructura original. Para el ajuste de las alturas con respecto a la edad, se probó la

ecuación de Henriksen y la ecuación de Schumacher, la función de Schumacher fue la que mejor se ajustó, presentando un  $R^2_{adj}$  de 0.997 y CME de 0.764 (Cuadro 5).

Cuadro 5. Altura ajustada con respecto a la edad.

Categoría diamétrica (cm)	Edad Ajustada (años)	Altura ajustada (m)
5	23	5
10	34	9
15	43	11
20	51	13
25	59	15
30	66	16
35	72	17
40	79	18
45	85	19
50	91	19

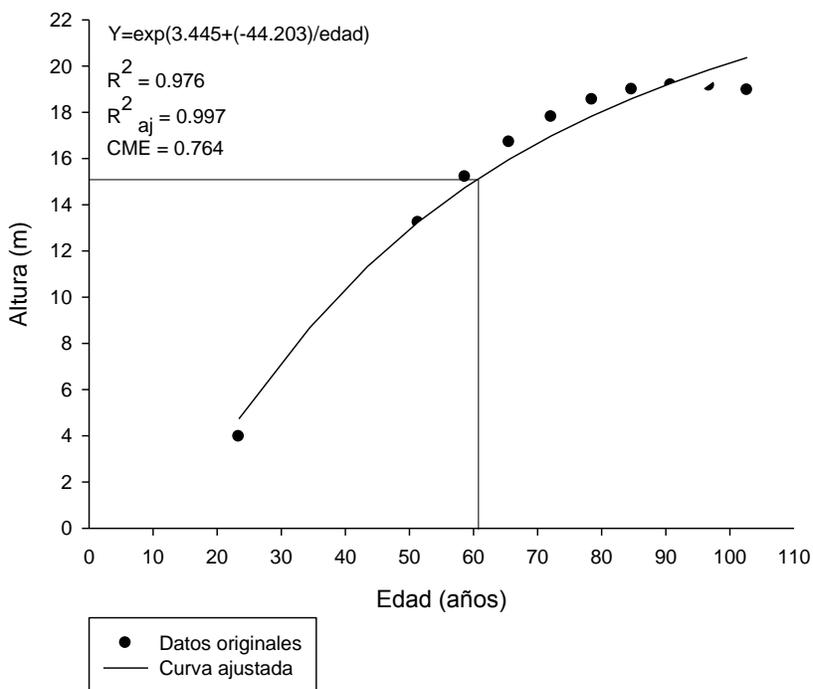


Figura 5. Curva de crecimiento ajustada de edad-altura del área de estudio.

## Curva de crecimiento en diámetro

Para obtener esta relación fue necesario ajustar las edades con respecto a los diámetros medios, se usó la ecuación de Henriksen, la ecuación de Schumacher y la función de Power, la función de Power fue la que mejor se ajustó con un  $R^2_{adj}$  de 0.998 y CME de 5.22. El diámetro medio para la estructura original es de 27 cm con 61 años de edad (Cuadro 6).

Cuadro 6. Diámetro medio con respecto a la edad.

Categoría diamétrica (cm)	Edad ajustada	Diámetro medio (cm)
5	23	5
10	34	10
15	43	15
20	51	20
25	59	25
30	66	30
35	72	35
40	79	41
45	85	45
50	91	49

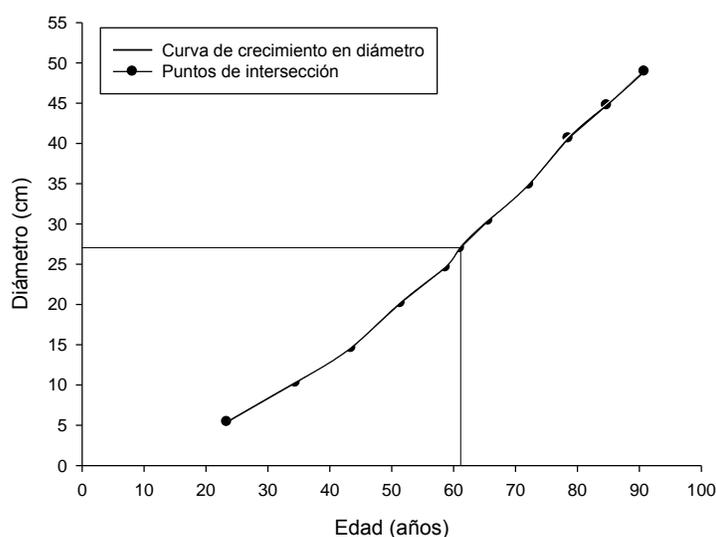


Figura 6. Curva de crecimiento edad-diámetro medio del área de estudio.

## Incremento en volumen

El mayor I.C.A. en volumen se encontró en la categoría diamétrica de 35 y 30 cm (1.3308 y 1.0502 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup>año<sup>-1</sup>), y el menor I.C.A. se encontró en la categoría diamétrica de 10 cm (0.0502 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup>año<sup>-1</sup>), este incremento es debido a que la especie es de lento crecimiento en la etapa juvenil, disparándose dicho crecimiento entre los 10 a 15 años. De la misma forma se comporta el I.M.A. presentando los mayores incrementos en las categorías diamétricas de 30 y 35 cm (0.8322 y 1.0213 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup>año<sup>-1</sup>). El I.C.A. total en m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup>año<sup>-1</sup> es de 5.3738 y un I.M.A. total de 4.3997 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup>año<sup>-1</sup> (Cuadro 7).

Cuadro 7. Incremento corriente anual e incremento medio anual promedio en volumen por categoría diamétrica.

CD	ICA	IMA
10	0.0502	0.0761
15	0.2257	0.1536
20	0.2695	0.1767
25	0.6109	0.4741
30	1.0518	0.8322
35	1.3308	1.0213
40	0.8186	0.6495
45	0.7208	0.6510
50	0.2955	0.3652
Total	5.3738	4.3997

## Incremento en diámetro

El mayor I.C.A. se encontró en la categoría diamétrica de 40 y 45 cm (0.3200 y 0.3061 cm año<sup>-1</sup>), el menor incremento ocurre en la categoría diamétrica de 10 cm (0.2299 cm año<sup>-1</sup>) seguido por la categoría diamétrica de 50 cm (0.2439 cm año<sup>-1</sup>), esto es debido a que dichos árboles son los más maduros, que por efecto de la edad y la densidad el crecimiento disminuye, cabe hacer mención que para las categorías diamétricas de 15 , 20, 25 y 30 cm los valores de I.C.A. se mantienen constantes (0.2500, 0.2778, 0.2542 y 0.2711 cm año<sup>-1</sup>). Hernández (1994) encontró los mayores I.C.A. en

las categorías diamétricas de 25 y 30 cm ( $0.4258$  y  $0.4259$  cm año<sup>-1</sup>), esto es debido a que las estructuras son diferentes ya que dicho autor encuentra mayor número de árboles en las categorías diamétricas inferiores, en comparación con la estructura original del rodal en estudio, el mayor número de árboles se encuentra en las categorías diamétricas superiores. El ICA promedio es de  $0.2730$  cm año<sup>-1</sup> (Cuadro 8).

Cuadro 8. Incremento corriente anual e incremento medio anual promedio en diámetro por categoría diamétrica.

CD	ICA	IMA
10	0.2299	0.2903
15	0.2500	0.3453
20	0.2778	0.3893
25	0.2542	0.4260
30	0.2711	0.4575
35	0.3041	0.4851
40	0.3200	0.5094
45	0.3061	0.5312
50	0.2439	0.5507
Promedio	0.2730	

#### Incremento en altura

El mayor I.C.A. en altura se presenta en las categorías diamétricas inferiores, para la categoría diamétrica de 10 cm se tiene  $0.1669$  metros año<sup>-1</sup>, para la categoría diamétrica de 15 cm se tiene  $0.1542$  metros año<sup>-1</sup>, pero disminuye en progresivamente conforme aumenta la categoría diamétrica, para la categoría diamétrica de 45 cm se tiene  $0.0271$  metros año<sup>-1</sup> y para la categoría diamétrica de 50 cm se tiene  $0.0092$  metros año<sup>-1</sup>, este comportamiento es diferente a los incrementos en diámetro y altura, ya que el crecimiento en altura en las primeras etapas de desarrollo es rápido y en diámetro el crecimiento es lento, aumentándose conforme aumenta de edad, así como también por efecto de aclareos (Cuadro 9).

Cuadro 9. Incremento corriente anual e incremento medio anual promedio en altura por categoría diamétrica.

CD	ICA	IMA
10	0.1669	0.2214
15	0.1542	0.2467
20	0.1392	0.2573
25	0.1005	0.2589
30	0.0816	0.2547
35	0.0666	0.2466
40	0.0475	0.2361
45	0.0271	0.2240
50	0.0092	0.2111

#### 4.2. I.C.A. en diámetro posterior al aclareo con los datos generados por Hernández (1994).

Para simular y poder proyectar una primera corta como primera alternativa, es necesario saber el crecimiento de los árboles, para esta investigación se tomaron en cuenta los porcentajes aumentados del I.C.A. antes y después del aclareo de la tesis de Hernández (1994), con los datos de I.C.A. del área de estudio se simuló el porcentaje que aumentará el I.C.A. e I.M.A. después de los aclareos en 10 años. Los resultados de las tesis de Hernández (1994) solo cuenta con incrementos hasta la categoría diamétrica de 35 cm, para obtener los datos de incrementos de las categorías diamétricas faltantes se tomó en cuenta los datos de incremento de la categoría diamétrica de 35 cm ( $0.3201 \text{ cm año}^{-1}$ ), de tal manera que para obtener el incremento para la categoría diamétrica de 40 cm se usó el porcentaje aumentado con respecto a la categoría diamétrica de 35 cm (5.24 %), este mismo porcentaje se sumó al incremento de dicha categoría diamétrica y de esa manera obtener el I.C.A. después de un aclareo para la categoría diamétrica de 40 cm ( $0.3361 \text{ cm año}^{-1}$ ), de esta misma forma se obtuvo los incrementos de las categorías diamétricas de 45 y 50 cm. (Cuadro 10).

Cuadro 10. Incrementos antes y después del aclareo, y el porcentaje de I.C.A. e I.M.A. ganado después del aclareo en diámetro.

Categoría diamétrica (cm)	Antes		Después		% (+)	% (+)
	ICA/árbol	IMA/árbol	ICA/árbol	IMA/árbol	ICA	IMA
10	0.2299	0.2903	0.2444	0.2973	6.31	2.44
15	0.2500	0.3453	0.2608	0.3513	4.31	1.74
20	0.2778	0.3893	0.3024	0.3952	8.88	1.51
25	0.2542	0.4260	0.2794	0.4308	9.91	1.12
30	0.2711	0.4575	0.3022	0.4621	11.48	1.01
35	0.3041	0.4851	0.3201	0.4895	5.28	0.91
40	0.3200	0.5094	0.3361	0.5137	5.02	0.84
45	0.3061	0.5312	0.3222	0.5350	5.25	0.72
50	0.2439	0.5507	0.2600	0.5536	6.59	0.52

La categoría diamétrica de 40 cm fue la que mayor I.C.A. presentó (0.3200 cm año<sup>-1</sup>), seguido por las categorías diamétricas de 45 y 35 (0.3061 y 0.3041 cm año<sup>-1</sup>), la categoría que menos incremento presentó fue la de 10 cm (0.2299 cm año<sup>-1</sup>), el I.C.A. promedio del rodal es de 0.2730 cm año<sup>-1</sup>, estos valores pueden atribuirse al número de árboles de dichas categorías. Hernández (1994) en su estudio realizado antes y después de un aclareo en la Sierra de Arteaga encontró que el mayor I.C.A. ocurrió en las categorías de 25 y 30 cm (0.4258 cm año<sup>-1</sup>) y el menor valor promedio en la categoría diamétrica de 10 cm (0.3912 cm año<sup>-1</sup>) antes del aclareo. Para el I.C.A. después del aclareo encontró una media de (0.4409 cm año<sup>-1</sup>), obteniéndose el mayor valor en las categorías diamétricas de 25 y 30 cm (0.4680 cm año<sup>-1</sup>), y el menor valor se presentó en la categoría diamétrica de 10 cm (0.49 cm año<sup>-1</sup>).

#### 4.3 Volumen y porcentajes de la distribución de productos original

La distribución de productos original ha<sup>-1</sup> presenta un volumen total de 313.760 m<sup>3</sup> r. t. a. ha<sup>-1</sup> de los cuales 73.81 % son destinados para trozas medidas comerciales, 5.60 % es destinado para trozas cortas dimensiones, 5.60 % es destinado para pilotes para mina, 6.88 % es destinado para morillos, 5.23 % es destinado para celulósicos y 3.41 % es destinado para desperdicio. Se puede observar que la mayor parte del volumen es destinado a trozas medidas comerciales, este atributo se le puede asignar de-

bido a que el rodal se encuentra cercano a la coetaneidad, donde el mayor número de árboles se concentra en las categorías diamétricas superiores, como es el caso de las categorías diamétricas de 30 cm hasta la de 45 cm, el porcentaje de los productos como trozas cortas dimensiones, pilotes para mina y morillos son bajos debido a que el mayor volumen es de mayor calidad y se distribuyen en trozas medidas comerciales, para el caso de celulósicos se puede observar un porcentaje razonable (5.23 %) debido a que si recurrimos a la densidad de las categorías diamétricas inferiores y la clase de copa que ocupan, se encuentran suprimidos con bajo número de árboles  $\text{ha}^{-1}$ , en lo que concierne al desperdicio el porcentaje es bajo (3.41 %) este valor se debe a que el la mayor parte del volumen  $\text{ha}^{-1}$  es aprovechable en los productos como celulósicos (Cuadro 11).

Cuadro 11. Volumen ( $\text{m}^3$  r. t. a.  $\text{ha}^{-1}$ ) y porcentajes de la distribución de productos original.

CD	VT $\text{m}^3$ r. t. a. $\text{ha}^{-1}$	TMC	TCD	PM	MO	C	DESP
10	2.623					2.291	0.333
15	6.673				5.076	1.196	0.402
20	9.076	0.520	0.753	2.251	4.419	0.841	0.292
25	27.823	15.213	2.705	3.737	2.694	2.640	0.834
30	54.569	40.998	4.261	2.361	4.725	0.831	1.393
35	73.690	56.801	4.318	3.818	2.808	4.012	1.932
40	51.000	42.859	2.755	2.348	0.944	0.746	1.347
45	55.152	49.007	1.828	0.932	0.934	0.791	1.659
50	33.153	26.191	0.945	0.432	0.000	3.077	2.508
Total	313.760	231.589	17.565	15.880	21.600	16.425	10.700
%		73.81	5.60	5.06	6.88	5.23	3.41

VT = Volumen total; TMC = Trozas medidas comerciales; TCD = Trozas cortas dimensiones; PM = Pilotes para mina; MO = Morillos; C = Celulósicos; DESP = Desperdicio.

#### 4.4 Condición silvícola futura deseada

Con base a la condición original del rodal, en lo referente a estructura diamétrica, grado de densidad, existencias volumétricas y los crecimientos e incrementos que se tienen actualmente, y haciendo uso de los resultados de investigación sobre el efecto

del tratamiento de aclareo sobre el incremento por Hernández (1994) y con el auxilio de la guía de densidad elaborada por Alonso (1996), se elaboró una estructura meta que cumple los objetivos o condicionantes que se describen a continuación.

En lo referente al manejo de la densidad se busca que el rodal en todo momento, antes y después de las cortas se mantenga con un grado de densidad entre el 60 y 80 %, y además se espera que al final del turno se tenga al menos un 80 % de grado de densidad, un área basal mínima de 30 m<sup>2</sup>/ha, un diámetro medio del rodal de 40 cm, una amplitud máxima de cinco categorías diamétricas y un diámetro mínimo de 30 cm (Cuadro 12).

Cuadro 12. Estructura dasométrica meta al final del turno.

Categoría diamétrica (cm)	Densidad meta (arb ha <sup>-1</sup> )	Volumen árbol <sup>-1</sup>	Volumen ha <sup>-1</sup>	A.B. Unitaria	A.B. (m <sup>2</sup> ha <sup>-1</sup> )
30	30	0.4452	13.356	0.0212	0.636
35	63	0.6907	43.514	0.0962	6.06
40	79	0.9825	77.617	0.1256	9.92
45	75	1.3114	98.355	0.159	11.92
50	30	1.6674	50.022	0.1963	5.89
Total	277		282.864		34.426

#### 4.5 Selección de alternativas

Se escogieron tres alternativas para alcanzar la condición futura deseada, cuyos resultados se presentan a continuación para las diferentes etapas de desarrollo.

##### 4.5.1 Alternativa 1 sin manejo silvícola

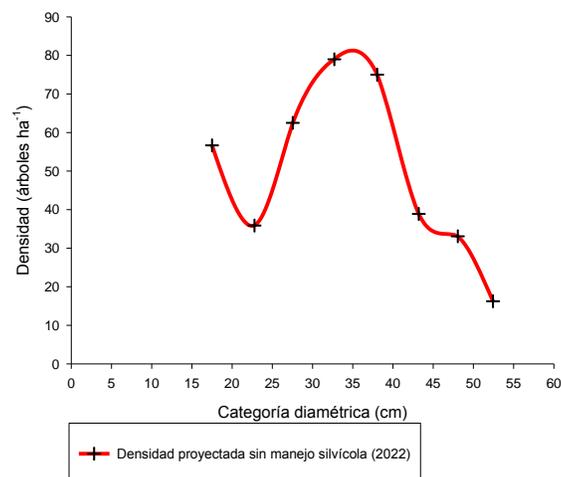
En esta alternativa como no hay intervención silvícola se tomó en cuenta los valores de I.C.A. que corresponden a cada categoría diamétrica en la condición original.

Densidad, área basal y volumen de la proyección al año 2022 de la alternativa 1 sin manejo silvícola.

Con la aplicación de los incrementos en diámetro y altura originales los diámetros aumentaron pasando a la siguiente categoría diamétrica a excepción de la categoría diamétrica de 50 cm que se queda en 52 cm, y por efecto del autoaclareo la categoría diamétrica de 18 cm para estos diez años se eliminó, el número de árboles ha<sup>-1</sup> en el rodal es de 398, con un área basal de 36.922 m<sup>2</sup> ha<sup>-1</sup> y con un volumen de 375. 596 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup> (Cuadro 13).

Cuadro 13. Densidad ha<sup>-1</sup>, área basal ha<sup>-1</sup> y volumen ha<sup>-1</sup> de la proyección al año 2022 de la alternativa 1 sin manejo silvícola.

Categoría diamétrica (cm)	Densidad (árboles ha <sup>-1</sup> )	Altura ajustada (m)	Edad ajustada en (años).	Área basal (m <sup>2</sup> ha <sup>-1</sup> )	Volumen en (m <sup>3</sup> ha <sup>-1</sup> )
18	57	12	53	1.363	10.311
23	36	15	61	1.462	12.900
28	63	16	69	3.724	35.708
33	79	18	76	6.639	67.443
38	75	18	82	8.524	89.399
43	39	19	89	5.700	60.357
48	33	19	95	6.001	63.144
52	16	19	101	3.510	36.333
<b>Total</b>	<b>398</b>			<b>36.922</b>	<b>375.596</b>



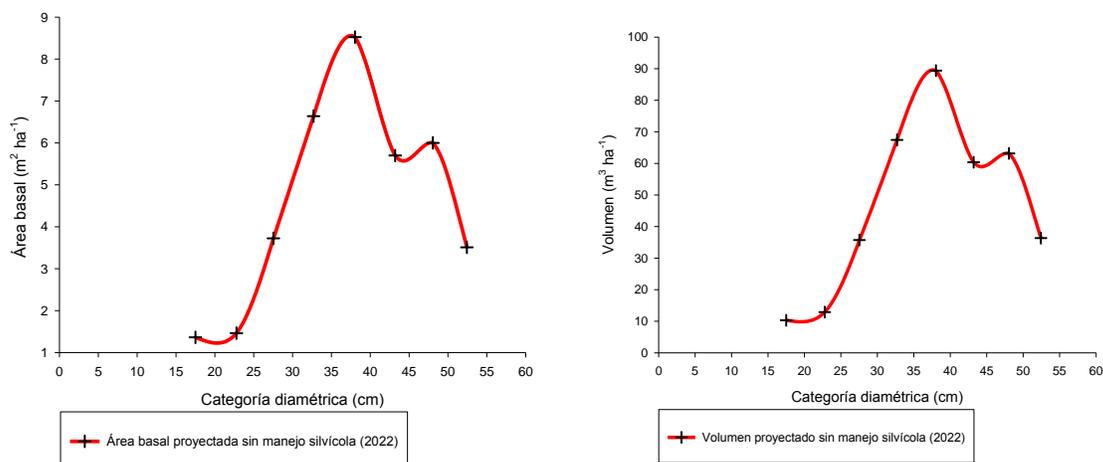


Figura 7. Densidad, área basal y volumen proyectado al año 2022 de la alternativa 1 sin majo silvícola.

Densidad, área basal y volumen de la proyección al año 2032 de la alternativa 1 sin manejo silvícola

Con la aplicación de los incrementos en diámetro y altura originales los diámetros aumentaron, en esta proyección los diámetros no pasan a la siguiente categoría diamétrica, debido a que los incrementos en diámetro originales sin aclareo no son suficientes para que la categoría diamétrica pase a la siguiente, además la categoría diamétrica que en el año 2012 era de 15 cm y en el año 2022 de 18 cm se eliminó por efecto del auto aclareo. En esta proyección se tiene una densidad de 341 árboles ha<sup>-1</sup>, un área basal de 41.254 m<sup>2</sup> ha<sup>-1</sup> y un volumen de 429.199 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup> (Cuadro 14).

Cuadro 14. Densidad ha<sup>-1</sup>, área basal ha<sup>-1</sup> y volumen ha<sup>-1</sup> de la proyección al año 2032 de la alternativa 1 sin manejo silvícola.

Categoría diamétrica (cm)	Densidad (árboles ha <sup>-1</sup> )	Altura ajustada (m)	Edad ajustada en (años).	Área basal (m <sup>2</sup> ha <sup>-1</sup> )	Volumen en (m <sup>3</sup> ha <sup>-1</sup> )
25	36	16	71	1.807	16.865
30	63	17	79	4.493	44.773
36	79	18	86	7.931	82.655
41	75	19	92	10.018	106.482
46	39	19	99	6.537	69.393
51	33	19	105	6.625	69.393
55	16	19	111	3.844	39.638
<b>Total</b>	<b>341</b>			<b>41.254</b>	<b>429.199</b>

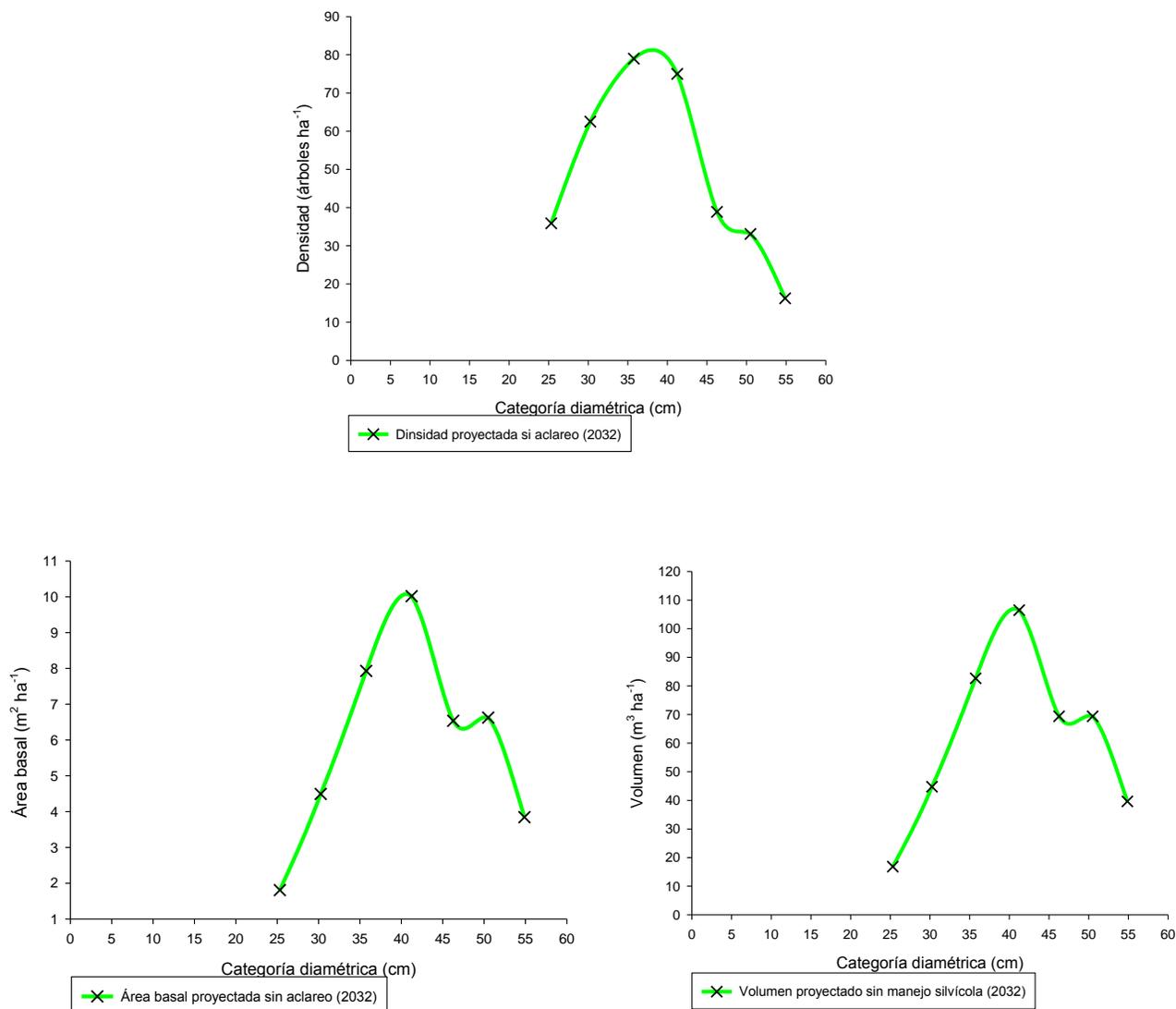


Figura 8. Densidad, área basal y volumen proyectado al año 2032 de la alternativa 1 sin manejo silvícola.

Condición original, Remoción y condición residual en densidad, área basal y volumen por categoría diamétrica proyectada para los años 2012, 2022 y 2032

En la condición original para el año 2012 se cuenta con 467 árboles ha<sup>-1</sup>, 31.876 m<sup>2</sup> ha<sup>-1</sup> de área basal y 313.760 m<sup>3</sup> r. t. a. ha<sup>-1</sup> de volumen, para el año 2022 se elimina por efecto del autoaclareo la categoría diamétrica de 10 cm, en este caso el número de árboles ha<sup>-1</sup> disminuye, pero por efecto de los incrementos originales en diámetro y altura el área basal aumenta a 36.922 m<sup>2</sup> ha<sup>-1</sup> y el volumen aumenta a 375.596 m<sup>3</sup> r. t. a.

ha<sup>-1</sup>, y para el año 2032 se elimina la categoría diamétrica que para el año 2012 era de 15 cm y en el año 2022 era de 20 cm, de esta manera el número de árboles ha<sup>-1</sup> disminuye, pero por efecto de los incrementos en diámetro y altura originales se tiene un área basal de 41.252 m<sup>2</sup> ha<sup>-1</sup> y un volumen de 429.199 m<sup>3</sup> r. t. a. ha<sup>-1</sup>. En esta parte es importante hacer notar que para cada año proyectado con los incrementos originales las categorías diamétricas proyectadas a 10 años cambian a la siguiente categoría diamétrica y por consiguiente tomando en cuenta los incrementos en altura, estas aumentan progresivamente, pero para el año 2032 las categorías diamétricas no pasan a la siguiente categoría diamétrica (Cuadro 15).

Cuadro 15. Condición original remoción y condición residual en densidad, área basal y volumen por categoría diamétrica para los años 2012, 2022 y 2032 de la alternativa 1 sin manejo silvícola.

Sin intervención silvícola									
2012				2022			2032		
Condición original				Condición original			Condición original		
Categoría diamétrica (cm)	Densidad (árboles ha <sup>-1</sup> )	Área basal (m <sup>2</sup> ha <sup>-1</sup> )	Volumen en (m <sup>3</sup> ha <sup>-1</sup> )	Densidad (árboles ha <sup>-1</sup> )	Área basal (m <sup>2</sup> ha <sup>-1</sup> )	Volumen en (m <sup>3</sup> ha <sup>-1</sup> )	Densidad (árboles ha <sup>-1</sup> )	Área basal (m <sup>2</sup> ha <sup>-1</sup> )	Volumen en (m <sup>3</sup> ha <sup>-1</sup> )
10	69	0.541	2.624						
15	57	1.001	6.673						
20	36	1.127	9.076	57	1.363	10.311			
25	63	3.068	27.823	36	1.462	12.900	36	1.807	16.865
30	79	5.584	54.569	63	3.724	35.708	63	4.493	44.773
35	75	7.216	73.690	79	6.639	67.443	79	7.931	82.655
40	39	4.887	51.000	75	8.524	89.399	75	10.019	106.482
45	33	5.261	55.152	39	5.700	60.357	39	6.537	69.393
50	16	3.191	33.153	33	6.001	63.144	33	6.625	69.393
55				16	3.510	36.333	16	3.844	39.638
<b>Total</b>	<b>467</b>	<b>31.876</b>	<b>313.760</b>	<b>398</b>	<b>36.922</b>	<b>375.596</b>	<b>341</b>	<b>41.254</b>	<b>429.199</b>

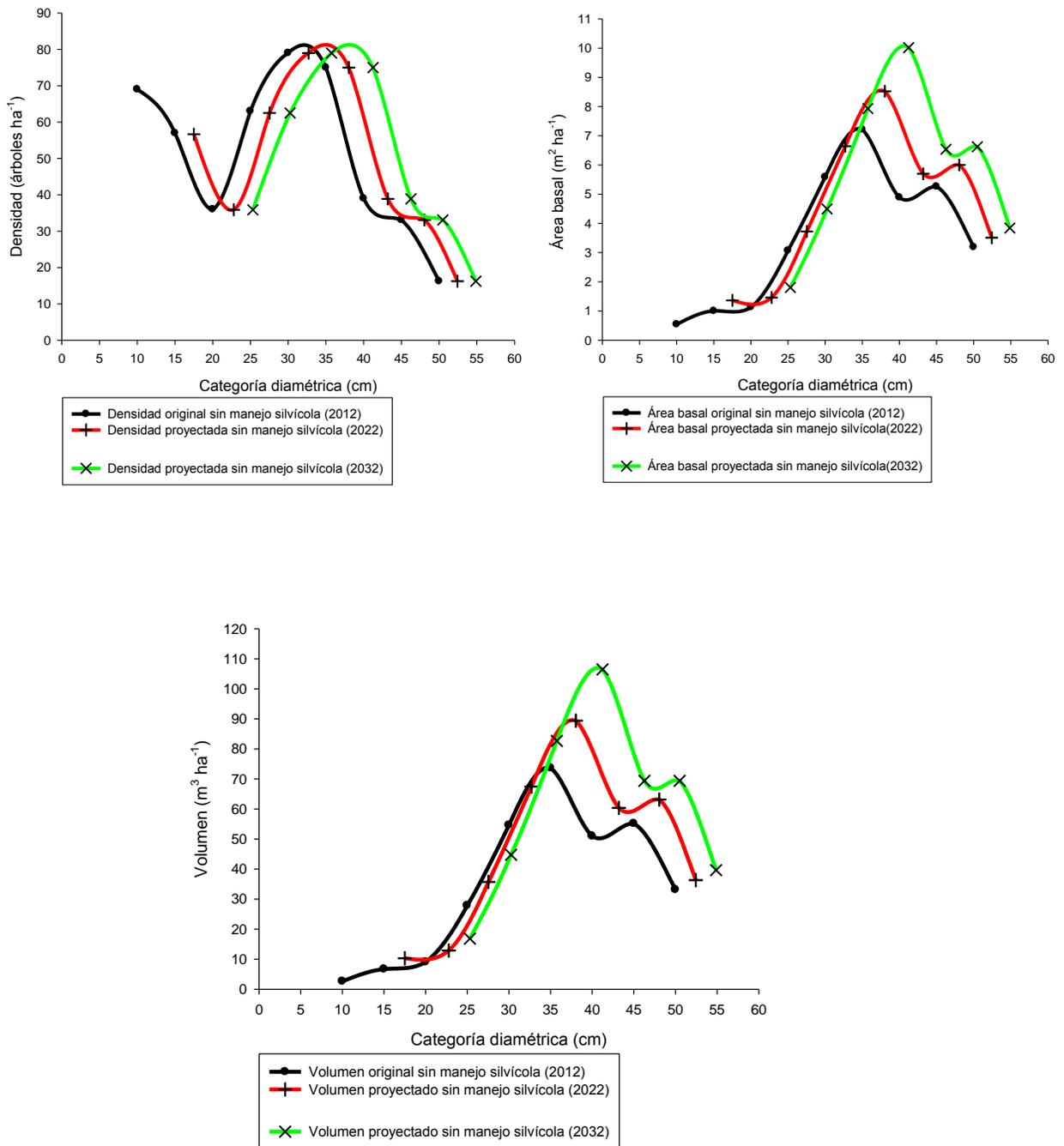


Figura 9. Condición original remoción y condición residual en densidad, área basal y volumen por categoría diamétrica para los años 2012, 2022 y 2032 de la alternativa 1 sin manejo silvícola.

## Grado de densidad original y proyectado para el año 2022 y 2032

El grado de densidad aumenta a medida que transcurre el tiempo, ya que el grado de densidad original es de 74.01 %, el grado de densidad proyectada al año 2022 es de 86.33 % y el grado de densidad proyectado para el año 2032 es de 92.16 %, este efecto se debe a que no existe ninguna intervención silvícola en cada etapa de crecimiento, haciendo que el nivel de densidad sea alto en la última etapa proyectada (Cuadro 16).

Cuadro 16. Grado de densidad original y proyectado para el año 2022 y 2032.

Grado de densidad original	Grado de densidad para el año 2022	Grado de densidad para el año 2032
74.01 %	86.33 %	92.16%

## Altura, diámetro y edad media original y proyectada para el año 2022 y 2032

El diámetro medio, altura media y edad media aumentan a medida que el rodal aumenta de edad, este efecto es debido a que al eliminarse el estrato inferior por efecto del autoaclareo no se toman en cuenta sus medidas dasométricas haciendo que el aumento sea en forma ascendente (Cuadro 17).

Cuadro 17. Altura, diámetro y edad media original y proyectada para el año 2022 y 2032.

Año	Diámetro medio (cm)	Altura media (metros)	Edad media (años)
2012	27	15	61
2022	33	17	65
2032	38	18	89

### 4.5.2 Alternativa 2 aclareo por lo alto

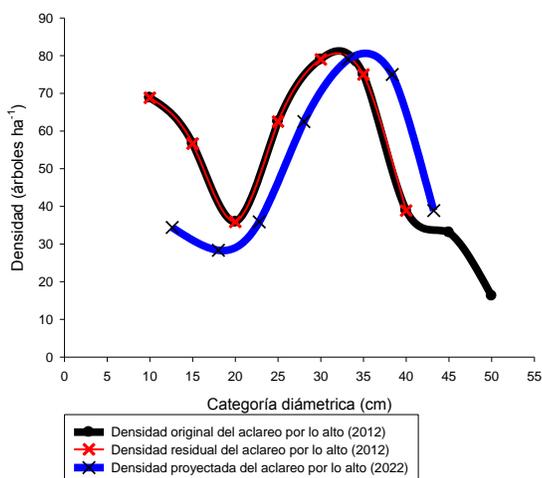
Se tomaron en cuenta los I.C.A. originales y los resultantes después del aclareo de la tesis de Hernández (1994), así como también los I.C.A. originales en altura.

## Densidad, área basal y volumen de la proyección al año 2022 de la alternativa 2 aclareo por lo alto

En esta atapa se eliminó la categoría diamétrica de 45 y 50 cm en el año 2012, quedando las categorías diamétricas de 10 cm hasta la de 40 cm, donde por efecto del autoaclareo las categorías diamétricas de 10 cm y 15 cm se eliminó la mitad del arbolado de cada categoría diamétrica para el año 2022, la categoría diamétrica de 5 cm no se tomó en cuenta debido a que los casi nulos ejemplares se morirán por efecto del autoaclareo en dos o tres años. En esta proyección a 10 años las categorías diamétricas aumentan de tal manera que todas pasan a la siguiente categoría diamétrica. El número de árboles  $\text{ha}^{-1}$  es de 354, con un área basal de  $27.685 \text{ m}^2 \text{ ha}^{-1}$  y un volumen de  $274.600 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$  (Cuadro 18).

Cuadro 18. Densidad  $\text{ha}^{-1}$ , área basal  $\text{ha}^{-1}$  y volumen  $\text{ha}^{-1}$  de la proyección al año 2022 de la alternativa 2 aclareo por lo alto.

Categoría diamétrica (cm)	Densidad (árboles $\text{ha}^{-1}$ )	Altura ajustada (m)	Edad ajustada en (años).	Área basal ( $\text{m}^2 \text{ ha}^{-1}$ )	Volumen en ( $\text{m}^3 \text{ ha}^{-1}$ )
13	34	9	44	0.430	2.470
18	28	12	53	0.723	5.360
23	36	14	61	1.464	12.518
28	63	16	69	3.855	36.339
33	79	17	76	6.839	68.587
38	75	18	82	8.668	89.669
43	39	19	89	5.706	59.656
<b>Total</b>	<b>354</b>			<b>27.685</b>	<b>274.600</b>



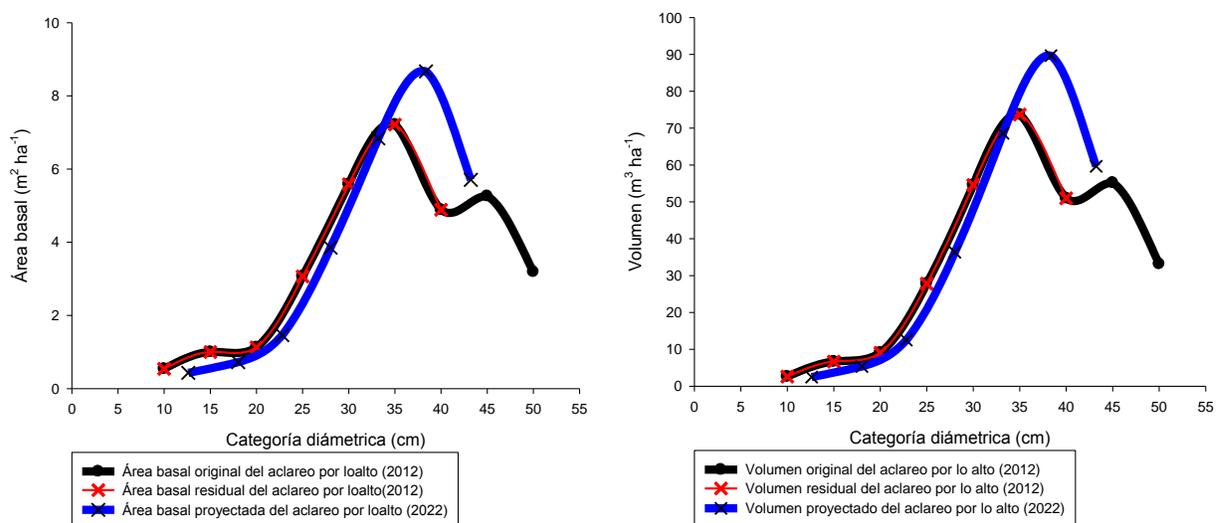


Figura 10. Densidad, área basal y volumen original, residual y proyectado al año 2022 de la alternativa 2 aclareo por lo alto.

Densidad, área basal y volumen de la proyección al año 2032 de la alternativa 2 aclareo por lo alto

Para la proyección de esta etapa se eliminaron en la proyección del año 2022 los árboles restantes de las categorías diamétricas de 10 cm y 15 cm por efecto del auto-aclareo mismos que para el año 2022 eran de 15 y 20 cm, debido a los incrementos originales y los obtenidos por Hernández (1994) las categorías diamétricas pasaron a la siguiente, por tal efecto la última categoría diamétrica alcanzó el diámetro aprovechable de 43.22 cm, los diámetros finales proyectados al 2032 son de 26, 31, 37, y 42 cm. Con una densidad de 253 árboles  $ha^{-1}$ , un área basal de 25.1432  $m^2 ha^{-1}$  y un volumen de 260.455  $m^3 ha^{-1}$  (Cuadro 19).

Cuadro 19. Densidad  $ha^{-1}$ , área basal  $ha^{-1}$  y volumen  $ha^{-1}$  de la proyección al año 2032 de la alternativa 2 aclareo por lo alto.

Categoría diamétrica (cm)	Densidad (árboles $ha^{-1}$ )	Altura ajustada (m)	Edad ajustada en (años).	Área basal ( $m^2 ha^{-1}$ )	Volumen en ( $m^3 ha^{-1}$ )
26	36	16	71	1.8783	17.992
31	63	17	79	4.7875	48.566
37	79	18	86	8.2942	86.605
42	75	19	92	10.1853	107.292
<b>Total</b>	<b>253</b>			<b>25.1432</b>	<b>260.455</b>

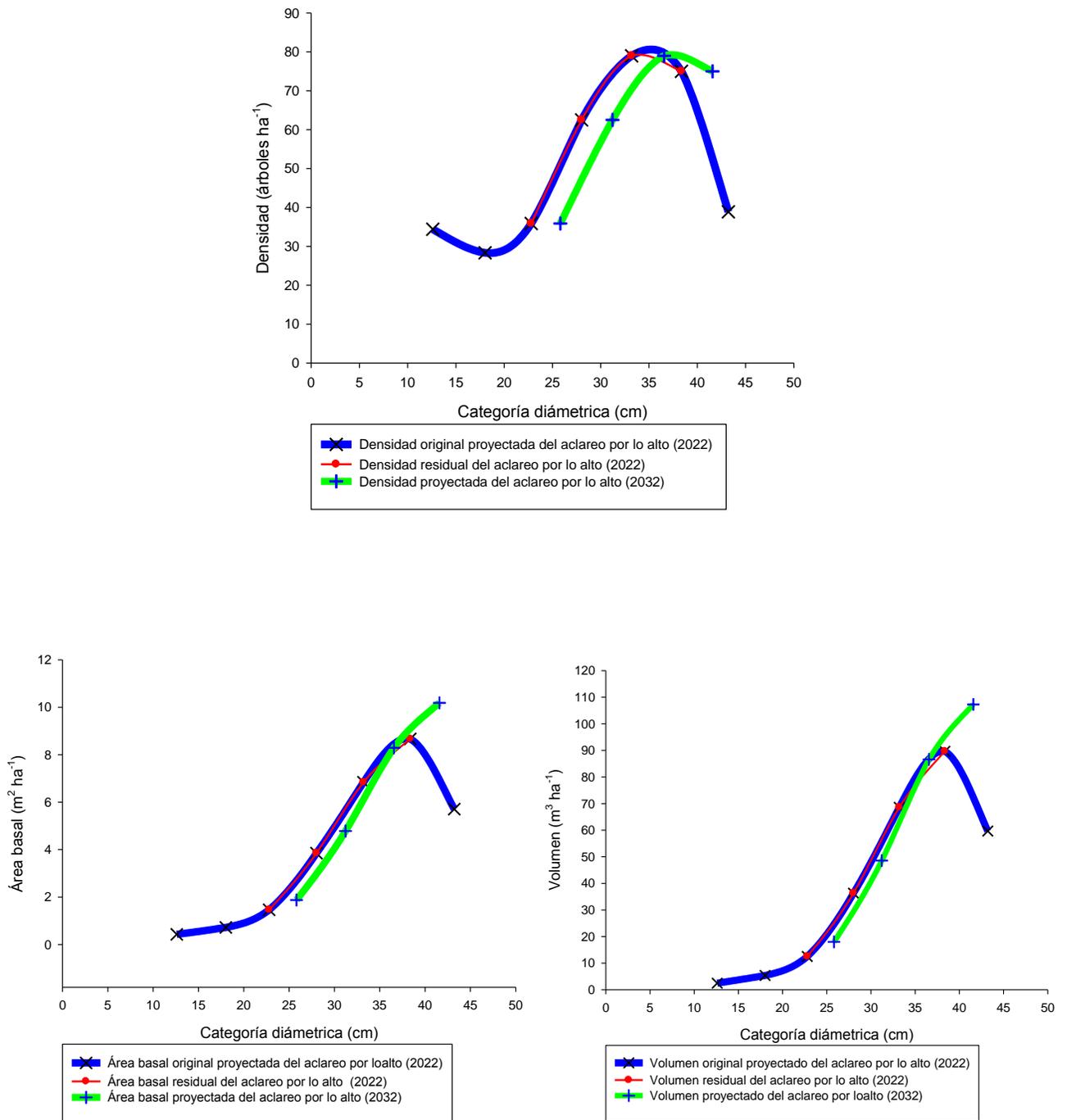


Figura 11. Densidad, área basal y volumen original, residual y proyectado al año 2032 de la alternativa 2 aclareo por lo alto.

Condición original, remoción y condición residual en densidad, área basal y volumen por categoría diamétrica proyectada para los años 2012, 2022 y 2032

En la primera intervención en el año 2012 se removió la categoría diamétrica de 45 y 50 cm con 49 árboles, con un área basal de  $8.5 \text{ m}^2 \text{ ha}^{-1}$ , y un volumen de  $88.3 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ , el número de árboles de la condición residual es de 418, con un área basal de  $23.4 \text{ m}^2 \text{ ha}^{-1}$  y un volumen de  $225.5 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ , la condición original para el año 2022 es de 354 árboles  $\text{ha}^{-1}$ , con un área basal de  $27.7 \text{ m}^2 \text{ ha}^{-1}$  y un volumen de  $274.6 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ , el número de árboles de las categorías diamétricas de 15 y 20 cm, para este año son menores 34 y 28 árboles respectivamente, por efecto del autoaclareo se eliminó la mitad de de los árboles de cada categoría diamétrica ya que pertenecen al clase de copa de suprimidos, para este año se removió la última categoría diamétrica ya que llegó a su diámetro aprovechable de 45 cm, con 39 árboles  $\text{ha}^{-1}$ ,  $6.7 \text{ m}^2 \text{ ha}^{-1}$  de área basal y  $67.5 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$  de volumen, la condición residual es de 253 árboles  $\text{ha}^{-1}$ , con un área basal de  $20.8 \text{ m}^2 \text{ ha}^{-1}$  y  $207.1 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$  de volumen, para el año 2032 se eliminaron por efecto del autoaclareo el número de árboles restantes de las categorías diamétricas que en el año 2012 eran de 10 y 15 cm y en el 2022 eran de 15 y 20 cm, el número de árboles  $\text{ha}^{-1}$  es de 253, con un área basal de  $25.1 \text{ m}^2 \text{ ha}^{-1}$  y  $260.5 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$  en volumen (Cuadro 20).

Cuadro 20. Condición original, remoción y condición residual en densidad, área basal y volumen por categoría diamétrica para los años 2012, 2022 y 2032 de la alternativa 2 aclareo por lo alto.

Aclareo por lo alto																						
2012				2022									2032									
Condición original				Remoción			Condición residual			Condición original			Remoción			Condición residual			Condición original			
CD (cm)	Densidad (árboles ha <sup>-1</sup> )	AB (m <sup>2</sup> ha <sup>-1</sup> )	VOL (m <sup>3</sup> ha <sup>-1</sup> )	Densidad (árboles ha <sup>-1</sup> )	AB (m <sup>2</sup> ha <sup>-1</sup> )	VOL (m <sup>3</sup> ha <sup>-1</sup> )	Densidad (árboles ha <sup>-1</sup> )	AB (m <sup>2</sup> ha <sup>-1</sup> )	VOL (m <sup>3</sup> ha <sup>-1</sup> )	Densidad (árboles ha <sup>-1</sup> )	AB (m <sup>2</sup> ha <sup>-1</sup> )	VOL (m <sup>3</sup> ha <sup>-1</sup> )	Densidad (árboles ha <sup>-1</sup> )	AB (m <sup>2</sup> ha <sup>-1</sup> )	VOL (m <sup>3</sup> ha <sup>-1</sup> )	Densidad (árboles ha <sup>-1</sup> )	AB (m <sup>2</sup> ha <sup>-1</sup> )	VOL (m <sup>3</sup> ha <sup>-1</sup> )	Densidad (árboles ha <sup>-1</sup> )	AB (m <sup>2</sup> ha <sup>-1</sup> )	VOL (m <sup>3</sup> ha <sup>-1</sup> )	
10	69	0.5	2.6				69	0.5	2.6													
15	57	1.0	6.7				57	1.0	6.7	34	0.4	2.5										
20	36	1.1	9.1				36	1.1	9.1	28	0.7	5.4										
25	63	3.1	27.8				63	3.1	27.8	36	1.5	12.5				36	1.5	12.5				
30	79	5.6	54.6				79	5.6	54.6	63	3.9	36.3				63	3.9	36.3	36	1.9	18.0	
35	75	7.2	73.7				75	7.2	73.7	79	6.8	68.6				79	6.8	68.6	63	4.8	48.6	
40	39	4.9	51.0				39	4.9	51.0	75	8.7	89.7				75	8.7	89.7	79	8.3	86.6	
45	33	5.3	55.2	33	5.3	55.2				39	5.7	59.7	39	5.7	59.7				75	10.2	107.3	
50	16	3.2	33.2	16	3.2	33.2																
<b>Total</b>	<b>467</b>	<b>31.9</b>	<b>313.9</b>	<b>49</b>	<b>8.5</b>	<b>88.4</b>	<b>418</b>	<b>23.4</b>	<b>225.5</b>	<b>354</b>	<b>27.7</b>	<b>274.6</b>	<b>39</b>	<b>5.7</b>	<b>59.7</b>	<b>253</b>	<b>20.8</b>	<b>207.1</b>	<b>253</b>	<b>25.1</b>	<b>260.5</b>	

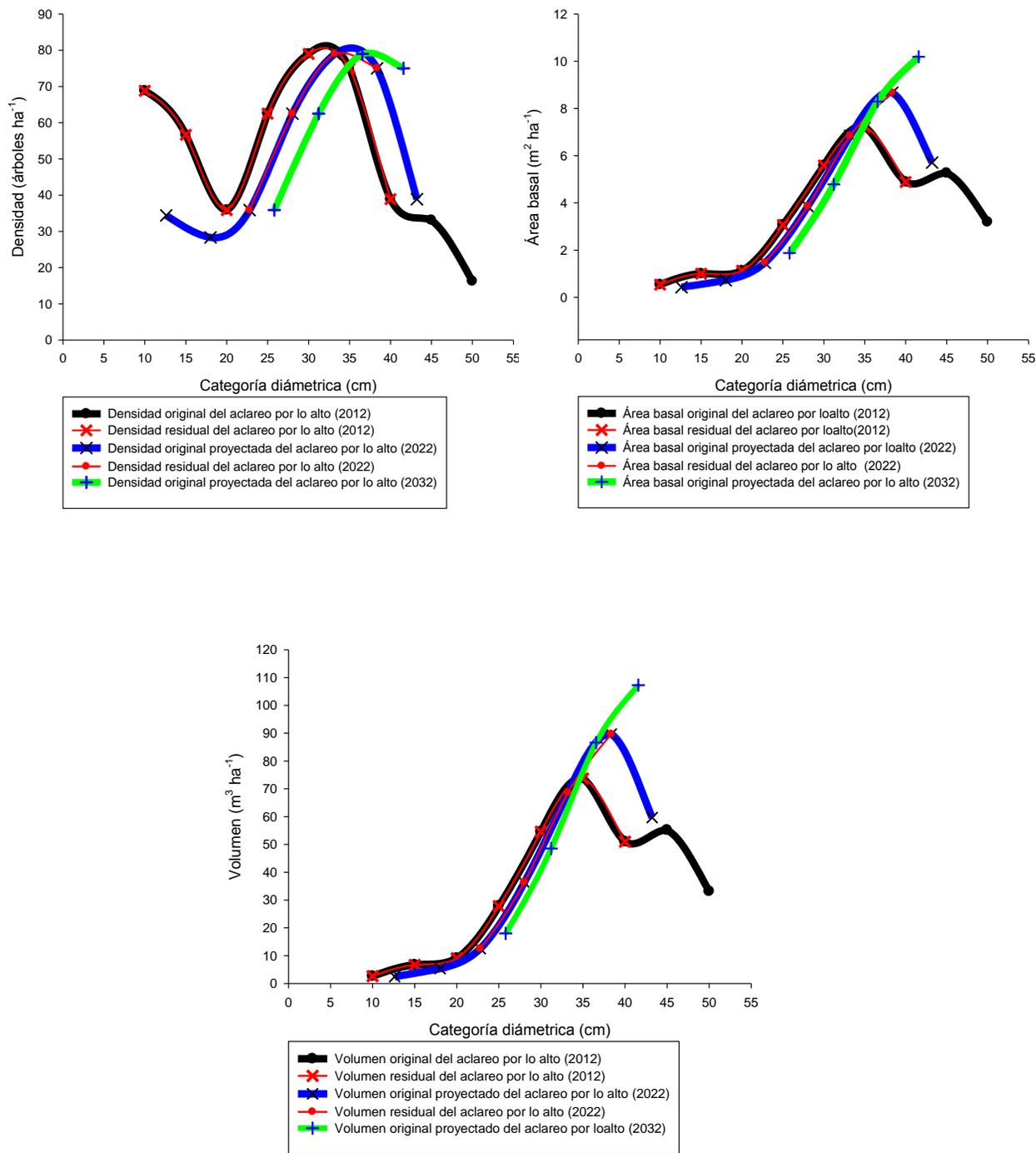


Figura 12. Condición original, remoción y condición residual en densidad, área basal y volumen por categoría diamétrica para los años 2012, 2022 y 2032 de la alternativa 2 aclareo por lo alto.

## Grado de densidad original y proyectado para el año 2022 y 2032

El grado densidad original es de 74.01 %, la densidad proyectada al año 2022 es de 67.04 % y el grado de densidad proyectado para el año 2032 es de 60.82 %, este efecto es debido a que se aprovechan árboles por lo alto y en el transcurso de los 10 años las categorías diamétricas inferiores se alimonan por efecto del autoaclareo, haciendo que el número de árboles se disminuyan y por consiguiente el grado de densidad baje (Cuadro 21).

Cuadro 21. Grado de densidad original y proyectado para el año 2022 y 2032.

Grado de densidad original	Grado de densidad para el año 2022	Grado de densidad para el año 2032
74.01 %	67.04 %	60.82 %

## Altura, diámetro y edad media original y proyectada para el año 2022 y 2032

El diámetro medio, altura media y edad media aumentan a medida que el rodal madura, este efecto es debido a que se eliminan por efecto del autoaclareo las categorías diamétricas de 10 y 15 cm y los diámetros aprovechables quedando los diámetros mayores. Los diámetros, alturas y edades residuales son mayores, ocasionando un aumento en estas medidas dasométricas (Cuadro 22).

Cuadro 22. Altura, diámetro y edad media original y proyectada para el año 2022 y 2032.

Año	Diámetro medio (cm)	Altura media (metros)	Edad media (años)
2012	27	15	61
2022	30	16	71
2032	35	18	84

### 4.5.3 Alternativa 3 aclareo mixto

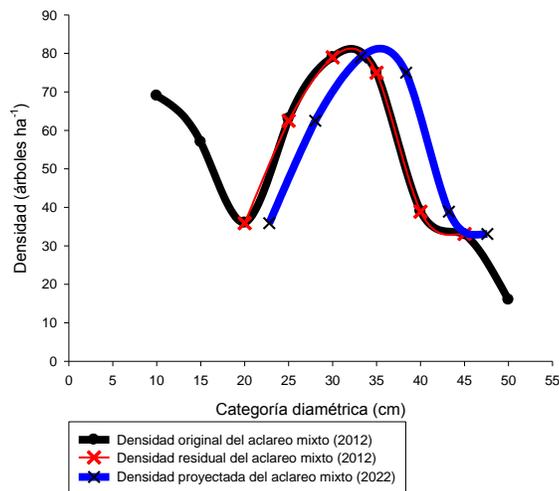
Se tomaron en cuenta los I.C.A. originales y los resultantes después del aclareo de la tesis de Hernández (1994), así como también los I.C.A. originales en altura.

Densidad, área basal y volumen de la proyección al año 2022 en la alternativa 3 aclareo mixto

En esta etapa se eliminaron en la primera intervención la categoría diamétrica de 10, 15 y 50 cm, la categoría diamétrica de 5 cm no se tomó en cuenta debido a la casi nula existencia y decrepitud de los mismos, así para efectos del aclareo solo se eliminan para mejoramiento y evitar competencia del arbolado residual. Con los incrementos originales en diámetro y haciendo uso de los incrementos de la tesis de Hernández (1994), las categorías diamétricas pasan a la siguiente, el área basal y volumen ha<sup>-1</sup> tienden a aumentar para esta etapa, el número de árboles ha<sup>-1</sup> es de 325 árboles, con un área basal de 32.423 m<sup>2</sup> ha<sup>-1</sup> y un volumen de 328.194 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup> (Cuadro 23).

Cuadro 23. Densidad ha<sup>-1</sup>, área basal ha<sup>-1</sup> y volumen ha<sup>-1</sup> de la proyección al año 2022 de la alternativa 3 aclareo mixto.

Categoría diamétrica (cm)	Densidad (árboles ha <sup>-1</sup> )	Altura ajustada (m)	Edad ajustada en (años).	Área basal (m <sup>2</sup> ha <sup>-1</sup> )	Volumen en (m <sup>3</sup> ha <sup>-1</sup> )
23	36	14	61	1.469	12.559
28	63	16	69	3.855	36.339
33	79	17	76	6.839	68.587
38	75	18	82	8.668	89.669
43	39	19	89	5.706	59.656
48	33	19	95	5.886	61.384
<b>Total</b>	<b>325</b>			<b>32.423</b>	<b>328.194</b>



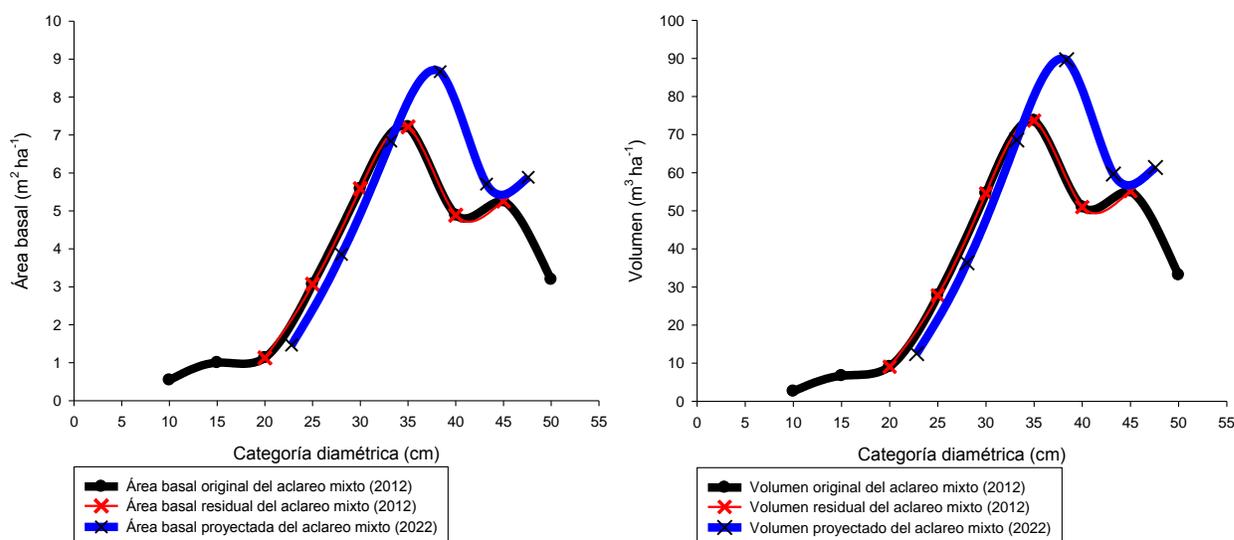


Figura 13. Densidad, área basal y volumen original, residual y proyectado al año 2022 de la alternativa número 3 a clareo mixto.

Densidad, área basal y volumen de la proyección al año 2032 de la alternativa 3 aclareo mixto

Para esta etapa se eliminaron seis árboles de la categoría diamétrica que en el año 2022 era de 23 cm, 9 árboles de la categoría diamétrica que en el año 2022 era de 43 cm y se eliminó el diámetro que en el año 2022 era de 48 cm, estos diámetros para el año 2032 pasan a la siguiente categoría diamétrica por efecto de los I.C.A. originales y después del aclareo, los diámetros proyectados al 2032 son: 28, 33, 38, 43 y 48 cm, con un total de 277 árboles ha<sup>-1</sup>, 32.714 m<sup>2</sup> ha<sup>-1</sup> de área basal y 410.517 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup> de volumen (Cuadro 24)

Cuadro 24. Densidad ha<sup>-1</sup>, área basal ha<sup>-1</sup> y volumen ha<sup>-1</sup> de la proyección al año 2032 de la alternativa 3 aclareo mixto.

Categoría diamétrica (cm)	Densidad (árboles ha <sup>-1</sup> )	Altura ajustada (m)	Edad ajustada en (años).	Área basal (m <sup>2</sup> ha <sup>-1</sup> )	Volumen en (m <sup>3</sup> ha <sup>-1</sup> )
28	30	16	69	1.850	21.269
33	63	17	76	5.411	66.163
38	79	18	82	9.130	115.167
43	75	19	89	11.004	140.285
48	30	19	95	5.319	67.633
<b>Total</b>	<b>277</b>			<b>32.714</b>	<b>410.517</b>

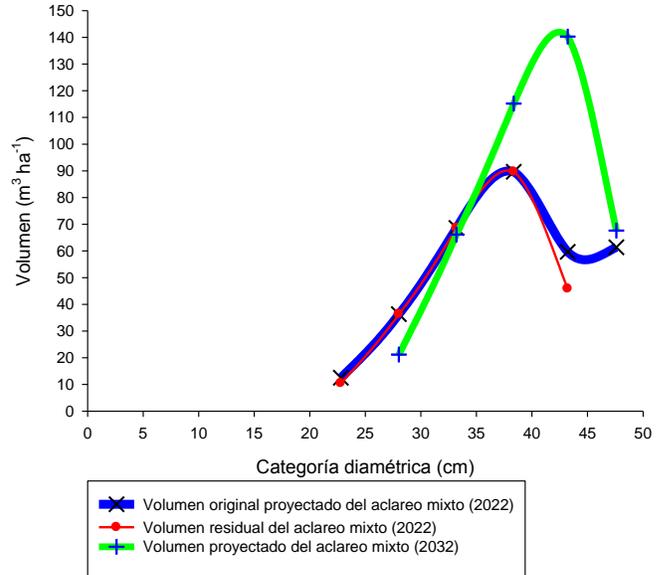
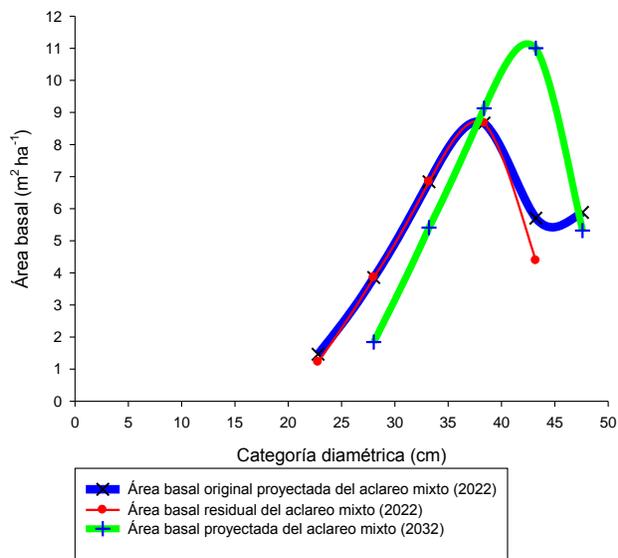
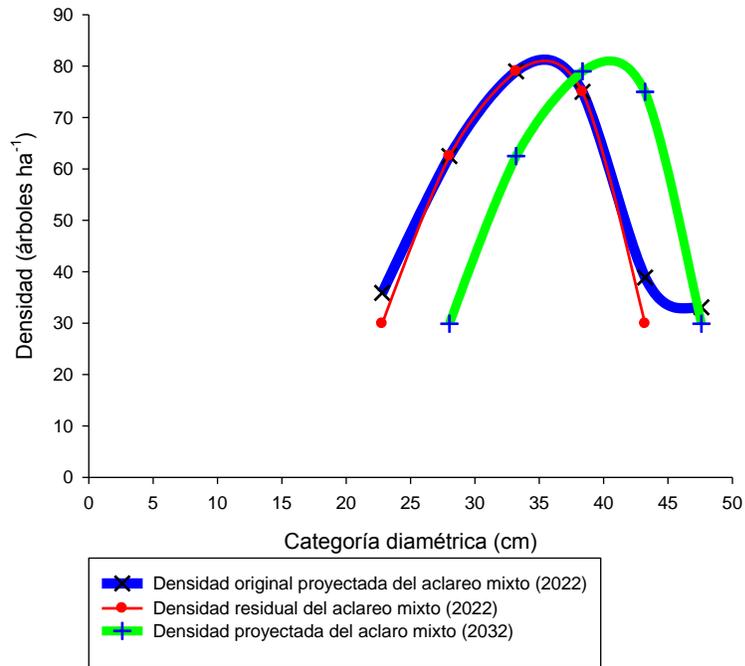


Figura 14. Densidad, área basal y volumen original, residual y proyectado al año 2032 de la alternativa 3 aclareo mixto.

Condición original, remoción y condición residual en densidad, área basal y volumen por categoría diamétrica proyectada para los años 2012, 2022 y 2032 de la alternativa 1 aclareo mixto

En la primera intervención en el año 2012 se removió la categoría diamétrica de 10, 15 y 50 cm, el número de árboles removidos  $\text{ha}^{-1}$  fue de 142, con  $4.7 \text{ m}^2 \text{ ha}^{-1}$  de área basal y  $42.5 \text{ m}^3 \text{ r. t. a. ha}^{-1}$  de volumen, la condición residual es de 325 árboles  $\text{ha}^{-1}$ , con  $27.2 \text{ m}^2 \text{ ha}^{-1}$  de área basal y  $271.4 \text{ m}^3 \text{ r. t. a. ha}^{-1}$  de volumen, por efecto de los I.C.A. originales y los I.C.A. después del aclareo de la tesis de Hernández (1994) en la proyección para el año 2022 las categorías diamétricas pasaron a la siguiente, la categoría diamétrica que correspondía a 20 cm, para el año 2022 es de 25 cm; para el año 2022 se removieron 6 árboles de la categoría diamétrica de 25 cm, 9 árboles de la categoría diamétrica de 45 cm y la categoría diamétrica de 50 cm, el número de árboles removidos es de 48, con  $7.6 \text{ m}^2 \text{ ha}^{-1}$  de área basal y  $77.3 \text{ m}^3 \text{ r. t. a. ha}^{-1}$  de volumen, la condición residual es de 277 árboles  $\text{ha}^{-1}$  con  $25.0 \text{ m}^2 \text{ ha}^{-1}$  de área basal y  $250.9 \text{ m}^3 \text{ r. t. a. ha}^{-1}$  de volumen, después del aclareo hasta el año 2032 las categorías diamétricas por el efecto del aclareo pasan a la siguiente categoría diamétrica, el número de árboles  $\text{ha}^{-1}$  es de 277 con  $32.7 \text{ m}^2 \text{ ha}^{-1}$  de área basal y  $410.5 \text{ m}^3 \text{ r. t. a. ha}^{-1}$  de volumen (Cuadro 25).

La categoría diamétrica de 5 cm por su casi nula existencia y decrepitud en el rodal no se tomó en cuenta, y los pocos ejemplares se eliminaron solo para efectos del mejoramiento del arbolado, sin aprovechar algún volumen.

Cuadro 25. Condición original, remoción y condición residual en densidad, área basal y volumen por categoría diamétrica para los años 2012, 2022 y 2032 de la alternativa 3 aclareo mixto.

Aclareo por lo alto																						
2012				2022									2032									
Condición original				Remoción			Condición residual			Condición original			Remoción			Condición residual			Condición original			
CD (cm)	Densidad (árboles ha <sup>-1</sup> )	AB (m <sup>2</sup> ha <sup>-1</sup> )	VOL (m <sup>3</sup> ha <sup>-1</sup> )	Densidad (árboles ha <sup>-1</sup> )	AB (m <sup>2</sup> ha <sup>-1</sup> )	VOL (m <sup>3</sup> ha <sup>-1</sup> )	Densidad (árboles ha <sup>-1</sup> )	AB (m <sup>2</sup> ha <sup>-1</sup> )	VOL (m <sup>3</sup> ha <sup>-1</sup> )	Densidad (árboles ha <sup>-1</sup> )	AB (m <sup>2</sup> ha <sup>-1</sup> )	VOL (m <sup>3</sup> ha <sup>-1</sup> )	Densidad (árboles ha <sup>-1</sup> )	AB (m <sup>2</sup> ha <sup>-1</sup> )	VOL (m <sup>3</sup> ha <sup>-1</sup> )	Densidad (árboles ha <sup>-1</sup> )	AB (m <sup>2</sup> ha <sup>-1</sup> )	VOL (m <sup>3</sup> ha <sup>-1</sup> )	Densidad (árboles ha <sup>-1</sup> )	AB (m <sup>2</sup> ha <sup>-1</sup> )	VOL (m <sup>3</sup> ha <sup>-1</sup> )	
10	69	0.5	2.6	69	0.5	2.6																
15	57	1.0	6.7	57	1.0	6.7																
20	36	1.1	9.1				36	1.1	9.1													
25	63	3.1	27.8				63	3.1	27.8	36	1.5	12.5	6	0.3	2.1	30	1.2	10.4				
30	79	5.6	54.6				79	5.6	54.6	63	3.9	36.3				63	3.9	36.3	30	1.8	21.2	
35	75	7.2	73.7				75	7.2	73.7	79	6.8	68.6				79	6.8	68.6	63	5.4	66.2	
40	39	4.9	51.0				39	4.9	51.0	75	8.7	89.7				75	8.7	89.7	79	9.1	115.2	
45	33	5.3	55.2				33	5.3	55.2	39	5.7	59.7	9	1.4	13.8	30	4.4	45.8	75	11.0	140.3	
50	16	3.2	33.2	16	3.2	33.2				33	5.9	61.4	33	5.9	61.4				30	5.3	67.6	
<b>Total</b>	<b>467</b>	<b>31.9</b>	<b>313.9</b>	<b>142</b>	<b>4.7</b>	<b>42.5</b>	<b>325</b>	<b>27.2</b>	<b>271.4</b>	<b>325</b>	<b>32.5</b>	<b>328.2</b>	<b>48</b>	<b>7.6</b>	<b>77.3</b>	<b>277</b>	<b>25.0</b>	<b>250.9</b>	<b>277</b>	<b>32.7</b>	<b>410.5</b>	

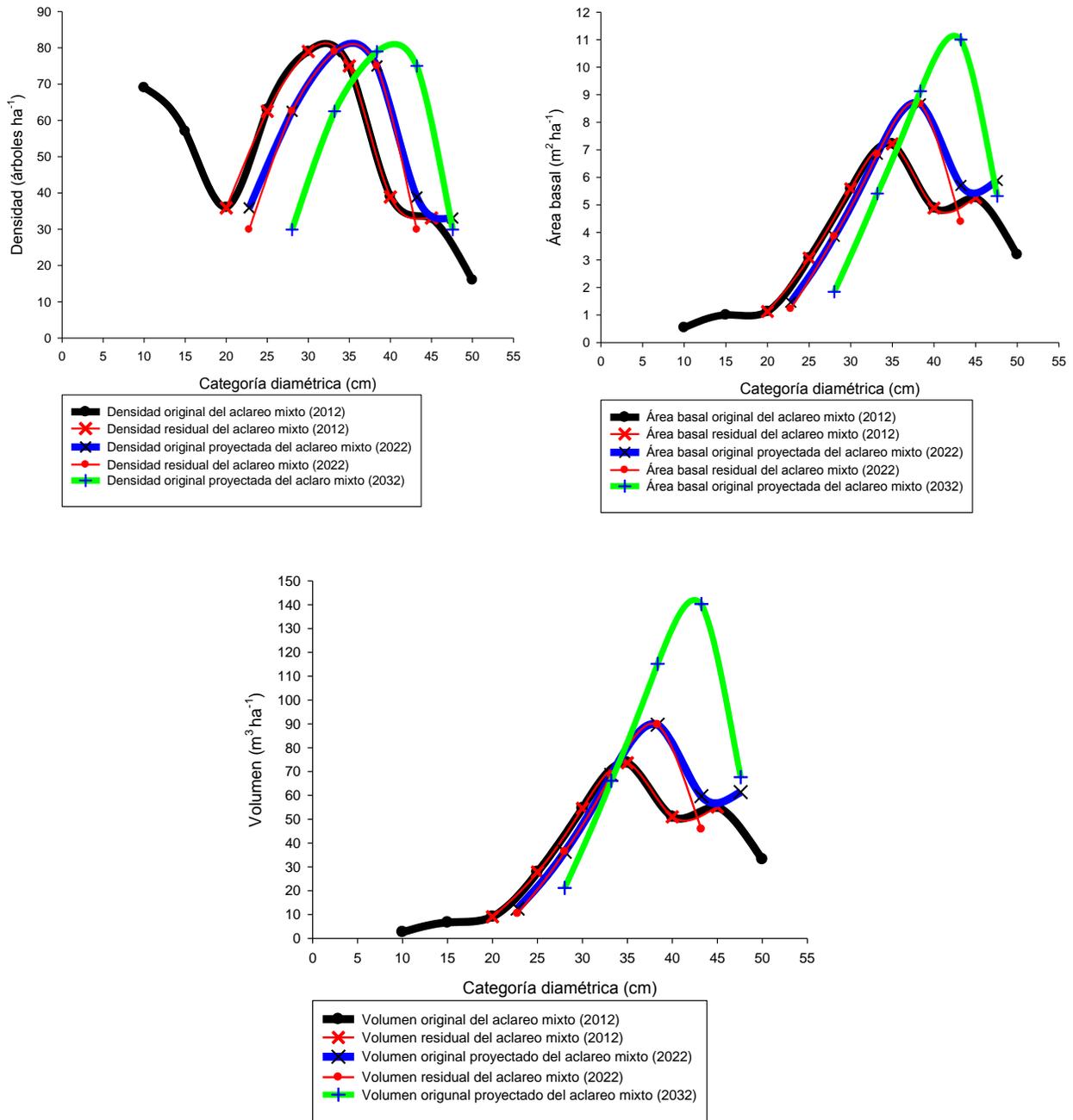


Figura 15. Condición original, remoción y condición residual en densidad, área basal y volumen por categoría diamétrica para los años 2012, 2022 y 2032 de la alternativa 3 aclareo mixto.

Grado de densidad original y proyectado para el año 2022 y 2032

El grado de densidad original es de 74.01 %, después del aclareo el grado de densidad aumenta a 77.88 % para el año 2022, y en el último aclareo en el año 2032 el

grado de densidad baja a 74.86 %, valor cercano a el grado de densidad original distribuido en árboles de mejores características fenotípicas (Cuadro 26).

Cuadro 26. Grado de densidad original y proyectado para el año 2022 y 2032.

Grado de densidad original	Grado de densidad para el año 2022	Grado de densidad para el año 2032
74.01 %	77.88 %	74.86 %

Altura, diámetro y edad media original y proyectada para el año 2022 y 2032

El diámetro medio aumenta a medida que el rodal madura, la altura media se comporta diferente, para el año 2012 es de 15 metros y para los años 2022 y 2032 la altura media es de 28 metros, la edad media aumenta para las diferentes etapas, para el año 2012 es de 61 años, para el año 2022 es de 78 años y para el año 2032 es de 82 años, este comportamiento es debido a que en el año 2022 se cortan las categorías diamétricas de 25, 45 y 50 cm lo que hace que el diámetro medio, altura media y edad media aumente ligeramente (Cuadro 27).

Cuadro 27. Altura, diámetro y edad media original y proyectada para el año 2022 y 2032.

Año	Diámetro medio (cm)	Altura media (metros)	Edad media (años)
2012	27	15	61
2022	35	18	78
2032	38	18	82

## 4.6 Distribución de productos

### 4.6.1 Volumen de la distribución de productos de la alternativa 1 sin aclareo silvícola

La distribución de productos de la alternativa sin manejo silvícola presenta un volumen total de 429.199 m<sup>3</sup> r. t. a. ha<sup>-1</sup> de los cuales 80.11 % corresponde a trozas me-

didadas comerciales, 4.53 % para celulósicos, 3.95 % para desperdicio, 3.72 % para pilotes para mina y 2.75 % de morillos. El producto que presenta mayor volumen es el de trozas medidas comerciales con 343.852 m<sup>3</sup> r. t. a. ha<sup>-1</sup>, el diámetro proyectado que más volumen presenta es de 41 cm con 89.484 m<sup>3</sup> r. t. a. ha<sup>-1</sup>, el mismo orden siguen las trozas cortas dimensiones y pilotes para mina, para morillos el mayor volumen se distribuye en la categoría diamétrica de 30 cm con 3 877 m<sup>3</sup> r. t. a. ha<sup>-1</sup>, para celulósicos en la categoría diamétrica de 51 cm con 6.439 m<sup>3</sup> r. t. a. ha<sup>-1</sup> y el desperdicios en la categoría diamétrica de 51 cm con 5.250 m<sup>3</sup> r. t. a. ha<sup>-1</sup>, esto es debido a que los diámetros del tocón y la longitud de las puntas son mayores para esta última categoría diamétrica (Cuadro 28).

Cuadro 28. Volumen (m<sup>3</sup> r. t. a. ha<sup>-1</sup>) y porcentajes de la distribución de productos de la alternativa 3 sin aclareo silvícola.

Diámetro proyectado (cm)	VT m <sup>3</sup> r. t. a. ha <sup>-1</sup>	TMC	TCD	PM	MO	C	DESP
25	16.865	9.221	1.640	2.265	1.633	1.600	0.505
30	44.773	33.638	3.496	1.937	3.877	0.682	1.143
36	82.655	63.712	4.843	4.282	3.150	4.500	2.167
41	106.482	89.484	5.752	4.903	1.971	1.558	2.813
46	69.393	61.661	2.300	1.173	1.175	0.996	2.087
51	69.393	54.821	1.977	0.905		6.439	5.250
55	39.638	31.315	1.130	0.517		3.678	2.999
Total	429.199	343.852	21.138	15.982	11.807	19.454	16.966
%	100	80.11	4.93	3.72	2.75	4.53	3.95

VT = Volumen total; TMC = Trozas medidas comerciales; TCD = Trozas cortas dimensiones; PM = Pilotes para mina; MO = Morillos; C = Celulósicos y DESP = Desperdicio.

#### 4.6.2 Volumen de la distribución de productos de la alternativa 2 aclareo por lo alto

La distribución de productos de la alternativa 2 aclareo por lo alto presenta un volumen total de 260.455 m<sup>3</sup> r. t. a. ha<sup>-1</sup> de los cuales el 78.04 % corresponde a trozas

medidas comerciales, 6.30 % para trozas cortas dimensiones, 5.35 % para pilotes para mina, 4.31 % para morillos, 3.35 % para celulósicos y 3.35 % para desperdicio. El producto que presenta mayor volumen es el de trozas medidas comerciales con 203.247 m<sup>3</sup> r. t. a. ha<sup>-1</sup>, el diámetro proyectado que más volumen presenta es el de 42 cm con 107.292 m<sup>3</sup> r. t. a. ha<sup>-1</sup>, el mismo orden siguen las trozas cortas dimensiones y pilotes para mina, el mayor volumen de morillos se distribuye en el diámetro proyectado de 37 cm con un volumen de 3.301 m<sup>3</sup> r. t. a. ha<sup>-1</sup>, para los celulósicos el mayor volumen se encuentra en el diámetro proyectado de 37 cm con 4.715 m<sup>3</sup> r. t. a. ha<sup>-1</sup> y para el desperdicio el mayor volumen se encuentra en el diámetro de 42 cm con 2.835 m<sup>3</sup> r. t. a. ha<sup>-1</sup> (Cuadro 29).

Cuadro 29. Volumen (m<sup>3</sup> r. t. a. ha<sup>-1</sup>) y porcentajes de la distribución de productos de la alternativa 2 aclareo por lo alto.

Diámetro proyectado (cm)	VT m <sup>3</sup> r. t. a. ha <sup>-1</sup>	TMC	TCD	PM	MO	C	DESP
26	17.992	9.838	1.749	2.417	1.742	1.707	0.539
31	48.566	36.488	3.793	2.101	4.205	0.740	1.240
37	86.605	66.756	5.075	4.487	3.301	4.715	2.271
42	107.292	90.165	5.796	4.941	1.986	1.570	2.835
Total	260.455	203.247	16.412	13.945	11.234	8.732	6.885
%	100	78.04	6.30	5.35	4.31	3.35	2.64

VT = Volumen total; TMC = Trozas medidas comerciales; TCD = Trozas cortas dimensiones; PM = Pilotes para mina; MO = Morillos; C = Celulósicos y DESP = Desperdicio.

#### 4.6.3 Volumen de la distribución de productos de la alternativa 3 aclareo mixto

La distribución de productos de la alternativa 3 aclareo mixto presenta un volumen total de 410.517 m<sup>3</sup> r. t. a. ha<sup>-1</sup> de los cuales el 83.27 % corresponde a trozas medidas comerciales, 4.47 % para trozas cortas dimensiones 3.57 % para desperdicio, 3.39 % para celulósicos, 3.14 % para pilotes para mina y 2.16 % para morillos. El pro-

ducto que presenta mayor volumen es el de trozas medidas comerciales con 341.847 m<sup>3</sup> r. t. a. ha<sup>-1</sup>, el diámetro proyectado que más volumen presenta es el de 43 cm con un volumen de 140.285 m<sup>3</sup> r. t. a. ha<sup>-1</sup>, para el caso de trozas cortas dimensiones y pilotes para mina el diámetro proyectado de 38 cm es el que presenta mayor volumen con 6.221 m<sup>3</sup> r. t. a. ha<sup>-1</sup> y 5.303 m<sup>3</sup> r. t. a. ha<sup>-1</sup> respectivamente, para los morillos es el diámetro proyectado de 33 cm con 2.522 m<sup>3</sup> r. t. a. ha<sup>-1</sup> y para desperdicio el diámetro proyectado de 48 cm con 5.117 m<sup>3</sup> r. t. a. ha<sup>-1</sup> (Cuadro 30).

Cuadro 30. Volumen (m<sup>3</sup> r. t. a. ha<sup>-1</sup>) y porcentajes de la distribución de productos del la alternativa 3 aclareo mixto.

Diámetro proyectado (cm)	VT m <sup>3</sup> r. t. a. ha <sup>-1</sup>	TMC	TCD	PM	MO	C	DESP
28	21.269	15.979	1.661	0.920	1.842	0.324	0.543
33	66.163	50.999	3.877	3.428	2.522	3.602	1.735
38	115.167	96.783	6.221	5.303	2.132	1.685	3.043
43	140.285	124.654	4.650	2.372	2.376	2.013	4.220
48	67.633	53.431	1.927	0.882		6.276	5.117
Total	410.517	341.847	18.336	12.905	8.871	13.900	14.657
%	100	83.27	4.47	3.14	2.16	3.39	3.57

VT = Volumen total; TMC = Trozas medidas comerciales; TCD = Trozas cortas dimensiones; PM = Pilotes para mina; MO = Morillos; C = Celulósicos y DESP = Desperdicio.

## 4.7 Producción total y valor de la producción

### 4.7.1 Producción total para la alternativa 1 sin manejo silvícola

La producción total para la alternativa 1 sin manejo silvícola proyectada al 2032 es de 429.199 m<sup>3</sup> r. t. a. ha<sup>-1</sup> de los cuales 343.852 m<sup>3</sup> r. t. a. ha<sup>-1</sup> para trozas medidas comerciales, 21.138 m<sup>3</sup> r. t. a. ha<sup>-1</sup> para trozas cortas dimensiones, 171.008 piezas pa-

ra pilotes para mina de 8' de largo, 115.133 piezas para morillos de 16' de largo, 19.454 m<sup>3</sup> r. t. a. ha<sup>-1</sup> para celulósicos y 16.966 m<sup>3</sup> r. t. a. ha<sup>-1</sup> de desperdicio (Cuadro 31).

Cuadro 31. Producción total para la alternativa 1 sin manejo silvícola en m<sup>3</sup> r. t. a. ha<sup>-1</sup> al final del turno.

Año	VT	TMC	TCD	PM (piezas)	MO (piezas)	C	DESP
2032	429.199	343.852	21.138	171.008	115.133	19.454	16.966

#### 4.7.2 Valor de la producción total de la alternativa 1 sin manejo silvícola

El valor de la producción para la alternativa 1 sin manejo silvícola proyectada al 2032 es de \$ 417,299 de las cuales \$ 343.852 para trozas medidas comerciales, \$ 12,683 para trozas cortas dimensiones, \$ 34,203 para pilotes para mina, \$ 20,725 para morillos, \$ 5,836 para celulósicos, el valor de pilotes para mina y morillos aun que el volumen es menor que los demás productos el valor es mayor por ser productos que se venden por piezas (Cuadro 32).

Cuadro 32. Valor de la producción total de la alternativa 1 sin manejo silvícola en pesos (\$ ha<sup>-1</sup>).

Año	TMC	TCD	PM	MO	C	DESP	TOTAL
2032	343,852	12,683	34,203	20,725	5,836	0.000	417,299

#### 4.7.3 Producción total para la alternativa 2 aclareo por lo alto

La producción total para la alternativa 2 aclareo por lo alto es de 408.416 m<sup>3</sup> r. t. a. ha<sup>-1</sup>, de las cuales 347.278 m<sup>3</sup> r. t. a. ha<sup>-1</sup> para trozas medidas comerciales, 16.584 m<sup>3</sup> r. t. a. ha<sup>-1</sup> para trozas cortas dimensiones, 97.020 piezas para pilotes para mina de 8' de largo, 67.550 piezas para morillos de de 16' de largo, 7.805 m<sup>3</sup> r. t. a. ha<sup>-1</sup> para

celulósicos y 11.936 m<sup>3</sup> r. t. a. ha<sup>-1</sup> de desperdicio, la mayor producción en las etapas de aclareos se obtiene en el 2022 con 59.656 m<sup>3</sup> r. t. a. ha<sup>-1</sup> en donde el mayor volumen se distribuye en trozas medidas comerciales con 53.009 m<sup>3</sup> r. t. a. ha<sup>-1</sup>, y para la proyección al 2032 se tiene 260.456 m<sup>3</sup> r. t. a. ha<sup>-1</sup> en volumen total de los cuales 219.071 m<sup>3</sup> r. t. a. ha<sup>-1</sup> son para trozas medidas comerciales, la producción en el año 2012 es de 88.305 m<sup>3</sup> r. t. a. ha<sup>-1</sup> del volumen total aprovechado de los cuales 75.198 m<sup>3</sup> r. t. a. ha<sup>-1</sup> son para trozas medidas comerciales (Cuadro 33).

Cuadro 33. Producción total por etapa intervenida en m<sup>3</sup> r. t. a. ha<sup>-1</sup> de la alternativa 2 aclareo por lo alto.

Año	VT	TMC	TCD	PM (piezas)	MO (piezas)	C	DESP
2012	88.305	75.198	2.773	14.602	9.108	3.868	4.167
2022	59.656	53.009	1.978	10.792	9.852	0.856	1.794
2032	260.456	219.071	11.833	71.626	48.590	3.081	5.975
Total	408.416	347.278	16.584	97.02	67.550	7.805	11.936

#### 4.7.4 Valor de la producción total de la alternativa 2 aclareo por lo alto

El valor total de la producción es de \$ 391.133 de los cuales \$ 347,278 son de trozas medidas comerciales, \$ 9,950 son de trozas cortas dimensiones, \$ 19,404 son de pilotes para mina, \$ 12,159 son de morillos y \$ 2,341son de celulósicos, de las intervenciones en el año 2012 y 2022 el mayor valor en pesos se obtuvo en 2012 con \$ 82,582 con un valor en trozas medidas comerciales de \$ 75,198, para el año 2022 el valor total es de \$ 58,384, con un valor de \$ 53,009 en trozas medidas comerciales, para el año 2032 es de \$250,167, con un valor de \$ 219,071 en trozas medidas comerciales, en este año se obtiene mayor valor de la producción para pilotes para mina y morillos con \$ 14,325 y \$ 12,159 respectivamente, debido a que el arbolado es mayor (Cuadro 34).

Cuadro 34. Valor de la producción por etapa intervenida en pesos (\$ ha<sup>-1</sup>), de la alternativa 2 aclareo por lo alto.

Año	TMC	TCD	PM	MO	C	DESP	TOTAL
2012	75,198	1,664	2,920	1,639	1,160	0.000	82,582
2022	53,009	1,187	2,158	1,773	257	0.000	58,384
2032	219,071	7,100	14,325	8,746	924	0.000	250,167
<b>Total</b>	<b>347,278</b>	<b>9,950</b>	<b>19,404</b>	<b>12,159</b>	<b>2,341</b>	<b>0.000</b>	<b>391,133</b>

#### 4.7.5 Producción total para la alternativa 3 aclareo mixto

La producción total para la alternativa 3 aclareo mixto es de 530.280 m<sup>3</sup> r. t. a. ha<sup>-1</sup>, de los cuales 429.972 m<sup>3</sup> r. t. a. ha<sup>-1</sup> para trozas medidas comerciales, 21.692 m<sup>3</sup> r. t. a. ha<sup>-1</sup> para trozas cortas dimensiones, 156.775 piezas para pilotes para mina de 8' de largo, 140.266 piezas para morillos de de 16' de largo, 26.556 m<sup>3</sup> r. t. a. ha<sup>-1</sup> para celulósicos y 23.023 m<sup>3</sup> r. t. a. ha<sup>-1</sup> de desperdicio, la mayor producción en las etapas de aclareos se obtiene en el año 2022 con 77.313 m<sup>3</sup> r. t. a. ha<sup>-1</sup> en donde el mayor volumen se distribuye en trozas medidas comerciales con 61.934 m<sup>3</sup> r. t. a. ha<sup>-1</sup>, y para la proyección al año 2032 se tiene 410.517 m<sup>3</sup> r. t. a. ha<sup>-1</sup> en volumen total, donde 341.847 m<sup>3</sup> r. t. a. ha<sup>-1</sup> son para trozas medidas comerciales (Cuadro 35).

Cuadro 35. Producción total por etapa intervenida en m<sup>3</sup> r. t. a. ha<sup>-1</sup>.

Año	VT	TMC	TCD	PM (piezas)	MO (piezas)	C	DESP
2012	42.450	26.191	0.945	4.625	49.498	6.563	3.243
2022	77.313	61.934	2.411	14.069	4.258	6.093	5.123
2032	410.517	341.847	18.336	138.081	86.510	13.900	14.657
	<b>530.280</b>	<b>429.972</b>	<b>21.692</b>	<b>156.775</b>	<b>140.266</b>	<b>26.556</b>	<b>23.023</b>

#### 4.7.6 Valor de la producción total de la alternativa 3 aclareo mixto

El valor total de la producción es de \$ 507,558 de los cuales \$ 429,972 son de trozas medidas comerciales, \$ 13,016 son de trozas cortas dimensiones, \$ 31,355 son de pilotes para mina, \$ 25,248 son de morillos y \$ 7,967 son de celulósicos, de las intervenciones en el año 2012 y 2022 el mayor valor en pesos se obtuvo en el año 2022 con \$ 68,789, con un valor en trozas medidas comerciales de \$ 61,934, para el año 2012 el valor total es de \$ 38,562, con un valor de \$ 26,191 en trozas medidas comerciales, para el año 2032 es de \$ 400,207, con un valor de \$ 341,847 en trozas medidas comerciales (Cuadro 36).

Cuadro 36. Valor de la producción por etapa intervenida en pesos (\$ ha<sup>-1</sup>).

Año	TMC	TCD	PM	MO	C	TOTAL
2012	26,191	567	925	8,910	1,969	38,562
2022	61,934	1,447	2,814	766	1,828	68,789
2032	341,847	11,002	27,616	15,572	4,170	400,207
Total	429,972	13,016	31,355	25,248	7,967	<b>507,558</b>

#### 4.8 Proyección final de la alternativa seleccionada y su comparación con la condición silvícola futura deseada.

##### 4.8.1 Condición silvícola futura deseada

La condición silvícola futura deseada es que el rodal en todo momento antes y después de las cortas se mantenga en un grado de densidad entre el 60 y 80 % y además que al final del turno se tenga al menos un 80 % de grado de densidad, un área basal mínima de 30 m<sup>2</sup>/ha, un diámetro medio del rodal de 40 cm, una amplitud máxima de cinco categorías diamétricas y un diámetro mínimo de 30 cm. Finalmente se espera que al menos el 60 % del volumen total genere productos primarios (Cuadro 37).

Cuadro 37. Estructura dasométrica meta al final del turno de la condición silvícola futura deseada.

Categoría diamétrica (cm)	Densidad meta (arb ha <sup>-1</sup> )	Volumen árbol <sup>-1</sup>	Volumen en (m <sup>3</sup> ha <sup>-1</sup> )	Área basal Unitaria (m <sup>2</sup> )	Área basal (m <sup>2</sup> ha <sup>-1</sup> )
30	30	0.4452	13.356	0.0212	0.636
35	63	0.6907	43.514	0.0962	6.06
40	79	0.9825	77.617	0.1256	9.92
45	75	1.3114	98.355	0.159	11.92
50	30	1.6674	50.022	0.1963	5.89
Total	277		282.864		34.426

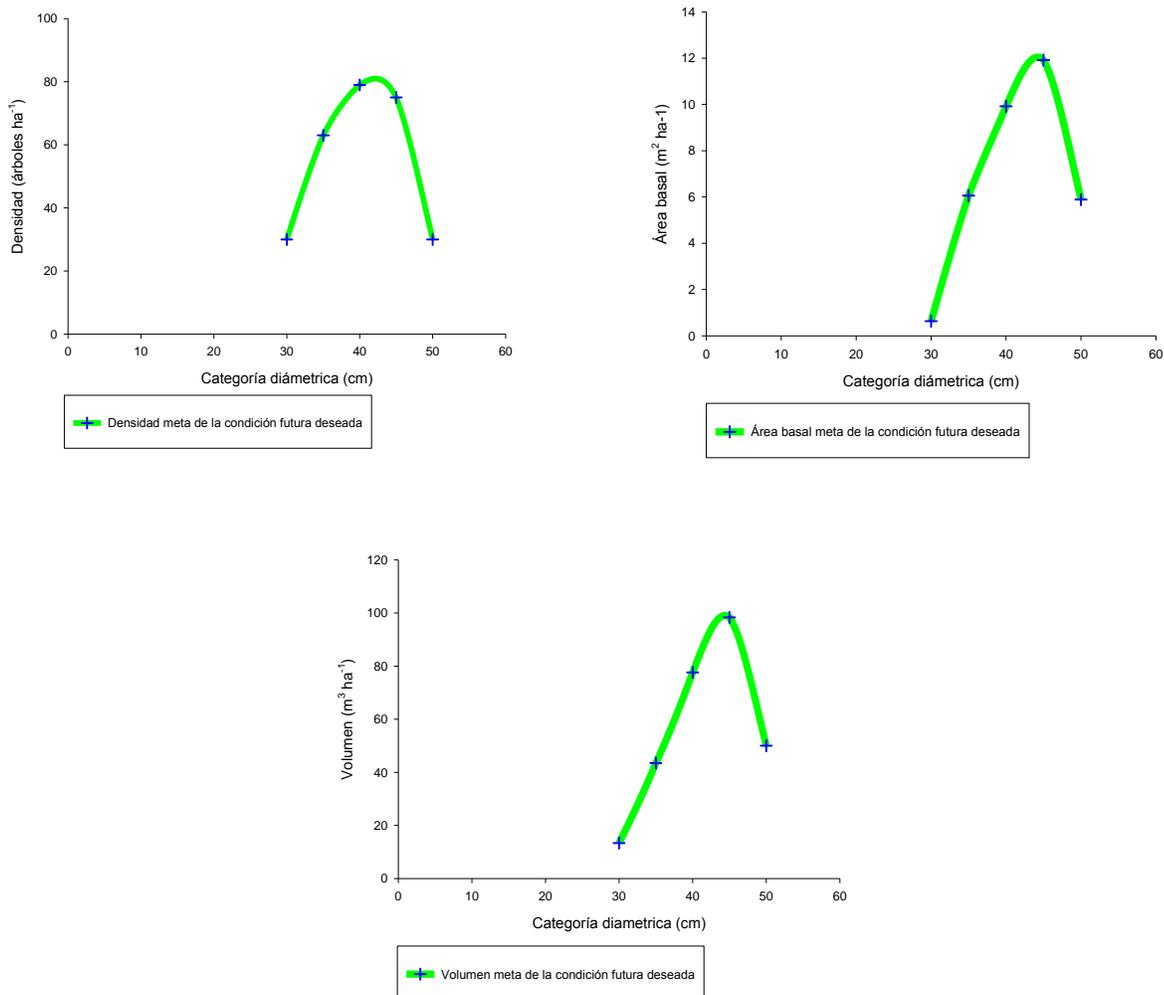


Figura 16. Densidad, área basal y volumen de la condición silvícola futura deseada.

## Alternativa seleccionada

La alternativa número 3 aclareo mixto es la seleccionada, ya que para efectos de ordenación regular y las características ecológicas de la especie como es la intolerancia, es la que ayuda al mejoramiento del bosque sin detrimento del mismo, la condición original del rodal de esta alternativa y los resultados del mismo es la que más se acerca a la condición silvícola futura deseada con un grado de densidad de 74.01 % en el año 2012, 77.88 % en el año 2022 y al final del turno 74.86 % en el año 2032, el área basal es de 31.9 m<sup>2</sup> en el año 2012, 32.5 m<sup>2</sup> en el año 2022 y 32.7 m<sup>2</sup> en el año 2032, el diámetro medio es de 27 cm en el año 2012, 35 cm en el año 2022 y 38 cm en el año 2032, y el diámetro mínimo es de 28 cm, la amplitud de las categorías diamétricas son cinco, además el 83.27 % del volumen total genera productos primarios resultando ser el mayor valor en comparación con la alternativa 1 sin manejo silvícola y la alternativa 2 aclareo por lo alto, la edad media o turno técnico es de 82 años con 18 metros de altura, además se le puede atribuir la distribución normal de la curva en densidad, área basal y volumen lo que demuestra la regularidad del rodal y el por que la selección de la alternativa 3 aclareo mixto (Cuadro 38).

Cuadro 38. Variables dasométricas de la alternativa seleccionada 3 aclareo mixto.

Categoría diamétrica (cm)	Densidad (árboles ha <sup>-1</sup> )	Altura ajustada (m)	Edad ajustada en (años).	Área basal (m <sup>2</sup> ha <sup>-1</sup> )	Volumen en (m <sup>3</sup> ha <sup>-1</sup> )
28	30	16	69	1.850	21.269
33	63	17	76	5.411	66.163
38	79	18	82	9.130	115.167
43	75	19	89	11.004	140.285
48	30	19	95	5.319	67.633
<b>Total</b>	<b>277</b>			<b>32.714</b>	<b>410.517</b>

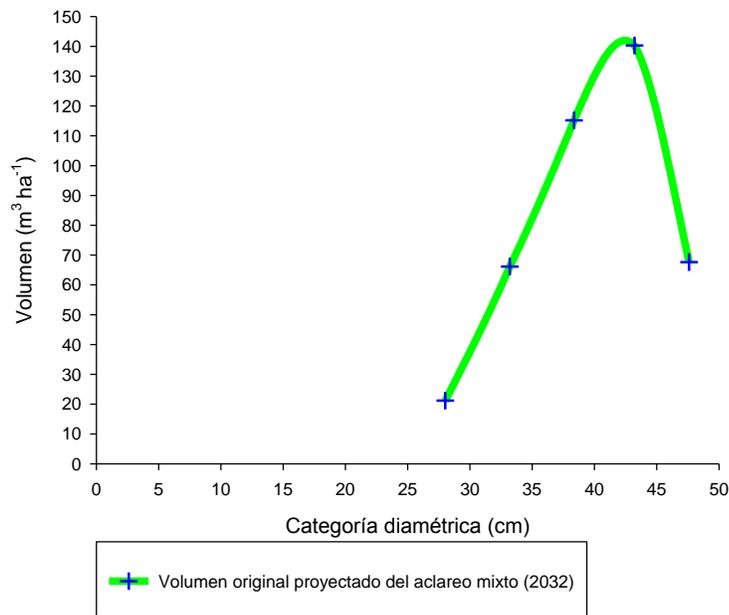
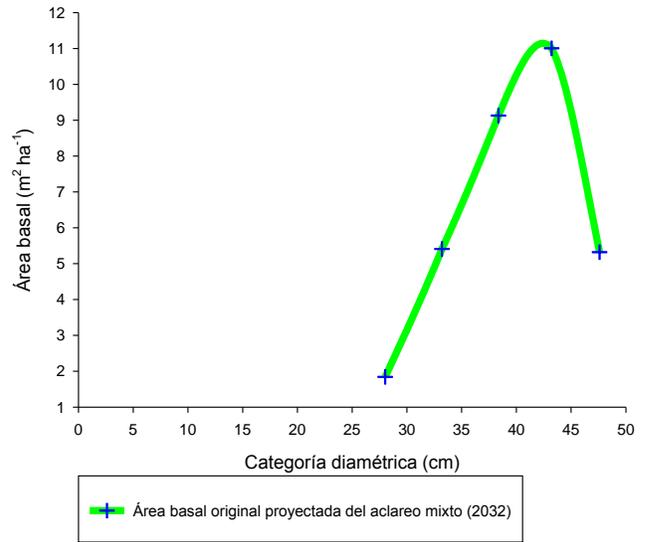
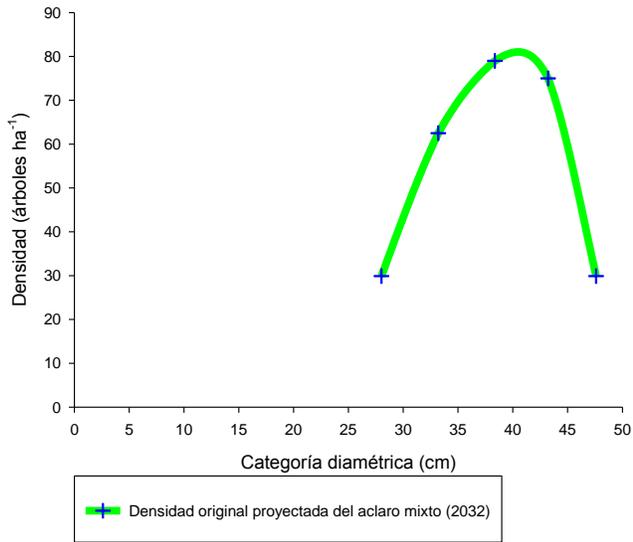


Figura 17. Densidad, área basal y volumen original y proyectado de la alternativa seleccionada aclareo mixto.

## 4.9 Turno

Con el análisis del comportamiento del rodal en las tres alternativas de manejo silvícola comparada con la condición silvícola futura deseada y seleccionando la mejor alternativa (alternativa 3 aclareo mixto) la edad media a la que se alcanza el mejor diámetro promedio del rodal (38 cm) es de 82 años, con una altura media de 18 metros.

## V. CONCLUSIONES

1. El diagnóstico de la condición silvícola presente muestra una estructura en densidad de 467 árboles  $\text{ha}^{-1}$ , el mayor número de árboles  $\text{ha}^{-1}$  se encontró en la categoría diamétrica de 30 y 35 cm con 79 y 75 árboles  $\text{ha}^{-1}$  respectivamente, un área basal de 31.876  $\text{m}^2 \text{ha}^{-1}$  y un volumen de 313.760  $\text{m}^3 \text{ha}^{-1}$ , el diámetro promedio de la condición original fue de 27 cm con un grado de densidad de 74.01 %, los mayores I.C.A. se encontraron en las categorías diamétricas de 40 y 45 cm (0.3200 y 0.3061  $\text{cm año}^{-1}$ ).

2. Para efectos de este estudio se acepta la hipótesis alternativa. Al menos una alternativa permite obtener la condición silvícola futura deseada.

3. Haciendo comparaciones con la condición silvícola deseada y las tres alternativas de manejo silvícola, la más cercana a la condición silvícola deseada es la alternativa número 3 aclareo mixto, ya que después de las cortas y al final del turno el rodal se encuentra dentro del rango de densidad aceptables para la condición silvícola deseada y al final del turno (77.88 % en el año 2022 y 74.86 % en el año 2032), valores que para la condición silvícola deseada se debe encontrar dentro del rango del 60 % al 80 %, se cuenta con un área basal de 32.714  $\text{m}^2 \text{ha}^{-1}$ , para la condición silvícola futura deseada el área basal es de 30  $\text{m}^2 \text{ha}^{-1}$ , el diámetro medio del rodal es de 38 cm, para la condición silvícola futura deseada el diámetro medio es de 40 cm, la amplitud de las categorías diamétricas es de 5 con un diámetro mínimo de 28 cm, para la condición silvícola futura deseada la amplitud de las categorías diamétricas es de 5 con un diámetro mínimo de 30 cm, el 83.27 % del volumen total genera productos primarios, para la condición silvícola futura deseada se tiene que al menos el 60 % del volumen total genera productos primarios, se tiene un volumen de 410.517  $\text{m}^3 \text{r. t. a. ha}^{-1}$ , para la condición silvícola futura deseada es de 282.862  $\text{m}^3 \text{r. t. a. ha}^{-1}$ , el número de árboles  $\text{ha}^{-1}$  es de 277, el mismo valor que presenta la condición silvícola deseada, la altura media es de 18 metros a la edad

de 82 años, para la condición silvícola futura deseada es de 18 metros con 80 años de edad. El volumen de la producción es de  $530.28 \text{ m}^3 \text{ r. t. a. ha}^{-1}$  con un valor de \$ 507,558  $\text{ha}^{-1}$ , la alternativa 1 presenta  $429.199 \text{ m}^3 \text{ r. t. a. ha}^{-1}$  con un valor de \$ 417,229  $\text{ha}^{-1}$  y la alternativa 2 presenta  $408.416 \text{ m}^3 \text{ r. t. a. ha}^{-1}$  con un valor de \$ 391,133  $\text{ha}^{-1}$ , valores que son menores en comparación con la alternativa número 3 aclareo mixto.

4. La alternativa seleccionada fue la 3 aclareo mixto por presentar las medidas dasométricas más cercanas a la condición silvícola futura deseada, por obtener la mayor producción, el mayor valor de la distribución de productos distribuido en trozas medidas comerciales, generar una estructura normal en densidad, área basal y volumen, haciendo que el bosque se aproveche en diferentes etapas sin detrimento del mismo en los mejores individuos y llevando al rodal al mejoramiento fenotípico y genotípico.

## VI. RECOMENDACIONES

1. Se recomienda aplicar la alternativa número 3 aclareo mixto en el rodal, ya que se mejorará y se aprovechará de mejor manera todos los árboles de las categorías diamétricas y los volúmenes finales aprovechables se distribuirán en mejores árboles, teniendo mejores productos.
2. Se recomienda establecer metas o escenarios futuros óptimos para llevar el bosque o rodal a una condición silvícola futura deseada, considerando las condiciones ecológicas de la especie.
3. Hacer análisis de varias alternativas silvícolas para tener un rango más amplio de los escenarios futuros.
4. Aprovechar los resultados de investigación disponibles, para aprovechar el bosque o rodal sin detrimento del mismo, y así aplicar nuevas estrategias de manejo silvícola.
5. Evitar las decisiones empíricas, sin sustento matemático y/o biológico, debiendo utilizarse modelos estadísticos aplicables para el ajuste de variables como alturas, edades, diámetros y otras variables dasométricas.

## VII. LITERATURA CITADA

- Aguirre C., O., A. 1991. Elaboración de tablas de producción en base a sitios temporales de muestreo un ejemplo con *Pinus Pseudostrobus* Lindl., en el Noreste de México. Reporte científico No. 24. Universidad Autónoma de Nuevo León. 43 p.
- Alonso G., L. 1996. Guía de densidad para *Pinus rudis* Endl., en Arteaga, Coahuila. Tesis licenciatura, UAAAN. Buenavista, Saltillo, Coahuila.
- Alvis G., J., F. 2009. Análisis estructural de un bosque natural localizado en la zona rural del municipio de Apopoyan. Presentación de caso. Facultad de ciencias agropecuarias. Grupo de investigación TULL. Universidad del Cauca. 7:116-122.
- Boone, D. 2009. Integrated resource management strategy. National forest. United States. Department of agriculture. Forest service. 17 p.
- Caballero D., M. 2000. La actividad forestal en México. Primera edición. Universidad Autónoma de Chapingo. México. Tomo II. 275 p.
- Cano C., J. 1988. El sistema de manejo regular de los bosques de México. Primera edición. Universidad Autónoma de Chapingo. Chapingo, México. 221 p.
- Cavazos D., J., C. 1997. Uso múltiple de los agostaderos en el norte de México. Revista ciencia forestal en México 22:3-26.
- CETENAL. 1977. Carta Topográfica. G14C35. San Antonio de las Alazanas. Escala 1:50,000. SPP. México.
- CETENAL. 1976. Carta Geológica. G14C35. San Antonio de las Alazanas. Escala 1:50,000. SPP. México.
- CONAFOR (2009). Aclareos y podas: Manual para beneficiarios. Coordinación general de educación y desarrollo tecnológico. 23 p.
- Cortes G., A. Velázquez., A. Torres y G. Bocco. 2003. Contribución al plan de manejo de la comunidad In: Velázquez A., A. Torres y G. Bocco. Las enseñanzas de Nuevo San Juan. 2003. Investigación participativa para el manejo integral de recursos naturales. Primera edición. (INE-SEMARNAT). México. 595 p.
- Clutter J., L., F. James C., P. Leon V., B. Graham H., y B. Robert L. 1983. Timber management: A quantitative approach. John Wiley and Sons. New York. 333 p.
- Daniel P., W., J. A. Helms., y F. S. Baker. 1982. Principios de silvicultura. McGraw-Hill. México. 490 P.
- DETENAL. 1979. Carta de uso del suelo. G14C35. San Antonio de las Alazanas. Escala 1:50,000. SPP. México.
- De la Madrid H., M., 1988. Los municipios de Coahuila, COLECCIÓN: Enciclopedia de los estados de México. Centros estatales de estudios municipales. Talleres gráficos de la Nación. 30 – 34 p.

- Franco A., R., C. 1997. Tabla de producción para *Pinus rudis* Endl. en Arteaga, Coahuila. Tesis licenciatura, UAAAN. Buenavista, Saltillo, Coahuila.
- Fredericksen T., F. Contreras y W. Pariona. 2001. Guía de silvicultura para bosques tropicales de Bolivia. Proyecto BOLFOR, Santa Cruz, Bolivia. Impreso en Editora El País. 81 p.
- Gadow V., K., S. Sánchez O., y J. G. Álvarez G. 2007. Estructura y crecimiento del bosque. 280 p.
- García E. 1981. Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen. Cuarta edición. México. 213 p.
- García O. 1988. Growth modeling - a (re)view, *New Zealand Forestry* 33(3), 14-17.
- García C., J., y B. Rodríguez S. 1993. Cortas intermedias en sitios de vegetación secundaria. *Ciencia Forestal en México* 18: 81- 100.
- Gajardo C., P. 2005. Apuntes de clase. Universidad de Concepción. Facultad de ciencias forestales. Departamento de silvicultura. 153 p.
- Granados S., D., G. F. López R., y M. A. Hernández G. 2007. Ecología y silvicultura en bosques templados. *Revista Chapingo* 13:67-83.
- Hawley R., C., y D. M. Smith. 1972. *Silvicultura Práctica*. Omega. Barcelona, España. 544 P.
- Hernández G., H., G. 1988. Análisis dasométrico y financiero de un bosque de *Pinus rudis* Endl. sujeto a dos intensidades de aclareo en Arteaga, Coahuila. Tesis licenciatura, UAAAN. Buenavista, Saltillo, Coahuila.
- Hernández M., J. 1994. Estructura y crecimiento de un bosque de *Pinus* después de un aclareo en Arteaga, Coahuila. Tesis licenciatura, UAAAN. Buenavista, Saltillo, Coahuila.
- Hernández D., J., C., J. J. Corral R., A. Quiñones C., J. R. Bacon S., y B. Vargas L. 2008. Evaluación del manejo forestal regular e irregular en bosques de la Sierra Madre Occidental. *Madera y Bosques* 14: 25-41.
- Hernández R., M. 2001. *Silvicultura y manejo integral de los recursos forestales*. Notas preliminares. 27 p.
- Imaña E., J. y O. Encinas B. 2008. *Epidometría forestal*. Primera edición. Unversida de de Brasília departamento de engenharia florestal. Facultad de ciencias forestales y ambientales. 69 p.
- Jardel P., E., y R. Sánchez V. 1989. La sucesión forestal: fundamento ecológico de la silvicultura. *Ciencia y desarrollo* 16:33-43.
- Ken C., H. 1995. Integrating social science and ecosystem management: A National Challenge. USDA. Forest service. Southern research station. Forestry sciences laboratory, Athens, GA. 213 p.

- Kirchner S., F., M.T. Atilano D., A. Granados C., y A. Orosco L. 2008. Producción forestal. Tercera edición. Trillas. México. 152 p.
- Klepac, D. 1976, crecimiento e incremento de árboles y masas forestales. UACH. Departamento de bosques. Chapingo, México. 365 p.
- LGDFS (2003). Ley general de desarrollo forestal sustentable. Nueva ley publicada de el Diario Oficial de la Federación, 25 de febrero de 2003. 72 p.
- Meson M., y M. Montoya. 1993. Silvicultura mediterránea: (El cultivo del monte). Ed. Mundi-Prensa. Madrid-España. 368 p.
- Mendoza B., M., A. 1993. Conceptos básicos de manejo forestal. UTEHA. Noriega editores. México. 161 p.
- Mendoza H., J., M. 1983. Diagnóstico climático para la zona de influencia inmediata de la UAAAN, Saltillo, Coahuila. México. 616p.
- Minguell G., J. 2008. Propuesta de modelo silvícola para alcornoques privados (*Quercus suber*). Modelos silvícolas en montes privados mediterráneos. 25-42 p.
- Monárrez G., J., C., y J. A. López H. 2010. Modelos matemáticos para predecir el crecimiento, como herramienta en el manejo de los recursos forestales maderables. INIFAP. Desplegable técnico número 45.
- Musálem M., A., y A. M. Fierros. 1996. Cursos de silvicultura de bosques naturales. UACH. División de ciencias forestales. Departamento de ecología y silvicultura. 112 p.
- Osorio A. 2003. Planeamiento estratégico. Momento explicativo. Apreciación de de la situación. Quinta edición. 127 p.
- Orosco V., L. 2004. Planificación del manejo diversificado de bosques latifoliados húmedos tropicales. CATIE. Serie técnica, manual técnico. Número 56. 315 p.
- Prodan M., P. Rolands., F. Cox., P. Real. 1997. Mensura forestal. Serie de investigación y educación es desarrollo sostenible. Instituto Interamericano de Cooperación Para la Agricultura. 561 p.
- Quintana M., A. 2005. Principios de márketing. Ediciones Deusto. Impreso en España. 275 p.
- Reyes M., J., L. 2011. La relación competencia-densidad y su efecto en el crecimiento de los bosques naturales del Estado de Durango, México. Tesis doctorado. UANL. Linares Nuevo León.
- Rivero B., P. 1984. Determinación de longitudes de turnos. Revista Ciencia Forestal 9: 21-47.
- Rivero B., D., P., y E. M. Zepeda B. 1990. Principios básicos de regulación forestal. Universidad Autonoma de Chapingo. Serie de apoyo académico Num. 42. 262 p.
- Romahn de la V., C., F., H. Ramírez M., y J. L. Treviño G. 1994. Dendrometría. Universidad Autónoma de Chapingo. México. 354 p.

- Romero C. 1994. Economía de los recursos ambientales y naturales. Alianza editorial. Madrid, España. 189 p.
- SEMARNAT (1994). Norma Oficial Mexicana – 060. Que establece las especificaciones para mitigar los efectos adversos ocasionados en los suelos y cuerpos de agua por el aprovechamiento forestal. Diario Oficial de la Federación, 02 de agosto de 1993. 11 p.
- SEMARNAT (2006). Norma Oficial Mexicana – 152. Que establece los lineamientos, criterios y especificaciones de los contenidos de los programas de manejo forestal para el aprovechamiento de los recursos forestales maderables en bosques, selvas y vegetación de zonas áridas. Diario Oficial de la Federación, 17 de octubre de 2008. 24 p.
- Torres E., L., M., y P.A. Cano.1993. Tabla de volumen para *Pinus rudis* Endl. en la sierra de Arteaga, Coahuila. Centro de Investigación Regional del Noreste, Campo Experimental Sierra de Arteaga S.A.R.H. INIFAP. Folleto Técnico. Arteaga, Coahuila, México. 10-14 p.
- Vargas L., B., J. Corral R., F. Cruz C., O. Aguirre C., J. Najel. 2008. Uso y aplicación de los simuladores de crecimiento forestal en la toma de decisiones silviculturales. Revista Forestal Latinoamericana. 23(2):33-52.
- Young R., A. 1991. Introducción a las ciencias forestales. Primera edición. Limusa, México, 632 p.

## APÉNDICE

### Apéndice 1.

Altura ajustada con respecto a la categoría diamétrica.

El modelo que mejor ajuste tuvo para obtener las alturas fue la función de Power con un  $R^2$  de 0.986 y un  $R^2_{adj}$  de 0,997 y CME de 0.52.

Análisis de varianza para el ajuste de alturas del modelo elegido (Función de Power).

VARIABLE	F.V.	G.L.	S.C	C.M.	F.C.
ALTURA	MODELO	3	1893.898	0.517	0.002
	ERROR	6	3.102	210.778	
TOTALES		9	1897.000		

Modelo	Ecuación	Parámetros de regresión			$R^2$	$R^2_{adj}$	CME
		a	b	c			
Ecuación de Henriksen	$Y = a + b \cdot \ln(x)$	-7.92	7.11		0.96	0.994	1.34
Ecuación de Schumacher	$Y = e^{a+b/x}$	3.190	-11.46		0.956	0.992	1.60
Función de Power	$Y = aX^b c^x$	<b>0.75</b>	<b>1.10</b>	<b>0.98</b>	<b>0.986</b>	<b>0.997</b>	<b>0.52</b>

### Apéndice 2.

Edad ajustada con respecto a la categoría diamétrica.

El modelo que mejor ajuste tuvo para obtener las alturas fue la función de Power con un  $R^2$  de 0.986 y un  $R^2_{adj}$  de 0,998 y CME de 0.522.

Análisis de varianza para el ajuste de alturas del modelo elegido (Función de Power).

VARIABLE	F.V.	G.L.	S.C	C.M.	F.C.
ALTURA	MODELO	3	19210.112	6403.371	1226.243
	ERROR	4	20.888	5.522	
TOTALES		7	19.231.000		

Modelo	Ecuación	Parámetros de regresión			R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> <sub>adj</sub>	CME
		a	b	c			
Ecuación de Henriksen	$Y = a+b*\ln(x)$	-20.84	25.00		0.961	0.993	17.85
Ecuación de Schumacher	$Y = e^{a+b/x}$	4.42	-8.18		0.917	0.986	37.79
Función de Power	$Y=aX^b c^x$	<b>9.67</b>	<b>0.54</b>	<b>1.00</b>	<b>0.986</b>	<b>0.998</b>	<b>5.22</b>

Apéndice 3.

Altura ajustada con respecto a la edad.

El modelo que mejor ajuste tuvo para obtener las alturas fue la ecuación de schumacher con un R<sup>2</sup> de 0.986 y un R<sup>2</sup><sub>adj</sub> de 0,998 y CME de 0.522.

Análisis de varianza para el ajuste de alturas del modelo elegido (Función de Power).

VARIABLE	F.V.	G.L.	S.C	C.M.	F.C.
ALTURA	MODELO	3	3006.128	1002.043	1312.368
	ERROR	9	6.872	0.764	
TOTALES		12	3013.000		

Modelo	Ecuación	Parámetros de regresión			R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> <sub>adj</sub>	CME
		a	b	c			
Ecuación de Henriksen	$Y = a+b*\ln(x)$	-29.78	10.89		0.967	0.996	0.91
Ecuación de Schumacher	$Y = e^{a+b/x}$	<b>3.44</b>	<b>-44.20</b>		<b>0.976</b>	<b>0.997</b>	<b>0.76</b>