

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD DE CIENCIAS AGRONOMICAS
DEPARTAMENTO DE FITOTECNIA



APLICACION DEL MODELO DE LOTKA - VOLTERRA PARA LA PREDICION
DEL CRECIMIENTO Y RENDIMIENTO EN PLANTACIONES COETANEAS DE
Eucalyptus camaldulensis (DEHNH)

POR:

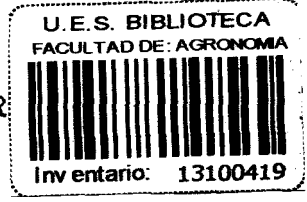
JUAN JOSE COLON FLORES
CARLOS HERIBERTO RODRIGUEZ ERAZO
OSCAR EDWIN SOLORZANO GONZALEZ

REQUISITO PARA OPTAR AL TITULO DE :
INGENIERO AGRONOMO

SAN SALVADOR, JULIO DE 1993.

TUES
1304
C719
1993

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR



001133
Ej 1.

RECTOR: DR. FABIO CASTILLO FIGUEROA

SECRETARIO GENERAL: LIC. MIRNA ANTONIETA PERLA DE ANAYA

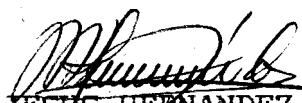
D) por la Secretaría de la Fac. de CC. AA. Octubre - 1993.

FACULTAD DE CIENCIAS AGRONOMICAS

DECANO: ING. AGR. GALINDO ELEAZAR JIMENEZ MORAN

SECRETARIO: ING. AGR. MORENA ARGELIA RODRIGUEZ DE SOTO

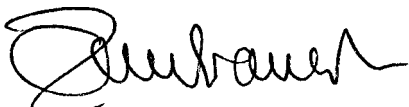
JEFE DEL DEPARTAMENTO DE FITOTECNIA


ING. AGR. MANUEL DE JESUS HERNANDEZ JUAREZ

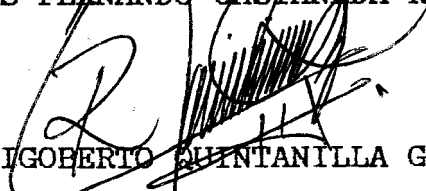
ASESOR


LIC. M.Sc. VICTOR MANUEL ROSALES SORIANO

JURADO EXAMINADOR


ING. AGR. M.Sc. HUGO ANTONIO ZAMBRANA


ING. AGR. LUIS FERNANDO CASTANEDA ROMERO


ING. AGR. RIGOBERTO QUINTANILLA GOMEZ

RESUMEN

En El Salvador la alta presión demográfica (248 habitantes/Km²) y la pequeña extensión territorial (21,000 Km²), son algunos de los factores que han influido en la deforestación, degradación ambiental y escasez de productos forestales.

La excesiva utilización de los recursos naturales se da principalmente en la zona rural, en donde el recurso bosque es el que se encuentra más seriamente dañado, debido a que de él se obtiene leña como combustible para la preparación de alimentos, quema de teja y ladrillo, vigas para construcción, postes para cercos; por lo que se hace necesario darle mayor importancia al estudio de especies forestales de rápido crecimiento y alto rendimiento que satisfagan esas necesidades sociales. Una de las especies forestales más promisorias introducidas al país es el Eucalyptus camaldulensis, el cual presenta las siguientes características: rápido crecimiento, buena capacidad de rebrote, buena adaptabilidad, buen rendimiento; además se carece de información en cuanto a crecimiento y rendimiento de esta especie para el país, por estas razones, se hace necesario el ensayo de un modelo para la predicción del crecimiento y rendimiento, que proporcione las bases para dar un buen manejo a plantaciones puras; este brindaría datos de rendimiento, altura del árbol, DAP y principalmente indica el fin de turno del rodal, y la época más apropiada para llevar a cabo el aclareo dependiendo de la necesidad del productor.

Utilizando la curva logística empleada por Lotka y Volterra y con la información proporcionada por el proyecto MADELEÑA, se ensayó el modelo de

simulación para plantaciones puras de Eucalipto, utilizando cuatro densidades de población (983, 1416, 2213 y 3933 árboles por hectárea). Para la implementación del modelo fue necesaria la determinación de los siguientes parámetros: 1) Coeficiente mórfico, determinado a partir de los datos proporcionados por el proyecto MADELENA, obteniéndose un valor de 0.49 2) Tasa intrínseca de crecimiento (r), la cual se determinó con información obtenida de un modelo elaborado por el CATIE. 3) Potencial de sitio (K), cuyos valores se obtuvieron después de múltiples pruebas con la ecuación llegando finalmente a los valores de 20, 30, y 35 m²/ha.; Índice de sitio (IS), obteniéndose valores para el país de 15, 20 y 25 mts. Posteriormente a la determinación de los parámetros de la ecuación, se procedió a generar las tablas de rendimiento para los tres potenciales de sitio y las cuatro densidades de plantación; complementariamente se elaboraron tablas de rendimiento pero incorporando al modelo un sistema de aclareos.

AGRADECIMIENTOS

- Al Lic. M.Sc. Víctor Manuel Rosales Soriano

Por su valiosa asesoría y colaboración en la realización del presente trabajo.

- Al Ing. Agr. M.Sc. Modesto Juárez, del Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE - El Salvador)

Por su colaboración al proporcionarnos información básica para la ejecución del trabajo.

- Al Centro Nacional de Recursos Naturales (CENREN)

Por su colaboración al brindarnos información básica para la implementación del presente trabajo.

- Al Ing. Agr. M.Sc. Hugo Zambrana, Ing. Agr. Luis Fernando Castaneda, Ing. Agr. Rigoberto Quintanilla

Por sus sugerencias acertadas para mejorar el trabajo.

- Al Lic. Juan Ramón Colón y su Sra. esposa Martha Valencia de Colón y a Edgardo Colón

por su dedicado trabajo en la preparación de éste.

- Al Ing. Agr. Mario Orellana

Por su profesionalismo en la impresión final del documento.

- Al Ing. Jaime Muñoz

Por la dedicación y esmero desinteresado en la realización de las diversas corridas del modelo.

DEDICATORIA

- Dedico este trabajo a la Santísima Trinidad: Dios Padre, Dios Hijo y Dios Espíritu Santo por brindarme la oportunidad de descubrir el sentido de la existencia a través de la conquista de mis mayores ideales.

- A mi Madre Celestial, María Auxiliadora por estar siempre a mi lado brindandome su consuelo y protección.

- A mi mamá Emma y a mi papá Miguel pues su apoyo, sacrificio y abnegación siempre ha sido y será incondicional; a ellos con mucho amor y humildad agradezco la educación y formación que me han dado.

- A mi hermano Miguel Cristobal por ser un modelo y ejemplo a seguir en la tenacidad de la vida ante las metas difíciles por alcanzar.

- A mi abuelita, Mamaría por el amor y cariño que siempre me ha brindado.

- A mi tío Juan Ramón Colón y su esposa Martha Valencia de Colón por el apoyo que me brindaron en la realización de este trabajo.

- Al Movimiento Scout, especialmente a uno de sus mejores líderes; Sr. Roberto López Hernández, por enseñarme a "remar mi propia canoa" y a estar listo para servir.

- A las siguientes personas agradezco de una manera muy especial por que en su momento me brindaron aquel consejo sabio, oportuno, justo y necesario para poder superar obstáculos que se fueron presentando y que fueron superados: Dr. Edgar José Alexander Ruíz Ramos, Lic. Ernesto Peña, Dr. Juan Francisco Sandoval, Ing. Agr. Mario Orellana, Ing. Agr. Luis Fernando Castaneda.

- A la Universidad de El Salvador por formarme como un profesional al servicio de mi nación El Salvador.

Juan José Colón.

DEDICATORIA

*** A MIS PADRES:**

Mariano Rodríguez (De Grata Recordación)
Teresa de Jesús Erazo Vda. de Rodríguez, por su amor y sacrificio en todo momento de mi vida.

*** A MI HERMANO:**

Ricardo Benjamin Rodríguez Erazo
Como un homenaje especial, en cualquier lugar donde se encuentre, esta compartiendo mi triunfo.

*** A MI HERMANA:**

Nury Arely Rodríguez Erazo.
Por su amor, comprensión e incondicional apoyo en la realización de mis estudios universitarios.

*** A MIS SOBRINOS:**

Carlos Eduardo.
Gabriela Alejandra.
Por sus travesuras, sonrisas y compañía que me animan a seguir adelante.

*** A MI CUÑADO:**

Jesús Reyes Grande.
Por su apoyo y orientación en mis estudios.

*** A MI COMPAÑERA:**

Teresa Hernández Sandoval.
Por su amor y comprensión.

*** A MIS COMPAÑEROS Y AMIGOS:**

Por su solidaridad y amistad.

*** A LA UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR:**

Por formarme profesionalmente.

*** AL PUEBLO SALVADOREÑO:**

Por su lucha ineludible por conquistar un mañana mejor.

Carlos Heriberto Rodríguez Erazo.

DEDICATORIA

- A DIOS OMNIPOTENTE: Una Plegaria.

- A MIS PADRES: Oscar Alfonso Solórzano M.
Mercedes González de Solórzano.
Para quienes mi infinito amor y eterno
agradecimiento es poco, mi triunfo es la
recompensa por su sacrificio.

- A MIS HERMANOS: Lorena y Hugo.
Con amor fraterno.

- A MIS ABUELOS: Luisa Magaña de Solórzano. (Q.D.D.G.)
Laureano Alfonso Solórzano G.
Dora Alicia González.
Con muchísimo amor y agradecimiento por
la ayuda prestada en los momentos de
mayor necesidad.

- A MIS TIAS: Irma Gloria Solórzano (Q.D.D.G.)
Zoila Cristina Solórzano de Guardado
Enma Alicia Solórzano de López
Con mucho amor por su apoyo, les estaré
eternamente agradecido.

- DEMAS FAMILIA: Con amor.

- A MIS COMPAÑEROS
Y AMIGOS: Sean estas palabras un reconocimiento a
todas aquellas personas que en una u
otra forma me ayudaron a alcanzar la
meta.

- A LA UNIVERSIDAD
DE EL SALVADOR: POR FORMARME PROFESIONALMENTE.

EDWIN SOLORZANO

INDICE

RESUMEN.....	iv
AGRADECIMIENTO Y DEDICATORIA.....	vi
LISTA DE CUADROS	xv
LISTA DE FIGURAS.....	xviii
1. INTRODUCCION.....	1
2. REVISION BIBLIOGRAFICA.....	3
2.1 Generalidades de la especie en estudio.....	3
2.1.1. Ubicación taxonómica.....	3
2.1.2. Descripción.....	3
2.1.2.1 Corteza.....	3
2.1.2.2 Hojas.....	4
2.1.2.3 Flores.....	5
2.1.2.4 Fruto.....	5
2.1.2.5 Semilla.....	6
2.1.2.6 Mecanismos defensivos crecimiento..	7
2.1.2.7 Mecanismos agresivos que permiten el crecimiento rápido de la especie..	7
2.1.3 Origen	9
2.1.4 Requerimientos ambientales.....	9
2.1.4.1. Temperatura.....	9
2.1.4.2. Precipitación.....	9
2.1.4.3. Altitud.....	10
2.1.4.4. Suelos.....	10
2.1.4.5. Vientos.....	10
2.1.5. Usos.....	10

2.1.5.1. Leña.....	10
2.1.5.2. Madera.....	11
2.1.5.3. Carbón vegetal.....	12
2.1.5.4. Otros usos.....	13
2.2 Manejo.....	13
2.2.1. Densidad.....	13
2.2.2. Crecimiento y rendimiento.....	14
2.2.2.1. Razones para predecir crecimiento y rendimiento.....	14
2.2.2.2. Crecimiento.....	15
2.2.2.3. Rendimiento.....	32
2.2.2.4. Evaluación de la calidad de sitio e índice de sitio.....	33
2.2.2.5. Fuentes de información.....	34
2.2.2.6. Modelos matemáticos.....	35
2.2.3. Los aclareos en rodales coetáneos.....	47
2.2.3.1. Definición.....	47
2.2.3.2. Relación entre aclareo y desarrollo del rodal.....	47
2.2.3.3. Efectos fisiológicos de la aplicación de los aclareos en los rodales.....	49
2.2.3.4. Efectos de los aclareos en el crecimiento de los árboles individuales.....	50
2.2.3.5. El lugar de los aclareos en la práctica forestal.....	50

2.2.3.6.	Resumen de las principales características y propósitos del aclareo.....	51
2.2.3.7.	Métodos de aclareo.....	52
2.2.3.8.	Epoca del aclareo.....	60
2.2.3.9.	Incorporación de los aclareos en el modelo global de simulación.....	61
2.2.3.10.	Indices de densidad empleados para aclareos.....	62
2.2.4.	Turno en rodales coetáneos.....	63
2.2.4.1.	Tipos de turno.....	65
3.	MATERIALES Y METODOS.....	68
3.1	Metodología estadística.....	68
3.1.1.	Modelo matemático.....	68
3.2	Metodología de análisis.....	68
3.2.1.	Procesamiento de datos.....	68
3.2.2.	Implementación del modelo.....	69
3.2.2.1.	Metodología para la determinación del coeficiente mórfico.....	69
3.2.2.2	Determinación de la tasa intrínseca de crecimiento (r).....	72
3.2.2.3.	Determinación del potencial de sitio e índice de sitio (IS).....	73
3.2.3.	Corrida del modelo.....	73
3.2.3.1.	Manejo de la información.....	73
3.2.3.2.	Estimación del área basal por ha	74

3.2.3.3	Estimación de la altura.....	74
3.2.3.4.	Estimación del área basal por árbol.....	75
3.2.3.5.	Estimación del volumen por ha...	75
3.2.3.6.	Estimación del diámetro del árbol medio.....	76
3.2.3.7.	Estimación de ICA e IMA.....	77
3.2.3.8.	Simulación de los aclareos.....	77
3.2.3.9.	Elaboración de tablas de rendimiento.....	78
4.	RESULTADOS.....	79
4.1	Corrida del modelo.....	79
4.1.1.	Area basal	79
4.1.2.	Altura.....	84
4.1.3.	Area basal por árbol.....	86
4.1.4.	Volumen	87
4.1.5.	Diametro	88
4.1.6.	IMA e ICA.....	92
4.1.7.	Simulación de aclareos.....	95
5.	DISCUSION DE RESULTADOS.....	97
5.1.	Area basal	97
5.2.	Altura.....	98
5.3.	Area basal por árbol.....	100
5.4.	Volumen	101
5.5.	Diámetro.....	101
5.6.	IMA e ICA.....	103
5.7.	Simulación de aclareos.....	106

6. CONCLUSIONES.....	109
7. RECOMENDACIONES.....	110
8. BIBLIOGRAFIA.....	111
9. ANEXOS.....	116

LISTA DE CUADROS

CUADRO

PAGINA

- 1.- Simulación del rendimiento de una plantación de Eucalyptus camaldulensis, sin aclareo, para un Potencial de Sitio 20, Índice de Sitio 15 y una densidad final de 983 árboles/ha..... 81

- 2.- Simulación del rendimiento de Eucalyptus camaldulensis, sin aclareo, para un Potencial de Sitio 20, Índice de Sitio 15 y una densidad final de 3933 árboles/ha..... 81

- 3.- Simulación del rendimiento de una plantación de Eucalyptus camaldulensis, sin aclareo, para un Potencial de Sitio 20, Índice de Sitio 15 y una densidad final de 1416 árboles/ha..... 82

- 4.- Simulación del rendimiento de una plantación de Eucalyptus camaldulensis, sin aclareo, para un Potencial de Sitio 35, Índice de Sitio 25 y una densidad final de 1416 árboles/ha..... 83

- 5.- Simulación del rendimiento de una plantación de Eucalyptus camaldulensis, sin aclareo , para un Potencial de Sitio 20, Índice de Sitio 15 y una densidad final de 2213 árboles/ha..... 83

6.- Simulación del rendimiento de una plantación de Eucalyptus camaldulensis, sin aclareo , para un Potencial de Sitio 30, Índice de Sitio 20 y una densidad final de 2213 árboles/ha..... 84

7.- Simulación del rendimiento de una plantación de Eucalyptus camaldulensis, sin aclareo, para un Potencial de Sitio 35, Índice de Sitio 25 y una densidad final de 2213 árboles/ha..... 85

8.- Simulación del rendimiento de una plantación de Eucalyptus camaldulensis, sin aclareo, para un Potencial de Sitio 30, Índice de Sitio 20 y una densidad final de 1416 árboles/ha..... 86

9.- Simulación del rendimiento de una población de Eucalyptus camaldulensis, sin aclareo, para un Potencial de Sitio 35, Índice de Sitio 25 y una densidad final de 983 árboles/ha..... 90

10.- Simulación del rendimiento de una plantación de Eucalypto camaldulensis, sin aclareo , para un Potencial de Sitio 30, Índice de Sitio 20 y una densidad final de 983 árboles/ha..... 91

11.- Simulación del rendimiento de una plantación de Eucalyptus camaldulensis, sin aclareo , para un

Potencial de Sitio 30, Índice de Sitio 20 y una densidad final de 3933 árboles/ha.....	91
12.- Simulación del rendimiento de una plantación de <u>Eucalyptus camaldulensis</u> , con prácticas de aclareo, para un Potencial de Sitio 30, Índice de Sitio 20 y una densidad inicial de 1416 árboles/ha.....	95
A-1. Formulario para la medición de árboles en secciones para elaborar tablas de volumen.....	116
A-2. Determinación del coeficiente mórfico de un árbol.....	118
A-3. Construcción de una tabla de rendimiento	120
A-4. Ejemplo de simulación del rendimiento de <u>Eucalyptus</u> <u>camaldulensis</u>	126
A-5. Ejemplo de simulación de aclareos.....	127
A-6. Programa de lenguaje BASIC, para la elaboración de tablas de rendimiento de plantaciones coetáneas.....	128

LISTA DE FIGURAS

FIGURA	PAGINA
1- Forma típica de la curva sigmoide.....	19
2- Incremento Medio Anual (IMA) e Incremento Corriente Anual (ICA) del volumen de una plantación de <u>Eucalyptus camaldulensis</u> para un Potencial de Sitio 35 e Indice de Sitio 25 y una densidad de 2213 árboles/ha.....	28
3- Simulación del crecimiento del área basal, a partir del año 5, de una plantación de <u>Eucalyptus camaldulensis</u> con una densidad de 983 árboles/ha, con un potencial de sitio 20 e Indice de Sitio 15	80
4- Simulación del crecimiento del área basal, a partir del año 5, de una plantación de <u>Eucalyptus camaldulensis</u> , con una densidad de 3933 árboles/ha, con un Potencial de Sitio 20 e Indice de Sitio 15	80
5- Simulación del crecimiento del volumen a partir del año 5, de una plantación de <u>Eucalyptus camaldulensis</u> , con una densidad de 983 árboles/ha, con un Potencial de Sitio 20 e Indice de Sitio 15	87
6- Crecimiento diamétrico a partir del año 5, de una plantación de <u>Eucalyptus camaldulensis</u> , con una	

	densidad de 1416 árboles/ha, con un Potencial de Sitio 30 e Índice de Sitio 20	89
7-	Crecimiento diamétrico a partir del año 5, de una plantación de <u>Eucalyptus camaldulensis</u> , con una densidad de 983 árboles/ha, con un Potencial de Sitio 30 e Índice de Sitio 20	89
8-	Simulación del efecto que ejerce la densidad sobre el crecimiento diamétrico de un rodal coetáneo de <u>Eucalyptus camaldulensis</u>	90
9-	Incremento Medio Anual (IMA) e Incremento Corriente Anual (ICA) del volumen de una plantación de <u>Eucalyptus camaldulensis</u> , con una densidad de 1416 árboles/ha, en un Potencial de Sitio 35 e Índice de Sitio 25.....	92
10-	Incremento Medio Anual (IMA) e Incremento Corriente anual (ICA) de volumen de una plantación de <u>Eucalyptus camaldulensis</u> con una densidad de 1416 árboles/ha, en un Potencial de Sitio 20 e Índice de Sitio 15.....	93
11-	Incremento Medio Anual (IMA) e Incremento Corriente Anual (ICA) de volumen de una plantación de <u>Eucalyptus camaldulensis</u> , con una densidad de 3933 árboles/ha, en un Potencial de Sitio 20 e Índice de Sitio 15.....	94

12-	Incremento Medio Anual (IMA) e Incremento Corriente Anual (ICA) del volumen de una plantación de <u>Eucalyptus camaldulensis</u> , con una densidad de 1416 árboles/ha, en un Potencial de Sitio 30 e Índice de Sitio 20.....	94
13-	Simulación de aclareos en un rodal coetáneo de <u>Eucalyptus camaldulensis</u> , para un Potencial de Sitio 30, Índice de Sitio 20 y una densidad de 1416 árboles/ha.....	96
14-	Incremento Medio Anual (IMA) e Incremento Corriente Anual (ICA) de volumen de una plantación de <u>Eucalyptus camaldulensis</u> con una densidad de 3933 árboles/ha, Potencial de Sitio 30 e Índice de Sitio 20.....	104
15-	Incremento Medio Anual (IMA) e Incremento Corriente Anual (ICA) de una plantación de <u>Eucalyptus camaldulensis</u> , con una densidad de 3933 árboles/ha, con un Potencial de Sitio 20 e Índice de Sitio 15.....	105

INTRODUCCION

Los bosques son esenciales para el bienestar económico y social de la población de un país, ya que permiten satisfacer necesidades tales como abastecimiento de leña y madera, así como el desarrollo de industrias forestales generando mayores ingresos.

En El Salvador los bosques se encuentran deteriorados debido a una sobre explotación causada por una alta tasa de crecimiento poblacional y por ser un país territorialmente pequeño, así como por la falta de políticas estatales que regulen su adecuada utilización.

En este sentido se hace necesario evaluar en nuestro país especies forestales de rápido crecimiento y rendimiento, que proporcionen recursos a corto plazo. Uno de los problemas para incrementar la siembra de especies de crecimiento rápido, radica en la poca información local existente sobre el manejo de estas plantaciones.

Los modelos de simulación del crecimiento y rendimiento son herramientas eficientes para transformar los datos empíricos en información clave para realizar análisis financieros permitiendo proyectar los costos y beneficios sobre bases cuantitativas de las etapas de cultivo de las especies forestales, además de permitir programar el manejo de éstas, así como predecir la producción en términos de volumen o biomasa a través del tiempo y bajo condiciones de manejo en programas de desarrollo sostenido basados en la reforestación y/o forestación.

Con el fin de completar la información requerida se realizó el ensayo de un modelo de simulación para la predicción del crecimiento y rendimiento

de plantaciones coetáneas de Eucalipto (Eucalyptus camandulensis) tomando como base la información generada por un modelo similar realizado por el proyecto MADELENA, coordinado por el Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE). Este modelo preliminar permite elaborar tablas de rendimiento para diferentes potenciales y calidades de sitio ya sea con aclareo o sin él.

2. REVISION DE LITERATURA

2.1. Generalidades de la especie en estudio

2.1.1. Ubicación Taxonómica.

Nombre botánico : Eucalyptus camaldulensis (Dehnh)

Nombre común : Eucalipto

Familia : Myrtaceae

2.1.2. Descripción.

Es una especie que se mantiene siempre verde, de 24 a 40 metros de altura (alcanza hasta 50 metros en algunas regiones de Australia), fuste grueso de base recta y generalmente torcido, alcanza de 60 cm. a 1 metro de diámetro, con copa abierta e irregular, corteza lisa, blanca y ligeramente grisácea, desprendible en tiras largas o en placas irregulares. En suelos sueltos forma un sistema radicular profundo y amplio. Sus ramillas terminales son rojizas, largas y delgadas y cuelgan en ángulos agudos (6,7,19).

2.1.2.1 Corteza

La corteza del eucalipto es caduca y se desprende cuando cada capa se renueva en láminas bastante anchas. Por lo general es difícil determinar el color y la textura superficial de estas cortezas, puesto

que a menudo se caracterizan por placas yuxtapuestas de diferentes edades. Mientras que las placas mas nuevas, son por lo general brillantes y de grano fino con colores claros, las placas viejas listas para caer son relativamente de un gris opaco y menos lisas (6,7).

2.1.2.2 Hojas

Las hojas del eucalipto varían en forma notable desde la plántula hasta el árbol maduro. El siguiente sistema de clasificación de los diferentes tipos de hojas fue usado por S. T. Blake citado por Jacobs (14), en 1953:

a) Hojas de plántulas:

Se trata de las hojas tempranas formadas sobre plántulas durante su primer año. Se desarrollan pares de hojas sobre el brote en crecimiento, opuestas sobre el talluelo y los pares sucesivos están distribuidos en ángulos rectos unos de otros, disposición denominada "decusado".

b) Hojas juveniles:

Se trata de las hojas que se hallan en una plántula de vivero cuando se han formado de 4 a 6 pares de hojas sobre la joven extremidad en crecimiento.

c) Hojas intermedias:

Las hojas intermedias son generalmente mas anchas que las juveniles o las adultas, y la punta en crecimiento puede producir muchos pares después de la fase juvenil y antes de que aparezcan las hojas adultas mas o menos estables.

d) Hojas adultas:

Las hojas en su estado adulto se vuelven alternas, ya que en su estado juvenil son opuestas. Son de forma lanceolada, pecioladas, delgadas y pendientes, recurvadas, de borde liso glabras, coriáceas, fuertemente cutinizadas, ricas en esclerénquima de color verde opaco en el haz, con envés ocasionalmente gris.

2.1.2.3 Flores

Las flores son blancas, en cabezuelas (umbelas), se encuentran en forma axilar con 6 o mas flores. Su consistencia es leñosa con botones florales de base semiredonda y cubierta larga, cónica, punteada, o rostrada. En la madurez el opérculo se desprende y aparecen los estambres en número indefinido y un estilo en el centro. (6,19)

2.1.2.4 Fruto

El fruto se forma con el desarrollo del hipantio y del ovario adherido. La parte superior del fruto consiste en cuatro segmentos. La cicatriz producida por la caída del opérculo, forma un anillo externo llamado anillo calicinal. El siguiente anillo interno es el anillo estaminal. Luego sigue un disco en cuyo interior esta la parte superior del ovario que al madurar se parte y se separa en valvas. En las flores, o en los frutos jóvenes, el disco es virtualmente continuo con la parte superior del ovario. Cuando el fruto madura y se seca, las valvas se

abren y la diferenciación entre las dos partes se nota cada vez más. (6,14).

Las valvas pueden ser relativamente cortas y triangulares, pueden tener puntas agudas formadas por la ruptura de la base persistente del estilo. A las valvas se les llama exertas ya que su base esta situada visiblemente al nivel del anillo calicinal, o bien claramente por encima de él y sus puntas sobresalen netamente de todo el fruto (14).

2.1.2.5 Semilla

Cada fruto de eucalipto contiene una gran cantidad de óvulos. Pero no todos son fertilizados durante la polinización. Es importante recordar que cada óvulo tiene que ser fertilizado por un grano separado de polen, de manera que, mientras cada semilla en un fruto procede de la misma planta madre, pueden haber varios padres diferentes en la formación de la semilla dentro de una misma cápsula (14).

Los óvulos fertilizados se desarrollan en unos seis meses aproximadamente a partir de su polinización. Las cápsulas maduras son marrones-amarillas y quedan generalmente cerradas durante varios meses, o incluso 2 años o más. Las semillas son numerosas y de forma angular (6,14,19).

2.1.2.6 Mecanismos defensivos de crecimiento

El eucalipto ha desarrollado órganos protectores subterráneos, los cuales permiten al individuo emitir nuevos brotes si la parte aérea de la planta ha sido destruida por el ramoneo, por el fuego u otros accidentes. Este órgano protector subterráneo se llama lignotubérculo y se desarrolla en una edad temprana de la plántula en forma de pequeñas protuberancias en las axilas de los cotiledones y a veces, en los primeros pocos pares de hojas. Estas protuberancias se funden alrededor del tallo, doblándose luego hacia abajo en la unión del tallo con la raíz y se entierra completamente o en parte, en la superficie del suelo y tienen la capacidad de producir brotes con hojas en abundancia si se destruye la parte aérea de la planta y por tanto se consideran como estructuras del tallo geotrópicamente positivas, además son órganos de reserva y acumulan sustancias alimenticias. Cuando la parte aérea de una plántula joven de eucalipto ha sido accidentada, las reservas alimenticias en el lignotubérculo permiten el desarrollo de nuevos brotes, que son por lo general, mas fuertes que los iniciales, crecen mas alto y proporcionan al lignotubérculo reservas adicionales (14).

2.1.2.7 Mecanismos agresivos que permiten el crecimiento rápido de la especie

Los hábitos de crecimiento más importantes, son los brotes indefinidos y las yemas desnudas, estas dos características permiten al brote del eucalipto crecer continuamente en altura, o en largo y

producir nuevas ordenes de ramas mientras persistan las condiciones favorables para el crecimiento. El eucalipto no produce yemas latentes, la punta delicada de crecimiento sigue produciendo pares de hojas con intervalos regulares, constituyendo un brote indefinido, en la axila de cada hoja hay una yema desnuda, que es otra punta de crecimiento que puede producir inmediatamente otra rama de segundo orden, o si algún accidente destruye el ápice madre de crecimiento, puede asumir las funciones del brote principal en cuestión de días. Es inevitable que los brotes terminales tiernos y las yemas axilares desnudas del eucalipto se conviertan en apetecido alimento para otras formas de vida. En el transcurso del tiempo han llegado a ser la dieta normal de muchos insectos, algunos mamíferos y ciertos hongos, independientemente si el árbol individual está en su fase de plántula, semimadura o madura. El eucalipto tiene un mecanismo agresivo de reemplazo para disminuir los ataques a los tiernos brotes terminales y axilares. Aparte de la yema desnuda en la axila de cada hoja, hay un cojinete de tejido meristemático en la base de la yema desnuda que puede producir uno o aún varios nuevos brotes axilares en el caso de que la yema desnuda fuese destruida. Mientras la yema desnuda original o el brote de encima de su axila crece vigorosamente, se producen hormonas que inhiben el desarrollo de nuevos brotes desde el cojinete de tejido meristemático colocado en la base de la yema desnuda, pero si se destruye la yema desnuda o el brote de encima de ella, se elimina la inhibición y nuevos brotes crecen en la axila de la hoja que se denominan yemas accesorias.

2.1.3 Origen

Eucalyptus camaldulensis, junto a Eucalyptus grandis y E. globulus son las especies más ampliamente plantadas en los países del mediterráneo. Son las más difundidas en Australia con excepción de Tasmania, también existen plantaciones de estas especies forestales en Africa, Asia y América Latina (6,7,19).

2.1.4 Requerimientos Ambientales

2.1.4.1 Temperatura

En general, en la zona de origen la especie soporta temperaturas altas en verano (29°C - 35°C) y temperaturas bajas de hasta 3°C - 5°C en invierno. En América Central se le ha plantado en sitios con temperaturas medias entre 20°C y 29°C. Los mejores crecimientos se han registrado en zonas bajas con temperaturas superiores a 22°C. Es una especie heliófita que requiere plena exposición para un crecimiento satisfactorio (6).

2.1.4.2 Precipitación

El mínimo para plantaciones comerciales es de 400 mm, aunque la especie puede crecer bien en zonas de menor precipitación. En América Central se ha plantado en zonas con precipitaciones entre 600 mm y 2900 mm anuales y hasta ocho meses con déficit hídrico (5,6).

2.1.4.3 Altitud

Es una especie de zonas bajas que crece naturalmente a la orilla de los ríos, algunas procedencias pueden plantarse en zonas altas hasta 1400 msnm. En América Central se ha plantado desde el nivel del mar hasta 1200 msnm, aunque los mejores rendimientos se han registrado abajo de los 650 msnm (6).

2.1.4.4 Suelos

El árbol se adapta a una amplia gama de suelos, desde muy pobres hasta periódicamente inundados. En algunos lugares de Centro América, en suelos compactados por sobrepastoreo, poca humedad disponible en el año y calcáreos con cenizas volcánicas endurecidas superficiales (talpetates), los crecimientos no han sido satisfactorios (6).

2.1.4.5 Vientos

La especie resiste muy bien los vientos, por lo que se le emplea en la formación de cortinas rompevientos, asociadas con otras especies de porte bajo (6).

2.1.5 Usos

2.1.5.1 leña

Quando la madera esta completamente seca, constituye un combustible

excelente. Tiene un poder calorífico de aproximadamente 4800 Kcal/kg, la madera es moderadamente densa (5,6).

2.1.5.2 Madera

En Australia se utiliza para la construcción en general, ya que el durámen rojizo es moderadamente fuerte, duradero y resistente a las termitas. Uno de los primeros productos de exportación de madera de eucalipto desde Australia es el de durmientes de ferrocarril. Millones de durmientes han sido enviados a Nueva Zelandia, China, India, países del Oriente, Africa y América. (6,14,19)

Se han empleado en Australia durante 2000 años, en lugar de otros cimientos, bloques de madera de eucalipto para viviendas. Bloques de Eucalyptus camaldulensis Australiano se han usado para pavimentar calles en Londres y otras ciudades. En Africa la madera del eucalipto es usada en la siguientes formas: madera estructural (pesada y ligera), pisos, además para minas, construcción naval, fabricación de vehículos, muebles y ebanistería, escaleras, artículos deportivos, utensilios agrícolas, chapas y contrachapados, pasta, leña, carbón vegetal, cajas y embalajes, terminación de interiores, carpintería, durmientes de ferrocarril, postes y pilotos (14).

En Panamá se ha comenzado a utilizar la madera para la fabricación de sillas, artesanías y otros objetos de pequeñas dimensiones. También se ha utilizado en postes para cercas (6).

2.1.5.3 Carbón Vegetal

La madera de eucalipto produce buen y fuerte carbón comercial. El carbón vegetal merece ser considerado por los siguientes motivos:

- a) Posee un mayor valor calorífico (6700 Kcalorías/kg) que la madera secada al aire (4800 kcalorías/kg).
- b) Se conserva en forma indefinida sin deterioro, simplificando la comercialización y el almacenamiento en la cadena de distribución de combustibles domésticos.
- c) Puede ser quemado sin producir humo, con un excelente rendimiento calorífico.
- d) Es una fuente útil de carbón reactivo de elevada pureza para la metalurgia y la industria química, empleos para los cuales la madera misma no sería apta.

Quando el carbón vegetal se produce industrialmente usando métodos de carbonización continua en gran escala, ya sea por medio de hornos con torres de purificación del gas caliente (LAMBIOTTE), o bien hornos con camas rotativas (HERRESHOFF) y si los gases de salida son recogidos y quemados posteriormente, se produce un vapor capaz de generar energía eléctrica. En Argentina, Australia y sobre todo en Brasil, hay importantes industrias de fundición de hierro a base de carbón vegetal derivado de la madera de eucalipto. El carbón vegetal puede ser usado como combustible en la forma de productos de gas (gasógeno) para motores de combustión interna. En algunos países fue usado en esta forma durante la Segunda Guerra Mundial (14).

2.1.5.4 Otros usos

En zonas secas se planta como barreras rompevientos, o como cercos vivos a la orilla de los caminos. También es utilizado como ornamental, barreras protectoras o en pequeñas plantaciones comunales (6).

Las flores producen miel de excelente calidad. En Australia la mayor parte de la miel consumida es de eucalipto, siendo utilizada como un magnífico producto de exportación. Las hojas son utilizadas en algunos lugares para quemarlas y controlar insectos. Un empleo interesante del eucalipto es en la preparación del licor "Eucaliptino" de los monjes trapistas de la Basílica Tre Fontane cerca de Roma, lugar del supuesto martirio de San Pablo. Este licor ha sido preparado durante más de 100 años en Tre Fontane (14).

2.2 Manejo

2.2.1. Densidad

Los requerimientos de espacio por árbol varían de acuerdo con la edad de la planta y el tipo de producto que se desea obtener. Se puede iniciar con un área de 4 m²/árbol durante los primeros tres a cuatro años, variando hasta 6 ó 9 m²/árbol a los siete años. Es necesario planificar desde el inicio de la plantación un programa adecuado de raleos, de acuerdo con el producto final deseado (6).

2.2.2. Crecimiento y rendimiento

2.2.2.1. Razones para predecir crecimiento y rendimiento

a) Planificación de la producción

Un manejo forestal efectivo implica la aplicación de un sistema de tratamientos para el control de la masa forestal de modo tal, que el incremento en valor económico y/o social de dicha masa sea mas rápido que el interés acumulado del costo de los tratamientos. Una tasa severa de explotación traerá como consecuencia final la liquidación del recurso forestal; una tasa muy ligera puede privar a la comunidad de recursos inmediatos y reducir el potencial del crecimiento futuro del bosque. Solamente podrán tomarse decisiones racionales sobre intensidad y épocas de aclareos y explotaciones, si la respuesta de los bosques a éstas operaciones puede cuantificarse. (1,15)

b) Investigación silvicultural y planificación

Aunque el objetivo primario de los estudios de crecimiento y rendimiento es probablemente la cuantificación de la producción forestal, como respuesta a los tratamientos y explotaciones, existe una marcada relación dual entre estos estudios y prácticas más cualitativas de investigaciones silviculturales (1).

c) Investigación ecológica y manejo ambiental

Los modelos cuantitativos para predecir crecimiento y rendimiento pueden interactuar con las necesidades de la investigación ecológica y planificación ambiental de diversos modos. (1)

2.2.2.2 Crecimiento

a- Definición

- i) Es el proceso biológico en que un organismo aumenta su tamaño y masa durante el transcurso del tiempo (17).
- ii) Es el fenómeno de aumento en tamaño y masa que experimenta un árbol con el tiempo (10).
- iii) Es el aumento gradual del valor de las variables que se miden en un árbol (16).

b- Estudio del crecimiento

El crecimiento es uno de los parámetros mas importantes en los trabajos de silvicultura, ordenación forestal, predicción del rendimiento. El ritmo de crecimiento está influenciado por factores internos (genéticos), externos (ecológicos) y por el tiempo. En otras palabras el crecimiento de los árboles depende de la especie, de su edad y de la calidad de sitio en el cual crecen (16,17).

A medida que aumenta la calidad de sitio, un rodal de una especie determinada alcanza un estadio particular de desarrollo en una edad más corta. (2)

El crecimiento de un árbol aislado, tiene algunas características similares al crecimiento de los árboles que constituyen un bosque, a pesar de presentar algunas en las que difieren. Por esta razón, el estudio del crecimiento del árbol y del bosque se hacen por separado. Se conocen las tendencias de crecimiento en diámetro, altura, área basal, forma y volumen del árbol, lo cual se debe a los estudios hechos acerca de la existencia de anillos anuales de crecimiento en ciertas especies, pero se considera, en general, que todos los árboles siguen igual dirección. En el trópico los estudios referentes al crecimiento han estado muy limitados, en parte, porque casi todos los árboles carecen de anillos anuales (16).

c- Factores que determinan el crecimiento

El crecimiento es el producto final de la interacción de una serie de factores, los cuales se pueden agrupar de la siguiente manera:

i) Factores Genéticos:

Los factores genéticos son las características intrínsecas de la especie, variedad, procedencia e individuo. Ellos determinan la forma, vigor, resistencia a plagas y enfermedades del árbol entre otras cosas.

ii) Factores ambientales físicos:

Estos factores incluyen las condiciones del suelo, clima, topografía.

iii) Factores ambientales biológicos:

El ambiente biológico incluye la competencia por recursos

vitales con otros organismos, las plagas y enfermedades y los organismos beneficiosos presentes.

iv) Factores de manejo:

Entre las actividades que influyen en el crecimiento están:

- Fertilización
- Limpieza
- Podas
- Aclareos

v) Edad o etapa de desarrollo:

El crecimiento normal de algunos árboles, toma la forma de una curva sigmoide. (figura 1). Al inicio existe una etapa donde los procesos biológicos no están suficientemente desarrollados para aprovechar al óptimo los recursos disponibles (luz, aire, nutrientes y agua), y la tasa de crecimiento es baja. Posteriormente la tasa de crecimiento se incrementa de acuerdo al resultado de la interacción de dos fuerzas opuestas:

- I) Una fuerza que impulsa la tasa de crecimiento en forma proporcional al tamaño de los sistemas de producción, las hojas, y las raíces;
- II) La otra que frena el crecimiento, la cual es proporcional a la biomasa o volumen (10).

d- Tendencias de crecimiento

Es evidente que al considerar el crecimiento en diámetro, altura, área basal, forma y volumen de un árbol, todos tienen un misma

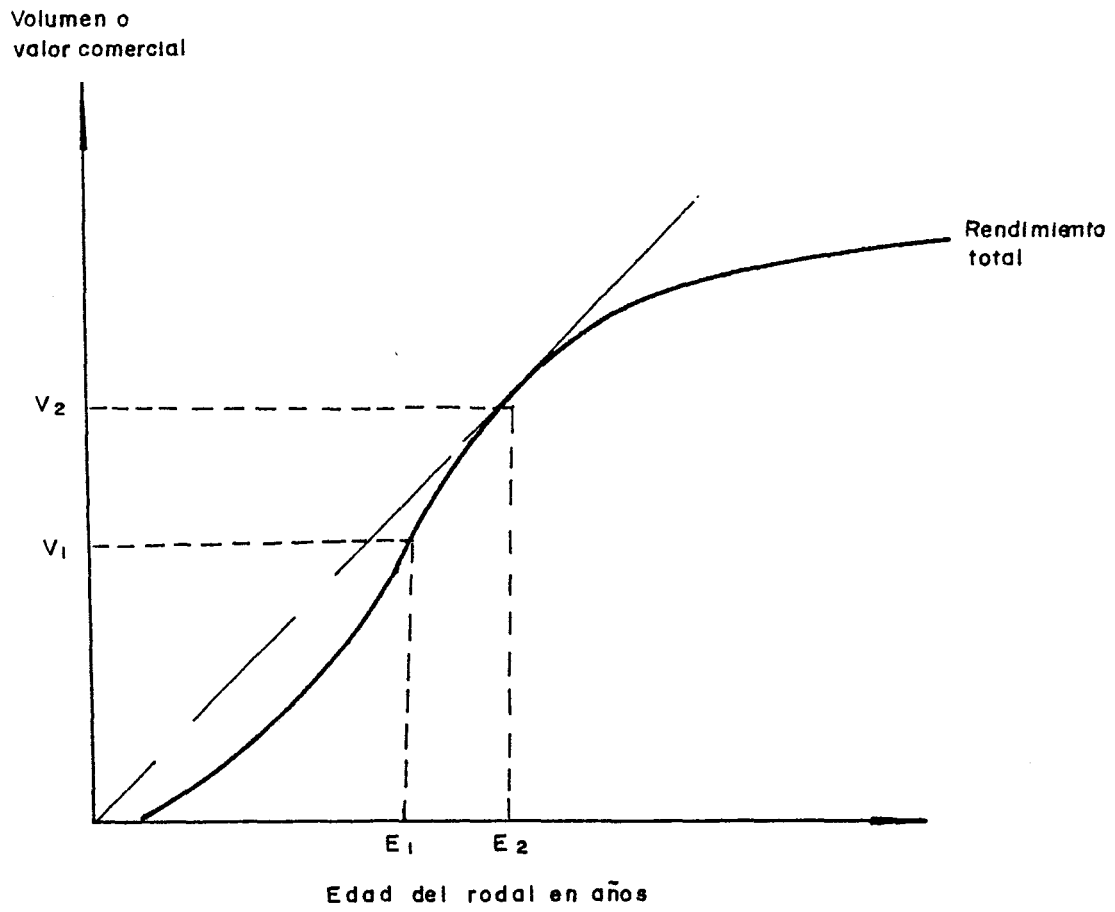


Fig. 1 - Forma típica de la curva sigmoide .

tendencia. Gráficamente representan una curva sigmoide, en la cual, la primera sección corresponde a la edad temprana, la segunda a la edad madura y la tercera a la vejez, esto indica un crecimiento característico en cada etapa de la vida del árbol (Figura 1).

i) Crecimiento diamétrico:

Este crecimiento se refiere al aumento del diámetro del árbol en un período de tiempo y aunque no es igual a todo el largo del tronco, para evaluarlo se mide el Diámetro a la Altura del Pecho (DAP) al principio y al final del período de evaluación. De acuerdo con los objetivos se fijan los períodos e intervalos entre las mediciones del diámetro, para determinar el crecimiento, por ejemplo, para los fines de la ordenación forestal, se mide el diámetro cada año o cada cinco años, etc., pero para fines de investigación se miden cada día, cada semana o cada mes (2,16).

El efecto de un pequeño incremento en el número de árboles por unidad de área ocasiona una considerable reducción en el crecimiento del diámetro promedio del Rodal (2).

El incremento o decremento real del diámetro promedio del rodal con respecto al número de árboles varía con la especie, pero la influencia de la densidad sobre el diámetro es evidente en toda especie (2,16).

El aclareo tiene efecto sobre el diámetro promedio, mientras más intenso es el aclareo, más pronunciado es el incremento en el diámetro

promedio del rodal residual (2).

Existen dos áreas que se pueden manipular para la obtención de un diámetro acorde a las distintas necesidades del productor forestal:

1. El diámetro promedio del rodal puede ser modificado mediante la manipulación de la densidad, pero tal manipulación debe ser cuidadosamente realizada, a menos que resulte aceptable una cierta reducción en los rendimientos a la corta final.
2. Un incremento en el rendimiento total se puede conseguir mediante la reposición de los individuos eliminados en el raleo.(2)

ii) Crecimiento en altura

Este crecimiento es el cambio mas notable en las edades tempranas de la planta, en las que es fácil observar la rapidez con que cambia la altura en un período de tiempo corto. De igual forma que en el diámetro, se evalúa éste crecimiento midiendo la altura al principio y al final de un período de tiempo (18).

La altura que alcanzará un árbol cuando crece en un cierto sitio y hasta una edad determinada es, supuestamente, dependiente del suelo y el clima, excepto cuando la afecta la densidad del rodal. El crecimiento en altura de los rodales se ve afectado negativamente tanto por la presencia de rodales muy abiertos, como por la de rodales muy densos. Puesto que el desarrollo en altura de los rodales cerrados permanece en un nivel razonablemente constante, el volumen tiene una relación lineal con el área basal. Mientras el aumento en el número de árboles por

hectárea incremente la magnitud del área basal y se sostenga la relación lineal entre el área basal y el volumen, la densidad carece de efectos significativos sobre el crecimiento en altura (2).

iii) Crecimiento en área basal

Este crecimiento se calcula sobre la base de la medición del diámetro. El incremento del área basal es una medida de la capacidad que tienen los árboles o los rodales para la producción de elementos del xilema. Esta producción está parcialmente controlada por factores genéticos, pero sufre también la influencia de todos los componentes bióticos, físicos y químicos del ambiente. A medida que se desarrollan los rodales, el área basal se acumula y alcanza su máximo bajo condiciones de población completa. Los tratamientos silvícolas (por ejemplo los aclareos) redistribuyen el incremento en área basal, pero pueden reducir la producción total de los rodales de edad uniforme (2).

El área basal total aumenta cuando aumenta el número de árboles, hasta que alcanza una cierta densidad (densidad crítica), después de la cual el incremento en el número de árboles ocasiona una reducción del área basal total (volumen total). A medida que el número de árboles por hectárea aumenta, el área basal por hectárea aumentará sumando al total una cantidad igual de área basal hasta el momento en que los árboles empiezan a competir entre sí. Una vez que se inicia la competencia entre los individuos y se intensifica al aumentar el número de éstos, la suma de las áreas basales será mayor, pero el área basal individual disminuirá. Finalmente, cuando el número de árboles sea excesivo, la

suma de las áreas basales disminuirá. Las razones a que obedece la reducción en el área basal total con el aumento del número de individuos pueden incluir, la posible reducción de la producción fotosintética, la mayor proporción de la respiración respecto a la fotosíntesis y, lo que talvez es la causa principal, la limitación de la cantidad de agua y nutrientes absorbidos por cada individuo, y a la falta de desarrollo radicular. La densidad crítica es variable entre las especies y es probable que también cambie con la calidad del sitio y con la edad. (2)

El área basal es una de las características más prominentes en la descripción de un rodal, resulta indispensable el conocimiento de los efectos de la calidad del sitio y de la edad sobre esta característica si se desea estudiar el crecimiento del rodal. La tasa de acumulación del área basal con la edad es una de las tasas de crecimiento más notables que se conoce en silvicultura. (2,16)

El efecto de la calidad del sitio y la edad sobre la acumulación del área basal se puede mencionar de la siguiente forma:

1. El rodal presenta una rápida tasa inicial de crecimiento, especialmente en los buenos sitios.
2. El área basal tiende a mantener estable la tasa de crecimiento cuando el rodal está maduro.
3. La diferencia en producción de área basal que existe entre los sitios de mejor calidad, a medida que aumenta la edad, es relativamente pequeña si se compara con la diferencia que hay entre los sitios de baja calidad.

En consecuencia, una pequeña mejora en la calidad de un sitio empobrecido ocasiona un notable incremento en la acumulación de área basal; lo anterior es uno de los factores que forman parte de la decisión de fertilizar o no los sitios más esquilados.(2)

iv) Crecimiento volumétrico

Este crecimiento se refiere al cambio de volumen de un período de tiempo y como en los casos anteriores, se evalúa calculando la diferencia de los volúmenes que el árbol tenía al principio y al final del período. El crecimiento en volumen se debe a los crecimientos en diámetro, altura y forma; por tal razón el cálculo de los volúmenes inicial y final se hace sobre la base de las mediciones iniciales y finales de esas tres variables (16).

Se puede decir que el volumen de un rodal es función de su área basal y su altura, por lo tanto si se quiere mejorar la producción en volumen, la manipulación silvícola debe ser capaz de modificar los factores relacionados con él (2).

Una vez determinadas las distintas variables que son necesarias para el cálculo del volumen, resulta fácil cubicar el árbol. Este proceso se puede hacer de tres formas:

- a) Utilizando escaladores para medir el diámetro a diferentes alturas, con lo que podemos calcular el volumen mediante las fórmulas compuestas de Huber y Smalian;
- b) por el método basado en la medición de los diámetros extremos o de

los diámetros en la sección media, y aplicando, las fórmulas simples de Huber y Smalian según el caso, por lo cual se considera el árbol como si fuera una sola troza;

c) mediante el método basado en la fórmula del factor mórfico $V=ghf$, donde:

g = área basal;

h = altura;

f = coeficiente mórfico.

Nota: Esta es la forma más utilizada en la práctica.

Para valorar la forma se busca la relación del volumen del árbol con el volumen de algún sólido geométrico (cilindro). Esta relación obtenida recibe el nombre de coeficiente mórfico y no es más que un factor que expresa la relación que existe entre el volumen real del tronco y el volumen de un cilindro de igual diámetro y altura.

C-1) Caso 1 (árbol derribado). En este caso, una vez que el árbol se derriba, se procede a cubirlo; para esto es necesario dividirlo en secciones, calculando a continuación el volumen de un cilindro ideal que debe tener el diámetro normal y la misma altura que el fuste. Una vez realizadas estas operaciones, se calcula dicho coeficiente mediante la relación

$$f = V_r / V_a.$$

C-2) Caso 2 (árbol en pie). Si no se quiere derribar el árbol, se utilizan ciertos instrumentos que van determinando los diámetros a

diferentes alturas, procediéndose con los valores tomados, a calcular el volumen real del fuste. Después se halla el volumen del cilindro real, de altura igual a la del fuste y diámetro normal. Aplicando la fórmula $f = V_r/V_a$, se calcula el coeficiente mórfico.

Este método se utiliza cuando no pueden derribarse los árboles por razones justificadas y en él se emplean desde los instrumentos ordinarios (forcípula, cinta diamétrica y cinta métrica, escaleras, etc.) hasta instrumentos más modernos como el compás finlandés, el relascopio, etcétera.

e) - Incremento vrs. crecimiento

El crecimiento total dentro de un rodal, incluyendo talvez los tocones y las raíces, puede expresarse de muchas maneras, que dependen del propósito específico de la ordenación forestal (2).

El crecimiento de cualquiera de las variables consideradas, puede calcularse siguiendo sus cambios de año en año, o por etapas, lo que se denomina incremento; es decir el incremento es la cuantificación del crecimiento de un organismo en un período específico de tiempo. En otras palabras, el crecimiento es la función que describe el aumento en tamaño y masa del árbol y el incremento es la pendiente del vector que une dos puntos en la curva del crecimiento. (10,16,21).

f) - Tipos de incremento

Según MALLEUX O. J. (16), éstos son:

- i) Anual: Este crecimiento expresa lo que el árbol aumento en tamaño en un año consecutivo.

- ii) Medio Anual: Este valor expresa el promedio de crecimiento anual del árbol. Se calcula sobre la base del crecimiento total y la edad del árbol.

- iii) Periódico: De esta forma se denomina el crecimiento promedio del árbol, en un período de varios años. Este crecimiento se calcula sobre la base de los valores al principio y al final del período y el número de años.

- iv) En porcentaje: Para calcular este crecimiento se parte de que el árbol es un todo que crece en forma similar al interés simple, por lo tanto, su crecimiento puede ser evaluado mediante las fórmulas del interés simple y compuesto.

El manual de producción forestal distingue dos tipos de crecimiento:

- i) Incremento Corriente Anual (ICA): Es el incremento volumétrico durante un cierto año.

- ii) Incremento Medio Anual (IMA): Es el incremento anual durante la edad del árbol.

BAKER, F.S.; DANIEL, P.W. y HELMS, U.E. (2) distinguen dos tipos de incremento:

- i) Incremento Corriente Anual (ICA): Es un cambio en crecimiento por un cambio de tiempo (un año).
- ii) Incremento Medio Anual (IMA): Es el crecimiento acumulado dividido por la edad.

Los incrementos se pueden expresar en términos de cualquier parámetro de crecimiento (DAP, AB, Altura, Peso seco, Volumen, o en una unidad de un producto). Cada uno de estos términos se puede expresar en una cierta variedad de unidades de medida (pies cúbicos, metros cúbicos, etc.). Es mejor utilizar unidades de un parámetro que esté bien relacionado con un producto final o en unidades del producto final. Los estudios del crecimiento interfieren en el efecto de la elección de unidades y este depende de los objetivos perseguidos y de su utilización potencial. (2,10)

g) - Interpretación de los incrementos (IMA e ICA)

La producción total de un cierto sitio depende de la duración del período de rotación. El fundamento biológico que determina la rotación se define mediante la culminación del incremento medio anual, es decir, el punto donde la curva del incremento periódico anual se cruza con la curva del incremento medio anual. (2)

Según Hughell (10), los tipos de incremento estiman la edad óptima del turno biológico, encontrando la edad donde la curva del ICA cruza la del IMA a un sentido descendente. Este punto corresponde al punto donde el IMA esta en su máximo crecimiento (figura 2).

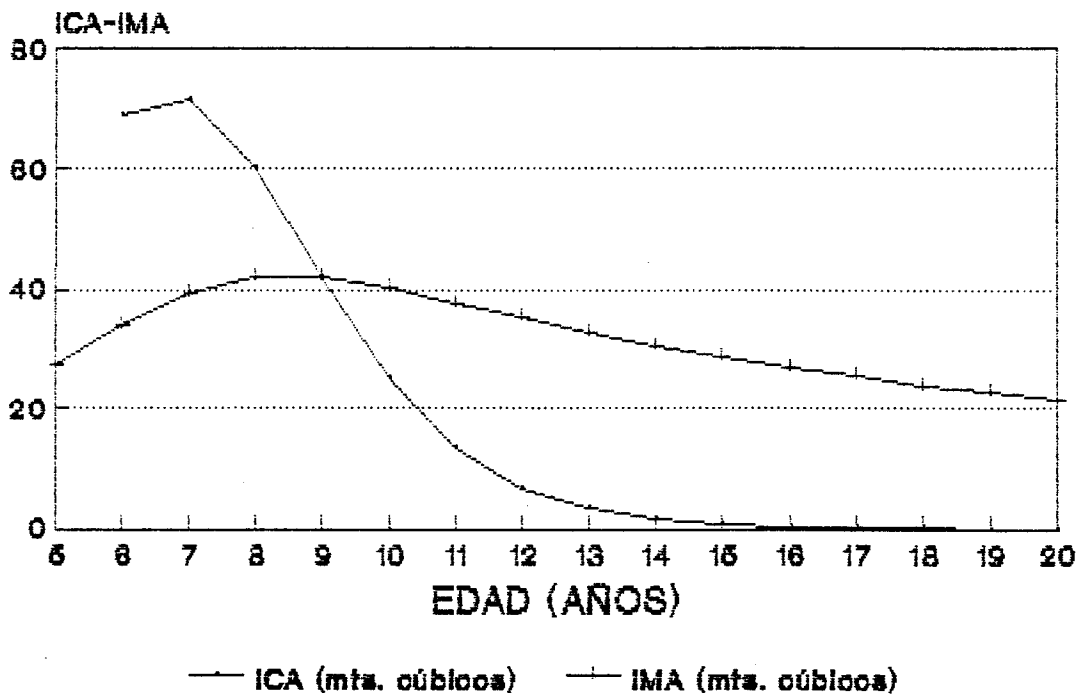


Fig. 2. Incremento Medio Anual (IMA) e Incremento Corriente Anual (ICA) del volumen de una plantación de *Eucalyptus camaldulensis*, para un Potencial de Sitio 35, Índice de Sitio 25 y una densidad de 2213 árboles/ha.

Tanto el cálculo del crecimiento anual (ICA) como el del crecimiento medio anual (IMA), resultan de gran importancia para los trabajos de ordenación forestal, pues ellos nos permiten, por una parte, conocer que volumen de madera es capaz de producir o de crecer el rodal en un año, bajo las condiciones climáticas, edáficas y ecológicas en que se desarrolla y por otra parte, el promedio de crecimiento durante el tiempo transcurrido desde la plantación (edad del rodal). El análisis del comportamiento de éstas importantes variables (IMA - ICA) en los

distintos rodales nos permiten entre otros cálculos, hacer planificaciones adecuadas sobre el manejo y la explotación de las distintas áreas boscosas. El IMA de un rodal tiene también como el ICA sus períodos progresivos y regresivos, pero se extiende mas que el ICA y no declina mientras éste último no sea menor que el crecimiento medio anual correspondiente. El ICA se pone de manifiesto cuando coinciden en valor, el IMA y el ICA, al aumentar el IMA el ICA disminuye, matemáticamente debe existir un punto de perfecta igualdad entre ambas cantidades y este punto es el que corresponde "al crecimiento medio anual máximo" (16).

La total coincidencia entre el IMA y el ICA, es muy difícil de lograr, por lo cual, se señala "el incremento medio anual máximo" no por el punto en el que exactamente tiene lugar, sino con el primer punto de declinación que en el se observa. En este período de declinación del ICA es cuando el producto maderable adquiere sus más valiosas propiedades, pues es la etapa de verdadera madurez. En este mismo período es cuando se alcanza la máxima productividad, en perfecta coincidencia con el crecimiento medio máximo. (2,16)

h) - Curvas de crecimiento

Según Hughell (10), las técnicas para desarrollar curvas de crecimiento son:

i) **Método Gráfico:**

El método gráfico es el más sencillo y antes del uso de la

computadora, el más práctico. Consiste en graficar los valores de la variable contra la edad y trazar a mano una curva que describe la tendencia central. Si solamente se tienen datos de una parcela simplemente se unen los puntos de edades consecutivas.

ii) Regresiones:

La regresión es un método estadístico que ajusta una ecuación que describe la tendencia central de una variable dependiente (ej. la altura), referente a una o mas variables independientes (edad). Las regresiones mas comunes son las de mínimos cuadrados lineales. Pueden ser simples (con una variable independiente) o múltiple (varias variables independientes) y con o sin datos transformados. La transformación de datos permite desarrollar una ecuación que describe mejor una curva.

Las ventajas del método de regresión sobre el método gráfico es que la regresión es objetiva (al contrario del gráfico que depende de la persona que gráfica) y da como resultado una ecuación matemática que puede ser utilizada posteriormente en modelos de predicción. Con las facilidades de acceso a equipo de computación con programas estadísticos, existe la tendencia de probar muchos modelos y escoger el modelo que de mejor ajuste según ciertas características.

Hughel, en 1989, desarrolló un modelo para la predicción del crecimiento y rendimiento en plantaciones coetáneas de Eucalyptus camaldulensis, consistente en la construcción de un sistema de

ecuaciones que describen el desarrollo de los diferentes parámetros de la masa forestal (número de árboles, altura media, DAP, volumen), con base en el índice de sitio y la densidad de plantación. La incorporación de este sistema de ecuaciones en una hoja electrónica, permite la confección de tablas de rendimiento bajo diferentes clases de calidad de sitio y programas de aclareo. Empleando el modelo se confeccionaron tablas de rendimiento para sitios pobres (IS = 10), regulares (IS = 14) y buenos (IS = 18) y para cada índice de sitio se utilizó cuatro densidades: 1111, 1600, 2500 y 4444 árboles por hectárea. (6,11,13)

iii) Métodos estocásticos

Los métodos estocásticos (al contrario de los determinísticos mencionados anteriormente), son modelos de proyecciones probabilísticas, los cuales en vez de dar un valor determinado como resultado, dan una distribución de valores. Normalmente involucran un tipo de simulación con un componente aleatorio de tal manera que cada corrida del modelo de un valor diferente, dando una distribución después de una serie de corridas. Las ventajas de este tipo de análisis es que se trabaja directamente con los datos, sin manipulaciones estadísticas y da como resultado un ámbito de posibles comportamientos de crecimiento de árboles (10).

iv) Tiempo de paso

El análisis de tiempos de paso es una técnica fácil de implementar y da información preliminar sobre el crecimiento cuando no hay buenos

datos de mediciones repetidas sobre un período suficientemente largo.

Esta técnica es mas utilizada en bosques no coetáneos para estimar el crecimiento de una especie o grupo de especies; por definición el tiempo de paso es el tiempo requerido para que un árbol promedio pase el limite inferior hasta el superior de una clase diamétrica (10).

2.2.2.3 Rendimiento

La unidad importante de medición para cualquier población administrada con fines de producción es el rendimiento (1).

El rendimiento puede ser volumen de los árboles de una cosecha, o el volumen de los árboles de un grupo particular de especies, o también algún producto no maderable, tal como corteza, follaje, resina, etc. El énfasis mas común en los países tropicales está en la producción del volumen y clasificación de todos los productos maderables, incluyendo madera para aserrío y para pulpa, postes y leña (1,6).

El problema central de las disciplinas de orientación económica, por ejemplo, silvicultura, agricultura, pesquería, etc., es el de la forma de producir el mayor rendimiento sin poner en peligro el recurso disponible. Este problema es susceptible de investigación con un sencillo ejemplo del área de silvicultura: En un bosque maderable cuyos árboles estuvieran en proceso de maduración, es evidente que no se cortaría a los árboles jóvenes, ya que ello arrojará menor producción de

madera y utilidades menos cuantiosas. En el otro extremo, se impediría que los árboles envejecieran en forma excesiva y comenzaran a podrirse, ya que también en dicho caso tendríase poca madera. El punto óptimo para cortar los árboles se localiza entre los dos extremos y el problema consiste en identificarlo, esto es posible a través de los modelos de crecimiento y rendimiento (15).

El rendimiento, tanto en actividades agrícolas como forestales, depende, además de las labores culturales, de la capacidad productiva del sitio, el cual es un complejo de factores bióticos y abióticos que interactúan entre sí, para dar ciertos niveles de productividad (6).

2.2.2.4 Evaluación de la calidad de sitio e índice de sitio

La evaluación de la calidad de sitio tiene por objeto determinar el potencial de sitio, definido como la capacidad de un área en particular para producir árboles en función del diámetro, altura y volumen (19). En silvicultura, comúnmente se usa la altura dominante (altura promedio de los cien árboles mas altos por ha) o el incremento medio anual en volumen, a una edad determinada, para expresar la productividad o rendimiento de un sitio, aunque la utilización de la altura dominante para clasificar la calidad de los sitios es el método mas ampliamente aceptado.

El índice de sitio (IS), definido como la altura dominante del rodal a una edad determinada, es la medida que se acepta comúnmente para

evaluar la productividad del sitio (6). Ford-Robertson, citado por Muñoz (19), define al índice de sitio como una medida de la clase de sitio a una edad arbitrariamente elegida. Hughell, citado por CATIE (6), basado en los datos de crecimiento de E. camaldulensis en América Central considera que los índices de sitio de 10,14 y 18 corresponden a sitios pobres, regulares y buenos respectivamente.

2.2.2.5 Fuentes de información

Las fuentes de datos mas usadas sobre el crecimiento y rendimiento son:

i) Parcelas temporales

El uso de parcelas temporales (o de medición única) para estudios de crecimiento y rendimiento implica la suposición que dichas parcelas representan el trayecto por el tiempo de un solo rodal representativo. Con parcelas en sitios similares y con un manejo similar, este tipo de análisis puede dar información confiable para llegar a conclusiones generales.

ii) Parcelas permanentes

La mayoría de los datos de crecimiento de árboles de uso múltiple proviene de parcelas permanentes, las cuales pueden ser parcelas individuales, o parcelas que fueron establecidas como parte de un experimento. Lo importante es que las parcelas son de árboles numerados con mediciones repetidas en el tiempo y con un manejo conocido.

iii) Tablas de rendimiento

La total comprensión de los tratamientos silvícolas requiere por lo general la utilización de tablas de rendimiento, las cuales capacitan al silvicultor para anticipar con razonable precisión los rendimientos de un rodal, ya que contiene estimaciones del crecimiento en lo relativo a área basal, diámetro, altura, volumen, incremento corriente anual e incremento medio anual, los cuales funcionan como variables dependientes, que pueden esperarse a partir de una gran variedad de tratamientos silvícolas tales como los distintos patrones de aclareo. Las variables independientes utilizadas son: La edad, el índice del sitio y la densidad del rodal. (10)

2.2.2.6 Modelos matemáticos

Las poblaciones forestales cambian en abundancia debido a las interacciones de varios factores. El comportamiento de éstas poblaciones forestales puede ser entendido si se descubren los factores fundamentales y su importancia, por análisis de datos observacionales o experimentales y la interacción de los factores y las acciones formuladas como un modelo matemático descriptivo. En sentido general, un modelo es la representación de un sistema real, mediante la integración de la formación empírica y de los procesos lógicos de ese sistema, el proceso consiste en traducir conceptos físicos y biológicos de cualquier sistema en un conjunto de relaciones matemáticas y la manipulación de

los sistemas matemáticos así obtenidos, esto se designa como análisis de sistemas, el sistema matemático se denomina modelo (9,23). Los modelos matemáticos son una demostración firme de como se piensa que un modelo trabaje y es tratable en la comparación. Si el modelo que representan las hipótesis planteadas está equivocado, como ocurre con frecuencia, la ecuación o ecuaciones pueden ser analizadas, cada parte reexaminada y el modelo reformulado (1,9,12,22).

Los modelos de crecimiento y rendimiento son elaborados con varios propósitos entre los cuales se encuentran los siguientes:

- a) Estimar la predicción futura, para determinar el turno óptimo y realizar análisis financieros y económicos.
- b) Estimar el crecimiento bajo condiciones donde no existen datos.
- c) Comparar alternativas de manejo para analizar el uso de la tierra.
- d) Es una descripción del proceso de cambios en la población de individuos estudiados.
- e) Puede ser usado para predecir los efectos de los cambios en las variables y parámetros del proceso.
- f) Simular prácticas silviculturales. (8,15)

Con un modelo es posible, muchas veces, estudiar las consecuencias de factores cambiantes, tales como densidad de población, condiciones climáticas, disponibilidad de nutrientes. En el caso de modelos para la predicción del crecimiento de árboles y masas forestales, el modelo es

una expresión matemática desarrollada en base a datos de parcelas de crecimiento (información empírica) y conocimientos biológicos del crecimiento de las especies (procesos biológicos del sistema), que estima el valor de un parámetro de la masa arbórea, como la altura, el diámetro, la biomasa, o un conjunto de parámetros (12).

La tabla de rendimiento, es una representación del modelo de crecimiento y rendimiento en forma de una tabla, con datos sobre la masa arbórea a diferentes edades y con base en condiciones específicas dadas (índice de sitio, densidad de plantación, etc.). La predicción exacta del crecimiento forestal siempre ha sido una de las principales metas de los silvicultores, por eso los modelos matemáticos para la predicción del crecimiento y rendimiento se han convertido en una herramienta básica para la programación de actividades silviculturales y la realización de análisis financieros y económicos. (12,15)

Con mayor frecuencia, los modelos matemáticos se desarrollan para la predicción de cambios dinámicos con el tiempo, los modelos matemáticos pueden valorarse en términos de tres propiedades u objetivos: realismo, precisión y generalidad. El realismo se refiere al grado en que los enunciados matemáticos del modelo corresponden, al traducirse en palabras, a los conceptos biológicos que se suponen representar. La precisión es la capacidad del modelo de predecir cambio numérico y de imitar los datos en que se basa y la generalidad se basa a la amplitud de aplicabilidad del modelo (25).

i- Instrumentos matemáticos utilizados para la construcción de modelos

Las tres clases principales de instrumentos matemáticos de uso mas frecuente en el desarrollo de modelos son:

a) Teoría y transformación de conjuntos

La teoría de los conjuntos se utiliza en el desarrollo de los modelos de cambio de estado. El modelo consiste en una regla de transformación para especificar cual estado adoptara el sistema a continuación, dado aquel en que se encuentra ahora (25).

b) Algebra matricial

El algebra matricial se ocupa de la descripción y la manipulación de listas y tablas de números. Las matrices proporcionan una forma simbólica general de exposición de relaciones de sistema; las técnicas de la manipulación de matrices constituyen la base de numerosos modelos (25).

c) Ecuaciones de diferencia y diferenciales

Se utilizan para desarrollar modelos que describen cuantitativamente la forma en que los sistemas cambian con el tiempo (25).

ii- Clasificación de modelos de predicción del crecimiento y rendimiento

Existen variados criterios para clasificar los diferentes modelos de crecimiento. Algunas clasificaciones propuestas son:

- **Modelos empíricos vrs. modelos biológicos**

El termino empírico se refiere a algo que es el resultado de la experiencia. Un modelo empírico esta basado principalmente en datos de campo; al contrario un modelo biológico el cual esta basado en principios biológicos (fisiológicos). En la práctica un modelo contiene ambos aspectos: Empíricos y biológicos (12).

- **Modelos determinísticos vrs. estocásticos**

Un modelo determinístico es aquel que da como resultado una sola respuesta, al contrario, uno estocástico (conjetura o azar) da una respuesta diferente cada vez que se aplica (15).

- **Modelos de simulación vrs. integración**

El modelo de simulación es el que empieza con las condiciones iniciales y va agregando los incrementos anuales, año por año (ej. simulación por año) hasta llegar a la edad que se desee predecir. El valor del incremento de un año depende de las condiciones de la masa del año anterior. Este tipo de modelo tiene la ventaja de que permite simular aclareos, mediante la introducción de cambios en las condiciones de la masa arbórea a diferentes edades, durante la ejecución del modelo. Al

contrario de los modelos de simulación, un modelo de integración es el que determina directamente las condiciones de la masa arbórea sin tener que pasar por las condiciones de los años anteriores (12).

Según Schaefer citado por Krebs (15), se han elaborado dos enfoques opcionales para calcular el rendimiento óptimo y reciben el nombre de modelos de tipo logístico y modelos de fondo dinámico.

a) Modelos de tipo logístico

El crecimiento de la población lo controla la competencia de los individuos para obtener recursos que son limitados. Esta hipótesis se puede expresar en términos matemáticos mediante una simple ecuación descriptiva, la ecuación logística (15).

Una verdadera comprobación de la hipótesis logística se deberá basar en la observación directa de poblaciones silvestres o deberá manipular la ecuación logística para predecir el resultado de experimentos de competencia planeados, de los cuales se obtenga alguna generalización útil (8).

Los supuestos ecológicos de este tipo de modelo logístico es de que no hay retrasos en el tiempo en el sistema y de que la estructura de edad no ejerce efectos en el índice de incremento de la población (15).

Alfred Lotka (1925) y Vittorio Volterra (1926), citados por Kreebs (15), elaboraron dos conjuntos diferentes de ecuaciones: Uno se aplica a las situaciones predador-presa y la otra a situaciones no predatorias que entrañan la competencia por alimentos y espacios. Estas ecuaciones se basan en la curva logística, que corresponde a la siguiente ecuación:

$$\frac{dN}{dt} = rN \left[\frac{K-N}{K} \right]$$

Donde: r = Tasa intrínseca de crecimiento

K = Asintótica máximo

t = Tiempo

N = Tamaño de la población

dN/dt = velocidad de cambio en el número de organismos por el tiempo en un instante particular.

El significado de esta ecuación es que:

$$\left[\begin{array}{l} \text{índice de} \\ \text{incremento} \\ \text{de la población} \\ \text{por unidad de} \\ \text{tiempo} \end{array} \right] = \left[\begin{array}{l} \text{índice de} \\ \text{crecimiento} \\ \text{de la pobla-} \\ \text{ción por} \\ \text{individuo} \end{array} \right] \times \left[\begin{array}{l} \text{tamaño de} \\ \text{la población} \end{array} \right] \times \left[\begin{array}{l} \text{oportunidad} \\ \text{no utilizada} \end{array} \right]$$

La curva logística resulta atractiva por dos de sus características:

- 1) Su sencillez matemática
- 2) Su aparente realismo. Cabe señalar que la forma diferencial de esta curva incluye solo 2 constantes: r y k .

Es posible traducir a términos biológicos estos dos símbolos matemáticos. La constante r es el índice de crecimiento de la población por individuo, al tiempo que parece razonable atribuir a K un significado biológico; la densidad en que el espacio estudiado se satura de organismos (15).

La tasa intrínseca de crecimiento se puede definir como el índice máximo de incremento logrado con cualquier combinación específica de temperatura, humedad, calidad de nutrientes, calidad de sitio y cuando la cantidad de todos estos factores se encuentran en un nivel óptimo (9).

En otras palabras, la constante " r " es una medida del porcentaje de multiplicación de la población en un instante de tiempo y es una constante que se define solamente para una población de edad estable.

La constante " r " se calcula por medio de las siguiente fórmula (9,22,23):

$$r = \log e^{\lambda}$$

Donde: r = Incremento de una población con una distribución de edad estable.

λ = Es una relación de áreas basales en un período de tiempo (1 año), se calcula mediante la fórmula

$$\lambda = \frac{A B >}{A B <} \quad \begin{array}{l} \text{(área basal en el instante } t+1) \\ \text{(área basal en el instante } t) \end{array}$$

e = Base de los logaritmos naturales y su valor es de 2.71828.

El potencial de sitio de un rodal en observación no es mas que la capacidad relativa de productividad de un sitio para el cultivo. Para desarrollar el modelo el parámetro utilizado para la estimación de la calidad de sitio es el área basal, (m^2/ha). Este parámetro refleja con buena precisión la productividad de un sitio. Estos valores encontrados no son puntuales, puede establecerse rangos de variación del acuerdo a las condiciones propias del lugar de plantación del rodal (11,15).

La curva de crecimiento tipo sigmoide difiere de la geométrica en 2 aspectos:

- 1) Tiene una asíntota superior (K) (es decir, la curva no excede un nivel máximo dado)
- 2) Se acerca a esta asíntota en forma gradual y no súbita

Esta curva además, describe las variaciones en las tasas de crecimiento de las poblaciones. En un principio, el crecimiento es lento ya que los organismos, en este caso los árboles, se encuentran pequeños y sus procesos biológicos no están suficientemente desarrollados para aprovechar al óptimo los recursos disponibles (luz, aire, nutriente, agua etc.), y la tasa de incremento es baja (fase de aceleración positiva) (21).

Posteriormente la tasa de crecimiento se incrementa de acuerdo al resultado de la interacción de dos fuerzas opuestas:

- 1) La fuerza que impulsa la tasa de crecimiento en forma proporcional al tamaño de los sistemas de producción, las hojas y

las raíces.

- 2) La otra que frena el crecimiento, la cual es proporcional a la biomasa o volumen.

En esta fase el crecimiento aumenta exponencialmente (fase logarítmica). Luego la velocidad de crecimiento disminuye conforme aumenta de manera gradual la resistencia ambiental (fase de aceleración negativa), hasta que se llega a un equilibrio o nivel de saturación. Este nivel de saturación se denomina capacidad de carga del ambiente dado (representado por K) (8,10,24).

Para la aplicación de esta ecuación se hacen varias suposiciones:

- 1) La masa vegetal es coetánea
- 2) La tasa de incremento disminuye en un monto constante por cada individuo agregado.
- 3) La respuesta de la tasa de incremento a un incremento en densidad es instantáneo.
- 4) La calidad de sitio es constante.

Los principales experimentos utilizando la ecuación no fueron efectuados por Lotka ni por Volterra, sino por el ruso G. I. Gause, en la Universidad de Moscú. Gause citado por Krebs (1934), empleó como poblaciones experimentales a levaduras y protozoarios de diversas clases, plantas y animales de tamaño reducido que se desarrollaban con rapidez. El experimento de Gause con distintas especies de *Paramecium*,

talvez sea la comprobación experimental mas sorprendente de las predicciones de Lotka Volterra (8).

Carlson (1913), citado por Krebs (15), cultivó levaduras en laboratorio, y Pearl (1927) calculó las curvas logísticas para los datos del otro autor. Estos últimos se ajustan de manera muy adecuada a la ecuación logística y los podemos emplear para investigar una forma opcional de la curva logística.

Las poblaciones de especies con ciclos vitales más complejos también suelen incrementar en forma de una curva sigmoide. Pearl (1927), citado por Krebs (15), ajustó la curva logística a la reproducción de Drosophila melanogaster en el laboratorio. El ajuste de estos datos fue bastante satisfactorio y Pearl comenzó a hablar de la "era logística" en que proclamaba a la curva logística como la ley universal del crecimiento de poblaciones. Sin embargo, Sang (1950) citado por Krebs (15), criticó la aplicación de esta curva a las poblaciones de Drosophila y señaló que habían aspectos complejos de los cultivos de estos animales que Pearl no advirtió.

Chapman (1928) citado por Krebs (15), uno de los primeros en emplear a Tribolium para investigaciones ecológicas de laboratorio, descubrió que las colonias de estos animales se incrementan en forma logística (15).

b) Modelos de fondo dinámico

Estos modelos se basan en varios supuestos simplificados, se

considera que el índice de mortalidad natural es constante e independiente de la densidad, y que es el mismo para todos los grupos de edad. Así mismo, se supone que los índices de crecimiento son específicos para cada grupo de edad pero no guarda relación con la densidad de la población (15).

Es conveniente clasificar los modelos por el nivel de información que manejan de la manera siguiente:

a) Rodal

El nivel de rodal es el más general, el cual trabaja con datos promedios por rodal. Este tipo de modelo lleva la ventaja de ser los más simples y fáciles de manejar (12).

b) Clase diamétrica

Los modelos de clases diamétricas también son conocidos como modelos implícitos (Clutter, 1986). Un modelo de clases diamétricas puede estimar el número de árboles que tendrá un rodal en cualquier punto en el futuro. Dicha información es útil en la evaluación de intervenciones y los productos a extraer (12).

c) árbol individual

Dichos modelos normalmente requieren información demasiado detallada para fines de manejo, aunque son útiles en estudios de investigación. Con información a nivel de árbol se puede simular diferentes programas de raleos o analizar la competencia entre especies (12).

2.2.3. Los aclareos en rodales coetáneos

2.2.3.1 Definición de aclareo

- a) Es la corta parcial de árboles en rodales inmaduros (17).
- b) Es la tala selectiva de un rodal inmaduro para acelerar el incremento del diámetro, mejorar la forma común de los árboles restantes (3).
- c) Es una operación realizada en un rodal de edad uniforme o en agrupaciones forestales del mismo tipo, en cualquier momento previo al comienzo del período de regeneración, en la que el objetivo de la tala de árboles es, en primer lugar, redistribuir el potencial de crecimiento o mejorar la calidad del rodal residual (2).
- d) Se entiende como la operación de derribo de los árboles de un rodal, realizado entre el período de establecimiento y el período de cortas de regeneración, en el que los árboles extraídos son de la misma especie que los que quedan en pie (20).
- e) Es la renovación de elementos vivos de un rodal, en forma periódica y ordenada, con el fin de proporcionar a los árboles que quedan en pie mejores condiciones de crecimiento, redistribuir y concentrar el potencial del rodal en un modo óptimo (20).

2.2.3.2 Relación entre el aclareo y desarrollo del rodal

En el momento de la plantación, los rodales tienen una densidad que

puede variar entre 1000 y 3000 árboles por hectárea. Mediante los aclareos se disminuye gradualmente esta densidad. Por consiguiente, en el momento de la corta final la densidad podría ser disminuida hasta 150 ó 350 árboles por hectárea. En los aclareos se trata de combinar los beneficios de un espaciamento reducido, con un desarrollo óptimo de los árboles. El desarrollo óptimo se refiere al rendimiento económico de los rodales (17).

El aclareo usualmente no aumenta la cantidad total de madera producida por el rodal, ya que de hecho, la cantidad sigue siendo casi la misma. Pero debido a que la luz, el agua y los nutrientes disponibles son consumidos por menor número de árboles, entonces los restantes se incrementan en diámetro, esta es la principal utilidad del aclareo, ya que los árboles grandes son mas valiosos que un volumen igual de árboles pequeños (25). El resultado final del aclareo es un rodal más abierto, espacioso, de árboles mayores. De esta manera, el aclareo básicamente acelera el resultado natural de la competencia de los rodales y es un buen ejemplo de como algunas técnicas silvícolas tienen complementos naturales. Aunque las investigaciones sobre aclareo para la mejora de los rodales han sido mas inconcluyentes que cualquier otro aspecto de la dasonomía, hay algunas reglas claras: (12)

- i) Un genotipo dado en un sitio determinado tiene un potencial inherente de producción de biomasa.
- ii) El rendimiento de un conjunto dado de condiciones suele estar relacionado con la densidad del rodal en una forma curvilínea.

- iii) Dentro de una gama de densidad bastante amplia, el aclareo permite concentrar el crecimiento en un menor número de árboles sin sacrificar el rendimiento total.
- iv) Fuera de esos límites, el rendimiento total se reduce porque el sitio no está completamente ocupado (aunque cada árbol crece bastante rápido) o por que la excesiva competencia entre los árboles, causa ineficiencia del funcionamiento fisiológico, al menos durante los períodos de tensión meteorológico. Eso resulta a menudo en enfermedades, ataques de insectos y mortalidad.

**2.2.3.3. Efectos fisiológicos de la aplicación
de los aclareos en los rodales**

- a) Resurgimiento de hierbas

Penetración de la luz

- b) Acelera descomposición de materiales

Más luz, más temperatura

- c) Puede elevar el nivel freático

Menos transpiración

- d) Reduce mortalidad natural

Se aprovecha oportunamente. Reduce competencia.

- e) Incrementa el largo de las copas

Retrasa poda natural de ramas

- f) Permite la expansión de las copas

Mayor espacio, crea huecos que se ocupan.

- g) Como consecuencia, se aumenta la

superficie fotosintética del árbol (21).

2.2.3.4. Efectos de los aclareos en el crecimiento de los árboles individuales.

- a) Mayor crecimiento en diámetro
- b) Poco o nulo efecto en el crecimiento en altura
- c) Afecta la forma del fuste
- d) Aumenta el grosor de la corteza
- e) Aumenta el grosor de la rama
- f) Retrasa la poda natural (21)

2.2.3.5 El lugar de los aclareos en la practica forestal.

En el caso de las plantaciones forestales, se piensa que es mas productivo analizar mas profundamente el espaciamiento inicial de la plantación con relación al producto final a obtener, lo que posibilita menor número de intervenciones en el rodal mediante aclareos. En muchos casos de producción y por las características de los productos deseados, no es posible concluir con el número de árboles deseados igual al número de árboles iniciales, esto es por el natural desarrollo de lo individuos del rodal. En el aclareo se evita que se llegue al punto de competencia fuerte entre los árboles, para aprovechar todo el potencial de crecimiento del sitio concentrado sobre los árboles remanentes y también, el de aprovechar el material producido que de otra manera se perdería (20).

En vista de la importancia del uso potencial del raleo para controlar la población o número de árboles, la comprensión de los principios y métodos de raleo son esenciales para el técnico forestal (2).

Sin embargo, a pesar de la necesidad de su aplicación desde el punto de vista silvícola, la aplicación se ve condicionada por diversos factores, entre ellos, las características de la especie, sitio, tipo de producto, la posibilidad del aprovechamiento y comercialización de los productos derivados (20).

2.2.3.6 Resumen de las principales características y propósitos del aclareo

- i) Rescatar o utilizar los recursos maderables que de otra manera, se perdería debido a la mortalidad natural. La cantidad total de este tipo de material llega a ser de 25 a 35% de la producción total.
- ii) El raleo eleva los rendimientos de materiales comerciables al distribuir el potencial de crecimiento entre unos cuantos fustes de gran tamaño.
- iii) El volumen final de producción de los rodales raleados es usualmente, menor que el de los rodales no raleados.
- iV) En general, los rodales raleados tienen una producción mayor valor económico.
- V) El raleo permite al técnico forestal seleccionar aquellos

En vista de la importancia del uso potencial del raleo para controlar la población o número de árboles, la comprensión de los principios y métodos de raleo son esenciales para el técnico forestal (2).

Sin embargo, a pesar de la necesidad de su aplicación desde el punto de vista silvícola, la aplicación se ve condicionada por diversos factores, entre ellos, las características de la especie, sitio, tipo de producto, la posibilidad del aprovechamiento y comercialización de los productos derivados (20).

2.2.3.6 Resumen de las principales características y propósitos del aclareo

- i) Rescatar o utilizar los recursos maderables que de otra manera, se perdería debido a la mortalidad natural. La cantidad total de este tipo de material llega a ser de 25 a 35% de la producción total.
- ii) El raleo eleva los rendimientos de materiales comerciables al distribuir el potencial de crecimiento entre unos cuantos fustes de gran tamaño.
- iii) El volumen final de producción de los rodales raleados es usualmente, menor que el de los rodales no raleados.
- iv) En general, los rodales raleados tienen una producción mayor valor económico.
- v) El raleo permite al técnico forestal seleccionar aquellos

árboles útiles para la explotación, en lugar de los grandes e irregulares árboles dominantes, producto de la selección natural.

- Vi) Con excepción del raleo de selección, la aplicación de esta técnica puede acortar el período de rotación si se determina la edad del fin de turno como el momento en que los árboles alcancen un cierto diámetro.
- Vii) El raleo puede alargar la duración del turno si la edad se define como aquella en la que la tasa de crecimiento de los individuos se vuelva suficientemente baja para ser inaceptable, ésta se basa en la culminación del incremento medio anual.
- Viii) El raleo permite un rápido retorno económico del capital invertido e incrementa la tasa de retornos con respecto a la inversión inicial. (2)

2.2.3.7. Métodos de aclareo

Los métodos de aclareo se distinguen por la eliminación o corta parcial de las distintas clases de árboles del dosel. Estas distintas clases de árboles son:

- i) **Arboles Dominantes:** Constituyen el nivel superior de las copas del rodal y reciben plenamente la luz por encima de su copa y algunas por los lados.
- ii) **Arboles Codominantes:** Estos son un poco mas bajos que los

dominantes (alrededor de 5/6), pero constituyen parte del nivel general de las copas del rodal. Reciben plenamente la luz por encima de su copa, pero relativamente poca desde los lados.

iii) **Arboles Intermedios:** Estos tienen cerca de $2/3$ de la altura de los dominantes, muchos de ellos tienen libre la parte terminal de sus copas; reciben muy poca luz en forma directa.

iv) **Arboles Suprimidos:** El árbol de esta clase tiene $1/2$ de la altura de los dominantes; reciben muy poca luz en forma directa. (18,21).

Según el manual de producción agropecuaria (17), los métodos de aclareo son cuatro:

- i) **Aclareo Ascendente:** En el cual se cortan los árboles suprimidos y los árboles intermedios, dejando los árboles dominantes y codominantes. En aclareos intensivos se puede cortar también parte de la totalidad de los árboles codominantes.
- ii) **Aclareo Descendente:** En este 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.
- iii) **Aclareo Selectivo:** En este se cortan los árboles de la clase dominante, para estimular el crecimiento de los árboles codominantes, intermedios y suprimidos vigorosos.

iv) Aclareo Mecánico: En este no se toma en cuenta la clase de los árboles. Los árboles se cortan en hileras o por áreas pre-establecidas. El aclareo mecánico puede ser selectivo o no selectivo. En el método selectivo se dejan algunos de los mejores árboles en las hileras o áreas a ser acláreadas. El método de aclareo mecánico se emplea en rodales jóvenes y uniformes.

Buford (3), clasifica los aclareos tomando en cuenta la clase de la forma deseada del tallo en:

- i) **Entresaca Intensa:** Deja los tallos mas prometedores, teniendo en cuenta la distribución equitativa en el rodal y retirando árboles cualquiera que sea la densidad de las copas.
- ii) **Entresaca Leve:** Favorece a los árboles dominantes, igualmente distribuídos en el rodal retirando los no dominantes.
- iii) **Entresaca por Selección:** Promueve los árboles con una forma cilíndrica derecha, retirando los tallos grandes, dominantes y con muchas ramas.

La mayor parte de la entresaca de árboles de valor alto y variable, como la teca y caoba, en los trópicos, se hace por medio de liberación de árboles selectos. Se seleccionan los mejores árboles y se eliminan uno o mas de los principales competidores situados junto a cada uno de ellos. En las plantaciones de cultivos de valor relativamente bajo y

uniforme, como el pino o el eucalipto, se practica comúnmente, una forma inversa: Entresaca de rodales. Se seleccionan y retiran los árboles mas deficientes del rodal en su conjunto. Todo el rodal constituye el cultivo y se mejora con cada entresaca. El peso de la liberación de los árboles selectos se puede expresar sencillamente como el retiro de los competidores mas fuertes, marcados como 0,1,2 o 4 (o un arreglo similar), adyacentes a uno de ellos. La respuesta se mide en cada uno de los árboles selectos. Por otra parte, la mejor forma de expresar el peso de la entresaca del rodal es como un número o porcentaje de tallos, por hectárea retirados, superficie basal por hectárea retirada y volumen por hectárea retirado (3).

MUSALEM, M.A. (20) considera dos tipos básicos de aclareo:

i) **Sistemático:** Consiste en la eliminación de árboles de un rodal ya sea a espaciamiento regular o líneas completas a intervalos regulares y no toma en cuenta características individuales de los árboles. Es de fácil aplicación y mas barato que otros aclareo. Este sistema se utiliza en la primera intervención y cuando los árboles del rodal son uniformes.

ii) **Selectivo:** Utiliza la característica individual de los árboles para su aplicación y existen varios métodos.

a) **Aclareo por lo bajo:** Se extraen los árboles que pertenecen a las clases de copas bajas.

- b) **Aclareo por lo alto:** Se extraen los árboles de las clases de copas altas y medias, especialmente entre la clase codominante, en tanto que la mayoría de los árboles de la clase de copa suprimida permanecen junto con la mayoría de los dominantes.
- c) **Aclareo selectivo:** En este método se cortan principalmente los árboles mas grandes. Solamente se pueden aplicar en un corto período de tiempo en los rodales coetáneos. El aclareo selectivo si se lleva a cabo durante largo tiempo resulta en un tipo de bosque de selección.
- d) **Aclareo libre:** El sistema no tiene reglas específicas de cuales árboles deben cortarse aunque sí establece los árboles que deben dejarse, es decir, se deja en el área un número adecuado de los mejores árboles, bien espaciados en lo posible. Esto dependerá del tipo de producto que se necesite.

Baker (2), considera cinco tipos clásicos de aclareo: Bajo, alto, de selección, mecánico y libre.

- i) **Aclareo bajo:** El objetivo fundamental es la liberación de los árboles dominantes y codominantes al eliminar las clases inferiores de copas. La intensidad de los aclareos pueden ser:

- **Raleo ligero:** Se eliminan las copas suprimidas,

moribundas o intermedia baja.

- Raleo medio: Se eliminan los mismos árboles que en el raleo ligero mas los intermedios.
- Raleo intenso: Se eliminan los mismos tipos de árboles que en el medio mas el resto de los intermedios y algunos de los codominantes.

La base teórica del raleo bajo es que las clases inferiores de copas consumen importantes cantidades de agua y nutrientes del suelo, de modo que son nocivos para el crecimiento de las clases superiores. Los raleos bajos pueden hacerse a todo lo largo del turno.

- ii) **Aclareo Alto:** El objetivo es liberar a los árboles útiles que están en posición dominante y a los árboles codominantes cuyas características serían adecuadas, si el espaciamiento lo permitiese, mediante la eliminación de otros dominantes y codominantes que ejercen una fuerza competitiva.

Existen dos formas de aplicar el raleo alto: La primera es seleccionar y comúnmente, marcar aquellos árboles destinados a la extracción y luego talar solo una parte de los dominantes y codominantes competidores. El segundo método es la liberación de cualquier árbol dominante, o codominante, que podría ser candidato a la explotación comercial, en los cortes subsecuentes puede irse eligiendo aquellos individuos que vayan dando prueba de que su desarrollo los convertirá en árboles comercialmente aceptables. La base teórica del raleo alto es que

las clases inferiores de copas utilizan cantidades insignificantes de agua y nutrientes, de modo que la competencia real se establece entre los árboles dominantes y codominantes por la utilización de los recursos, la luz y el espacio.

El raleo alto puede producir ganancias económicas en forma mas inmediata que el raleo bajo, debido a que los árboles talados son de mucho mayor tamaño, pero el daño potencial ocasionado al rodal residual por la caída de los grandes árboles dominantes puede ser mucho mayor.

iii) Raleo de Selección: El raleo de selección elimina todos los árboles que pertenecen a la clase dominante de copas, de modo que se liberan los árboles que pertenecen a las clases codominantes e intermedia, las que se convertirán en los futuros árboles comerciales, este método tiene tres variantes:

- a) En los rodales jóvenes de edad uniforme, en los que un grupo disperso de árboles ha sobrepasado en crecimiento a los demás y amenaza con dar origen a una agrupación de árboles lobo por la ausencia de presiones laterales, se eliminan todos estos árboles. Los raleos posteriores pueden ser bajos, con algunos raleos altos ocasionales, en caso de ser necesario.
- b) Se permite que un rodal se desarrolle a base de raleos bajos hasta que los codominantes y algunos árboles intermedios tienen troncos de alta calidad, en este momento se eliminan los dominantes y codominantes de

buena calidad se convierten en el grupo comercialmente valioso. Esta variante solo es aplicable a las especies que son capaces de responder bien ante la liberación y utilizar con eficiencia los recursos del sitio para crecer. Esta promoción de las clases inferiores de copas para que lleguen a una posición dominante continúa hasta el punto en que una mayor reducción del número de árboles no permitirá seguir teniendo control del sitio. Una vez que los árboles residuales alcanzan el tamaño comercial se hace una corta a matarrasa y se replanta el área.

iv) **Raleo mecánico** En éste se elimina a los árboles sin

tomar en cuenta la clase de copa, la calidad o el carácter general de estos. Existen tres formas básicas de este tipo de raleo:

- a- Se utilizan guías de espaciamiento, de modo que todos los árboles que se encuentran dentro del radio determinado, alrededor de un árbol seleccionado, son eliminados.
- b- El raleo por surco se emplea en plantaciones en las que cada segundo a séptimo surco se eliminan.
- c- En rodales de arbolitos o plántulas, cuya densidad es excesiva, se eliminan mediante bulldozers ciertas partes del mismo, trazadas a modo de un tablero de ajedrez, luego se ralean a mano los pequeños grupos de arbolitos

restantes.

V) **Raleo libre:** Como su nombre lo indica, los árboles se talan sin apegarse a ninguno de los métodos mencionados. Los árboles individuales se eliminan de acuerdo con la opinión del técnico en cuanto a que es lo mejor para el desarrollo del rodal. Los criterios utilizados para la selección de árboles, tanto de los que se talarán como de aquellos destinados a la producción comercial, incluyen la clase de copa, el vigor, el espaciamiento la forma y las características de la ramificación.

2.2.3.8 Epoca del aclareo

Una de las decisiones fundamentales es decidir el momento de hacer el primer raleo; la secuencia y el momento de la aplicación de los raleos subsiguientes se decide mediante el auxilio de tablas de rendimiento (2).

El primer aclareo es la operación silvicultural mas importante en un turno porque define el curso y flexibilidad de las operaciones subsiguientes y el tamaño de trozas que será posible alcanzar (20).

Desde el punto de vista biológico, los rodales se deben ralear antes de que surjan serias situaciones de competencia entre los árboles si se quiere que los rendimientos comerciales se incrementen (2).

Desde el punto de vista silvicultural práctico, el primer aclareo debe hacerse cuando las copas de los árboles se ven reducidas por la competencia por luz. Entre mayor sea el espacio de crecimiento inicial mayor tiempo se tardara para intervenir la plantación por vez primera y viceversa. En las plantaciones del trópico, el primer aclareo se realiza dos o cuatro años después del cierre de las copas de los árboles (20).

El momento en que se hace el primer raleo determina si el rodal responderá bien o mal ante un cierto grado de reducción de la población. El raleo temprano puede ser preferible cuando los niveles iniciales de población son relativamente altos con el propósito de evitar la competencia y los riesgos de estancamiento del desarrollo; sin embargo, el raleo bajo pospone el momento de realizar el primer tratamiento. Cuando la calidad de sitio es buena, se requiere de un raleo mas temprano cuando la densidad inicial es constante, debido a que la competencia empieza antes. Factores tales como la tolerancia de las especies, el ensanchamiento de las copas y el producto final deseado, influyen sobre el momento de aplicar el primer raleo. No obstante, las condiciones de la copa son el principal factor en cuanto a esta decisión (2).

2.2.3.9 Incorporación de los aclareos en el modelo global de simulación.

La incorporación de aclareos dentro del modelo de predicción implica la entrada de información sobre la edad e intensidad del aclareo

durante la ejecución del modelo. Solamente un modelo del tipo simulación puede responder eficientemente a estas nuevas entradas (12).

La respuesta al aclareo debe incluir dos consideraciones:

i- El aumento en crecimiento diámetro como respuesta a la reducción de la competencia: El objetivo principal de los aclareos es lograr un aumento en el crecimiento diámetro a nivel de árbol individual, como respuesta a la reducción en competencia. (13)

ii- Relación entre los árboles eliminados y los remanentes:

Para saber el tamaño de los árboles extraídos, es necesario establecer una relación entre los árboles eliminados y los remanentes. Esta relación se puede cuantificar con la razón de aclareo descrita por Alder (1) en 1981 como:

$$RA = \frac{N \text{ después aclareo} / N \text{ antes aclareo}}{G \text{ después aclareo} / G \text{ antes aclareo}}$$

RA = Razón aclareo

N = No de árboles/ha

G = AB/ha.

En términos del diámetro, la razón de aclareo es:

$$RA = \frac{D \text{ antes aclareo}}{D \text{ después aclareo.}}$$

2.2.3.10 Indices de densidad empleados para aclareos.

Cuando los rodales están creciendo demasiado densos, se debe

efectuar un aclareo. Para los aclareos en rodales multietáneos y coetáneos se pueden emplear varios índices de densidad. Los aclareos se pueden basar, por ejemplo, en el número de árboles por hectárea, o en el área basal por hectárea que se debe mantener durante la rotación del rodal (17).

i) Índice para rodales coetáneos

Los aclareos de bosques coetáneos pueden basarse en varios índices. Uno de estos índices es el área basal del rodal. Para cada etapa de desarrollo del rodal se establece un área basal mínima que debe ser mantenida en el rodal. Esa área basal mínima se ha establecido con base en el rendimiento óptimo del rodal. Durante el desarrollo del rodal esta área basal mínima es sobrepasada, pero cada período de aclareo se talan tantos árboles como sea necesario para alcanzar nuevamente el área basal mínima del rodal. El lapso entre los aclareos será menor durante la fase juvenil de los árboles. En esta fase crecen más rápido que cuando están más desarrollados (17).

2.2.4 Turno en rodales coetáneos

El turno de una plantación se define como el tiempo que transcurre desde que el rodal es plantado, hasta que se cosecha y da lugar a una nueva masa. Este tiempo es variable para la producción de cada producto, especie y calidad de sitio. El turno define los ciclos de producción,

rotación y distribución que tendrá un nuevo rodal (18).

El fundamento biológico que determinará la rotación se define mediante la culminación del incremento medio anual, es decir el punto donde la curva del incremento periódico anual se cruza con la curva del incremento medio anual (2,10,17).

Cuando la calidad del sitio es inferior, el lapso que debe transcurrir para que el rodal alcance su culminación es mas largo que el de un sitio de buena calidad (2,10).

El hecho de sostener una tasa rápida de crecimiento mediante el raleo puede incrementar o disminuir la duración del período de rotación, según el criterio que se utilice para determinarlo. Puesto que el hecho de sostener una buena tasa de crecimiento retrasa la culminación del incremento medio anual, las rotaciones se alargan; sin embargo, si la longitud de la rotación esta determinada por el tiempo que llega a alcanzar un diámetro promedio determinado, las rotaciones se acortan. La duración del período de crecimiento acelerado depende de la velocidad con que los árboles circundantes vuelven a apiñarse en torno al individuo en cuestión. La tasa de crecimiento tiene un máximo y luego los anillos se vuelven mas estrechos, debido en parte al restablecimiento de las condiciones de competencia y en parte al efecto del incremento en el diámetro. Si se diseña un patrón regular de raleo para producir una liberación continua el resultado será un desarrollo uniforme de los anillos de crecimiento, y la consecuente producción de

troncos de alta calidad. Naturalmente, para producir troncos con espesor uniforme en sus anillos, a medida que el diámetro sigue en aumento, sería necesario que la tasa de crecimiento estuviera en constante aumento; esto es posible en cierto grado mientras la copa sigue creciendo, pero obviamente existe un límite: A lo largo de la vida de todos los árboles, el espesor de los anillos finalmente disminuye (2,10).

2.2.4.1. Tipos de turno

Para efectos de turno no es fundamental la producción total del rodal, si no solo la fracción utilizable, por ser el elemento que genera el valor de la producción del rodal, se han definido varios tipos de turno que no son excluyentes, puede usarse en cada bosque una combinación que esté de acuerdo con los propósitos de manejo y aspectos técnicos financieros, biológicos específicos para cada especie:

- i) **Turno silvícola:** Es frecuente que plantaciones forestales cuyos beneficios principales no derivan de la venta de productos maderables, dan relevancia a criterios de madurez desligados del rendimiento maderable. Un caso especialmente interesante es el del bosque recreativo; en este caso que no tiene propósito de producción maderable, se hacen necesarias las cortas que cosechen los rodales especialmente los coetáneos, una vez alcanzado su estado de madurez ecológica. Esto se hace imprescindible porque el deterioro del bosque lo hace indispensable para los criterios recreativos y

estéticos, a parte los riesgos de accidentes y otros peligros como los de plagas que pudieran dañar a los rodales vecinos mas jóvenes. Los criterios seleccionados con el vigor de la masa generan lo que se conoce como turno silvícola y como este es el mas largo de los turnos usados representa el límite o la duración de un cultivo forestal, ya que se aproxima a la longevidad típica del arbolado adulto en condiciones silvestres (18).

ii) **Turno técnico:** Para plantaciones cuyo producto final es el árbol, las especificaciones son altamente importantes, como la edad del rodal y su diámetro. No todos los árboles tienen la longevidad, o la capacidad de crecimiento para alcanzar el diámetro que se postula como meta. En consecuencia, se plantea el problema de definir el turno entre dos extremos que son: El momento en que el primer árbol del rodal alcanza el diámetro deseado y aquel en que el árbol de mas lento crecimiento es capaz de llegar a la meta (18).

iii) **Turno de máximo rendimiento volumétrico:** La producción del rodal puede representarse mediante unidades diversas (volumen total, volumen comercial, valor total o neto de la producción comercial) (18).

v) **Turno financiero:** Este tipo de turno esta determinado por la empresa forestal que requiere de la evaluación de rendimiento de un rodal, para cálculos de inversión monetaria a la luz de planos comparativos con otras opciones

de utilización de esos mismos fondos y recursos para otros proyectos de la empresa (18).

- vi) **Turno físico:** Sitio o factor ambiental que impide el alcance de la maduración, como por ejemplo ciclones, fuego, sequía, heladas, plagas y enfermedades (18).

3- MATERIALES Y METODOS

3.1 Metodología estadística3.1.1. Modelo matemático

El modelo de crecimiento utilizado para el presente trabajo es el desarrollado por LOTKA Y VOLTERRA, (8,15,23) el cual se basa en la curva logística, que corresponde a la siguiente ecuación:

$$\frac{d(AB)}{dt} = roABo \left[\frac{(K-ABo)}{K} \right] = roABo \left[\frac{(ABi-ABo)}{Bi} \right] =$$

$$= \frac{\Delta AB}{\Delta t} = roABo \left[\frac{(ABmax-ABo)}{ABmax} \right]$$

Donde: $ABo = K = ABmax =$ Potencial de sitio (m^2/ha)

$d(AB) =$ cambio de área basal = AB

$d(t) =$ cambio de tiempo = 1 año = t

$ro =$ Tasa intrínseca de crecimiento.

3.2. Metodología de Análisis3.2.1. Procesamiento de datos

Un sistema de datos computarizado, almacena en discos los datos de

las parcelas muestreadas; el sistema podrá estar sujeto a procedimientos de comprobaciones automáticas de errores, con el fin de corregir las mediciones dudosas, pero, este sistema de almacenamiento requiere de un sistema convencional de archivos para cada parcela muestreada, en el cual se guardan las hojas originales del campo, notas, diagramas, etc.

3.2.2. Implementación del modelo

3.2.2.1. Metodología para la determinación del coeficiente mórfico

i- Toma de datos

Para este trabajo se utilizaron los datos de sesenta y cinco (65) árboles derribados, los cuales fueron extraídos de las carpetas del proyecto MADELENA, de los siguientes lugares: HDA. SAN FRANCISCO BOLIVAR [sitio 221, exp (85-12), repetición II]; FINCA LA TORTOLITA [sitio 124, exp 023 (84,22), repetición I]; HDA. SAN DIEGO [sitio 125, exp 092 (87,2), repetición II y III]; HDA. LA CARRERA [sitio 405, exp 083 (86,16), repeticiones I y II]; HDA. LA CRIBA [sitio 103 exp 013 (84,12), repeticiones I, II, III, IV]; HDA. TIHUILOCOYO [sitio 303, exp 025 (84,12), repetición IV]. Para el registro de datos de los árboles derribados se utilizan "formularios para medición de árboles, en secciones para elaborar tablas de volumen", estos formularios llevan dos tipos de registro: Registro "O" y Registro "I". (ANEXO A-1)

Los árboles derribados fueron divididos en secciones, de 2.5 mts.,

aunque existen árboles divididos en secciones de menor longitud, cada una de las secciones corresponde a un trío (registro 1) en los formularios para la medición de árboles para elaborar tablas de volumen utilizados por el proyecto, cada trío contiene la siguiente información: Altura acumulada (h) expresada en metros, diámetro con corteza expresado en mm y diámetro sin corteza expresado en mm.

ii- Determinación del volumen de cada árbol

a) Determinación del volumen real

Para la determinación del volumen real de cada sección se utilizó la siguiente fórmula (4,17):

$$V_n = \frac{\pi}{4} \left[\frac{d_1 + d_2}{2} \right]^2 \cdot h$$

donde: V= Volumen de la sección o troza (metros cúbicos).

n= Número de la sección.

π = 3.1415926535

d1= diámetro inferior de la troza en mts. (con corteza)

d2= diámetro superior de la troza en mts. (sin corteza)

h= Altura relativa o longitud de la troza en mts.

Los datos de volumen obtenidos de cada una de las secciones en que se dividió cada árbol se sumaron para obtener el volumen real (vr) de cada uno de los sesenta y cinco árboles utilizados para la determinación del coeficiente mórfoico (16):

$$V_r = V_1 + V_2 + \dots + V_n$$

Vr= Volumen real del árbol (metros cubicos)

V1= Volumen real de la primera troza (metros cubicos)

V2= Volumen real de la segunda troza (metros cubicos)

Vn= Volumen real de la ultima troza (metros cubicos)

(ejemplo en anexo A-2)

b- Determinación del Volumen Aparente

Obtenido el volumen real de cada árbol se procedió a la determinación de su volumen aparente (volumen de un cilindro), por medio de la siguiente fórmula (4):

$$Va = \frac{\pi \cdot d^2 \cdot ht}{4}$$

donde: Va= Volumen aparente del árbol (n)

$\pi = 3.1415926535$

d= DAP con corteza en mts a la altura de 1.3 mts.

ht= Altura total en mts

(ejemplo en anexo A-2)

c- Determinación del coeficiente mórfico

El volumen real (Vr) y el volumen aparente (va) encontrados para cada uno de los 65 árboles, se utilizaron para la determinación del coeficiente mórfico de cada árbol, a través de la siguiente relación (16):

$$Cm = \frac{Vr}{Va}$$

donde: C_m = coeficiente m3rfico

V_r = volumen real (metros cubicos)

V_a = volumen aparente (metros cubicos)

El valor del coeficiente m3rfico de cada uno de los 3rboles se sum3, para obtener un valor promedio de 0.49, el cual fu3 utilizado para determinar el volumen real posteriormente. (ejemplo en anexo A-2)

3.2.2.2. determinaci3n de la Tasa intr3nseca de crecimiento "r"

Para realizar el c3lculo de "r" se parti3 de la informaci3n contenida en las tablas de rendimiento generadas por el proyecto MADELENA (AB, V, DAP). La constante "r" se obtuvo en funci3n de 3reas basales para 4 y 5 a3os de edad.

C3lculo de " λ "

$$\lambda = \frac{A B \text{ (5 a3os)}}{A B \text{ (4 a3os)}}$$

$$\lambda = \frac{0.0183 \text{ (m}^2 \text{)}}{0.0150 \text{ (m}^2 \text{)}}$$

$$\lambda = 1.201$$

C3lculo de "r"

$$r = \log e^\lambda$$

$$r = \log e^{(1.201)}$$

$$r = \log(2.71828^{1.201})$$

$$r = \log(3.323436)$$

$$r = 0.522$$

3.2.2.3. determinación del potencial de sitio e índice de sitio.(IS).

El valor de el potencial de sitio se relacionó con los índices de sitio utilizados por Hughell (IS=10,14 y 18) para la elaboración de tablas de rendimiento para eucalipto en América Central.

Los valores de potencial encontrados después de múltiples corridas del modelo para ajustarlos son: 20 m²/ha (IS=10), 30 m²/ha (IS=14) y 35 m²/ha (IS=18). Para la determinación del índice de sitio se estimó que los valores propuestos por Hughell (11.13) no se adecuaban a la realidad del país, por lo que se propusieron nuevos valores, que se adecuaron al crecimiento en altura observados en el país, por lo que, luego de una serie de ajustes por medio de prueba y error se llegó a los valores de índice de sitio de: 15,20 y 25, los cuales sustituyeron a los valores propuestos por Hughell (IS:10,14,18) respectivamente.

3.2.3 Corrida del modelo

3.2.3.1 Manejo de la información

La información de Eucaliptus camaldulensis, utilizada para la corrida del modelo se obtuvo del modelo para la predicción del crecimiento y rendimiento elaborado por el Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE) (12), tomando el año cinco como edad base para el desarrollo del modelo de simulación. Los datos

proporcionados por el modelo de CATIE son los siguientes:

- Número de árboles por hectárea
- área basal (a los cinco años)
- Altura (a los cinco años)

Partiendo de esta información base, se generan las áreas basales-
edad, por medio de la ecuación logística (8,16,24)

$$\frac{AB_t}{t} = r \text{ o } ABo \quad \boxed{\frac{K - ABo}{K}}$$

r = Tasa intrínseca de crecimiento

ABo= Area basal inicial

K= Potencial de sitio

3.2.3.2. Estimación del área Basal por hectárea

Con los datos mencionados en el punto 3.2.3.1 se procedió a realizar la simulación del área basal en función de la edad y del número de árboles, a través de la ecuación logística, (punto 3.1.1), hasta los veinte años de edad, obteniéndose de esta manera el área basal media por año para cada una de las diferentes densidades de árboles y calidades de sitio (Anexo A-3).

3.2.3.3 Estimación de la altura

Basándose en los datos proporcionados por el modelo de CATIE (a

los cinco años de edad) se procedió a simular la altura en función de la edad por medio de la ecuación logística, utilizando para ésta iteración los índices de sitio ajustados en el punto 3.2.2.3 (Anexo A-3).

3.2.3.4. Estimación del área basal por árbol.

Posteriormente a la simulación del área basal por hectárea se realizó la determinación del área basal por árbol, dividiendo cada una de las áreas basales por año, entre el número de árboles del rodal, (Anexo A-3) la ecuación matemática que define este parámetro es la siguiente:

$$AB/\text{árbol} = \frac{AB/\text{ha}}{d}$$

d

Donde: AB/ha= área basal por ha

d= densidad

3.2.3.5. Estimación del volumen por hectárea

El volumen del rodal se encuentra en función del área basal y la altura, y se determina por medio de la fórmula:

$$V = AB \cdot h$$

Donde: AB= área basal por hectárea

h= altura

Como resultado de la aplicación de esta fórmula, se obtiene el

volumen aparente.

Para encontrar el volumen real, en el punto 3.2.2.1 se determinó el valor del coeficiente mórfico para la especie, obteniéndose un valor de 0.49 que al ser multiplicado por el volumen aparente nos da el valor del volumen real, (Anexo A-3) la fórmula que determina este parámetro es la siguiente:

$$v_r = v_a \cdot c_m \quad (16)$$

Donde: v_r = volumen real

v_a = volumen aparente = $AB \cdot h$

c_m = 0.49 coeficiente mórfico

Obteniéndose la ecuación $V_r = AB \cdot h \cdot (0.49)$

3.2.3.6. Estimación del diámetro del árbol medio

El diámetro del árbol medio se determina a partir del área basal por árbol (Anexo a-3), a través de la siguiente fórmula:

$$AB = \pi R^2$$

$$AB = R^2 \pi \Rightarrow R = d/2$$

$$AB = \left[\frac{d^2}{4} \right] \pi$$

$$\sqrt{1.27 AB} = d$$

Donde: AB = área basal por árbol

R = Radio por árbol

d = diámetro por árbol

π = 3.1415926535

3.2.3.7. Estimación de ICA e IMA:

El incremento es la cuantificación del crecimiento en un período específico de tiempo. Los tipos de incrementos a determinar en el modelo son: incremento corriente anual (ICA) e incremento medio anual (IMA). El ICA es un cambio en crecimiento por un cambio en tiempo (un año), la ecuación matemática que describe este incremento es (13):

$$\text{ICA} = \frac{(\text{vol } 2 - \text{vol } 1)}{(\text{edad } 2 - \text{edad } 1)}$$

Donde: vol 1 y vol 2= volumen al principio y al final del período de la evaluación respectivamente.

edad 1 y edad 2= Edad al principio y al final del período de evaluación respectivamente.

El IMA es el crecimiento acumulado dividido por la edad, la ecuación matemática que lo define es:

$$\text{IMA} = \frac{\text{Vol } (n)}{\text{Edad } (n)}$$

Donde: Vol (n)= volumen acumulado en el período de evaluación.

Edad (n)= Edad en años en el período de evaluación.

Estos incrementos se expresan en términos de volumen. (Anexo A-3)

3.2.3.8. Simulación de los aclareos

Para este modelo, la modalidad de simulación de aclareos a usar es

la de régimen automático, asumiendo que en cada aclareo se elimina la mitad del área basal (porcentaje de aclareo 50%), es decir, que al alcanzar el área basal máxima, automáticamente se deberá realizar un aclareo que baje la misma, en un 50%, este valor corresponde al área basal mínima, manteniendo la masa dentro de estos límites.(Anexo A-5)

3.2.3.9. Elaboración de tablas de rendimiento

La confección de tablas de rendimiento puede realizarse por dos formas:

- i) A través del diseño de una hoja electrónica (con el paquete de computación Cuatro-Pro, LOTUS), que contiene las ecuaciones, las condiciones iniciales (potencial de sitio, índice de sitio, densidad, tasa intrínseca de crecimiento), así como el área basal por hectárea y la altura inicial sobre las cuales se simulará el crecimiento y rendimiento. Esta hoja electrónica permitirá al usuario seleccionar las condiciones iniciales y recalcular o reajustar tablas de acuerdo con estas nuevas condiciones (13).
- ii) A través del diseño de un programa en lenguaje BASIC el cual puede ser utilizado en computadora IBM o compatibles, o en su defecto puede utilizarse en una forma mas sencilla, calculadoras programables de bolsillo. (ANEXO A-4 y A-6)

4. RESULTADOS

4.1 Corrida del modelo

4.1.1 Area basal.

Los cuadros 1-11 son el resultado de la corrida del modelo para diferentes calidades de sitio y densidades de población, simulado a partir del quinto año y sin práctica de aclareos. Las figuras 3 y 4 correspondientes a los cuadros 1 y 2, muestran la relación entre la edad y el área basal de la plantación. Nótese que a medida que los años trascurren, el área basal (AB/ha), se incrementa con relación proporcional al tiempo, pero, cuando la plantación alcanza cierta edad, entre 8 y 10 años, los incrementos anuales en área basal son cada vez menores, a tal grado que el crecimiento en área basal se estabiliza entre 10 y 11 años. Cuando esto sucede puede decir que la plantación ha alcanzado el potencial de sitio (K). Uno de los factores que influye en que se alcance mas tarde, o mas temprano el potencial de sitio en términos de área basal, es la densidad de plantación, ya que entre mayor es el número de árboles por hectárea (árboles finales) el potencial de sitio se alcanza mas rápidamente. Por ejemplo una plantación de 3,933 árboles/ha, (cuadro 2) alcanzará el potencial de sitio a más temprana edad (17 años) que otra de 983 árboles/ha, que lo hará a los 19 años. La calidad del sitio también influirá en el incremento de área basal, ya que a una misma edad y con distintos potenciales de sitio, el área basal

(CUADRO 1)

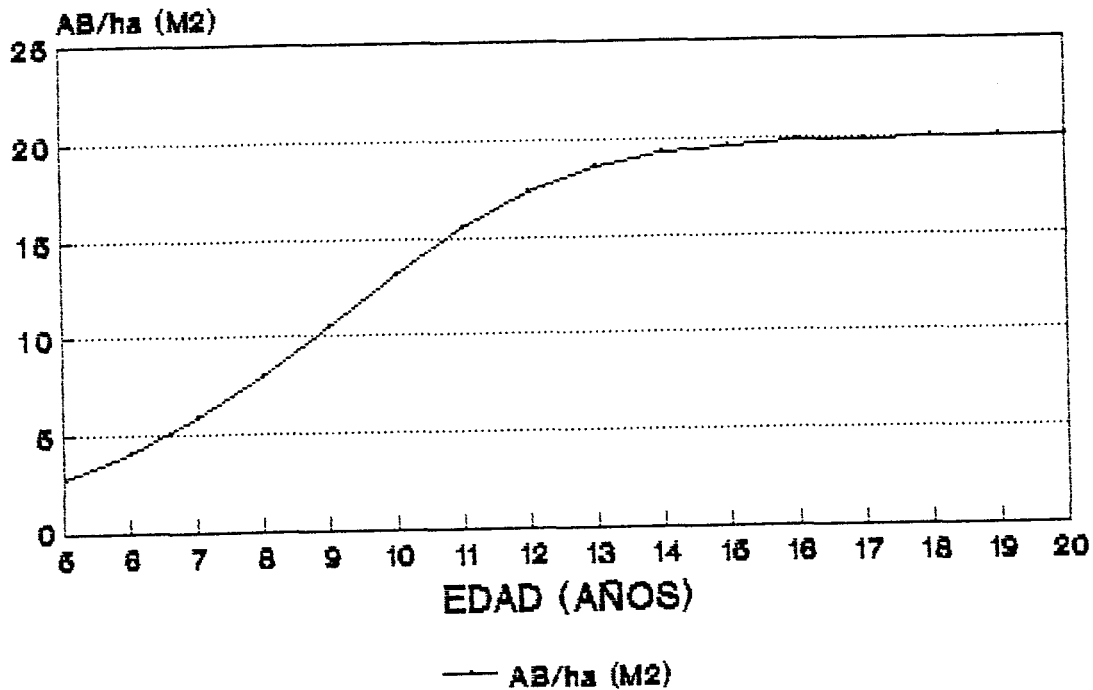


Fig. 3. Simulación del crecimiento del área basal, a partir del año 5, de una plantación de *Eucalyptus camaldulensis* con una densidad de 983 árboles/ha, en un Potencial de Sitio 20 y un Índice de Sitio 15.

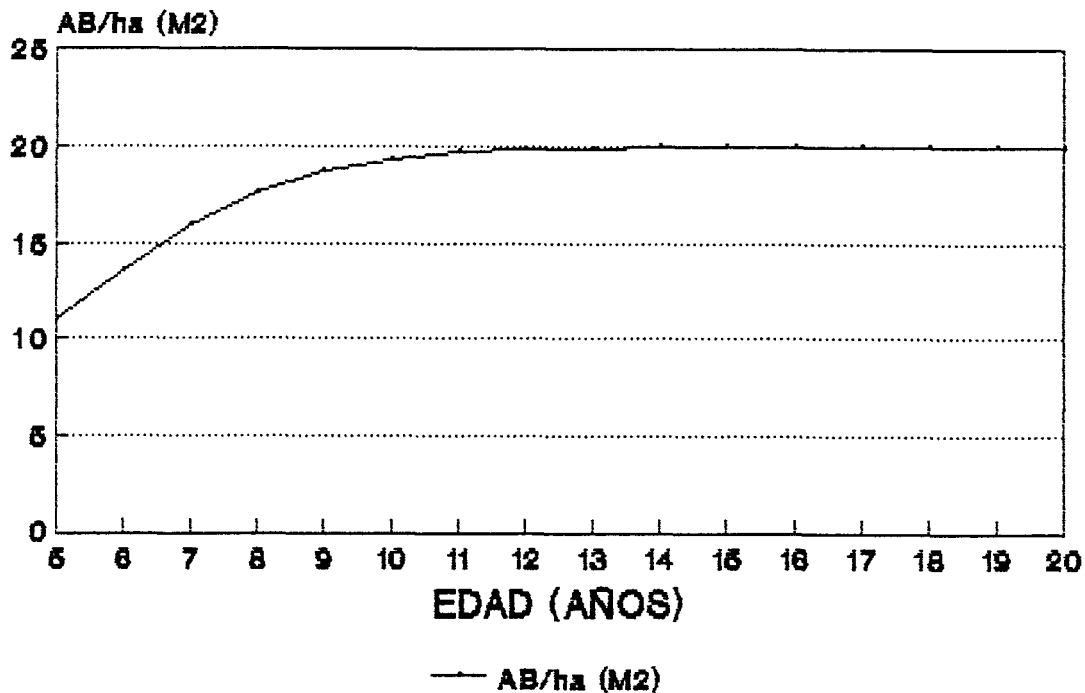


Fig. 4. Simulación del crecimiento del área basal/ha, a partir del año 5, de una plantación de *Eucalyptus camaldulensis*, con una densidad de 3933 árboles/ha, en un Potencial de Sitio 20 y un Índice de Sitio 15.

CUADRO 1. Simulación del rendimiento de una plantación de *Eucalyptus camaldulensis*, para un Potencial de Sitio 20, Índice de sitio 15 y una Densidad final de 983 árboles/ha.

EDAD EN AÑOS	AB/ha (m ²)	ALTURA (m)	AB/ARBOL (m ²)	VOL. REAL (m ³ /ha)	DIA/ARBOL (cm)	ICA (m ³ /ha)	IMA (m ³ /ha)
5	2.80	6.50	0.0028	8.92	6.02	-	1.78
6	4.08	8.45	0.0041	16.88	7.27	7.96	2.81
7	5.80	10.41	0.0059	29.56	8.66	12.68	4.22
8	7.98	12.10	0.0081	47.29	10.17	17.73	5.91
9	10.52	13.34	0.0107	68.75	11.67	21.46	7.64
10	13.16	14.12	0.0134	91.08	13.06	22.33	9.11
11	15.55	14.56	0.0158	110.92	14.19	19.84	10.08
12	17.38	14.79	0.0177	125.94	15.00	15.02	10.49
13	18.59	14.90	0.0189	135.69	15.52	9.72	10.44
14	19.28	14.95	0.0196	141.28	15.88	5.59	10.09
15	19.65	14.98	0.0200	144.21	15.95	2.93	9.61
16	19.83	14.99	0.0202	145.66	16.03	1.46	9.10
17	19.92	14.99	0.0203	146.37	16.06	0.70	8.61
18	19.96	15.00	0.0203	146.70	16.08	0.34	8.15
19	19.98	15.00	0.0203	146.86	16.09	0.16	7.73
20	19.99	15.00	0.0203	146.93	16.09	0.07	7.35

CUADRO 2. Simulación del rendimiento de *Eucalyptus camaldulensis*, para un Potencial de Sitio 20, Índice Sitio 15 y una Densidad final de 3933 árboles/ha.

EDAD EN AÑOS	AB/ha (m ²)	ALTURA (m)	AB/ARBOL (m ²)	VOL. REAL (m ³ /ha)	DIA./ARBOL (cm)	ICA (m ³ /ha)	IMA (m ³ /ha)
5	11.00	6.50	0.0028	35.04	5.97	-	7.01
6	13.62	8.45	0.0035	56.42	6.64	21.39	9.40
7	15.93	10.41	0.0040	81.22	7.18	24.79	11.60
8	17.65	12.10	0.0045	104.59	7.56	23.37	13.07
9	18.75	13.34	0.0048	122.51	7.79	17.93	13.61
10	19.37	14.12	0.0049	134.02	7.92	11.51	13.40
11	19.69	14.56	0.0050	140.49	7.98	6.47	12.77
12	19.85	14.79	0.0050	143.84	8.02	3.35	11.99
13	19.93	14.90	0.0051	145.49	8.03	1.65	11.19
14	19.97	14.95	0.0051	146.29	8.04	0.79	10.45
15	19.98	14.98	0.0051	146.66	8.04	0.38	9.78
16	19.99	14.99	0.0051	146.84	8.05	0.18	9.18
17	20.00	14.99	0.0051	146.93	8.05	0.08	8.64
18	20.00	15.00	0.0051	146.96	8.05	0.04	8.16
19	20.00	15.00	0.0051	146.98	8.05	0.02	7.74
20	20.00	15.00	0.0051	146.99	8.05	0.01	7.35

será mayor en el mejor sitio. Por ejemplo una plantación de diez años de edad con 1,416 árboles/ha. y un potencial de sitio $K=20$ tendrá un área basal de $15.44 \text{ m}^2/\text{ha.}$, mientras que otra de la misma edad, igual número de árboles por hectárea y con un potencial de sitio de $K=35$, su área basal por hectárea será de $32.66 \text{ m}^2/\text{ha.}$ (cuadros 3 y 4). Cuando cambia el índice de sitio el potencial de productividad se alcanzará a menor edad en el mejor sitio, por ejemplo en una plantación con 2213 árboles/ha en un índice de sitio 15 el área basal a los 15 años es de $19.93 \text{ m}^2/\text{ha.}$, mientras que este mismo valor pero en una plantación en un índice de sitio 20 e igual número de árboles por hectárea se alcanza a los 7 años (cuadro 5 y 6).

CUADRO 3. Simulación del rendimiento de una plantación de Eucaliptus camaldul sin aclareo, para un Potencial de Sitio 20, Índice de Sitio 15 y una Densidad final de 1416 árboles/ha.

EDAD EN AÑOS	AB/ha. (m^2)	ALTURA (m)	AB/ARBOL (m^2)	VOL. REAL (m /ha)	DIA./ARBOL (cm)	ICA (m /ha)	IMA (m /ha)
5	4.00	6.50	0.0028	12.74	6.00	-	2.55
6	5.70	8.45	0.0040	23.59	7.16	10.85	3.93
7	7.86	10.41	0.0055	40.06	8.40	16.47	5.72
8	10.38	12.10	0.0073	61.54	9.66	21.48	7.69
9	13.03	13.34	0.0092	85.15	10.82	23.61	9.46
10	15.44	14.12	0.0109	106.81	11.78	21.66	10.68
11	17.30	14.56	0.0122	123.44	12.47	16.64	11.22
12	18.54	14.79	0.0131	134.32	12.91	10.88	11.19
13	19.26	14.90	0.0136	140.58	13.16	6.25	10.81
14	19.64	14.95	0.0139	143.86	13.29	3.28	10.28
15	19.83	14.98	0.0140	145.50	13.35	1.64	9.70
16	19.92	14.99	0.0141	146.29	13.38	0.79	9.14
17	19.96	14.99	0.0141	146.66	13.40	0.30	8.63
18	19.98	15.00	0.0141	146.84	13.40	0.18	8.16
19	19.99	15.00	0.0141	146.93	13.41	0.08	7.73
20	20.00	15.00	0.0141	146.96	13.41	0.04	7.35

CUADRO 4. Simulación del rendimiento de una plantación de Eucalyptus camaldulensis sin aclareo para un potencial de sitio 35, Índice de Sitio 25 y una densidad final de 1416 árboles/ha.

EDAD EN AÑOS	AB/ha (m ²)	ALTURA (m)	AB/ARBOL (m ²)	VOL.REAL (m /ha)	DIA./ARBOL (cm)	ICA (m /ha)	IMA (m /ha)
5	14.30	12.30	0.0101	86.19	11.34	-	17.24
6	18.78	15.61	0.0133	143.68	13.00	57.49	23.95
7	23.40	18.72	0.0165	214.59	14.50	70.90	30.66
8	27.51	21.21	0.0194	285.89	15.73	71.31	35.74
9	30.63	22.92	0.0216	343.90	16.60	58.01	38.21
10	32.66	23.93	0.0231	382.88	17.14	38.98	38.29
11	33.81	24.47	0.0239	405.48	17.44	22.60	36.86
12	34.42	24.75	0.0243	417.38	17.59	11.90	34.78
13	34.72	24.88	0.0245	423.30	17.67	5.92	32.56
14	34.87	24.94	0.0246	426.17	17.71	2.86	30.44
15	34.94	24.97	0.0247	427.53	17.72	1.36	28.50
16	34.97	24.99	0.0247	428.18	17.73	0.65	26.76
17	34.99	24.99	0.0247	428.48	17.74	0.30	25.20
18	34.99	25.00	0.0247	428.62	17.74	0.14	23.81
19	35.00	25.00	0.0247	428.69	17.74	0.07	22.56
20	35.00	25.00	0.0247	428.72	17.74	0.03	21.44

CUADRO 5. Simulación del rendimiento de una plantación de Eucalyptus camaldulensis sin aclareo, para un Potencial de Sitio 20, Índice de Sitio 15 y una densidad final de 2213 árboles/ha.

EDAD EN AÑOS	AB/ha (m ²)	ALTURA (m)	AB/ARBOL (m ²)	VOL.REAL (m /ha)	DIA./ARBOL (cm)	ICA (m /ha)	IMA (m /ha)
5	6.20	6.50	0.0028	19.75	5.97	-	3.95
6	8.47	8.45	0.0038	35.07	6.98	15.32	5.84
7	11.06	10.41	0.0050	56.38	7.98	21.31	8.05
8	13.68	12.10	0.0062	81.06	8.87	24.68	10.13
9	15.97	13.34	0.0072	104.35	9.58	23.29	11.59
10	17.67	14.12	0.0080	122.29	10.08	17.94	12.23
11	18.76	14.56	0.0085	133.86	10.39	11.57	12.17
12	19.38	14.79	0.0088	140.40	10.56	6.54	11.70
13	19.70	14.90	0.0089	143.79	10.65	3.39	11.06
14	19.86	14.95	0.0090	145.47	10.69	1.68	10.39
15	19.93	14.98	0.0090	146.27	10.71	0.81	9.75
16	19.97	14.99	0.0090	146.66	10.72	0.38	9.17
17	19.98	14.99	0.0090	146.84	10.72	0.18	8.64
18	19.99	15.00	0.0090	146.92	10.47	0.09	8.16
19	20.00	15.00	0.0090	146.96	10.73	0.04	7.73
20	20.00	15.00	0.0090	146.98	10.73	0.02	7.35

CUADRO 6. Simulación del rendimiento de una plantación de *Eucalyptus camaldulensis* sin aclareos, para un Potencial de Sitio 30, Índice de Sitio 20 y una densidad final de 2213 árboles/ha.

EDAD EN AÑOS	AB/ha (m ²)	ALTURA (m)	AB/ARBOL (m ²)	VOL. REAL (m /ha)	DIA./ARBOL (cm)	ICA (m /ha)	IMA (m /ha)
5	13.00	9.40	0.0059	59.88	8.65	-	11.98
6	16.90	12.04	0.0076	99.73	9.84	39.85	16.62
7	20.82	14.58	0.0094	148.71	10.94	48.98	21.24
8	24.19	16.67	0.0109	197.66	11.80	48.95	24.71
9	26.67	18.14	0.0121	237.15	12.39	39.49	26.35
10	28.24	19.04	0.0128	263.43	12.75	26.38	26.34
11	29.72	19.52	0.0132	278.55	12.94	15.12	25.32
12	29.57	19.77	0.0134	286.47	13.04	7.92	23.87
13	29.80	19.89	0.0135	290.04	13.09	3.93	22.34
14	29.90	19.92	0.0135	292.29	13.12	1.90	20.88
15	29.95	19.98	0.0135	293.19	13.13	0.90	19.55
16	29.98	19.99	0.0135	293.62	13.13	0.43	18.35
17	29.99	19.99	0.0136	293.82	13.14	0.20	17.28
18	30.00	20.00	0.0136	293.92	13.14	0.09	16.33
19	30.00	20.00	0.0136	293.96	13.14	0.04	15.47
20	30.00	20.00	0.0136	293.98	13.14	0.02	14.70

4.1.2. Altura

La altura presenta igual comportamiento que el área basal/ha. con respecto al tiempo, no así con relación a la densidad de plantación, ya que a diferentes densidades, las variaciones de altura no son significativas. Partiendo de esto, en este modelo predictivo se asume que para un mismo índice de sitio y con diferentes densidades de plantación, la altura será la misma. Por ejemplo una plantación a una edad de 10 años, índice de sitio 15 y una densidad de 983 árboles/ha, tendrá la misma altura de 14.12 mts. (Cuadro 1) que otra de la misma

edad, igual índice de sitio y una densidad de 3933 árboles/ha, (cuadro 2); pero, a una misma edad y con diferente calidad de sitio la altura si tendrá variaciones, por ejemplo, una plantación a una edad de 10 años y con un índice de sitio 15, su altura será de 14.12 mts. (cuadro 5), a esa misma edad e igual densidad pero con índice de sitio 20 su altura será de 14.12 mts. (cuadro 6), mientras que otra de la misma edad, igual densidad pero con índice de sitio 25 su altura será de 23.93 mts. (cuadro 7).

CUADRO 7. Simulación del rendimiento de una plantación de *Eucalyptus camaldulensis* sin aclareos, para un Potencial de Sitio 35, Índice de Sitio y una densidad final de 2213 árboles/ha.

EDAD EN AÑOS	AB/ha (m ²)	ALTURA (m)	AB/ARBOL (m ²)	VOL.REAL (m)	DIA./ARBOL (cm)	ICA (m /ha)	IMA (m /ha)
5	22.40	12.30	0.0101	135.00	11.35	-	27.00
6	26.67	15.61	0.0121	204.05	12.39	69.04	34.01
7	30.04	18.72	0.0136	275.51	13.15	71.46	39.36
8	32.29	21.21	0.0146	335.66	13.63	60.15	41.96
9	33.62	22.92	0.0152	377.47	13.91	41.82	41.94
10	34.32	23.93	0.0155	402.41	14.05	24.94	40.24
11	34.67	24.47	0.0157	415.78	14.12	13.32	37.80
12	34.85	24.75	0.0158	422.51	14.16	6.73	35.21
13	34.93	24.88	0.0158	425.79	14.18	3.27	32.75
14	34.97	24.94	0.0158	427.35	14.18	1.56	30.32
15	34.98	24.97	0.0158	428.09	14.19	0.74	28.54
16	34.99	24.99	0.0158	428.44	14.19	0.35	26.78
17	35.00	24.99	0.0158	428.60	14.19	0.16	25.21
18	35.00	25.00	0.0158	428.68	14.19	0.08	23.82
19	35.00	25.00	0.0158	428.72	14.19	0.04	22.56
20	35.00	25.00	0.0158	428.73	14.19	0.02	21.44

4.1.3. Area basal por árbol

El área basal por árbol presenta igual comportamiento que el área basal por hectárea, es decir, se incrementa en forma proporcional al tiempo, pasando por un rango en que los incrementos son cada vez menores, hasta llegar a una edad en el cual el área basal alcanza su máximo y se estabiliza (ha alcanzado el potencial de sitio) (cuadro 8). El área basal por árbol también es influenciada por la calidad de sitio y la densidad, siendo afectada por éstos factores en igual forma que el área basal por hectárea.

CUADRO 8. Simulación del rendimiento de una plantación de Eucalyptus camaldulensis sin aclareo para un Potencial de Sitio 30, Índice de Sitio 20 y una densidad final de 1416 árboles/ha.

EDAD EN ANOS	AB/ha (m ²)	ALTURA (m)	AB/ARBOL (m ²)	VOL.REAL (m /ha)	DIA./ARBOL (cm)	ICA (m /ha)	IMA (m /ha)
5	8.30	9.40	0.0059	38.23	8.64	-	7.65
6	11.48	12.04	0.0081	67.74	10.16	29.51	11.29
7	15.24	14.58	0.0108	108.87	11.71	41.12	15.55
8	19.21	16.67	0.0136	156.97	13.14	48.11	19.62
9	22.87	18.14	0.0162	203.36	14.34	46.39	22.60
10	25.75	19.04	0.0182	240.22	15.22	36.86	24.02
11	27.69	19.52	0.0196	264.84	15.78	24.62	24.08
12	28.82	19.77	0.0204	279.16	16.10	14.32	23.26
13	29.42	19.89	0.0208	286.73	16.26	7.37	22.06
14	29.72	19.95	0.0210	290.51	16.35	3.78	20.75
15	29.87	19.98	0.0211	292.34	16.39	1.83	19.49
16	29.94	19.99	0.0211	293.22	16.41	0.87	18.33
17	29.97	19.99	0.0212	293.63	16.42	0.41	17.27
18	29.99	20.00	0.0212	293.83	16.42	0.19	16.32
19	29.99	20.00	0.0212	293.92	16.42	0.09	15.47
20	30.00	20.00	0.0212	293.96	16.42	0.04	14.70

4.1.4. Volumen

El volumen, por estar influenciado por el área basal y la altura presenta similar comportamiento a estas variables; es decir, se incrementa proporcionalmente a la edad hasta alcanzar su estabilización o freno debido al potencial de sitio (figura 5); La densidad de plantación influye en que se alcance un mayor o menor volumen con un determinado número de árboles por ha, por ejemplo con un potencial de sitio $K = 20$ a los 10 años de edad y con una densidad de plantación de 983 árboles por ha se obtiene un volumen de $91.08 \text{ m}^3/\text{ha}$ y con el mismo potencial de sitio a esa misma edad, pero con una densidad de plantación de 3,933 árboles por ha el volumen será de $134.02 \text{ m}^3/\text{ha}$ (cuadros 1 y 2).

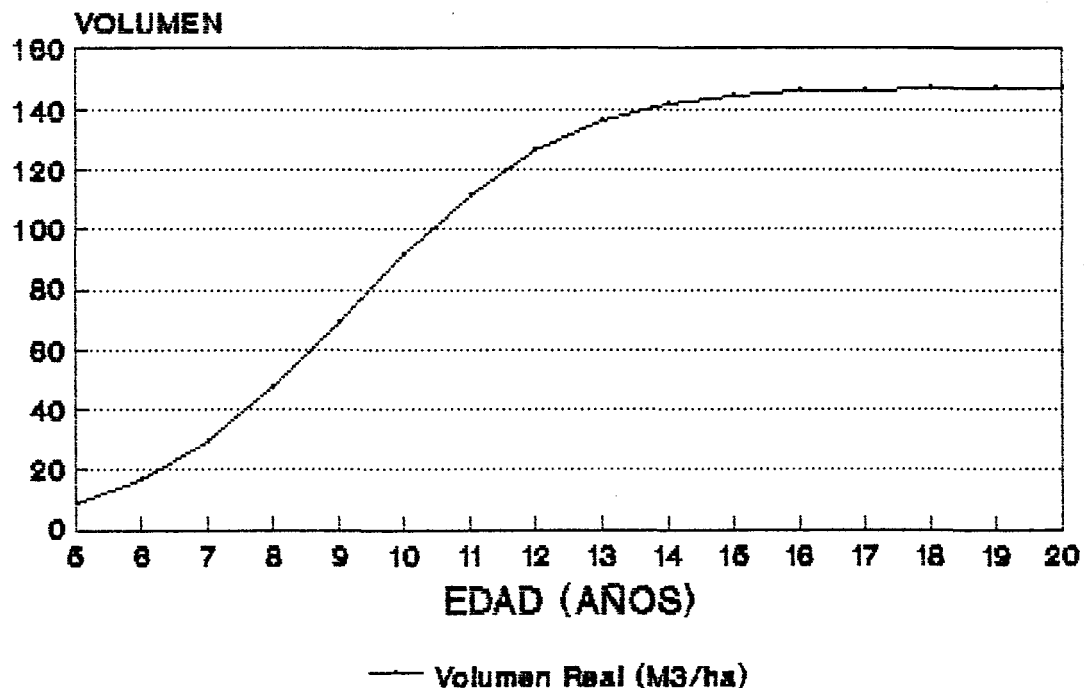


Fig. 5. Simulación del crecimiento del volumen a partir, del año 5 de una plantación de *Eucalyptus camaldulensis*, con una densidad de 983 árboles/ha, en un Potencial de Sitio 20 y un Índice de Sitio 15.

4.1.5. Diámetro

En la simulación del diámetro del árbol medio se obtuvo que éste se incrementa en una forma proporcional a la edad hasta alcanzar un valor en el cual se estabiliza (figuras 6 y 7). Los factores principales que ejercen influencia sobre el incremento diamétrico del árbol medio son la calidad de sitio y la densidad de plantación. La calidad de sitio influye en el crecimiento diamétrico en tal forma que a mejor calidad de sitio los árboles tienden a alcanzar un mayor diámetro en menor tiempo, en relación a una calidad de sitio menor con una misma densidad e igual edad. Esto se puede observar en los cuadros 1 y 9, donde con un potencial de sitio $K = 20$ y 983 árboles/ha. el diámetro del árbol medio alcanzado a los 10 años es de 13.06 cm., mientras que con un $K = 35$, 983 árboles/ha. y a los 10 años el diámetro del árbol medio se incrementa y alcanza los 19.81 cm. La densidad de plantación ejerce una influencia quizá aún mas notoria en el incremento diamétrico ya que con un mismo potencial de sitio y con diferentes distanciamiento entre árboles, los diámetros de estos difieren (figura 8), esto se observa en los cuadros 10 y 11 donde el potencial de sitio es el mismo $K = 30$, pero las densidades de plantación son diferentes.

Así, por ejemplo con una densidad de 983 árboles/ha. a los 10 años el diámetro del árbol medio alcanzado es de 17.20 cm.; mientras que con 3933 árboles/ha. a la misma edad de 10 años, el diámetro del árbol medio es de 9.81 cm.

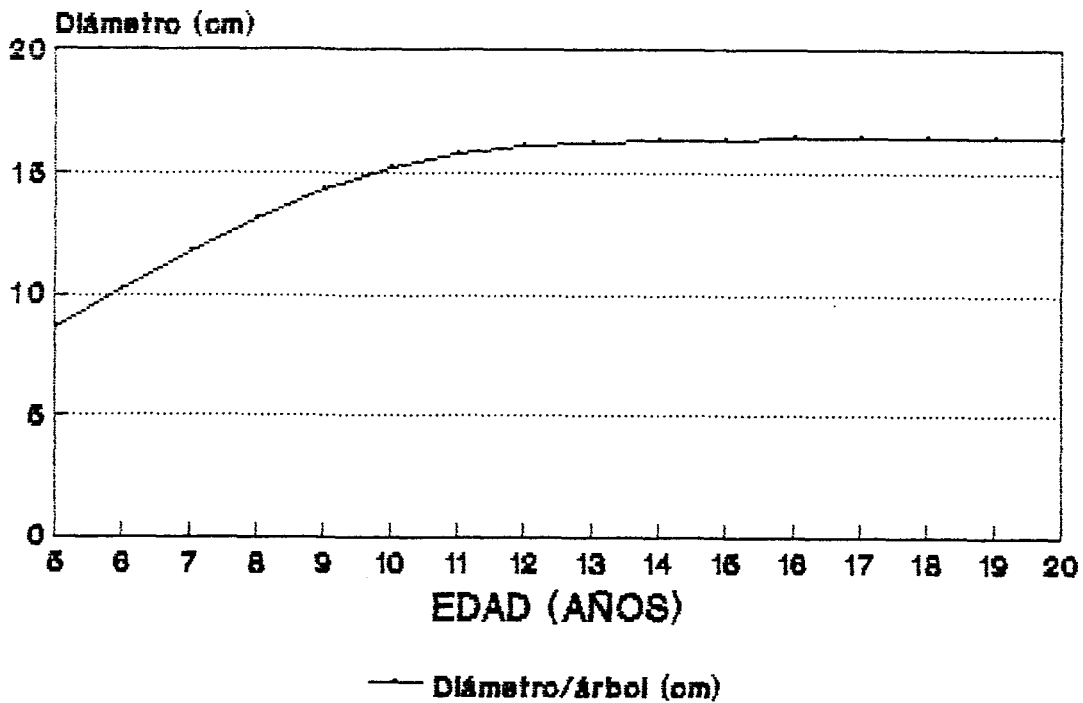


Fig. 6. Crecimiento diamétrico, a partir del año 5, de una plantación de Eucalyptus camaldulensis, con una densidad de 1416 árboles/ha, en un Potencial de Sitio de 30 y un Índice de Sitio 20.

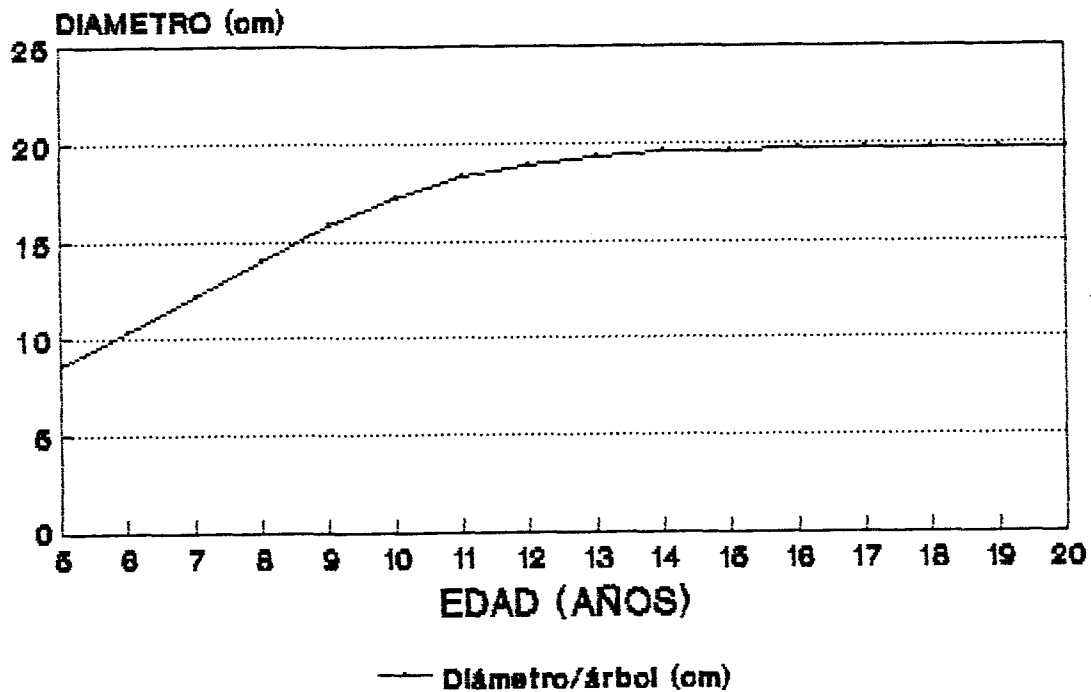


Fig. 7. Crecimiento diamétrico, a partir del año 5, de una plantación de Eucalyptus camaldulensis, con una densidad de 983 árboles/ha, en un Potencial de Sitio 30 y un Índice de Sitio 20.

CUADRO 9. Simulación del rendimiento de una plantación de *Eucalyptus camaldulensis*, para un Potencial de Sitio 35, Índice de Sitio 25 y una densidad final de 983 árboles/ha.

EDAD EN AÑOS	AB/ha (m ²)	ALTURA (m)	AB/ARBOL (m ²)	VOL. REAL (m ³ /ha)	DIAM/ARBOL (cm)	ICA (m ³ /ha)	IMA (m ³ /ha)
5	10.00	12.30	0.0102	60.27	11.30	-	12.05
6	13.79	15.61	0.0140	105.46	13.36	45.19	17.58
7	18.21	18.72	0.0185	167.07	15.36	61.61	23.87
8	22.84	21.21	0.0232	237.43	17.20	70.37	29.60
9	27.05	22.92	0.0275	303.72	18.72	66.29	33.75
10	30.31	23.93	0.0308	355.33	19.81	51.61	35.53
11	32.46	24.47	0.0330	389.23	20.50	33.91	35.38
12	33.71	24.75	0.0343	408.73	20.90	19.50	34.06
13	34.37	24.88	0.0350	424.06	21.20	5.09	30.29
14	34.70	24.94	0.0353	424.06	21.20	5.09	30.29
15	34.86	24.97	0.0355	426.53	21.25	2.46	28.44
16	34.93	24.99	0.0355	427.70	21.27	1.17	26.73
17	34.97	24.99	0.0356	428.26	21.28	0.55	25.19
18	34.98	25.00	0.0356	428.52	21.29	0.26	23.81
19	34.99	25.00	0.0356	428.64	21.29	0.12	22.56
20	35.00	25.00	0.0356	428.70	21.29	0.06	21.43

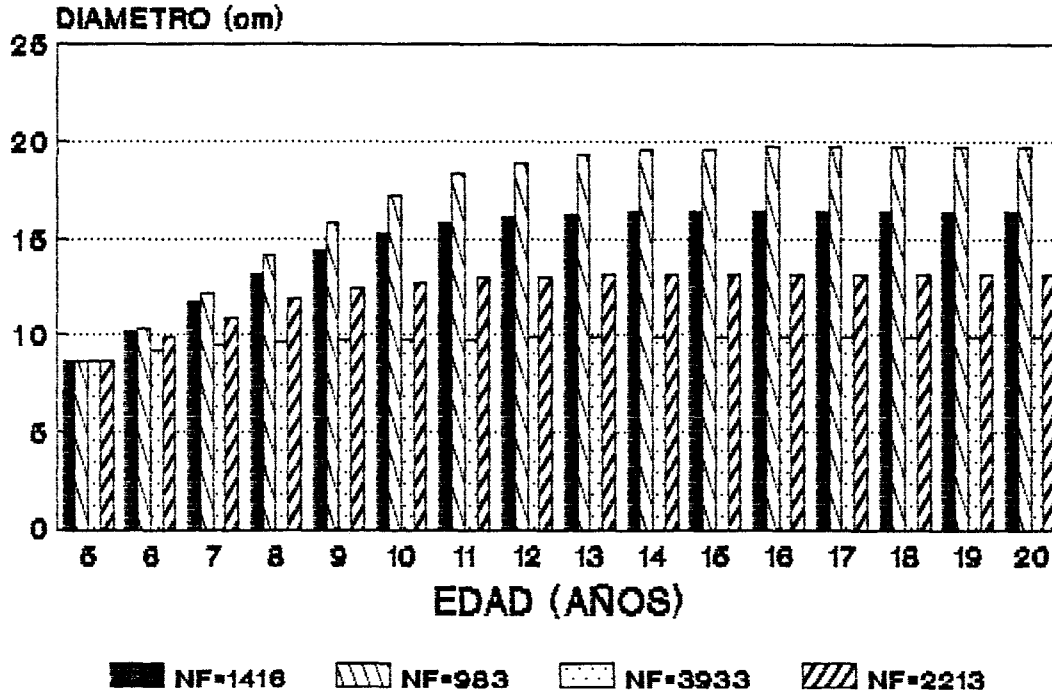


Fig. 8. Simulación del efecto que ejerce la densidad sobre el crecimiento diamétrico de un rodal coetáneo de *Eucalyptus camaldulensis* con un Potencial de Sitio 30 e Índice de Sitio 20.

CUADRO 10. Simulación del rendimiento de una plantación de *Eucalyptus camaldulensis* sin aclareos para un Potencial de Sitio 30, Índice de Sitio 20 y una densidad final de 983 árboles/ha.

EDAD EN AÑOS	AB/ha (m ²)	ALTURA (m)	AB/ARBOL (m ²)	VOL.REAL (m ³ /ha)	DIA./ARBOL (cm)	ICA (m ³ /ha)	IMA (m ³ /ha)
5	5.80	9.40	0.0059	26.71	8.67	-	5.34
6	8.28	12.04	0.0084	48.85	10.35	22.13	8.14
7	11.46	14.58	0.0117	81.85	12.18	33.00	11.69
8	15.21	16.67	0.0155	124.27	14.04	42.42	15.53
9	19.18	18.14	0.0195	170.56	15.76	46.29	18.95
10	22.85	19.04	0.0232	213.14	17.20	42.58	21.31
11	25.74	19.52	0.0262	246.19	18.28	33.05	22.36
12	27.67	19.77	0.0282	268.09	18.93	21.90	22.24
13	28.81	19.89	0.0293	280.81	19.32	12.72	21.60
14	29.42	19.95	0.0299	287.53	19.52	6.73	20.54
15	29.72	19.98	0.0302	290.90	19.62	3.36	19.39
16	29.87	19.99	0.0304	292.53	19.67	1.63	18.28
17	29.94	19.99	0.0305	293.30	19.69	0.78	17.25
18	29.97	20.00	0.0305	293.67	19.70	0.37	16.32
19	29.99	20.00	0.0305	293.85	19.71	0.17	15.47
20	29.99	20.00	0.0305	293.93	19.71	0.08	14.70

CUADRO 11. Simulación del rendimiento de una plantación de *Eucalyptus camaldulensis*, sin aclareo para un Potencial de Sitio 30, Índice de Sitio 20 y una densidad final de 3933 árboles/ha.

EDAD EN AÑOS	AB/ha (m ²)	ALTURA (m)	AB/ARBOL (m ²)	VOL.REAL (m ³ /ha)	DIA./ARBOL (cm)	ICA (m ³ /ha)	IMA (m ³ /ha)
5	23.00	9.40	0.0058	105.94	8.63	-	21.19
6	25.84	21.04	0.0066	152.48	9.15	46.54	25.41
7	27.74	14.58	0.0071	198.19	9.48	45.72	28.31
8	28.85	16.67	0.0073	235.70	9.66	37.51	28.46
9	29.44	18.14	0.0075	261.69	9.76	25.99	29.08
10	29.73	19.04	0.0076	277.31	9.81	15.61	27.73
11	29.87	19.52	0.0076	285.75	9.83	8.44	25.98
12	29.94	19.77	0.0076	290.02	9.84	4.27	24.17
13	29.97	19.89	0.0076	292.11	9.85	2.08	22.47
14	29.99	19.95	0.0076	293.11	9.85	1.00	20.94
15	29.99	19.98	0.0076	293.58	9.85	0.47	19.57
16	30.00	19.99	0.0076	293.80	9.85	0.22	18.36
17	30.00	19.99	0.0076	293.91	9.85	0.11	17.29
18	30.00	20.00	0.0076	293.96	9.85	0.05	16.33
19	30.00	20.00	0.0076	293.98	9.85	0.02	15.47
20	30.00	20.00	0.0076	293.99	9.85	0.01	14.70

4.1.6 IMA e ICA

La figura 9 corresponde al ICA e IMA y en ella se observa que el ICA se incrementa hasta alcanzar un valor máximo, después del cual comienza a decrecer llegando a valores muy pequeños, el IMA presenta el mismo comportamiento. También es notorio en esta figura que a los 10 años las curvas se cruzan, indicando el fin del turno en un rodal sin prácticas de aclareo.

La edad que nos indica el fin de turno depende de la calidad de sitio y de la densidad de plantación; por ejemplo se tiene que una

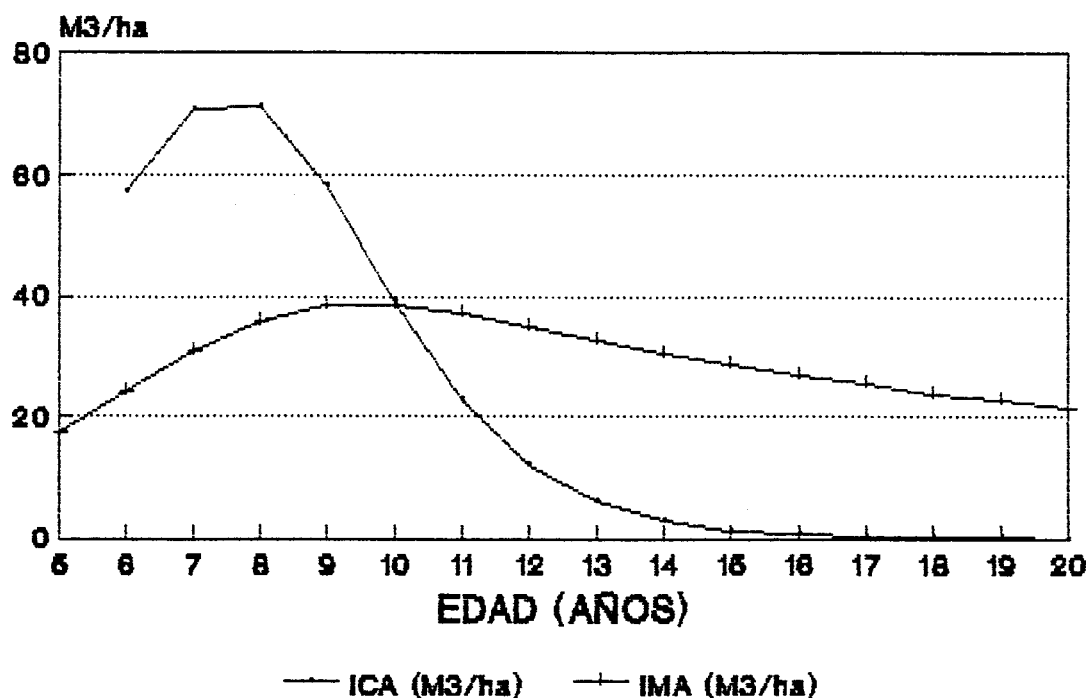


Fig. 9. Incremento Medio Anual (IMA) e Incremento Corriente Anual (ICA) de volumen de una plantación de Eucalyptus camaldulensis con una densidad de 1416 árboles/ha, en un Potencial de Sitio 35 e Índice de Sitio 25.

plantación en un potencial de sitio 20, 1416 árboles/ha, el fin de turno se alcanzará a los 12 años, mientras que en otra plantación con igual potencial de sitio pero con 3993 árboles/ha el fin de turno se alcanzará a los 10 años (figuras 10 y 11). Cuando la calidad de sitio es mejor, la edad a la que se alcanza el fin de turno se hace más corta, por ejemplo se tiene una plantación en un potencial de sitio 20 y 1416 árboles/ha, el fin de turno se alcanza a los 12 años, pero en otra plantación en un potencial de sitio 30 e igual densidad el final del turno se alcanzará a los 11 años (figuras 10 y 12).

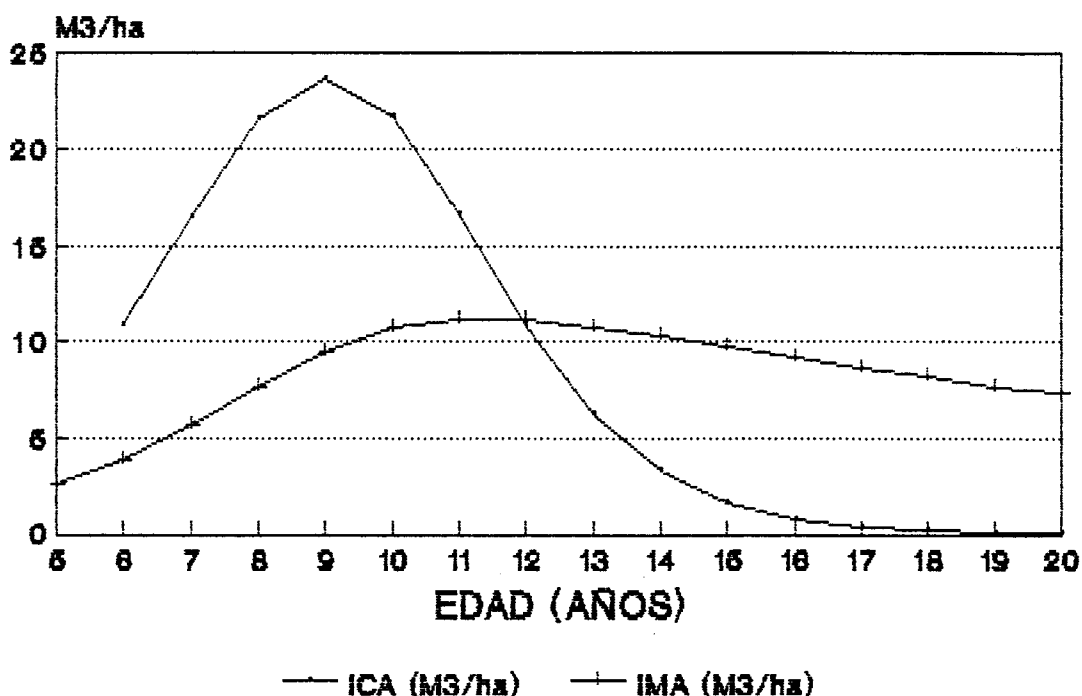


Fig. 10. Incremento Medio Anual (IMA) e Incremento Corriente Anual (ICA) de volumen de una plantación de *Eucalyptus camaldulensis* con una densidad de 1416 árboles/ha en un Potencial de Sitio 20 e Índice de Sitio 15.

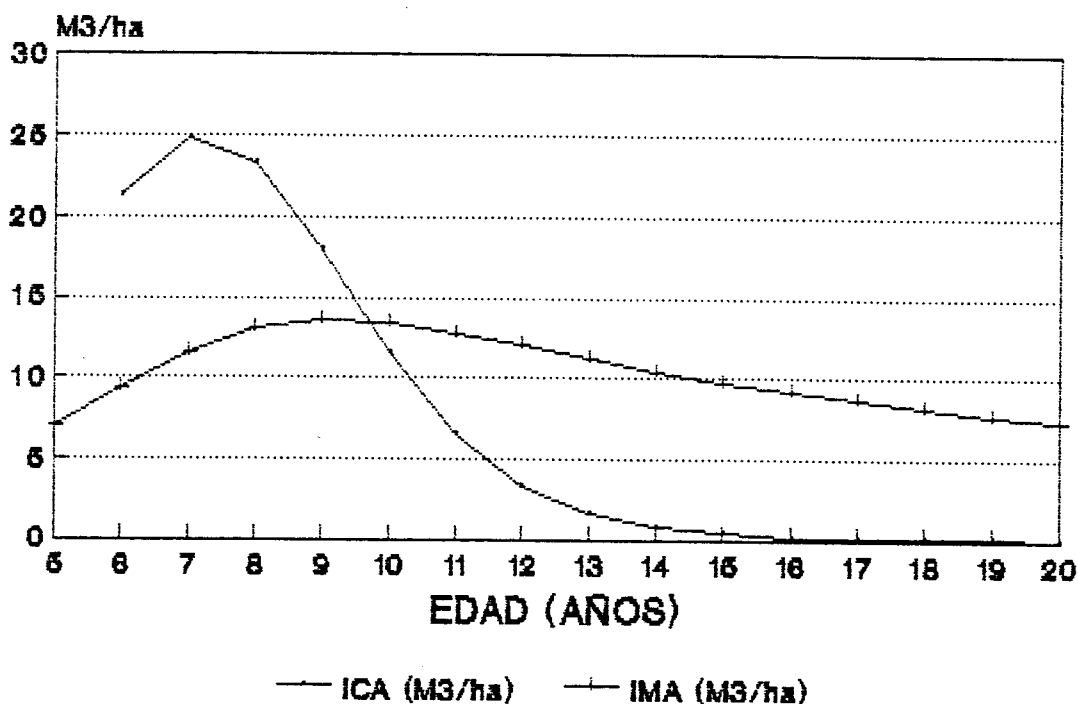


Fig. 11. Incremento Medio Anual (IMA) e Incremento Corriente Anual (ICA) de volumen de una plantación de *Eucalyptus camaldulensis*, con una densidad de 3933 árboles/ha. en un Potencial de Sitio de 20 e Índice de Sitio de 15.

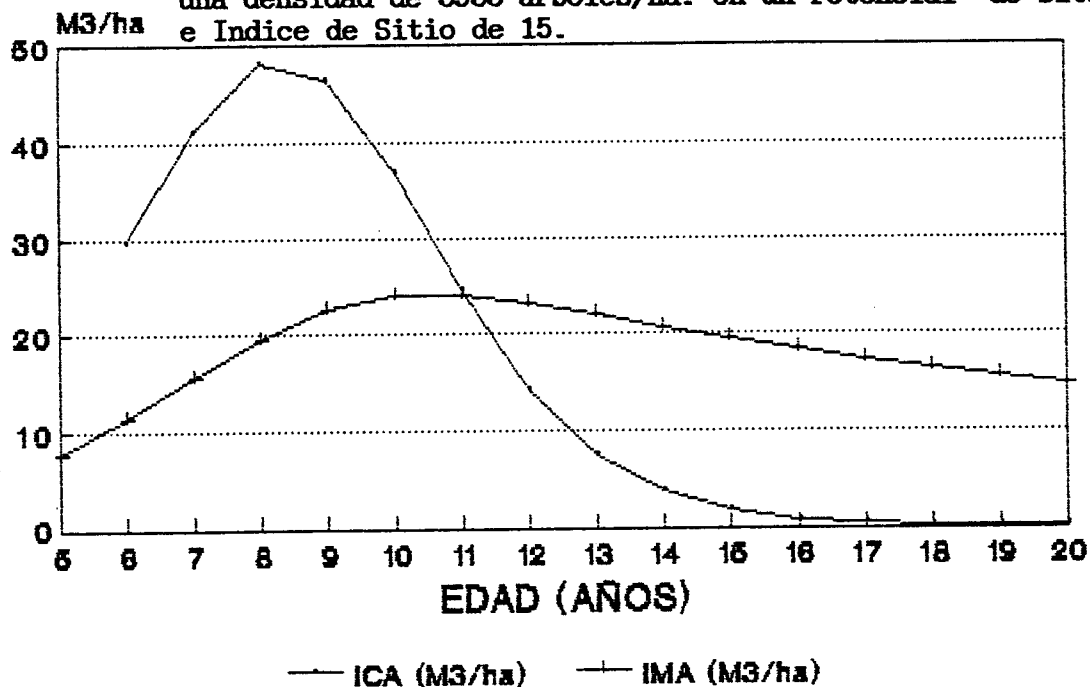


Fig. 12. Incremento Medio Anual (IMA) e Incremento Corriente Anual (ICA) del volumen de una plantación de *Eucalyptus camaldulensis*, con una densidad de 1416 árboles/ha en un Potencial de Sitio de 30 e Índice de Sitio 20.

4.1.7 Simulación de aclareos

Los resultados de la simulación de aclareos se presenta en el cuadro 12, en donde se hace evidente la recuperación de la masa boscosa, así como la distribución de la biomasa en los individuos de vuelo permanente. Cuantitativamente, se tiene que para un mismo potencial de sitio, igual densidad de plantación y una misma edad, en poblaciones con régimen de aclareo, los valores de área basal por árbol son mayores que en otra plantación sin aclareo; por ejemplo para el caso de una plantación con un potencial de sitio $K = 30$, 1416 árboles por ha. y con

CUADRO 12. Simulación del rendimiento de una plantación de *Eucalyptus camadulensis*, con prácticas de aclareo para un Potencial de Sitio 30, Índice de Sitio 20 y una densidad inicial de 1416 árboles/ha.

EDAD EN AÑOS	AB/ha (m ²)	AB/ha (m ²)	ALTURA (m)	AB/ARBOL (m ²)	VOLUM.REAL (m ³ /ha)	VOLUM REAL (m ³ /ha)	DIAM./ARBOL (cm)	N/h
5	8.30	8.30	9.40	0.0059	38.23	38.23	8.65	1416
6*	11.48	5.74	12.04	0.0081	67.73	33.86	10.14	708
7	8.20	8.20	14.58	0.0116	58.58	58.58	12.14	708
8	11.36	11.36	16.67	0.0160	92.80	92.80	14.25	708
9	15.10	15.10	18.14	0.0213	134.24	134.24	16.45	708
10*	19.07	9.54	19.04	0.0269	177.92	88.99	18.48	354
11	12.99	12.99	19.52	0.0367	124.25	124.25	21.59	354
12	16.89	16.89	19.77	0.0477	163.63	163.63	24.61	354
13*	20.80	10.40	19.89	0.0588	202.76	101.36	27.33	177
14	14.00	14.00	19.35	0.0791	136.86	136.86	31.69	177
15	17.96	17.96	19.95	0.1015	175.78	175.78	35.90	177
16	21.25	21.78	19.99	0.1231	213.31	213.31	39.54	177
17	24.94	24.94	19.99	0.1489	244.37	244.37	42.30	177
18	27.17	27.17	20.00	0.1535	266.24	266.24	44.15	177
19	28.53	28.53	20.00	0.1612	279.57	279.57	45.25	177
20	29.57	29.57	20.00	0.1654	286.84	286.84	45.83	177
* Con aclareo								

prácticas de aclareo; a los 12 años de edad el área basal por árbol es de 0.0477 m^2 en cambio, en un rodal sin aclareos el área basal a la misma edad es de 0.0204 m^2 (cuadros 8 y 12); en la figura 13 se observa que en el régimen de aclareo automático va a existir siempre un valor de área basal por ha máximo y otro mínimo que deberá mantenerse. Mientras que la altura no es afectada por los aclareos (cuadros 8 y 12); el volumen alcanza a los 20 años los $286.84 \text{ m}^3/\text{ha}$ en un rodal con aclareos, contra $293.96 \text{ m}^3/\text{ha}$ en un rodal sin aclareos, en cambio el diámetro al igual que el área basal/árbol sí sufre un notable incremento, el diámetro en un rodal con prácticas de aclareo llega a 24.6 cm. mientras en un rodal sin aclareos alcanza los 16.10 cm. a los 12 años (cuadros 8 y 12)

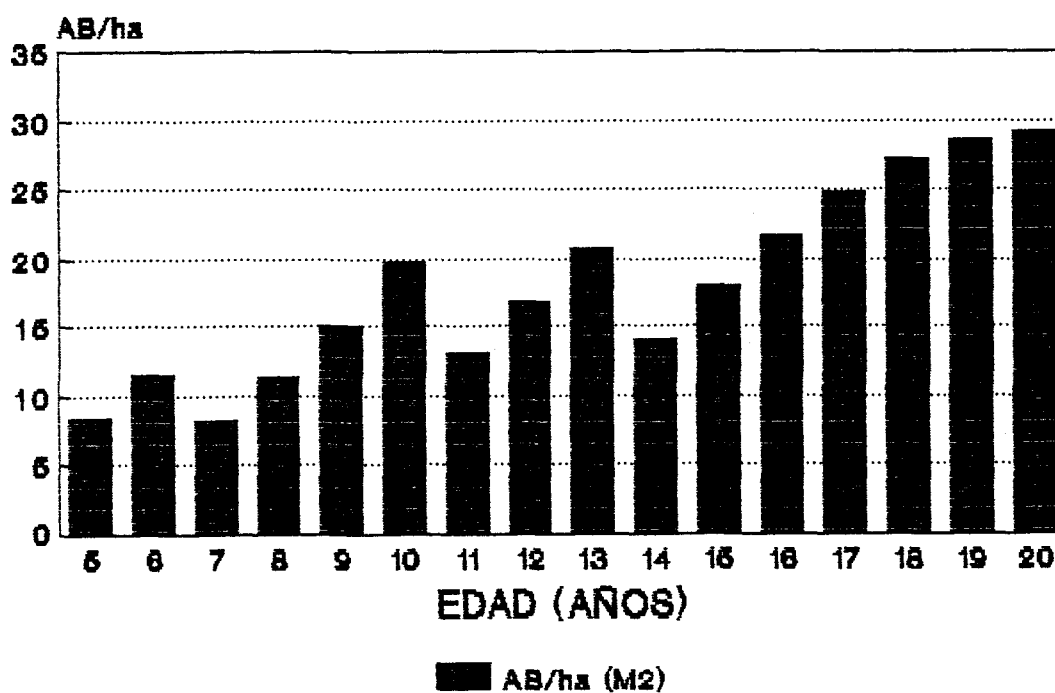


Fig. 13. Simulación de aclareos en un rodal coetáneo de *Eucalyptus camaldulensis*, para un Potencial de Sitio 30, Índice de Sitio 20 y una densidad de 1416 árboles/ha

5. DISCUSION DE RESULTADOS

5.1. Area Basal

La simulación del crecimiento de las variables: área basal, volumen, altura y diámetro, sigue una tendencia sigmoide, sin embargo se dice que el crecimiento del eucalipto no se adapta a este tipo de curva, por lo que se aclara que sin la respectiva validación únicamente se hacen conjeturas entre los valores reales y los valores predichos.

La tendencia en el crecimiento del área basal aún es objeto de discusión y análisis, en donde la falta de información es un problema por resolver. Al realizar la corrida del modelo con diferentes potenciales de sitio e índices de sitio y con diferentes densidades de población, los resultados mostraron un comportamiento lógico en base a lo planteado por Bakers (2) quien manifiesta que a medida que se desarrollan los rodales, el área basal se acumula y alcanza su máximo bajo condiciones de población completa (2,24).

Sin embargo, por la falta de información local debido a que las plantaciones de esta especie, son aún jóvenes, se desconoce la edad a la cual ocurre este fenómeno.

En relación a la densidad y el diámetro a medida que el número de árboles/ha aumenta, el área basal total aumentará con cada árbol, esta aseveración concuerda con los resultados obtenidos por el modelo, cuadros 2 y 8. Además, aunque el área basal total por unidad de área (en

este caso una ha.) sea mayor cuando aumenta la densidad, el área basal por individuo disminuye debido a la alta competencia de agua, luz y nutrientes (2).

El número de árboles por hectárea a establecer o dejar dependerá del producto que se desea obtener (leña, postes, madera). Así para la obtención de leña las densidades deberán ser elevadas. Aunque el área basal por árbol será pequeña; pero, si el producto final deseado es madera aserrada la densidad tendrá que ser baja para obtener valores altos de área basal individual.

El potencial de sitio influye de tal forma que a mayor potencial de sitio se alcanza un área basal mayor en menor tiempo (cuadros 2 y 11) y esto es debido a que en un mejor potencial de sitio existe mayor disponibilidad de nutrientes, agua y las condiciones edáficas que favorecen al rodal. Una pequeña mejoría en la calidad de un sitio empobrecido ocasiona un notable incremento en la acumulación de área basal (2). Ello no fue comprobado en este trabajo.

5.2. Altura

El comportamiento en altura con respecto a la edad se dio en igual forma que el área basal, es decir, es notable un cambio en las edades tempranas de la planta, en las cuales es fácil observar la rapidez con que cambia la altura en un período corto de tiempo y luego se da un freno en dicho crecimiento (cuadro 7).

Los resultados de la simulación de la altura muestran que ésta se estabiliza a una edad muy temprana, lo que no concuerda con los crecimientos en altura observados para el eucalipto.

Según los resultados obtenidos con este modelo no existe influencia significativa de la densidad de plantación sobre crecimiento en altura, esto es satisfactorio con lo expuesto por Baker (2) quien explica que esto es debido a que todos los árboles entran en competencia desde el inicio y sus yemas apicales son activadas con la misma intensidad de luz y por lo tanto están bajo las mismas condiciones de crecimiento, en consecuencia todos los árboles tienden a crecer en altura en forma casi equitativa dentro de los límites normales de densidad de plantación. Es por esta razón que en este estudio se incluyen datos iguales de crecimiento en altura aún con diferentes densidades de plantación, pero igual calidad de sitio (cuadros 1 y 2). Mientras el aumento en el número de árboles por hectárea incrementa la magnitud del área basal y se sostenga la relación lineal entre el área basal y el volumen, la densidad carece de efectos significativos sobre el crecimiento en altura.

Cuando cambia el potencial de sitio, el crecimiento en altura si presenta cambios significativos (cuadros 2 y 11) y esto es explicado en igual forma que para el área basal, es decir que un mayor índice de sitio indica que la disponibilidad de nutrientes, agua, condiciones edáficas y dinámicas es mejor, por lo que al mejorar la calidad de sitio la altura que se alcanza es mayor en menos tiempo.

Para la simulación de la altura los valores de índice de sitio se relacionaron con los valores de potencial de sitio, asumiendo que en una determinada calidad de sitio la máxima altura posible que podrían alcanzar los árboles a los 20 años es igual a los índices de sitio propuestos. Los valores de índice de sitio utilizados en la simulación fueron estimados en base a prueba y error, estos valores pueden ser ajustados de acuerdo a los resultados obtenidos de la validación.

5.3. Area basal por árbol.

A medida que la densidad del rodal aumenta, la productividad del sitio se distribuye entre un mayor número de árboles, pero, debido a la mayor acumulación de área basal por hectárea el potencial de sitio se alcanza mas rápidamente, ocasionando una reducción en el área basal por árbol.

Los resultados obtenidos de área basal concuerdan totalmente con lo expresado por Bakers (2), quien expresa que a medida que se aumenta la densidad en un rodal, el área basal individual se reduce y esto es debido a que posiblemente con el aumento de la densidad, la producción fotosintética es menor debido a la limitación de agua y nutrientes absorbidos por cada individuo, así como a la falta de desarrollo radicular. (cuadros 1 y 2)

5.4. Volúmen

El crecimiento en volúmen por deberse a los crecimientos en área basal y altura, se comportó en forma tal que al aumentar el área basal y la altura, aumentaba el volumen. Recordemos que los valores de volumen fueron obtenidos como resultado de la multiplicación del área basal con la altura. Aunque estos valores se consideran elevados para el país, pero esta sobreestimación del volumen se debe a la rápida estabilización de la altura, es decir, la altura alcanza el máximo a muy temprana edad provocando un alza extrema en los valores del volumen, estos pueden modificarse ajustando los valores de altura y área basal después de realizada la validación del modelo.

El volumen total aumenta cuando aumenta el número de árboles hasta que alcanza una cierta densidad (densidad crítica), después de la cual el incremento en el número de árboles ocasiona una reducción del volumen total. Se puede decir entonces que el volumen de un rodal es función de su área basal y su altura, por lo tanto si se quiere mejorar la producción en volumen, la manipulación silvícola debe ser capaz de modificar los factores relacionados con él (2,24).

5.5. Diámetro

El área basal depende en gran parte del crecimiento diametral de manera que los planteamientos que se hacen para el área basal en su incremento, son valederos para el diámetro del árbol medio.

El diámetro del árbol medio al igual que el área basal está influenciado por la densidad y ésta depende del producto final a obtener, si el producto deseado es leña para combustible no se necesita que estos sean grandes, por lo que se debe plantar con densidades altas usando el sistema de siembra al voleo cuando la especie de árbol lo permite, pero si el producto final es madera para aserrío los diámetros deben alcanzar un valor mínimo aserrable (15-20 cm), por lo que la densidad utilizada deberá ser baja para que la productividad del sitio se distribuya entre los pocos árboles del rodal incrementando su diámetro.

Los resultados obtenidos en la corrida del modelo, en lo referente al comportamiento del crecimiento del diámetro del árbol medio (cuadros 1 y 2) se asemejan a lo expuesto por Bakers (2), en relación a que el efecto de un pequeño incremento en el número de árboles por unidad de área ocasiona una considerable reducción en el crecimiento del diámetro promedio del rodal, es decir que existe influencia significativa de la densidad de plantación sobre el crecimiento diametral y esto es debido a que el área/árbol para captar la energía solar y producir fotosíntesis es menor.

El potencial de sitio tiene la misma influencia en incremento de área basal y el incremento del diámetro del árbol medio; es decir que en un mejor potencial de sitio se alcanzará un mayor diámetro de los árboles a mas temprana edad (Cuadros 3 y 4).



El aclareo tiene el mismo efecto sobre el diámetro promedio que la densidad, mientras mas intenso es el aclareo, mas pronunciado es el incremento en el diámetro promedio del rodal residual (2).

Con el aclareo la competencia disminuye provocando que los árboles remanentes se incrementen en diámetro, en otras palabras la productividad o potencial de sitio se distribuye en un menor número de árboles.

5.6. IMA e ICA.

El fundamento biológico que determinará el fin de turno de un rodal sin aclareos, es aquel punto donde la curva del incremento corriente anual se cruza con la curva del incremento medio anual (2,11,18).

El punto que define el fin de turno depende de varios factores entre los cuales se encuentran: el potencial de sitio y la densidad. A medida que el potencial de sitio aumenta, el final del turno del rodal se alcanza a mas temprana edad; la densidad es el otro factor que influye sobre el fin de turno de un rodal, a densidades altas el final del turno se logra mas rápidamente (11,2).

En la figura 14 se puede observar la finalización del turno para una plantación con densidad de 3933 árboles/ha., potencial de sitio $K = 30$ e índice de sitio $IS = 20$ a los 9 años de edad.

En la figura 15 se observa el fin del turno para una plantación con densidad de 3933 árboles por ha., potencial de sitio $K = 20$, a los 10 años de edad. Estos resultados coinciden con lo afirmado por Baker (2), y Hughell (11), esto es que cuando la calidad del sitio es inferior, el lapso que debe transcurrir para que el rodal alcance su culminación es mas largo que el de un sitio de buena calidad.

La finalización del turno biológico no es nada mas que la edad óptima en que un rodal sin aclareo, debe ser aprovechado ya que el incremento medio anual esta en su máximo crecimiento pues ha llegado a su verdadera madurez o sea, que la productividad del rodal se ha maximizado.

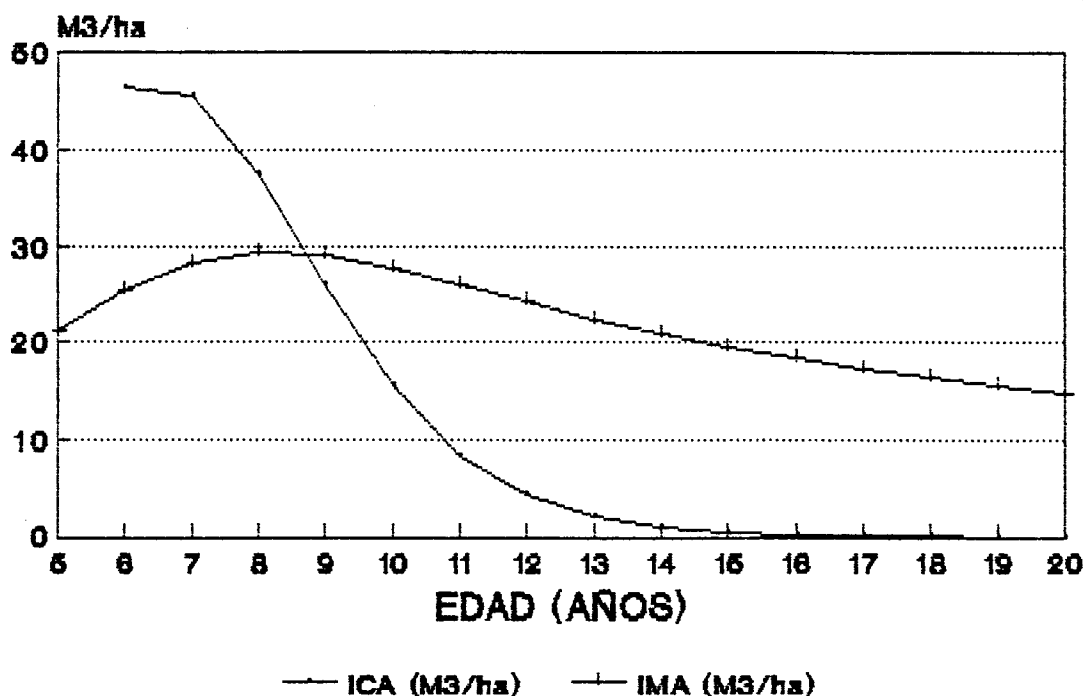


Fig. 14. Incremento Medio Anual (IMA) e Incremento Corriente Anual (ICA) de volumen de una plantación de *Eucalyptus camaldulensis* con una densidad de 3933 árboles/ha, Potencial de Sitio 30 e Índice de Sitio 20.

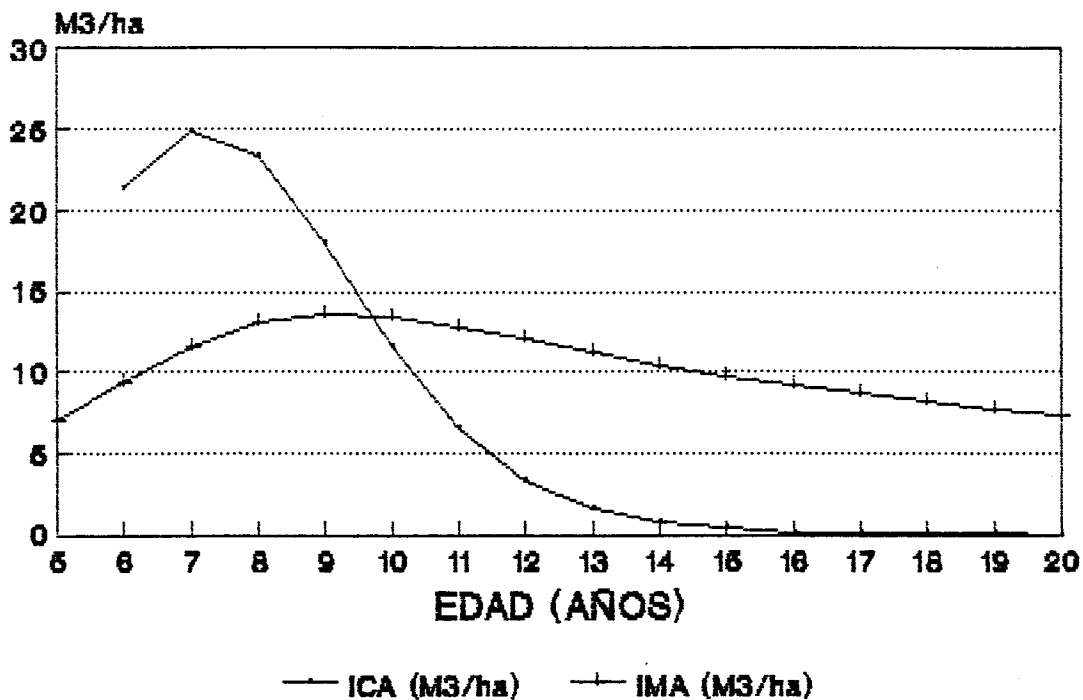


Fig. 15. Incremento Medio Anual (IMA) e Incremento Corriente Anual (ICA) de una plantación de *Eucalyptus camaldulensis*, con una densidad de 3933 árboles/ha, con un Potencial 20 eI Índice de Sitio 15.

El IMA y el ICA además de determinar el final del turno de un rodal, se encuentran relacionados con los aclareos debido a que éstas variables estiman el punto en que los árboles entran en competencia, el IMA e ICA pueden ser obtenidos a partir de los datos de DIAMETRO, AREA BASAL, VOLUMEN y ALTURA.

5.7. Simulación de aclareos

El aclareo es la tala selectiva de un rodal inmaduro para acelerar el incremento del diámetro a través de una redistribución del potencial de crecimiento en los árboles de vuelo remanente (2,3).

La simulación del aclareo con este modelo se presenta en el cuadro 12, correspondiente a una plantación con potencial de sitio $K = 30$, 1416 árboles por ha. y con prácticas de aclareo, el cual muestra un incremento en área basal/árbol, volumen ha., y diámetro del árbol medio, esto comparado con otra plantación de iguales condiciones (K , número de árboles por ha.), pero sin prácticas de aclareo (cuadro 8) y tomando la edad de 12 años para hacer la comparación, (ya que a esta edad ya se han realizado aclareos) se hace evidente la recuperación de la masa boscosa y la distribución de la biomasa en los individuos de vuelo remanente (figura 13).

Estos resultados están acorde a lo planteado por Bakers (2) y Young (26), que mencionan que existe un incremento en el diámetro en aquellas plantaciones en las cuales se practica el raleo debido a que la luz, el agua, y los nutrientes disponibles son consumidos por un número menor de árboles e incrementando en estos la superficie fotosintética permitiendo evitar que se llegue al punto de competencia fuerte y concentrar todo el potencial del sitio en los árboles remanentes.

Los resultados del modelo también concuerdan con lo dicho por YOUNG (25), quien menciona que el aclareo usualmente no aumenta la cantidad total de madera producida por el rodal, ya que de hecho la cantidad sigue siendo casi la misma. Pero debido a que la luz, el agua y los nutrientes disponibles son consumidos por un menor número de árboles, entonces los restantes se incrementan en diámetro, y esta es la principal utilidad del aclareo, ya que los árboles grandes son más valiosos que un volumen igual de árboles pequeños.

En la simulación de aclareos bajo régimen automático se supone que el área basal por hectárea se baja en cada aclareo en un 50%. Asumiendo que todos los árboles tienen el mismo diámetro promedio, la densidad (Nº de árboles/área), también se baja en un 50%, haciendo la aclaración que en un rodal no todos los árboles tendrán el mismo diámetro, por lo que este método de aclareo no es muy preciso en la información que proporciona, pudiéndose incorporar otros sistemas de aclareos más precisos. Los valores de área basal que son sacados en cada uno de los aclareos bajo régimen automático deben sumarse, debido a que la suma de estos valores no puede sobrepasar al valor del potencial de sitio.

Los aclareos deberán hacerse de acuerdo al producto final a obtener o cuando los árboles entren en competencia. La edad a la que se debe realizar el aclareo también depende de los factores mencionados anteriormente, pero, puede hacerse uso del ICA e IMA, el número de los aclareos a realizar va a depender de la densidad del rodal, del producto a obtener y de la edad del rodal (debido a que los aclareos deben

hacerse cuando los árboles todavía pueden responder al efecto del aclareo.)

6. CONCLUSIONES

- El modelo utilizado es altamente sensible, lo cual se comprueba cuando al variar un factor, los distintos componentes (respuesta) del modelo también se modifican.

- El modelo permite la planificación en la obtención de productos forestales de acuerdo a las necesidades del planificador forestal, a través de la incorporación de los programas de aclareo.

- Se facilita la elaboración de tablas de crecimiento y rendimiento a partir de las cuales pueden hacerse programas de manejo silvicultural de una plantación.

- Es indispensable la validación del modelo para un mejor ajuste de los datos de crecimiento y rendimiento.

7. RECOMENDACIONES

- Se sugiere para la aplicación del modelo con otras especies, la utilización de datos de mediaciones representativas de la misma.
- Para los valores del potencial de sitio (K) se recomienda establecer rangos acordes a los crecimientos máximos y mínimos de la especie en estudio.
- Se recomienda la obtención de datos independientes de los utilizados en este estudio, con la finalidad de realizar la validación y reajuste de las ecuaciones utilizadas.
- Dada la poca información existente en el país se recomienda darle continuidad al estudio de los modelos predictivos del crecimiento y rendimiento dada la poca investigación que hay sobre este tema en el país.
- Se recomienda establecer parcelas permanentes con diferentes densidades de plantación y aclareos con fines de estudios silviculturales con especies promisorias de uso múltiple.

8. BIBLIOGRAFIA

- 1 - ALDER, D. 1989. Estimación del volumen forestal y predicción del rendimiento: Predicción del rendimiento. Roma, Italia. FAO v.2 P. 1-6, 15, 32, 33, 39
- 2 - BAKERS, F.S.; DANIEL, P.W; HELMS, V.E. 1982. Principios de silvicultura. Trad. Ramón Elizondo Mata. Mexico.D.F. McGraw. Hill. p. 297-338
- 3 - BUFORD, C S.F. Manual de ensayos de campo de especies de uso múltiple; serie de la red de investigación sobre árboles de uso múltiple. Trad. Marta S. Daza. Institute for Agricultural Development, U.S.A. Manual #3. P. 1- 45.
- 4 - CAILLIEZ, F. 1989. Estimación del volumen forestal y predicción del rendimiento: Estimación del volumen. Roma, FAO. V. 1. P. 31-41
- 5 - CENTRO AGRONOMICO TROPICAL DE INVESTIGACION Y ENSEÑANZA (CATIE). Especies para leña: Arbustos y árboles para la producción de Energía. Trad. Vera Argüello de Fernández. 1984. Turrialba C.R. P. 204-205, 204-205.

- 6 - CERRITOS, M. E.; GARCIA C., E. V.; MENJIVAR G., J. E.; TEOS C., E.C. 1990. Factores edáficos y climáticos que determinan la calidad de sitio de Eucalyptus camaldulensis en El Salvador. Tesis de Ingeniero Agrónomo. U.E.S., Facultad de Ciencias Agronómicas, San Salvador, El Salv. p. 1-6.

- 7 - COLINVAUX, P.A. 1980. Introducción a la ecología. Trad. María Teresa Aguilar Ortega y Gabriel Velasco. Mexico. D.F. Limusa. P. 355-360

- 8 - DE WIT, C.T.; GOUDRIAN, J. 1974. Simulation of Ecological Processes. Belgium. PUDOC. P. 1-8

- 9 - HUGHELL, D. 1989. Crecimiento de especies de árboles de uso múltiple. In: curso centroamericano de silvicultura de plantaciones de árboles de uso múltiple. 1987. Siguatepeque. (Hond.) Turrialba, C.R. P. sp.

- 10 - _____. 1990. Modelos para la predicción del crecimiento y rendimiento de Eucalyptus camaldulensis, Gliricida sepium, Guazuma ulmifolia y Leucaena leucocephala en América Central; proyecto cultivo de Arboles de uso múltiple. CATIE, Turrialba, C. R. Serie técnica No.22. P. 1-35

- 11 - _____. 1991. Lineamientos para el desarrollo de modelos para la predicción del crecimiento y rendimiento de árboles de uso

- múltiple; Proyecto cultivo de árboles de uso múltiple.
Turrialba, C. R. CATIE-ROCAP. P. 3-8, 37-44, 77-81.
- 12 - _____. 1991. Modelo preliminar para la predicción del
rendimiento de Eucalyptus camaldulensis Dehnh. Silvo-Energía
(C.R.) vol. 41. sp.
- 13 - JACOBS, M. R. 1981. El Eucalipto en la repoblación forestal. 2o.
ed. Roma, FAO. P. 230-231.
- 14 - KREBS, C. J. 1985. Ecología: Estudio de la distribución y
abundancia. Trad. Jorge Blanco Correa. 2o. ed. Mexico.
D.F. Harla. P. 230-231, 369-372.
- 15 - MALLEUX O., J. 1971. Manual de Dasonomía. Lima, Peru. FAO. P.
38-40, 59-61, 67, 121-122.
- 16 - MANUALES PARA LA EDUCACION AGROPECUARIA. 1982. Producción
forestal. Mexico. D.F. Trillas. Pags. 97,98, 100-102.
- 17 - MARTINEZ, H. 1990. CAMALDULENSIS (Eucalyptus camaldulensis):
Especie de árbol de uso múltiple en America Central. Turrialba.
C.R. CATIE. Serie técnica. Informe Técnico Nº 150. V. 1, 58 p.
- 18 - MENDOZA, M. A. 1983. Conceptos básicos de manejo forestal.
Mexico. D.F. Universidad Autónoma de Chapingo. P. 23-27

- 19 - MUÑOZ V., J. E.; QUINTANILLA, J. R.; RIVAS R., F. A.; URBINA O., C. A. 1991. Evaluación de ácido indolbutírico (IBA), en el enraizamiento de estacas de *Eucalyptus camaldulensis* y plantación de huerto clonal. TESIS. Ingeniero Agrónomo U.E.S. Facultad de Ciencias Agronómicas San Salvador, El Salv. 91 P.
- 20 - MUSALEM, M. A. 1989. Los aclareos en plantaciones de uso múltiple: definición de métodos y grado de aclareos. In curso Centroamericano de silvicultura de plantaciones de especies de árboles de uso múltiple, 1988; Liberia, Guanacaste C.R. vol. 2. s.p.
- 21 - ODUM, E.P. 1987. Ecología. Trad. Carlos Gerhard Ottenwalder. 3 ed. Mexico. D.F. Interamericana. p. 306-324.
- 22 - POOLE, R. W. 1974. An Introduction to quantitative Ecology. TOKYO, Japon. McGRAW-HILL. P. 1-21
- 23 - ROSALES, V. M. 1981. Ensayo de simulación para *Pinus milagrosus* bajo régimen automático de aclareo. TESIS, Msc. Mérida, Ven, Universidad de Los Andes. sp.
- 24 - VILLEE, C. A.; SOLOMON, E. P.; DAVIS, P. W. 1987. Biología General. Trad. Ramón Elizondo Mata. Mexico. D.F. Interamericana. P. 1243-1245

25 - YOUNG, R.A. 1991. Introducción a las ciencias forestales. Trad.
José Hurtado Vega. Mexico. D.F. Limusa. P. 190-192, 251-
258, 277-303, 316-318.

ANEXO A-2: Determinación del coeficiente mórfico de un árbol.

$$\text{VOLOUMEN REAL: } V_i = \frac{\pi}{4} \left[\frac{d_1 + d_2}{2} \right]^2 \times h$$

DONDE: d_1 = Diámetro menor de la troza (m)

d_2 = Diámetro mayor de la troza (m)

h = longitud de la troza.

i = Número de la sección

v_i = Volumen de la sección i de la troza

π = constante: 3.1416

ARBOL Nº: 009

$$V_1 = \frac{\pi}{4} \left[\frac{0.136 \text{ m} + 0.170 \text{ m}}{2} \right]^2 \times 2.5 \text{ m} = 0.0289708 \text{ m}^3$$

$$V_2 = \frac{\pi}{4} \left[\frac{0.107 \text{ m} + 0.095 \text{ m}}{2} \right]^2 \times 2.5 \text{ m} = 0.0200194 \text{ m}^3$$

$$V_3 = \frac{\pi}{4} \left[\frac{0.095 \text{ m} + 0.059 \text{ m}}{2} \right]^2 \times 2.5 \text{ m} = 0.0116356 \text{ m}^3$$

$$V_4 = \frac{\pi}{4} \left[\frac{0.059 \text{ m} + 0.045 \text{ m}}{2} \right]^2 \times 2.5 \text{ m} = 0.0053066 \text{ m}^3$$

$$V_5 = \frac{\pi}{4} \left[\frac{0.045 \text{ m} + 0.000 \text{ m}}{2} \right]^2 \times 2.9 \text{ m} = 0.0011524 \text{ m}^3$$

VOLUMEN TOTAL REAL = $V_1 + V_2 + V_3 + V_4 + V_5$

$$V_r = 0.0670848 \text{ m}^3$$

VOLUMEN APARENTE

$$V_a = \frac{\pi}{4} d^2 \cdot ht$$

Donde: V_a = volumen aparente

d = DAP (m)

ht = altura total del árbol

π = 3.1416

$$V_a = \frac{\pi}{4} \times (0.121 \text{ m}^2) \times 12.9 \text{ m}$$

$$V_a = 0.1482262 \text{ m}^3$$

DETERMINACION DEL COEFICIENTE MORFICO

$$CM = V_r / V_a$$

DONDE: V_r = Volumen real del árbol

V_a = Volumen aparente del árbol.

$$CM = 0.0670848 / 0.148262$$

$$CM = 0.4524744$$

ANEXO A-3: Construcción de una tabla de rendimiento

- i) PRIMERA COLUMNA : EDAD, DESDE 5 HASTA 20 AÑOS
 ii) SEGUNDA COLUMNA : AREA BASAL POR HECTAREA (m²)

$$\frac{AB}{t} = r_0 \times B_0 \left[\frac{Ab_{max} - AB_0}{AB_{max}} \right]$$

$$AB_{max} = K = 30 \text{ m}^2/\text{ha.}$$

$$r_0 = 0.522$$

AÑO

AB/Ha.

$$5 \rightarrow ab/\text{ha} = 13.00$$

$$6 \rightarrow \frac{AB}{t} = 0.522 (13.00 \text{ m}^2) \left[\frac{(30 - 13.00) \text{ m}^2}{30 \text{ m}^2} \right] = 3.8454 \text{ m} + 13 \text{ m} = 16.85 \text{ m}^2$$

$$7 \rightarrow \frac{AB}{t} = 0.522 (16.85 \text{ m}^2) \left[\frac{(30 - 16.85) \text{ m}^2}{30 \text{ m}^2} \right] = 3.8554485 \text{ m} + 16.85 \text{ m} = 20.71 \text{ m}^2$$

$$8 \rightarrow \frac{AB}{t} = 0.522 (20.71 \text{ m}^2) \left[\frac{(30 - 20.71) \text{ m}^2}{30 \text{ m}^2} \right] = 3.3476887 \text{ m} + 20.71 \text{ m} = 24.06 \text{ m}^2$$

$$9 \rightarrow \frac{AB}{t} = 0.522 (24.06 \text{ m}^2) \left[\frac{(30 - 24.06) \text{ m}^2}{30 \text{ m}^2} \right] = 2.4867454 \text{ m} + 24.06 \text{ m} = 26.55 \text{ m}^2$$

$$10 \rightarrow \frac{AB}{t} = 0.522 (26.55 \text{ m}^2) \left[\frac{(30 - 26.55) \text{ m}^2}{30 \text{ m}^2} \right] = 1.5937965 \text{ m} + 26.55 \text{ m} = 28.14 \text{ m}^2$$

20

iii) TERCERA COLUMNA : ALTURA (m)

$$\frac{\Delta H}{\Delta t} = r \cdot H_0 \left[\frac{H_{\max} - H_0}{H_{\max}} \right]$$

$$H_{\max} = IS = 20 \text{ m}^2$$

$$r = 0.522$$

EDAD (años)

ALTURA

$$5 \rightarrow \text{Altura } (H_0) = 9.4 \text{ m}$$

$$6 \rightarrow \frac{\Delta H}{\Delta t} = 0.522 (9.4 \text{ m}) \left[\frac{(20 - 9.4) \text{ m}}{20 \text{ m}} \right] = 2.600604 + 9.4 = 12.00 \text{ m}$$

$$7 \rightarrow \frac{\Delta H}{\Delta t} = 0.522 (12.00 \text{ m}) \left[\frac{(20 - 12) \text{ m}}{20 \text{ m}} \right] = 2.5056 + 12 = 14.51 \text{ m}$$

$$8 \rightarrow \frac{\Delta H}{\Delta t} = 0.522 (14.51 \text{ m}) \left[\frac{(20 - 14.51) \text{ m}}{20 \text{ m}} \right] = 2.0791234 + 14.51 = 16.59 \text{ m}$$

$$9 \rightarrow \frac{\Delta H}{\Delta t} = 0.522 (16.59 \text{ m}) \left[\frac{(20 - 16.59) \text{ m}}{20 \text{ m}} \right] = 1.4765266 + 16.59 = 18.07 \text{ m}$$

$$10 \rightarrow \frac{\Delta H}{\Delta t} = 0.522 (18.07 \text{ m}) \left[\frac{(20 - 18.07) \text{ m}}{20 \text{ m}} \right] = 0.9102401 + 18.07 = 18.98 \text{ m}$$

.

.

.

.

.

20

iv) CUARTA COLUMNA: AREA BASAL POR ARBOL (m²)

DIVIDIR CADA VALOR DE LA COLUMNA DOS ENTRE LA DENSIDAD

$$\text{ABi/árbol} = \frac{\text{ABi/ha}}{\text{Densidad}}$$

v) QUINTA COLUMNA: VOLUMEN REAL (m³)

$$V = \text{AB/ha} \times h \times \text{CM}$$

Donde:

AB/ha= Area basal / ha

h= altura

CM= 0.49

EDAD	AB/ha (m ²)		ALTURA (m)		CM	=	VOLUMEN (m ³)
5	13.00	x	9.40	x	0.49	=	59.88
6	16.85	x	12.00	x	0.49	=	99.88
7	20.71	x	14.51	x	0.49	=	147.25
8	24.06	x	16.59	x	0.49	=	195.59
9	26.55	x	18.07	x	0.49	=	235.08
10	28.14	x	18.98	x	0.49	=	261.71

.
.
.
20

vi) COLUMNA SEIS: DIAMETRO POR ARBOL

EDAD (Años)	AB/Arbol (m ²)	1.27AB	DIAMETRO (m)	DIAMETRO (cm)
5	0.0059 =	1.27 (0.0059 m)	0.0866	8.66
6	0.0076 =	1.27 (0.0076 m)	0.0982	9.82
7	0.0094 =	1.27 (0.0094 m)	0.1093	10.93
8	0.0109 =	1.27 (0.0109 m)	0.1177	11.77
9	0.0120 =	1.27 (0.0120 m)	0.1235	12.35
10	0.0127 =	1.27 (0.0127 m)	0.1270	12.70
.				
.				
.				
20				

vii) COLUMNA SIETE: INCREMENTO CORRIENTE ANUAL (ICA)

$$\text{ICA} = \frac{(\text{Vol } 2 - \text{Vol } 1) \text{ m}^3/\text{ha}}{\text{EDAD } 2 - \text{EDAD } 1 (\text{AÑOS})}$$

EDAD	VOLUMEN	ICA (m ³ /ha)
5	59.88	
6	99.08	$\left[\frac{(99.08 - 59.88) \text{ m}^3/\text{ha}}{6 - 5} \right] = 39.85 \text{ m}^3/\text{ha}$
7	147.25	$\left[\frac{(147.25 - 99.08) \text{ m}^3/\text{ha}}{7 - 6} \right] = 48.17 \text{ m}^3/\text{ha}$
8	195.59	$\left[\frac{(195.59 - 147.25) \text{ m}^3/\text{ha}}{8 - 7} \right] = 48.34 \text{ m}^3/\text{ha}$
9	235.08	$\left[\frac{(235.08 - 195.79) \text{ m}^3/\text{ha}}{9 - 8} \right] = 39.49 \text{ m}^3/\text{ha}$
10	261.71	$\left[\frac{(261.71 - 235.08) \text{ m}^3/\text{ha}}{10 - 9} \right] = 26.63 \text{ m}^3/\text{ha}$

viii) COLUMNA OCHO: INCREMENTO MEDIO ANUAL (IMA)

DIVIDIR COLUMNA CINCO ENTRE COLUMNA UNO

$$\text{IMA} = \frac{\text{VOLUMEN ACUMULADO (m}^3\text{/ha)}}{\text{EDAD ACUMULADA. (AÑOS)}}$$

EDAD	VOLUMEN (m ³ /ha)	IMA (m ³ /ha)
5	59.88	11.48
6	99.08	16.51
7	147.25	21.04
8	195.59	24.45
9	235.08	26.12
10	261.71	26.17
.		
.		
.		
20		

CUADRO A-4: Ejemplo de simulación del rendimiento de Eucalyptus camaldulensis.

EDAD (AÑOS)	AB/ha (m ²)	Altura (m)	AB/árbol (m ²)	VOLUMEN (m ³ /ha)	Diam/árbol (cm)	ICA (m ³ /ha)	IMA (m ³ /ha)
5	13.00	9.40	0.0059	59.88	8.66	--	11.95
6	16.85	12.00	0.0076	99.08	9.82	39.85	16.51
7	20.71	14.51	0.0094	147.25	10.93	48.17	21.04
8	24.06	16.59	0.0109	195.59	11.77	48.34	24.45
9	26.55	18.07	0.0120	235.00	12.35	39.49	26.12
10	28.14	18.98	0.0123	261.71	12.70	26.63	26.17
11	29.05	19.49	0.0131	277.43	12.90	15.72	25.22
12	29.53	19.75	0.0133	285.78	3.00	8.35	23.82
13	29.77	19.80	0.0135	289.99	3.09	4.21	22.31
14	29.89	19.94	0.0135	292.04	13.09	2.05	20.86
15	20.95	19.97	0.0135	293.07	13.09	1.03	19.54
16	29.98	19.99	0.0135	293.66	13.09	0.59	18.35
17	29.99	20.00	0.0136	293.90	13.14	0.24	17.29
18	30.00	20.00	0.0136	294.00	13.14	0.10	16.33
19	30.00	20.00	0.0136	294.00	13.14	0.00	15.47
20	30.00	20.00	0.0136	294.00	13.14	0.00	14.70

ANEXO A-5: EJEMPLO DE SIMULACION DE ACLAREOS

i) Año 5 : PRIMER ACLAREO

AB/ha=> antes del aclareo = 13.00 m²/ha N= 2213 árboles/ha

AB/ha=> después del aclareo= 6.50 m²/ha N= 1107 árboles/ha

ii) Año 6 : Utilizar ABo=6.50 m²/ha Para la simulación

$$AB/ha = 0.522 (6.50) \left[\frac{30 - 6.50}{30} \right] = 2.66 + 6.5 = 9.16 \text{ m}^2/\text{ha}$$

iii) Año 7 :

$$AB/ha = 0.522 (9.16) \left[\frac{30 - 9.16}{30} \right] = 3.32 + 9.16 = 12.48 \text{ m}^2/\text{ha}$$

iv) Año 8 :

$$AB/ha = 0.522 (12.48) \left[\frac{30 - 12.48}{30} \right] = 3.80 + 12.48 = 16.28 \text{ m}^2/\text{ha}$$

v) Año 9: segundo aclareo

$$AB/ha = 0.522 (16.28) \left[\frac{30 - 16.28}{30} \right] = 3.89 + 16.28 = 20.17 \text{ m}^2/\text{ha}$$

AB/ha => antes del aclareo= 20.17 m²/ha N= 1107 árboles/ha

AB/ha => después del aclareo= 10.09 m²/ha N= 554 árboles/ha

vi) Año 10: utilizar ABo= 10.09 m²/ha para la simulación

$$AB/ha = 0.522 (10.09) \left[\frac{30 - 10.09}{30} \right] = 3.49 + 10.09 = 13.58 \text{ m}^2/\text{ha}$$

A-6. Programa de lenguaje BASIC, para la elaboración de tablas de rendimiento de plantaciones coetáneas.

```

5   REM
10  CLEAR:CLS:SET F4:V=0
15  DIM A(15)
20  PRINT "Introduzca los datos siguientes.....:";
30  INPUT "K=";K,"IS=";IS,"NF=";NF
35  INPUT "HABRA ACLAREO (S/N)";F$
36  IF F$="N" GOTO 50
37  INPUT "CUANTOS A\OS TENDRAN ACLAREO";F
38  PRINT "Introduzca los a;os que tendrán aclareo";
40  FOR I=1 TO F
41  INPUT A(I)
42  NEXT I
50  PRINT "Introduzca los datos del";5;CHR$(223);"a;o"
51  INPUT "AB/ha.=";A,"ALTURA=";B
60  PRINT "CALCULANDO....."
70  FOR I=1 TO 300
75  NEXT I
85  PRINT "EDAD","AB/ha.", "ALTURA", "AB/ARBOL", "VOL. REAL",
      "DIAM (Ca)", "ICA", "IMA", "NF", "VOL. AP"
90  FOR I=5 TO 20
96  FOR J=5 TO 15
97  IF A(J)=I THEN A=A/2:NF=NF/2
98  NEXT J
99  "DATOS A\O";J;CHR$(223)
100 C=A/NF:D=A*B*0.49
110 D=SQR(4/PI*C)*100
120 IF I=5 THEN 130
125 V=D-F
130 E=D/I
135 VO=A*B
150 PRINT I,A,B,C,D,V,E,NF,ROUND VO
155 A=0.53*A*((K-A)/K)+A
156 B=0.35*B*((IS-B)/IS)+B
157 F=D
160 NEXT I
170 INPUT "Quiere continuar (S/N)";A$
180 IF A$="S" THEN GOTO 10
190 PRINT "FIN DE PROGRAMA"
200 END

```