

UNIVERSIDAD DE COSTA RICA
CENTRO AGRONOMICO TROPICAL DE INVESTIGACION Y ENSEÑANZA
DEPARTAMENTO DE CIENCIAS FORESTALES

CRECIMIENTO Y RENDIMIENTO DE CUPRESSUS LUSITANICA
MILL. EN ANTIOQUIA, COLOMBIA, UTILIZANDO PARCELAS
PERMANENTES

TESIS SOMETIDA A LA CONSIDERACION DE LA COMISION DE ESTUDIOS DE POS GRADO
DEL PROGRAMA CONJUNTO UCR — CATIE PARA OPTAR AL GRADO DE

Magister Scientiae

JORGE IGNACIO DEL VALLE ARANGO

Turrialba, Costa Rica

1975

Esta tesis ha sido aceptada en su forma presente por la Comisión de Estudios de Posgrado del Programa Conjunto UCR-CATIE, como requisito parcial para optar al grado de

Magister Scientiae

JURADO:



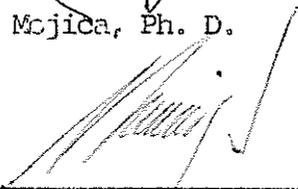
Pablo Rosero, Mag. Agr.

Consejero



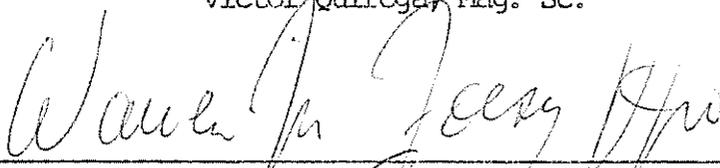
Iván Mojica, Ph. D.

Comité



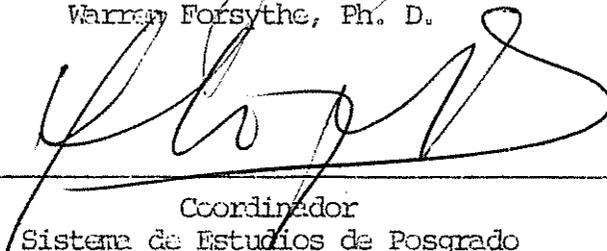
Víctor Quiroga, Mag. Sc.

Comité



Warren Forsythe, Ph. D.

Comité



Coordinador
Sistema de Estudios de Posgrado
de la Universidad de Costa Rica

A mi adorada esposa:

María Cecilia

A mis queridos padres:

Fernando

Margarita

AGRADECIMIENTOS

Quiero agradecer en forma especial al Dr. Heinrich Tschinkel quien dirigió el establecimiento de estas parcelas en 1969, de él recibí tanto enseñanzas como amistad sincera.

Hay tres entidades que han estado vinculadas al programa de parcelas permanentes desde un principio haciendo todo el esfuerzo económico y ejecutando todas las mediciones, estas son: la Secretaría de Agricultura de Antioquia que ha suministrado los servicios del experto forestal Sr. Jaime Abreu; Ciperes de Colombia S.A. por intermedio del Ing. Bernardo Zapata quien ha tenido especial interés por el trabajo; el Departamento de Recursos Forestales de la Facultad de Ciencias Agrícolas ha colaborado a través del experto forestal Sr. Hernán Rodríguez y, además, me ha permitido llevar la coordinación y organización de todo el grupo desde 1972. Sin la eficaz colaboración que durante varios años han prestado estas personas y entidades nunca se habría podido realizar esta tesis.

A todos los miembros de mi comité formado por los profesores Ing. Pablo Rosero, Dr. Iván Mojica, Ing. Víctor Quiroga y Dr. Warren Forsythe les agradezco la cuidadosa labor de leer los manuscritos y las juiciosas sugerencias que tuvieron a bien hacerme con el fin de mejorar el trabajo. Especial reconocimiento guardo para con el Ing. Víctor Quiroga por la generosa ayuda que me brindó en muchos aspectos y por sus señaladas cualidades humanas, así como con el Dr. Iván Mojica por su amistad y consejos.

A mi esposa María Cecilia además del amor y la comprensión, le agradezco la paciente labor de mecanografía que le tomó muchas horas. El Sr. Manuel Zamora también merece mi reconocimiento por su diligencia en el manejo de los datos para la computadora.

Quiero agradecer finalmente a la Universidad Nacional de Colombia por la comisión de estudios que me concedió y a la FAO por la beca que hizo posible mis estudios en el CATIE.

BIOGRAFIA

Soy hijo de Fernando del Valle y de Margarita Arango, en diciembre de 1973 me casé con la señorita María Cecilia Cuartas. Nací en Medellín, Colombia, el 23 de marzo de 1943; en esta misma ciudad realicé los estudios primarios y secundarios graduandome como Bachiller en el Liceo de la Universidad de Antioquia. En el año de 1965 ingresé a la Facultad de Ciencias Agrícolas de la Universidad Nacional de Colombia, seccional de Medellín, con el fin de realizar estudios de Ingeniería Forestal, los cuales terminé en 1969 obteniendo en el año siguiente el título correspondiente.

Desde que finalicé los estudios profesionales he trabajado al servicio del Departamento de Recursos Forestales de esta Universidad, desempeñando labores docentes e investigativas en las disciplinas de dendrología, suelos forestales y manejo de bosques.

Haciendo uso de una beca otorgada por la FAO fui admitido en enero de 1974 en el Departamento de Ciencias Forestales de la Escuela para graduados del CATIE; en septiembre de 1975 recibí el título de Magister Scientiae.

CONTENIDO

	<u>Página</u>
LISTA DE CUADROS	
LISTA DE FIGURAS	
1. INTRODUCCION	1
2. REVISION DE LITERATURA	3
2.1. Estudios sobre el rendimiento del ciprés en Colombia	3
2.2. Expresiones de la densidad del rodal	6
2.3. Distribución diamétrica	11
2.4. Parcelas permanentes y parcelas temporales	12
2.5. Construcción de tablas de rendimiento	13
3. MATERIALES Y METODOS	19
3.1. Localización del área de estudio	19
3.2. Aspectos generales del clima y los suelos del área de estudio	19
3.2.1. Clima	19
3.2.2. Suelos	20
3.3. Normas para el establecimiento y la medición de parcelas permanentes de rendimiento	23
3.3.1. Requisitos que debe llenar cada parcela	24
3.3.2. Forma y tamaño de las parcelas	24
3.3.3. Señalamiento de las parcelas	25
3.3.4. Identificación de los árboles	26
3.3.5. Medición de diámetros	27
3.3.6. Medición de alturas totales.....	27
3.3.7. Formularios de registro	28
3.3.8. Formulario descriptivo: Parcela permanente de crecimiento	30
3.3.9. Materiales necesarios para el trabajo de campo	30
3.4. Analisis de la información	31
3.5. Cálculos	32
3.5.1. Volumen de cada árbol	32
3.5.2. Índice de sitio	33
3.5.3. Crecimiento en área basal y en volumen	33
3.5.4. Rendimiento en volumen área basal y diámetro	34
3.5.5. Diámetro y altura media	35
3.5.6. Índice de espacio de crecimiento	35
3.5.7. Cálculo de la distribución diamétrica	35
3.6. Modelos de rendimiento y crecimiento ensayados	36

	<u>Página</u>
3.6.1. Rendimiento en volumen (V)	37
3.6.2. Rendimiento en área basal (A)	38
3.6.3. Rendimiento en DAP medio (\bar{D}).....	38
3.6.4. Crecimiento en volumen (V')	38
3.6.5. Crecimiento en área basal (A')	39
3.6.6. Criterio para la selección de modelos	39
3.7. Procesamiento de datos	40
4. RESULTADOS	41
4.1. Relaciones entre alturas y diámetros	41
4.2. Distribución diamétrica	42
4.3. Rendimiento y crecimiento de <u>Cupressus lusitanica</u>	54
4.3.1. Rendimiento bruto del volumen en m^3/ha	54
4.3.2. Rendimiento bruto del área basal en m^2/ha	60
4.3.3. Rendimiento del diámetro medio en cm/ha	65
4.3.4. Crecimiento bruto del volumen y del área basal utilizando modelos de crecimiento	65
4.3.4.1. Crecimiento bruto del volumen en $m^3/ha/año$ (V')	65
4.3.4.2. Crecimiento bruto del área basal en $m^2/ha/año$ (A')	72
4.3.5. Crecimiento bruto del volumen y del área basal derivados de las ecuaciones de rendimiento	72
4.4. Algunas relaciones adicionales entre el volumen y el área basal	87
5. DISCUSION	90
5.1. Índice de sitio	90
5.2. Distribución diamétrica	90
5.3. Relación entre alturas y diámetros	93
5.4. Rendimiento y crecimiento de <u>Cupressus lusitanica</u>	95
6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	102
7. RESUMEN	105
8. BIBLIOGRAFIA	108
APENDICE	112

	<u>Página</u>
Cuadro 1. Distribución de las 42 parcelas permanentes de <u>Cupressus lusitanica</u> por municipio y fincas, se indican el número de mediciones y la edad en la primera y en la última medición de cada parcela.....	20
Cuadro 2. Distribución de frecuencias en las clases diamétricas observadas y calculadas mediante una función gamma para las 3 clases de edad establecidas. Sitio 1.	48
Cuadro 3. Distribución de frecuencias en las clases diamétricas observadas y calculadas mediante una función gamma para las 3 clases de edad establecidas. Sitio 2.	50
Cuadro 4. Distribución de frecuencias en las clases diamétricas observadas y calculadas mediante una función gamma para las 3 clases de edad establecidas. Sitio 3.	52
Cuadro 5. Modelos del rendimiento bruto del volumen en m ³ /ha para los árboles de todas las clases de DAP; se indican sus parámetros, significación estadística y coeficiente de determinación	55
Cuadro 6. Modelos de rendimiento bruto del volumen en m ³ /ha para los árboles de DAP>10 cm; se indican sus parámetros, significación estadística y coeficientes de determinación	57
Cuadro 7. Modelos del rendimiento bruto del área basal en m ² /ha para los árboles de todas las clases de DAP; se indican sus parámetros significación estadística y coeficiente de determinación.....	61
Cuadro 8. Modelos del rendimiento bruto del área basal en m ² /ha para los árboles de DAP>10 cm; se indican sus parámetros, constante, significación estadística y coeficiente de determinación.	62
Cuadro 9. Modelos de rendimiento del DAP medio (\bar{D}) en cm/ha; se indican sus parámetros, significación estadística y coeficiente de determinación.....	66
Cuadro 10. Tabla de rendimiento bruto de <u>Cupressus lusitanica</u> para diferentes índices de sitio	67
Cuadro 11. Modelos de crecimiento bruto del volumen en m ³ /ha/año; se indican sus parámetros, significación estadística y coeficiente de determinación	70
Cuadro 12. Modelos de crecimiento bruto del área basal en m ² /ha/año; se indican sus parámetros significación estadística y coeficiente de determinación	73

Cuadro 13.	Crecimientos corrientes y promedios máximos del área basal en $m^2/ha/año$ y edad a la cual se presentan en diferentes calidades de sitio	78
Cuadro 14.	Crecimientos corrientes y promedios máximos del volumen en $m^3/ha/año$ y edad a la cual se presentan en diferentes calidades de sitio.	78

LISTA DE FIGURAS

Fig. 1.	Relación entre crecimiento acumulado e incremento corriente y medio anual. Tomado de Loetsch <u>et al</u> (29).	16
Fig. 2.	Distribución de las parcelas permanentes estudiadas por edad e índice de sitio calculado con la última medición, las líneas unen mediciones sucesivas de la misma parcela	42
Fig. 3.	Relaciones entre la altura total y el diámetro a la altura del pecho para las tres clases de sitio	44
Fig. 4.	Curvas de frecuencias de diámetros ajustados a la función gamma para tres clases de edad en la clase de sitio 1 ($IS < 12$ m)	49
Fig. 5.	Curvas de frecuencias de diámetros ajustadas a la función gamma para tres clases de edad en la clase de sitio 2 ($12 < IS < 16$)	51
Fig. 6.	Curva de frecuencias de diámetros ajustadas a la función gamma para tres clases de edad en la clase de sitio 3 ($IS > 16$ m)	53
Fig. 7.	Volumen de <u>Cupressus lusitanica</u> en relación con la edad y el sitio. A-todos los árboles; B-árboles con DAP > 10 cm.	59
Fig. 8.	Área basal de <u>Cupressus lusitanica</u> en relación con la edad y el sitio. A-todos los árboles; B-árboles con DAP > 10 cm.	64
Fig. 9.	Crecimiento bruto del área basal de <u>Cupressus lusitanica</u> en cuatro sitios diferentes.	77
Fig. 10.	Crecimiento bruto del volumen de <u>Cupressus lusitanica</u> en cuatro sitios diferentes.	79

	<u>Página</u>
Fig. 11. Crecimiento esperado del área basal para varias edades y densidades en los índices de sitio 16 y 20....	81
Fig. 12. Proyección del área basal a varias edades y densidades iniciales para los índices de sitio 16 y 20	83
Fig. 13. Rendimiento esperado del volumen para varias edades y densidades	84
Fig. 14. Crecimiento bruto esperado del volumen para varias edades y densidades en los índices de sitio 16 y 20.	86
Fig. 15. Proyección del volumen a varias edades y densidades iniciales para los índices de sitio 16 y 20.....	88
Fig. 16. Efecto de dos alternativas de manejo en el rendimiento de un rodal de índice de sitio 20 y área basal a los 10 años de 30 m ² /ha. Línea gruesa continua - tala rasa a los 25 años. Línea gruesa interrumpida - dos aprovechamientos intermedios antes de la tala rasa..	101

APENDICE

Cuadro 1A. Información suministrada por la primera medición (año 1969) de las 42 parcelas permanentes de <u>Cupressus lusitanica</u> utilizadas en este estudio	113
Cuadro 2A. Información suministrada por la segunda medición (año 1970) de las 42 parcelas permanentes de <u>Cupressus lusitanica</u> utilizadas en este estudio	114
Cuadro 3A. Información suministrada por la tercera medición (año 1972) de las 42 parcelas permanentes de <u>Cupressus lusitanica</u> utilizadas en este estudio	115
Cuadro 4A. Información suministrada por la cuarta medición (año 1974) de 27 parcelas permanentes de <u>Cupressus lusitanica</u>	
Cuadro 5A. Cálculos de rendimiento y crecimiento para la primera y la segunda medición de la parcela permanente de <u>Cupressus lusitanica</u> N° 56	117
Cuadro 6A. Cálculos de rendimiento y crecimiento para la tercera y cuarta medición de la parcela permanente de <u>Cupressus lusitanica</u> N° 56	118

DEMOSTRACION	119
Formulario 1: DAP y clases de copa	
Formulario 2: Mediciones de alturas	
Formulario descriptivo de las parcelas	

GLOSARIO DE TERMINOS UTILIZADOS EN LAS ECUACIONES (*)

- A = área basal
- A' = crecimiento en área basal
- $A_{>10}$ = área basal de árboles con DAP >10 cm
- A_0 = área basal inicial
- A_p = área basal proyectada
- α = un exponente de la función beta
- β = un exponente de la función beta
- C = volumen de árboles cortados
- D = diámetro a la altura del pecho (=DAP)
- \bar{D} = diámetro medio a la altura del pecho (=DAP medio)
- DR = densidad relativa
- E = edad
- e = base de los logaritmos naturales
- E_0 = edad inicial
- E_p = edad proyectada
- exp = exponente
- F = factor morfológico
- H = altura promedio de los árboles dominantes
- I = volumen de árboles que ingresan a la clase mínima
- IS = índice de sitio
- IEC = índice de espacio de crecimiento
- K = constante que depende de la especie
- log = logaritmo decimal
- ln = logaritmo natural
- M = volumen de árboles muertos

(*) A menos de que se indique expresamente algo diferente, éstos serán los significados de los términos empleados.

MC = volumen de árboles muertos y cortados

N = número de árboles

V = volumen

V' = crecimiento en volumen

V_{>10} = volumen de árboles con DAP > 10 cm

V₀ = volumen inicial

V_p = volumen proyectado

V₁ = volumen en la primera medición

V₂ = volumen en la segunda medición

1. INTRODUCCIÓN.

El ciprés, Cupressus lusitanica Mill, ha venido siendo plantado con fines industriales desde hace algunos años en las montañas del departamento de Antioquia, Colombia, utilizándose parte de su madera como materia prima en la elaboración de pulpa para papel y para cartón en las fábricas de Medellín y Cali. Otra parte de esta madera es aserrada encontrando un mercado seguro en Medellín.

Simultáneamente con el aumento en la reforestación con esta especie, se han presentado varios problemas que evidencian la necesidad de incrementar los conocimientos locales respecto al comportamiento de esta especie. Algunos de estos problemas se relacionan con el crecimiento tan variable que se ha observado, llegando a ser su plantación un negocio altamente rentable en algunos lugares, en tanto que en otros, una mala inversión. Todavía hoy se sabe poco sobre el crecimiento y rendimiento de esta especie en diferentes sitios y bajo diferentes regímenes de manejo posible. Durante años los únicos datos disponibles sobre el ciprés en Colombia fueron los obtenidos por el Departamento de Recursos Forestales de la Universidad Nacional, en la Estación Forestal Experimental de Piedras Blancas; sin embargo, estos datos además de limitados, no se pueden generalizar a todas las zonas plantadas o potencialmente aptas para ciprés comprobándose su ineficacia en muchos casos.

La importancia que tiene conseguir unos datos más reales y representativos de esta especie, se puede comprender si se tiene en cuenta que el IIDE-REMA (Instituto para el Desarrollo de los Recursos Naturales Renovables), ha elaborado un proyecto de reforestación de 200.000 hectáreas (ha) en Colombia, siendo el ciprés una de las principales especies consideradas.

Lo anterior motivó a la Universidad Nacional a buscar información sobre esta especie en otras áreas plantadas en el departamento de Antioquia, así como

uniformar las mediciones que se hicieran. Con este fin el Departamento de Recursos Forestales suscribió en 1968 un acuerdo de colaboración con la Secretaría de Agricultura de Antioquia, y con Cipreses de Colombia S.A., para que colaboraran en el establecimiento y medición de parcelas permanentes de ciprés. En cumplimiento de dicho acuerdo, el Dr. Heinrich Tschinkel, experto de FAO en Colombia en aquel entonces y adscrito al Departamento de Recursos Forestales, dirigió en 1969 el establecimiento y medición de 42 parcelas permanentes de ciprés. Inicialmente se consideraron mediciones anuales, pero motivos económicos y el conocimiento de que esta especie no tiene un crecimiento muy rápido han llevado a aumentar el período de medición a dos años. En 1973 el defoliador Glena bisulca Ring. atacó las plantaciones de ciprés, y con especialidad las del municipio de Caldas, causando grandes daños por lo que hubo la necesidad de aprovechar algunas de ellas en las cuales se encontraban parcelas permanentes. Por esta razón de las 42 parcelas originalmente establecidas actualmente sólo se conservan 26. Aunque se han reemplazado las parcelas perdidas e inclusive, se ha aumentado el total de ellas, en este análisis sólo se incluyeron aquellas parcelas que hayan sido medidas periódicamente 3 ó 4 veces durante los años 1969, 1970, 1972 y 1974.

El principal objetivo de esta tesis es derivar ecuaciones de curvas de rendimiento y crecimiento para C. lusitanica en función de la edad, el índice de sitio y la densidad. Estas curvas son esenciales para los estudios económicos de rentabilidad y para establecer alternativas de manejo de las plantaciones.

2. REVISION DE LITERATURA

2.1. Estudios sobre el rendimiento del ciprés en Colombia.

La mayoría de los estudios silviculturales y económicos del ciprés se han basado en las tablas de rendimiento para una estación promedio de Illenshik (20, 26). Los estudios de este autor presentan dos dificultades importantes para su utilización a nivel departamental: en primer lugar, casi todos sus datos fueron tomados en la Estación Forestal Experimental de Piedras Blancas y, en segundo lugar, no da una definición clara de lo que entiende por estación promedio; estos dos factores no permiten utilizar dicha información sino a nivel local. Los estudios más recientes sobre el rendimiento del ciprés en este país han sido los de Tschinkel (46, 47) quien con base en la tabla de volumen de Barrera (3) y en las primeras mediciones de las parcelas permanentes, motivo de este estudio, completando además con parcelas temporales, construyó curvas de índices de sitio para C. lusitanica que pueden extenderse a todas las zonas plantadas con esta especie en Antioquia. Las curvas de índice de sitio con edad básica de 15 años siguen la siguiente expresión (46):

$$\log IS = \log H - 1.80435 (1/15 - 1/E) \dots\dots\dots/1/$$

Donde: IS = índice de sitio con base en 15 años de edad; altura en metros (m) a los 15 años.

H = altura promedio de los árboles dominantes en m.

E = edad en años.

Como los términos de "sitio", "localidad" o "estación" han tenido diversas interpretaciones, vale la pena definir lo que en los estudios sobre el ciprés en Antioquia se quiere dar a entender con ellos. Se puede definir el "sitio" como el conjunto de factores climáticos y edáficos que en un determinado lugar afectan el crecimiento de una especie, de esta manera, el índice de si-

tio sería un indicador de qué tan favorables son éstos factores para el crecimiento del ciprés. Varios componentes del crecimiento se han usado como índices tales como diámetro, área basal, altura o volumen a cierta edad base (8, 25, 27, 29, 43). Actualmente se considera que la altura de los árboles dominantes es el mejor índice de sitio, puesto que otros parámetros del crecimiento dependen, además del sitio, de la densidad (22, 29, 43, 47). Esta es la razón por la cual para los estudios del ciprés se utilizó como índice de sitio la altura de los árboles dominantes a los 15 años de edad, entendiéndose por ésto la altura promedio de los 250 árboles por hectárea de mayor diámetro (47, 48).

Aunque se reconoce que el término sitio así como sus asociados: clase de sitio o índice de sitio, son traducciones no muy buenas del inglés, no se creyó conveniente adoptar otros términos debido a la gran difusión que estos términos han tenido en el idioma castellano. La verdad es que en otros idiomas tiene nombres quizá más adecuados, en francés por ejemplo se le llama "clase de fertilidad". Pero el sitio es un concepto más integrado que fertilidad, la que da idea más bien de la parte química del suelo. Un término más adecuado, pero que no ha sido utilizado sería el de índice de productividad.

En 1964 Barrera (3) había confeccionado una tabla de volúmenes para el ciprés de la cual Tschinkel (47, 48) dedujo la siguiente expresión:

$$V = 0.00888 + 0.00003D^2H \dots\dots\dots/2/$$

Donde : V = volumen total del árbol con corteza en metros cúbicos (m³).

D = diámetro a la altura del pecho en centímetros (cm).

H = altura total en metros (m).

Manteniendo el IS y la edad como variables independientes, el citado autor calculó regresiones con cada una de las siguientes variables como dependientes: diámetro promedio, área basal total, área basal de árboles de 10 cm o

más de diámetro a la altura del pecho ($DAP \geq 10$ cm), volumen total y volumen de árboles de $DAP \geq 10$ cm. Las ecuaciones obtenidas fueron las siguientes:

Area basal total en m^2/ha (A)

$$\text{Log } A = 0.9360 - 7.7603(1/E) + 0.03389(IS/E) + 0.0370(IS) \dots\dots\dots/3/$$

$$R^2 = 0.83$$

Diámetro medio por hectárea en cm (\bar{D})

$$\bar{D} = 3.51 - 44.95(1/E) + 0.79(IS) \dots\dots\dots/4/$$

$$R^2 = 0.88$$

Volumen total en m^3/ha (V)

$$\text{Log } V = 0.9788 - 0.8397(1/E) - 0.0840(IS) - 0.2131(IS/E) \dots\dots\dots/5/$$

$$R^2 = 0.88$$

Area basal de árboles con $DAP \geq 10$ cm en m^2/ha ($A_{\geq 10}$)

$$A_{\geq 10} = -22.91 + 46.36(1/E) + 3.64(IS) - 13.32(IS/E) \dots\dots\dots/6/$$

$$R^2 = 0.86$$

Volumen de árboles con $DAP > 10$ cm en m^3/ha ($V_{>10}$)

$$V_{>10} = -43.5 + 1.14 V \dots\dots\dots/7/$$

$$R^2 = 0.94$$

Debido al pequeño número de observaciones en que se basaron estas ecuaciones los resultados de su aplicación deben tomarse con recelo.

Se nota que en estas funciones no se incluyen ninguna expresión de la densidad como variable independiente, por esta razón no se pueden utilizar en muchos aspectos del manejo. En otras ecuaciones Tschinkel (44) introdujo el número de árboles por hectárea a los modelos mencionados. En esta forma obtuvo correlaciones mejores.

En un informe interno no publicado sobre el resultado de las primeras mediciones de estas parcelas escrito por el mismo autor Tschinkel (46) se calcularon funciones ya no del rendimiento sino del crecimiento anual.

Las más interesantes fueron:

Crecimiento bruto en volumen $m^3/ha/año$ (V')

$$V' = -15.164 + 1.549H + 1 + 104.44(1/E) \dots\dots\dots/8/$$

$$R^2 = 0.48$$

$$V' = -8.91 + 0.047H + 112.73(1/E) + 0.545A \dots\dots\dots/9/$$

$$R^2 = 0.61$$

Donde : H = altura de los árboles dominantes en m.

Crecimiento bruto en área basal en $m^2/ha/año$ (A')

$$A' = 1.811 - 0.123E + 0.074H + 0.570N \dots\dots\dots/10/$$

$$R^2 = 0.44$$

Donde: N = número de árboles por ha.

2.2. Expresiones de la densidad del rodal.

La densidad puede interpretarse en un sentido amplio como una cantidad que define el grado en que el suelo forestal es utilizado por los árboles (29).

Se han ideado varias formas de expresar la densidad de un rodal o plantación.

Revisiones críticas sobre este aspecto han sido presentadas por varios autores (5, 7, 15, 29, 32). A continuación se detallan las medidas de la densidad encontradas en la literatura revisada.

a) Índice de la densidad del rodal.

Reineke (38) es el autor del "índice de la densidad del rodal" que se ha popularizado mucho en los Estados Unidos. Se basa en el establecimiento de una relación entre el número de árboles (N) y el diámetro medio por unidad de superficie (\bar{D}), la cual se encuentra representada por una línea recta al dibujarla en papel logarítmico. El índice de densidad del rodal según este autor, será el número de árboles en esta línea recta que corresponda a un DAP medio de 25 cm. Se supone que en esta forma el índice de sitio y la edad que-

dan eliminadas como variables, o sea:

$$\log N = -1.605 \log \bar{D} - K \dots\dots\dots/11/$$

Donde: K = Constante que depende de la especie.

Cuando K es 4.605 la curva pasa por el M que representa 25 cm de DAP medio, esta línea se toma como curva de referencia.

b) Relación entre el área de los árboles con el área del rodal.

De acuerdo con la concepción de Chismas y Schumacher (10), el espacio requerido por un árbol para crecer es independiente de la edad y el sitio dependiendo sólo de sus dimensiones, y puede expresarse como función del diámetro por una parábola de segundo orden:

$$\text{Área de un árbol} = b_0 + b_1d + b_2d^2 \dots\dots\dots/12/$$

Luego la razón del área de árboles al área del rodal se calcula así:

$$R = \frac{b_0N + b_1\sum d + b_2\sum d^2}{\text{área}} \dots\dots\dots/13/$$

Donde: R = relación del área ocupada por los árboles al área del rodal.

d = DAP de los árboles individuales.

N = número de árboles.

Los coeficientes de regresión b_0 , b_1 , b_2 se obtienen para rodales normales en la siguiente forma:

$$\sum (\text{área de un árbol}) = 1.0 = b_0N + b_1 \sum d + b_2 \sum d^2$$

c) Porcentaje de ocupación.

Ginrich (23) utiliza el área basal, el número de árboles y el DAP medio para calcular el porcentaje de ecuación.

Para una determinada combinación de estas variables, se puede conocer por medio de un gráfico el porcentaje de ocupación con relación a la condición normal. En esta forma se puede saber si un rodal está sobreocupado, ocupado o subocupado.

d) Densidad relativa.

Curtis (13) empleó con rodales de Douglas-Fir una medida relativa del área basal y que denominó densidad relativa (DR), la cual se obtiene con la siguiente relación:

$$DR = \frac{\text{área basal observada}}{\text{área basal predicha}} \dots\dots\dots/15/$$

donde el área basal predicha es el área basal promedia de rodales "bien ocupados" expresada como una función de la edad y el índice de sitio. Una densidad relativa de 1.0 indica que un rodal tiene un área basal igual al promedio de aquella que tenían las parcelas empleadas en el estudio.

Expresiones de la densidad como esta han sido empleadas con mucha frecuencia en la silvicultura y el manejo de bosques como medidas relativas de la densidad del rodal, recibiendo usualmente el nombre de "área basal relativa" o "volumen relativo" (8, 25, 29), sólo que se reemplaza el área basal predicha con el área basal (o el volumen) normal obtenida de una tabla de rendimiento normal.

Tanto este método como las dos inmediatamente anteriores adolecen de un defecto y es que la condición de "bien ocupado" de rodal "bien ocupado" es un concepto eminentemente subjetivo. No existe una norma clara que permita distinguir un rodal normal de otro que no lo es a no ser que las diferencias de cobertura del terreno sean exageradas entre los dos rodales.

e) Índice de espacio de crecimiento.

Los holandeses han empleado el índice de espacio de crecimiento, que también aparece en algunos trabajos en Latinoamérica (39, 42, 51).

Se expresa como el porcentaje de la relación entre el espaciamiento promedio y la altura de los árboles dominantes.

f) Factor de competencia de la copa.

Este factor propuesto por Krajicek et al (28), relaciona el área máxima

ocupada por la copa con el área basal, ha sido utilizada con éxito en la fotointerpretación forestal.

g) Volumen y área basal como medidas de la densidad.

La naturaleza misma del volumen como medida que integra el área basal, la altura y el factor de forma parecería ser una medida ideal de la densidad y sido usada con este objeto (8, 29). La principal desventaja del volumen como medida absoluta de la densidad está en que no es posible medirlo directamente, sino que debe derivarse de otras mediciones. Además, está estrechamente relacionado tanto con la edad como con la calidad del sitio. Esta última desventaja también cuenta para el área basal que es quizá la medida más utilizada de la densidad del rodal. El área basal como medida absoluta de la densidad puede ser determinada en forma objetiva y simple utilizando el censo angular de Bitterlich. Para una especie particular y para una edad y sitio dados, el área basal indica en qué extensión el área disponible es utilizada. Se la usa por esto con frecuencia como un patrón con el cual se pueden comparar otras medidas de la densidad (29).

A pesar de la aparente diferencia entre los métodos de expresar la densidad de un rodal, parece ser que existen analogías y equivalencias entre numerosas medidas relativas e índices de acuerdo con los resultados de Curtis (15) (15). Nelson y Brender (32) también compararon las medidas más comúnmente utilizadas para expresar la densidad y concluyeron que, debido a la similitud entre los resultados obtenidos, la selección de un método para expresar la densidad del rodal queda básicamente a la discreción del investigador, pero recomiendan la aplicación del área basal por ser una medida directa y no un índice.

El uso del área basal como una medida de la densidad en contraposición con los índices y medidas relativas es un tema de discusión aún no resuelto

que tiene sus defensores y detractores. Se arguye que el área basal depende en parte de la edad y del sitio (5, 13), de aquí que en una ecuación de regresión la predicción del crecimiento como una función de la edad, el índice de sitio y el área basal, el coeficiente del área basal no se puede interpretar necesariamente como una medida del efecto de la densidad en el crecimiento. La significación del área basal puede simplemente indicar que las expresiones de la edad y el índice de sitio son inadecuadas (13). Por otra parte otros consideran que la dependencia del área basal de la edad y el sitio puede no ser una desventaja, además, es una medida directa, objetiva y más simple que las medidas relativas (32).

El efecto de la densidad en el crecimiento ha sido motivo de disputa. Moller, citado por Curtis (13), revisó la literatura europea sobre este aspecto y concluyó que el crecimiento en volumen es poco afectado por la densidad en un rango amplio de variación. Contra esta opinión hay una gran cantidad de investigaciones en América, sobre todo con especies que se manejan con turnos más cortos que en Europa, las cuales sin lugar a duda muestran incrementos en volumen debido a aumentos correspondientes en el área basal (9, 11, 13, 25, 34, 44). También en el Africa se han obtenido resultados similares con varias especies de coníferas (12, 30). Curtis (13) partiendo de la idea de que el efecto de la densidad se anula sólo después de que transcurra el período de rápido crecimiento hace el siguiente razonamiento:

$$V = F.A.H. \dots\dots\dots/19/$$

Donde V es el volumen de un rodal, F es el factor mórfoico que se asume constante y H es la altura del rodal.

Diferenciando con respecto al tiempo T:

$$\frac{dV}{dT} = FA \left(\frac{dH}{dT} \right) + FH \left(\frac{dA}{dT} \right) \dots\dots\dots/20/$$

Así, la tasa de crecimiento del volumen contiene un término proporcional al área basal, el cual sólo puede ser despreciado si el crecimiento en altura es insignificante. Este razonamiento además de conciliar opiniones aparentemente contrarias, destaca la importancia del área basal en las plantaciones jóvenes.

2.3. Distribución diamétrica.

Varios modelos de distribución de probabilidades y de crecimiento de poblaciones se han adoptado con el fin de conseguir distribuciones diamétricas teóricas, que se adapten satisfactoriamente a los datos reales. Loetsch et al (29) recomiendan el modelo de función beta que es muy versátil y está representado por la siguiente ecuación:

$$y = \text{cons. } (x-a)^\alpha (b-x)^\beta \dots\dots\dots/16/$$

Donde: y = número de árboles

x = clase de DAP

a = límite inferior de la función beta

b = límite superior de la función beta

α, β = exponentes de la función beta

Nelson (33) comparó la función gamma con la ecuación de crecimiento de poblaciones de Pearh-Reed demostrando que para Pinus taeda esta última se adapta mejor a los datos experimentales. La forma lineal de la ecuación crecimiento es :

$$\log \frac{(100-y)}{y} = b_0 + b_1x + b_2x^2 + b_3x^3 \dots\dots\dots/17/$$

Recientemente Bailey (1) ha incorporado la función de Weibul a este tipo de estudios, con resultados muy satisfactorios. Dicha función es:

$$y = c/b(x/b)^{c-1} \exp\{-(x/b)^c\} \dots\dots\dots/18/$$

La forma de la ecuación depende del valor de "c".

Para caracterizar adecuadamente una distribución diamétrica, no basta usualmente con encontrar valores como su media, rango y desviación estandar. Frecuentemente se calculan también los coeficientes de asimetría y exceso (sesgo), para los cuales es necesario calcular previamente los momentos de segundo hasta cuarto orden (29).

2.4. Parcelas permanentes y parcelas temporales.

Los datos básicos para la obtención de ecuaciones de rendimiento y de crecimiento se obtienen de parcelas. Cuando estas parcelas se marcan en el campo y se miden periódicamente se llaman parcelas permanentes, en el caso de que sólo se midan en una ocasión se les denomina parcelas temporales. Los autores están de acuerdo en que las parcelas permanentes aunque son más costosas, suministran más y mejor información que las temporales (8, 25, 29). Mientras las parcelas permanentes pueden suministrar en forma directa información sobre crecimiento corriente y medio así como rendimiento bruto y neto, mortandad y cortas, las parcelas temporales en forma directa sirven para estimar rendimiento e incremento neto, aunque con análisis matemáticos y mediciones más sofisticadas se pueden adaptar para estimar rendimiento neto y crecimiento corriente como lo ha demostrado Curtis (13).

Las parcelas permanentes pueden además de su uso en estudios de rendimiento y crecimiento, utilizarse para experimentar tratamientos al bosque como estudios de raleos, fertilización, espaciamiento (27). Por último, se han utilizado mucho en inventarios forestales permanentes (25, 27, 29).

Las parcelas permanentes tiene además un papel más destacado en las investigaciones forestales en los países tropicales que en otras regiones del mundo. Esto se justifica por el hecho tan conocido de la no existencia de anillos de crecimiento en la mayoría de las especies de árboles que crecen en

el trópico. En consecuencia los estudios de crecimiento tienen que basarse en mediciones periódicas de plantaciones de edad conocida. En las zonas templadas y frías por el contrario, es posible conocer la edad y el crecimiento de cualquier árbol o bosque por medio del análisis de los anillos de crecimiento (8, 13, 25, 29).

2.5. Construcción de tablas de rendimiento.

Aunque en Europa se hicieron tablas de rendimiento desde hace más de cien años, aún se investigan activamente las técnicas para desarrollar estas tablas (11, 12, 25, 34). Las tablas de rendimiento "normales" fueron muy conocidas y aún hoy se construyen este tipo de tablas (8, 18). Partiendo de un concepto subjetivo de la densidad se seleccionan parcelas de densidad normal o totalmente pobladas, o sean aquellas parcelas que ocupan totalmente un sitio y hacen el máximo uso de su potencial para el crecimiento, según la definición de Husch (25). En estas tablas la variable densidad queda pues reducida a una constante. Pocos forestales, dice Curtis (15), creen actualmente que el desarrollo de un rodal tal como lo muestran las tablas normales sea una meta racional de manejo.

Actualmente una tabla de rendimiento debe responder a funciones que den alternativas para el manejo, permitiendo pronosticar para un determinado sitio y densidad el volumen para cierta edad. Estas tablas responden a dos relaciones básicas (15):

$$1) \text{ Crecimiento} = \frac{dV}{dT} = f_1 (\text{edad, sitio, densidad})$$

$$2) \text{ Rendimiento} = y = f_2 (\text{edad, sitio, densidad}) = f(f_1) \\ = \Sigma (\text{incremento anual})$$

Para un determinado momento y sitio sólo la densidad puede ser objeto de manipulaciones.

Las funciones anteriores indican que es posible obtener tanto ecuaciones de rendimiento como de crecimiento, ya sea con parcelas temporales como permanentes. Con las primeras se obtendría primero la relación N°2, o sea el rendimiento, y derivando se obtendría la relación N°1 de crecimiento. Con las parcelas permanentes puede seguirse esta misma dirección, pero debido a que ellas suministran directamente el incremento, es más lógico encontrar primero el crecimiento y por integración se tendría la función de rendimiento.

Tratándose de parcelas permanentes ambos métodos son matemáticamente correctos y han sido utilizados recientemente. Buckman (9), Curtis (13) y Nelson (33) se han inclinado por obtener primero la función de crecimiento. Por el contrario, otros investigadores se basan en la función de rendimiento (11, 13, 39). Queda por último la alternativa de obtener por métodos de regresión funciones independientes para el crecimiento y el rendimiento. Se ve como las tablas de rendimiento tradicionales han sido reemplazadas por funciones que se obtienen de la integración matemática de las ecuaciones de crecimiento, expresadas principalmente como una función de la edad. Todos los investigadores mencionados han trabajado en rodales costáneos. En rodales disetáneos la edad tiene un significado nebuloso que impone dificultades en aplicar la técnica mostrada. Moser y Hall (31) utilizando parcelas permanentes han descrito una nueva técnica que permite desarrollar funciones de rendimiento y crecimiento compatibles para este tipo de bosques.

El desarrollo del concepto de derivación-integración en las ecuaciones de crecimiento y rendimiento es bastante reciente y aparentemente sólo fue utilizado por primera vez en Estados Unidos en 1962 por Buckman (9), sin embargo, desde el punto de vista teórico, por supuesto, era bien conocido pues como dicen Bruce y Schumacher (8) toda persona familiarizada con el cálculo diferencial se percatará de que la primera derivada de la ecuación de rendi-

miento (V) con respecto a la edad (E) es la expresión de la curva de crecimiento corriente anual; es máxima en la edad para la cual su derivada correspondiente (es decir la segunda derivada del rendimiento con respecto a la edad) es cero. Además, puesto que el crecimiento medio anual se pueda expresar como Y/E , es máximo en la edad para la cual la primera derivada de Y/E con respecto a E es cero.

La Fig. 1 tomada de Loetsch et al (29) muestra la dinámica del crecimiento de un árbol o de un rodal. La Fig. 1A representa la característica curva en forma de S del crecimiento acumulado (rendimiento). mientras que en la Fig. 1B aparece la primera derivada de la curva trazada en la Fig. 1A, que corresponde al incremento corriente anual. La curva tiene un máximo y, como regla, dos puntos de inflexión. Se pueden discernir tres fases: la fase adolescente entre el origen y el primer punto de inflexión, la fase de vigor total o madurez entre los dos puntos de inflexión y, la fase de senectud más allá del segundo punto de inflexión. Como suplemento, la línea interrumpida representa el crecimiento medio anual. Esta curva tiene menor pendiente y también tiene un máximo en el punto de intersección con la curva del incremento corriente anual. Antes de este punto, el incremento medio anual es siempre menor que el corriente, después de él será siempre mayor.

A continuación se detallan algunas funciones que han sido utilizadas con éxito en este tipo de estudio.

a) Rendimiento en volumen:

Schumacher (39)

$$\log V = b_0 + b_1(1/E) + b_2(IS) + b_3(IS/E) \dots\dots\dots/21/$$

Clutter (11)

$$\ln V = b_0 + b_1(IS) + b_2(\ln A) + b_3/E \dots\dots\dots/22/$$

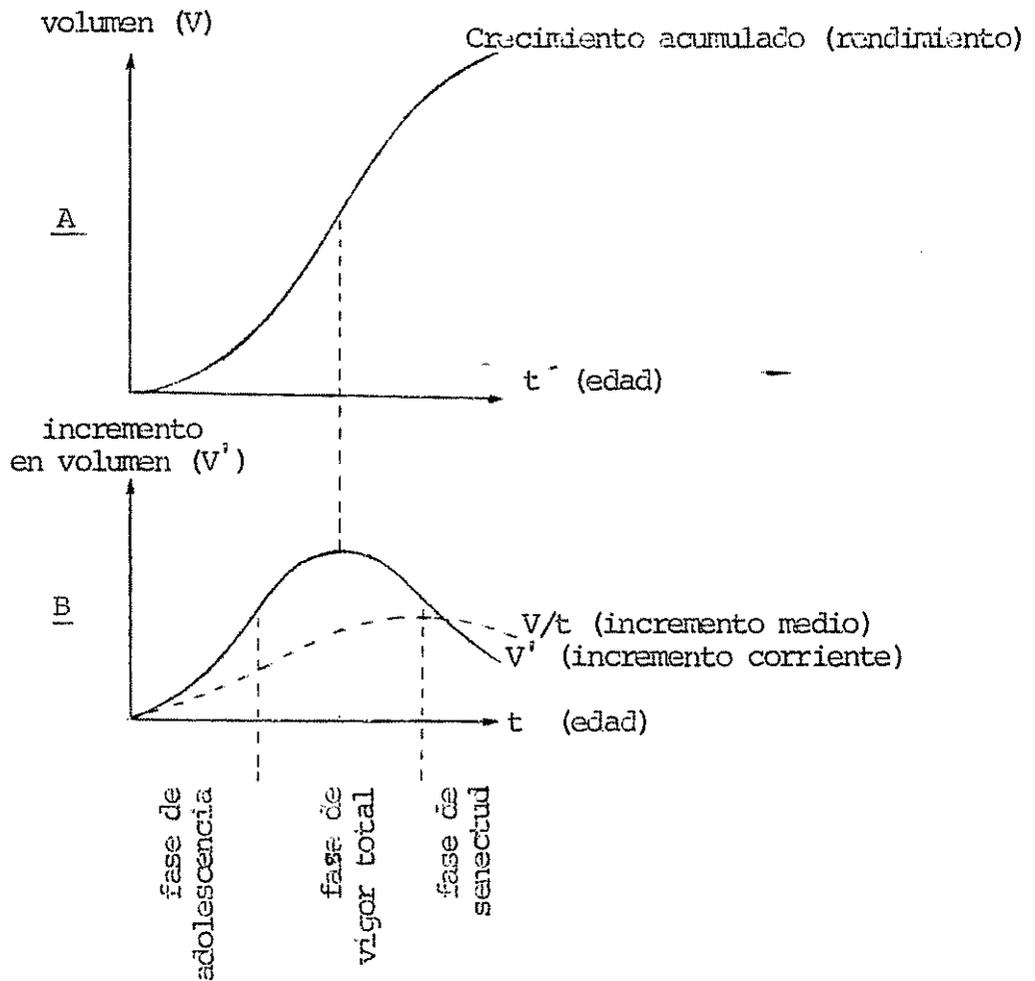


Fig. 1. Relación entre crecimiento acumulado e incremento corriente y medio anual. Tomado de Loetsch *et al.* (25).

b) Rendimiento en área basal:

Curtis (13)

$$A = b_0 + b_1(\log E) (\log IS) \dots\dots\dots/23/$$

Clutter (11)

$$\ln A = b_0 + b_1 (IS) + b_2/E + b_3(\ln A_1) + b_4 (IS)/E \dots\dots\dots/24/$$

Donde: A_1 = área basal a los 20 años.

c) Crecimiento en volumen o sea el incremento corriente anual en volumen.

Clutter (11)

$$\frac{dV}{dE} = V^* (b_1/E + b_2(\ln A) + b_0 + b_3(IS))/E \dots\dots\dots/25/$$

Donde: V^* = volumen esperado para esa edad encontrado con la función de rendimiento.

Nelson (33) propone la siguiente expresión generalizada de la cual se pueden suprimir las variables no significativas.

$$V' = b_0 + b_1/E + b_2 (IS) + b_3 (D) + b_4 (D^2) + b_5 (IS/E) + b_6 (D/E) + b_7 (D^2)/E \\ + b_8 (IS) (D) + b_9 (IS) (D^2) \dots\dots\dots/26/$$

Donde: D = una expresión de la densidad.

Wenger et al (51)

$$V' = b_0 + b_1/E + b_2 (IS) + b_3 (D/E) + b_4 D (IS) \dots\dots\dots/27/$$

Nelson, citado por Clutter (11)

$$V' = b_0 + b_1/E + b_2 (IS) + b_3 D^2 + b_4 D (IS) + b_5 (IS)^2 \dots\dots\dots/28/$$

Brender, citado por Clutter (11)

$$V' = b_0 + b_1 A + b_2 A^2 + b_3/(A) (IS) + b_4 A/(IS) \dots\dots\dots/29/$$

d) Crecimiento en área basal.

Curtis (13) utilizó la siguiente expresión generalizada de la cual retie-

ne sólo las variables significativas al 1%.

$$\log \left(\frac{dA}{dE} \right) = \log b_0 + b_1 \log E + b_2/E + b_3E + b_4 (IS/E) + b_5 (IS)E + b_6 (IS) \\ + b_7 \log (IS) + b_8/(DR) + b_9 (DR) + b_{10} (DR)^2 \dots\dots\dots/30/$$

Donde: DR = una expresión relativa de la densidad.

Clutter (11)

$$\frac{dA}{dE} = A (b_1 + b_2 (IS) + \log A)/E \dots\dots\dots/31/$$

Euckman (9)

$$A^i = b_0 + b_1 A + b_2 A^2 + b_3 E + b_4 E^2 + b_5 (IS) \dots\dots\dots/32/$$

Clutter (11) ha derivado ecuaciones para la proyección del volumen y del área basal, posteriormente Sullivan y Clutter (43) derivaron ecuaciones que podían utilizarse simultáneamente como modelos de crecimiento y de rendimiento, estas ecuaciones son:

e) Proyección del volumen.

$$V_2 = \exp \{ b_0 + b_1 (IS) + b_2/E_2 + b_3 (E_1/E_2) \ln A_1 + b_4 (1-A_1)/A_2 \\ + b_5 (1-A_1)/A_2 (IS) \} \dots\dots\dots/33/$$

Se nota que cuando $E_1 = E_2$ se obtendrá una función de rendimiento.

f) Proyección del área basal.

$$A_2 = \exp \{ (E_1/E_2) \ln A_1 + b_1 (1-E_1/E_2) + b_2 (1-E_1/E_2) (IS) \} \dots\dots\dots/34/$$

3. MATERIALES Y METODOS

3.1. Localización del área de estudio.

El área donde se realizó el estudio se encuentra localizada en el Departamento de Antioquia, Colombia, en donde se establecieron parcelas permanentes de crecimiento en los núcleos reforestados más grandes, cubriendo tanto las localidades de buen crecimiento como aquellas en las que el crecimiento es regular o bajo, pero se evitaron los sitios demasiado malos.

En el cuadro 1 se presenta la distribución de las 42 parcelas permanentes por municipios y fincas, indicándose además la edad de la plantación en la primera medición así como la correspondiente a la última medición.

3.2. Aspectos generales del clima y los suelos del área de estudio.

3.2.1. Clima.

Toda el área recibe altas precipitaciones cuyos máximos valores ocurren durante los meses de mayo y octubre. La estación más seca se presenta desde fines de diciembre hasta abril, otra pequeña disminución de la precipitación ocurre durante los meses de julio y agosto (46). La temperatura es muy uniforme durante el año, Tschinkel (46) encontró una diferencia de sólo 0.3°C entre el mes más cálido y el más frío en la Estación Forestal Experimental de Piedras Blancas. De acuerdo con el sistema de clasificación ecológica de Holdridge, Espinal (14) ha clasificado las localidades aledañas a los municipios de Caldas y Amagá como bosque muy húmedo premontano (bmh-P). Esta es la zona más cálida dentro del área de estudio llegando a ser la precipitación promedio unos 2.200 milímetros (mm) y la temperatura unos 19°C en las cercanías de las plantaciones. La Estación Forestal Experimental de Piedras Blancas se considera bosque húmedo montano bajo (bh-llb), su precipitación media es de 1.500 mm y la temperatura de 15°C.

Cuadro 1. Distribución de las 42 parcelas permanentes de Cupressus lusitanica por municipio y fincas, se indican el número de mediciones así como la edad en la primera y en la última medición de cada parcela.

Parcela Nº	Municipio	Finca	Edad inicial años	Edad final años	Mediciones consecutivas
43	Caldés	La Vía	5.3	8.8	3
44	Caldés	La Vía	5.3	8.8	3
45	Caldés	La Vía	5.3	8.7	3
46	Caldés	La Vía	5.2	8.7	3
47	Caldés	La Vía	5.2	10.9	4
48	Caldés	La Vía	5.2	10.9	4
52	Caldés	Rondalla	9.3	15.0	4
53	Caldés	Rondalla	9.3	15.0	4
54	Caldés	Rondalla	9.3	15.0	4
56	Caldés	Córsica	6.8	12.5	4
57	Caldés	Córsica	9.8	15.5	4
58	Caldés	La Esperanza	6.6	12.4	4
49	Caldés	La Esperanza	5.6	12.4	4
2	Piedras Blancas	Buonavista	12.4	18.0	4
4	Piedras Blancas	Lajas	14.4	20.0	4
5	Piedras Blancas	Lajas	14.4	20.0	4
7	Piedras Blancas	Lajas	14.4	20.0	4
55	Piedras Blancas	Lajas	14.4	20.0	4
8	Piedras Blancas	Verapaz	14.4	20.0	4

Continúa.

Cuadro 1. Continuación.

Parcela Nº	Municipio	Firca	Edad inicial años	Edad final años	Mediciones consecutivas
15	Piedras Blancas	Verapaz	14.4	20.0	4
16	Piedras Blancas	Verapaz	14.4	20.0	4
42	Piedras Blancas	Buanavista	12.4	18.2	4
60	Abejorral	Tranquilandia	5.4	8.7	3
61	Abejorral	Tranquilandia	5.4	8.7	3
62	Abejorral	Dario Botero	6.0	9.3	3
63	Abejorral	Alonso Palacio	6.0	9.3	3
64	Abejorral	Las Yaguas	8.0	11.3	3
65	Abejorral	Las Yaguas	8.0	11.3	3
67	Yarumal	Municipio	12.0	15.3	3
68	Yarumal	Municipio	12.0	15.3	3
69	Yarumal	Municipio	8.0	11.3	3
69	Yarumal	Seminario	12.0	15.3	3
79	Medellín	Seminario	11.2	16.5	4
80	Medellín	Seminario	11.2	16.5	4
81	Medellín	Seminario	7.1	12.5	4
82	Medellín	Seminario	7.1	12.4	4
71	Bello	Represa La García	21.1	26.5	4
72	Bello	Represa La García	21.1	26.5	4
74	Anagá	Carbones San Fdo.	4.5	10.0	4
75	Anagá	Carbones San Fdo.	4.5	10.0	4
76	Don Matías	Represa Río Grande	7.5	12.3	3
77	Don Matías	Represa Río Grande	8.9	12.3	3

Hay otro grupo de parcelas que se encuentran en el municipio de Medellín. Aquí la precipitación promedio es de unos 1.500 mm y la temperatura de 21.6°C encontrándose por lo tanto dentro de la formación Bosque húmedo premontano (bh-P). El resto de las parcelas, con excepción de las del municipio de Bello también en el bh-P, se encuentran localizadas en una especie de altiplano al sureste de Medellín en los municipios de Rionegro, El Retiro, La Ceja, Abejorral y Yarumal. En esta zona la precipitación varía de unos 1.800 a 2.000 mm y la temperatura de 17-18°C, ha sido clasificada como Bosque húmedo y muy húmedo montano bajo (19, 45).

3.2.2. Suelos.

Casi toda la zona reforestada con ciprés se encuentra cubierta por una capa de suelos de cenizas volcánicas de aproximadamente 1 a 2 m de profundidad (21, 46), sólo en ciertos lugares de pendientes muy fuertes las cenizas se han erosionado y los suelos se derivan del material geológico subyacente.

La mayoría de estos suelos han sido clasificados como Distrandep típicos. Se caracterizan por un horizonte A de color negro y espeso con una profundidad promedio de 18.0 cm. La materia orgánica y el nitrógeno total en este horizonte son muy altos alcanzando en las parcelas promedios de 16.0% y de 0.85% respectivamente, no obstante se han comprobado deficiencias de nitrógeno y fósforo asociadas en algunas plantaciones (45). El fósforo disponible utilizando el método Bray II es muy bajo con promedio de 2 partes por millón aproximadamente. Como en otros suelos derivados de cenizas volcánicas la densidad aparente es muy baja (21, 46, 48, 49) y la capacidad de retención de agua muy alta (46, 48).

Aunque se ha intentado correlacionar el crecimiento del ciprés con dife-

rentes propiedades físicas y químicas del suelo muy pocas de estas correlaciones han llegado a ser significativas (21, 46, 49).

Para las localidades al oriente de la ciudad de Medellín, Tschinkel (46, 47) , ha logrado derivar una ecuación para predecir el índice de sitio antes de plantar en función del porcentaje de pendiente mínima y de la forma y el tipo de pendiente la cual explicó el 72% de la variación en el IS. Fassbender y Tschinkel (21) obtuvieron una función lineal creciente entre el IS para ciprés y los fosfatos de aluminio que correlacionó significativamente con un coeficiente de determinación de 40.3%. Del Valle (49) encontró que una función gamma entre el IS y el nitrógeno mineralizado durante 6 semanas expresado en kilogramos por hectárea, explicó el 58% de la variación en el rendimiento .

El sustrato de la zona central del Dpto. de Antioquia es básicamente un batolito donde la roca dominante es la tonalita de acuerdo con Botero (6). Además de esto se presentan variaciones encontrándose otros materiales geológicos y en la estación Forestal Experimental de Piedras Blancas dominan las anfibolitas y las serpentinas, en el oriente las anfibolitas, en tanto que en Caldas la geología es más complicada encontrándose esquistos micáceos y basalto (6, 46). Estos materiales imparten características de fertilidad diferente a los suelos cuando las cenizas se han erosionado. Es bien conocida allí la poca fertilidad de los suelos de serpentina y de granito (tonalita).

3.3. Normas para el establecimiento y la medición de parcelas permanentes de rendimiento (según John y Tschinkel, 27).

La adopción de un procedimiento normalizado para el establecimiento y la medición de parcelas permanentes es fundamental para su éxito. Tales normas

tienen varias finalidades: ellas aseguran una precisión adecuada de las mediciones y evitan que cambios en la metodología falsifiquen los datos de crecimiento, también ayudan a registrar claramente y permanentemente las mediciones y las localidades de las parcelas. . Los métodos normalizados permiten también comparaciones entre especies y regiones.

Las normas que siguen fueron desarrolladas para plantaciones puras de coníferas en Colombia (Antioquia) donde se establecieron parcelas permanentes con el fin de obtener datos para preparar tablas de rendimiento. Sin embargo, estas normas pueden fácilmente aplicarse, tal vez con ligeras modificaciones, para parcelas permanentes establecidas con otros objetivos.

3.3.1. Requisitos que deben llenar las parcelas.

- a) La plantación debe tener un mínimo de 5 años.
- b) Debe ser bosque artificial, no regeneración natural.
- c) La espesura debe ser normal en las masas de edad avanzada, en las más jóvenes no deben existir claros.
- d) Debe estar libre de enfermedades y plagas aunque su follaje puede presentar clorosis.
- e) En lo posible la parcela debe ser homogénea en cuanto a topografía, suelo, etc. y otros factores que influyen en la calidad del sitio.
- f) Los límites de la parcela deben estar a un mínimo de 10 m del borde del rodal.

3.3.2. Forma y tamaño de las parcelas

- a) Las parcelas tendrán forma rectangular ya que esta se ajusta mejor a una topografía accidentada. Este rectángulo se orienta de tal forma que la va-

riación causada por la topografía debe ser mínima.

- b) Es deseable que los lotes tengan una área de 0.1 ha (1.000 m²) sin embargo, el área mínima aceptada será de 0.05 ha (500 m²) y hasta donde sea posible debe utilizarse una de las siguientes dimensiones:

$$25 \text{ m} \times 40 \text{ m} = 1.000 \text{ m}^2$$

$$25 \text{ m} \times 32 \text{ m} = 800 \text{ m}^2$$

$$20 \text{ m} \times 30 \text{ m} = 600 \text{ m}^2$$

3.3.3. Señalamiento de las parcelas.

- a) Se asignará un número de identificación a cada parcela a partir del 001 en adelante. Estos números se darán en serie y aproximadamente en el orden en el cual se establecen las parcelas.
- b) Para delimitar las parcelas, con el objeto de poder localizarlas en el terreno en mediciones futuras, se siguen las normas que a continuación se detallan: como las parcelas tienen forma de rectángulo, se señalan sus vértices con una estaca gruesa pintada de color amarillo, además los tres árboles más cercanos al vértice y fuera de la parcela son señalados con una mancha de pintura amarilla en la parte que mira hacia la estaca y con el objeto de que en caso de perderse ésta sea fácil volver a ubicarla en su sitio inicial. Los vértices son numerados I, II, III y IV siendo I el situado en la dirección o rumbo más cercano al norte, los demás se fijan siguiendo las manecillas del reloj. Se localiza un árbol grueso de buena forma cercano al centro de la parcela, el cual será llamado "árbol central" y se marca con dos bandas horizontales también de pintura amarilla situadas a 0.20 m y 2.0 m de su base, con el objeto de poder observar bien este árbol, para la colocación de la forcípula. Un poco abajo de la banda supe

rior se marca con la pintura dando frente a los vértices, el número romano correspondiente a cada uno de ellos. Además, dando frente al vértice I se marca el número de identificación de la parcela. El árbol dentro de la parcela y más cercano a cada vértice se señala con el número romano correspondiente a este y con el número de identificación de la parcela. Ambos números dan frente al árbol central.

3.3.4. Identificación de los árboles.

- a) Todos los árboles van numerados con pintura anaranjada un poco abajo de la altura del pecho (1.30 m) empezando desde el árbol 1 en adelante. Estos números deben hacerse lo más grandes y claros para evitar equivocaciones futuras.
- b) Todos los números dan frente al árbol central de modo que al observar desde éste, puedan verse prácticamente todos ellos.
- c) Los números se harán en forma vertical, por ejemplo el árbol N°123:

1
2
3
- d) La numeración se efectúa empezando en el árbol cercano a un vértice (generalmente el I o II) y tratando de seguir paralelo al límite de la parcela hasta alcanzar otro vértice, luego se retrocede en forma paralela, continuando la numeración hasta terminar; es preferible seguir las curvas de nivel para mayor facilidad de trabajo.
- e) Si al verificar la numeración se comprueba que se quedó algún árbol sin numerar, se le dará el siguiente al último marcado, haciendo constar esta circunstancia en el formulario de mediciones.
- f) Para señalar la altura del pecho con el fin de medir siempre sobre el mismo punto en mediciones sucesivas se pintarán dos rayas horizontales cortas a 1.30 m de altura, una dando frente al árbol central y la otra al lado opuesto de la primera. Debe tomarse en cuenta que cuando se coloca la

forcípula sobre ambas rayas, que ésta quede en posición perpendicular al eje vertical del tronco.

Por lo tanto es aconsejable usar la forcípula como guía al pintar las rayas. Estas deben ser de 1 cm de espesor. En árboles que crecen sobre una pendiente, la altura de pecho (1.30 m) se mide a partir de la base del árbol que está pendiente arriba. Siempre debe usarse una barra con la medida de 1.3 m para medir la altura del pecho al pintar.

3.3.5. Medición de diámetros.

- a) Se medirán los diámetros a la altura del pecho (DAP) o sea a 1.30 m de todos los árboles vivos de la parcela que alcanzan esta altura.
- b) Se empleará una forcípula graduada en cm y 0.5 cm y si es posible en milímetros.
- c) Todas las mediciones se efectuarán de modo que el extremo de la reglilla esté dirigida al árbol central.
- d) Se aplicará la forcípula sobre las dos rayas horizontales que marcan la altura del pecho.
- f) Se hará una sola medición de diámetro en cada árbol. Los diámetros de antarán en milímetros aproximando el operador las divisiones milimétricas.

3.3.6. Medición de alturas totales.

- a) Las alturas menores de 10 m se medirán con una pértiga o mira graduada de 10 en 10 cm, aplicada directamente sobre el árbol, teniendo cuidado de que la altura de 1.30 m de esta mira coincida con las marcas que señalan la altura del pecho, esto con el fin de que las medidas de altura se efectúen siempre desde un mismo sitio.
- b) Si la altura a medir es superior a 10 m se usará el clinómetro Blumeleiss

cuyo manejo estará a cargo del jefe del grupo. La medición se apreciará hasta el decímetro.

- c) Después de haber medido los DAP de todos los árboles de la parcela, se buscarán entre ellos los 250 árboles de mayor DAP por hectárea. Es decir si la parcela tiene un área de 0.1 ha, se buscan los 25 árboles de mayor DAP y se medirán sus alturas las cuales se registran en el formulario 2 (ver apéndice).
- d) Además de medir las alturas de los árboles dominantes será necesario medir las alturas de algunos otros árboles para así poder calcular una relación DAP altura que sea representativa de la parcela. Para ésto, los árboles cuyas alturas se miden deben cubrir un rango amplio de diámetros y forma. Una manera de lograr esta distribución es medir las alturas de aproximadamente 150 árboles adicionales por ha, repartidos a través de todas las clases diamétricas no dominantes. En resumen, en una parcela de 0.1 ha se medirán las alturas de los 25 árboles de mayor diámetro y también de aproximadamente 15 árboles de diámetro inferior.

3.3.7. Formularios de registro.

Para mayor seguridad contra pérdidas se llenarán todos los formularios con original y dos copias carbón en el mismo campo.

- a) Formulario 1: DAP y clases de copa.

Este formulario (ver apéndice) ha sido diseñado para facilitar la transcripción directa a tarjetas perforadas. Existen tres hojas de este formulario numeradas para árboles desde 1 hasta 150; 151 hasta 300 y 301 hasta 450 respectivamente.

Después de cada número de árbol siguen cuatro espacios en blanco. Los primeros tres se llenan con el DAP del árbol en milímetro. Cada espacio

tiene que estar ocupado por una cifra, aunque esta pueda ser cero. El cuarto espacio se llena con el código para la clase de copa i.e. un número entre 1 y 5 ó 9, 6 con cualquier otra clasificación individual que se decide usar. El bloque de la esquina superior izquierda del formulario, posee 10 espacios los cuales corresponden a las primeras 10 columnas de la tarjeta perforada y en los cuales se anotará la identificación de la manera siguiente:

Col. 1: (ya anotado) indica el número del formulario.

Col. 2-4: el número de identificación de la parcela p.e. 015.

Col. 5: un código para el municipio.

Col. 6: un código para la finca.

Col. 7-8: el mes de medición de la parcela.

Col. 9-10: últimas dos cifras del año en el cual se efectuó la medición.

Los códigos en las columnas 5 y 6 son una conveniencia y también una seguridad en el caso de perderse los registros de la ubicación. Para el código pueden usarse letras o números.

b) Formulario 2: Mediciones de alturas:

Se diseñó un formulario (ver apéndice) para anotar las alturas de los árboles y también alguna información accesoria sobre cada parcela. El significado de las columnas es el siguiente:

Col. 1: número del formulario, ya enumerado.

Col. 2-10: llenar igual al bloque de la esquina superior izquierdo del formulario 1.

Col. 11-12: el mes de establecimiento de la plantación. (Debe estimarse si no se conoce, por no permitirse "0").

Col. 13-14: últimas dos cifras del año de establecimiento de la plantación.

Col. 15: código para la seguridad de esta fecha.

0 - la fecha es segura, y bien documentada.

1 - la fecha es estimada.

Col. 16: Código para la especie, un número de 0 a 9 (0=Cupressus lusitanica).

Col. 21-23: Número de identificación del árbol en el campo.

Col. 24-26: Altura del árbol en decímetros.

3.3.8. "Formulario Descriptivo: Parcela Permanente de Crecimiento" (ver apéndice).

No puede subestimarse la importancia de llenar este formulario en forma detallada, especialmente lo referente a la localización de la parcela. Sin esta información existe un gran peligro de nunca volver a encontrar la parcela en el campo, especialmente después de un cambio de personal. Se sugiere adjuntar poligonales o un croquis de acceso desde sitios conocidos.

3.3.9. Materiales necesarios para el trabajo de campo.

- a) Mapas y planchas a diferentes escalas.
- b) Forcípulas graduadas en milímetros o por menos en 0.5 cm.
- c) Clinómetro "Blum-Leiss"
- d) Pértiga o mira de 10 m o más de largo graduada en decímetro
- e) Brújula de pie.
- f) Cinta metálica de 50 m.
- g) Pintura de aceite amarilla y naranja.
- h) Pinceles.
- i) Ejemplares suficientes de Formulario 1 y Formulario 2 .
- j) Formulario descriptivo: "Parcela Permanente de Crecimiento".

3.4. Análisis de la información.

Para este análisis se adoptaron las definiciones de Beer (4) que se encuentran ilustradas con un ejemplo para volumen, pero el caso sería similar con otros parámetros de crecimiento como el área basal el diámetro o la altura.

V_1 = el volumen de árboles medidos en la primera medición.

V_2 = el volumen de árboles medidos en la segunda medición.

M = volumen inicial de árboles muertos.

C = el volumen inicial de árboles que han sido cortados entre mediciones.

I = el volumen de árboles en la segunda medición que estaban por debajo de tamaño mínimo en la primera medición (ingreso a la clase mínima).

El crecimiento bruto del volumen inicial (V') es entonces,

$$V' = (V_2 + M + C - I) - V_1 \dots\dots\dots/35/$$

En el análisis presentado en este trabajo no se permite la entrada de árboles nuevos después de la primera medición, luego:

$$I = 0 \dots\dots\dots/36/$$

$$V' = (V_2 + M + C) - V_1 ; \dots\dots\dots/37/$$

Además se hace la simplificación de combinar M y C en un solo término $M+C$, o sea:

$$M + C = M+C \dots\dots\dots/38/$$

Así el crecimiento bruto se podrá expresar como:

$$V' = (V_2 + M+C) - V_1 \dots\dots\dots/39/$$

La ecuación (39) puede modificarse y escribirse de la siguiente manera:

$$V' = \sum_{j=1}^m \sum_{i=1}^n V_{2ij} - \sum_{j=1}^m \sum_{i=1}^n V_{1ij} + \sum_{j=1}^m \sum_{i=1}^n MC_{ij} \dots\dots\dots/40/$$

Donde: V_{2ij} = volumen por hectárea en la segunda medición del árbol 'i'.

Hay 'n' árboles en cada una de las clases diamétricas 'm'.

V_{1ij} = volumen por hectárea en la medición inicial de todos los ár-

boles que fueron cortados o muertos durante el período.

Aquí se asume que tanto la mortandad como las cortas ocurrieron inmediatamente después de la medición inicial. Una suposición más racional podría ser que la mortandad y las cortas ocurren uniformemente durante el período entre las mediciones. Sin embargo, esto representa un problema cuando los períodos entre las mediciones son demasiado largos (5 ó más años como lo recomiendan Bruce y Schumacher, 8) y cuando la tasa de crecimiento es apreciable. En el caso del ciprés los períodos entre mediciones son entre 1 y 2 años y el incremento no es muy alto.

3.5. Cálculos

3.5.1. Volumen de cada árbol.

Para el cálculo del volumen de cada árbol se utilizó la expresión desarrollada por Tschinkel (48) de los datos de la tabla de volúmenes de Barrera (3) mencionada anteriormente (ver ecuación 2 en la página 4). Como en cada medición se midieron los diámetros de todos los árboles pero solamente se midieron las alturas de algunos de ellos, se analizaron usando técnicas de regresión los siguientes seis modelos: lineal, logarítmico, geométrico, cuadrático, raíz cuadrada y gamma, en los cuales se utilizó la altura como variable dependiente y el DAP como variable independiente. Esto con el fin de tener una altura estimada para todos los árboles y así poderlos cubicar. Como criterio para seleccionar el mejor modelo se usaron el coeficiente de determinación así como la adaptación al fenómeno biológico. Este es un procedimiento muy común en el campo forestal y está descrito en los textos de Bruce y Schumacher (8) Husch (25) y Loetsch, Zöhner y Haller (29).

Debido a que el factor mórfoico cambia con la calidad del sitio se creyó conveniente, con el fin de aumentar la precisión de las estimaciones de las

alturas, estratificar los datos en tres clases de índices de sitio calculándose para cada uno de ellos una relación independiente de diámetro contra altura utilizando en forma conjunta los datos de las cuatro mediciones. Estas clases fueron las siguientes:

<u>Clase de sitio</u>	<u>Índice de sitio (m/15 años)</u>
1	< 12
2	12 - 16
3	> 16

3.5.2. Índice de sitio.

El índice de sitio para cada parcela y en cada una de las mediciones se obtuvo de acuerdo con la relación obtenida por Tschinkel (47, 48) para la misma especie y localidades (ver ecuación 1 en la página 3)

3.5.3. Crecimiento en área basal y en volumen.

Calculado el volumen de cada árbol se agruparon para cada parcela y medición todos los árboles en clases diamétricas de a 2 cm con marcas de clases de 2 cm, 4 cm, 6 cm ...etc. Por medio de cuadros se indicó para cada categoría diamétrica: el número de árboles por hectárea en cada clase, el número de árboles por hectárea acumulada, el área basal en cada clase en m^2/ha , el área basal acumulada en m^2/ha , el volumen en cada clase en m^3/ha y el volumen acumulado en m^3/ha .

Restando cada una de estas variables entre mediciones consecutivas o sean: la segunda menos la primera, la tercera menos la segunda y la cuarta menos la tercera, se determinó el crecimiento entre cada intervalo de mediciones. Con base en este dato y por medio de una relación lineal se dedujo el crecimiento neto anual en área basal y en volumen, así como el número de árboles

cortados y muertos en cada clase diamétrica. Como el crecimiento bruto en volumen se calcula de acuerdo con la ecuación 35 así:

$$V = (V_2 - V_1) + V_{KC} \dots\dots\dots/41/$$

o sea:

$$\left\{ \begin{array}{l} \text{Crecimiento bruto} \\ \text{en volumen} \end{array} \right\} = \left\{ \begin{array}{l} \text{Crecimiento neto} \\ \text{en volumen} \end{array} \right\} + \left\{ \begin{array}{l} \text{Volumen de árboles} \\ \text{cortados y muertos} \end{array} \right\}$$

cubicando los árboles cortados y muertos en el intervalo entre las mediciones y sumándolos al crecimiento neto se tendrá el crecimiento bruto en el intervalo. Dividiendo este crecimiento bruto entre los años del intervalo se obtuvo el crecimiento bruto anual correspondiente a la edad de la medición posterior del intervalo. El crecimiento en área basal se calculó en forma idéntica.

El cálculo del crecimiento bruto en la forma descrita subestima el verdadero crecimiento bruto pues se asume que la mortandad y las cortas ocurrieron después de la primera medición, sin embargo, debido a que los intervalos son de sólo 1 a 2 años y el crecimiento no muy rápido el error es muy pequeño.

3.5.4. Rendimiento en volumen área basal y diámetro.

Cuando en el intervalo no se hicieron cortas o no hubo árboles muertos el rendimiento bruto en área basal y en volumen sería igual al neto. En este caso el volumen y el área basal acumuladas a través de todas las clases diamétricas en cada parcela y para cada medición sirvieron para calcular estas variables. En el caso de árboles cortados o muertos en el intervalo se les calculó el área basal y el volumen con los datos disponibles para la medición anterior y se sumaron al rendimiento acumulado en área basal y en volumen para la medición considerada. El rendimiento diamétrico se basó en el DAP promedio

obtenido de cada medición.

Para el cálculo del rendimiento en área basal y en volumen de los árboles de DAP \geq 10 cm se procedió de la misma manera pero considerando sólo las cantidades acumuladas para árboles con marcas de clase diamétricas de 10 cm y superior.

3.5.5. Diámetro y altura media.

En cada parcela el DAP medio se calculó por la sumatoria de todos los diámetros dividido entre el número de ellos. Como no se midieron todas las alturas, la altura media de cada parcela será la que corresponda al árbol de área basal media de cada parcela. El diámetro correspondiente a esta área basal se llevó a las mencionadas relaciones de DAP contra altura para determinar la altura media.

3.5.6. Índice de espacio de crecimiento (IEC).

El IEC es una medida de la densidad que ha sido usada por los holandeses y fue propuesta por Voorhoeve y Schulz (51) en Latinoamérica. Se calcula por medio de la siguiente relación:

$$\text{IEC} = \frac{\text{Distancia entre árboles en metros}}{\text{Altura de los árboles dominantes en metros}} \times 100 \dots\dots\dots/32/$$

Aunque este índice no se empleó en los modelos de rendimiento y crecimiento, si se calculó para todas las parcelas con fines comparativos pues ha sido usado en algunos estudios en Latinoamérica.

3.5.7. Cálculo de la distribución diamétrica.

Con el fin de calcular la distribución diamétrica se establecieron tres

clases de edad entre las cuales se encuentran la mayoría de las edades de las parcelas dentro de las cuatro mediciones. Estas clases fueron:

<u>Clase de edad</u>	<u>Edad</u>
1	5.1-10 años
2	10.1-15 años
3	15.1-20 años

Combinando estas tres clases de edad con las tres clases de índices de sitio se obtuvieron nueve combinaciones de distribuciones diamétricas, tres por cada clase de índice de sitio.

Resumiendo todas las mediciones que se encontraban dentro de cada una de estas nueve combinaciones, se calcularon las frecuencias reales para cada intervalo de clase diamétrica, cuyas marcas de clase son tal como ya se habían definido 2 cm, 4 cm ó 6 cm ...etc.

Con base en estos datos y después de un análisis gráfico previo se adoptó la función gamma con el fin de ajustar los datos a una distribución teórica de frecuencias. Como procedimiento de ajuste se utilizó el método iterativo realizado por medio de una computadora IBM-1130. Esta función está representada por la siguiente ecuación:

$$y = \frac{b_2}{b_0} e^{-b_1 X} \dots\dots\dots /43/$$

Donde: y = frecuencia (número de árboles por hectárea).

X = DAP

3.6. Modelos de rendimiento y crecimiento ensayados.

Buscando encontrar modelos que se ajustaran en la mejor forma posible a la información recolectada para C. lusitanica en esta investigación, se ensayaron varios de los modelos revisados especialmente los de Curtis (13), Clutter (11), Schumacher (42) y Nelson (34). Se hicieron pequeñas modificaciones en

algunos modelos como al de crecimiento de Curtis (ver ecuación 30 en la página 18) se utilizó como densidad el área basal. Para el rendimiento en volumen se incluyeron además de los modelos revisados otros dos modelos originales obtenidos por modificación del modelo clásico de Schumacher (ver ecuación 21 en la página 15). Estas modificaciones se hicieron con el fin de añadir una medida de la densidad al mencionado modelo y sí estimar el rendimiento como una función de tres variables independientes (o combinaciones de ellas), que serían en este caso la edad, el índice de sitio y el área basal como medida de la densidad.

Los modelos a que se hace referencia son los que aparecen en las ecuaciones 46 y 47. El primero se derivó partiendo de la base de que el logaritmo del rendimiento no sólo es una función del inverso de la edad, sino del producto del inverso del área basal, los pasos siguientes son similares a los seguidos por Bruce y Schumacher (8). El segundo se obtuvo simplemente añadiendo al modelo de Schumacher el inverso del área basal y el área basal sobre la edad.

El modelo de crecimiento de Curtis fue presentado inicialmente por este autor sólo para crecimiento en área basal y el de Nelson para crecimiento en volumen, sin embargo, ambos modelos se emplearon aquí para sendos crecimientos. A continuación se detallan todos los modelos ensayados.

3.6.1. Rendimiento en volumen (V).

Schumacher (8, 40)

$$\log V = b_0 + b_1(1/E) + b_2(IS) + b_3(IS/E) \dots\dots\dots/44/$$

Clutter (11)

$$\ln V = b_0 + b_1(1/E) + b_2(IS) + b_3(\ln A) \dots\dots\dots/45/$$

Este trabajo - 1

$$\log V = b_0 + b_1(1/E) + b_2(IS) + b_3 A + b_4(1/E)(1/A) + b_5(IS)(1/E)(1/A) \dots /46/$$

Este trabajo - 2

$$\log V = b_0 + b_1(1/E) + b_2(IS) + b_3(1/A) + b_4(A/E) + b_5(IS/E) \dots /47/$$

3.6.2. Rendimiento en área basal (A).

Schumacher (8, 40)

$$\log A = b_0 + b_1(1/E) + b_2(IS) + b_3(IS/E) \dots /48/$$

Curtis (13)

$$A = b_0 + b_1(\log E)(\log IS) \dots /49/$$

Este trabajo - 1

$$\log A = b_0 + b_1(1/E) + b_2(IS) + b_3(IS/E) + b_4E + b_5(\bar{D}) \dots /50/$$

Este trabajo - 2

$$\ln A = b_0 + b_1(1/E) + b_2(IS) + b_3(IS/E) + b_4 \ln(\bar{D}) \dots /51/$$

3.6.3. Rendimiento en el DAP medio (\bar{D}).

Schumacher (8, 40)

$$\log \bar{D} = b_0 + b_1(1/E) + b_2(IS) + b_3(IS/E) \dots /52/$$

Clutter (11)

$$\ln \bar{D} = b_0 + b_1(1/E) + b_2(IS) + b_3(\ln A) \dots /53/$$

3.6.4. Crecimiento en volumen (V')

Clutter (11)

$$V' = b_0 + b_1(V/E) + b_2(V/E^2) + b_3V(IS)/E + b_4(V \ln A)/E \dots /54/$$

Curtis (13)

$$\log V' = \log b_0 + b_1E + b_2(1/E) + b_3 \log E + b_4(IS) + b_5 \log(IS) + b_6(A) \\ + b_7(1/A) + b_8(A^2) + b_9(IS/E) + b_{10}(IS)E \dots /55/$$

Nelson (32)

$$V^i = b_0 + b_1(IS) + b_2(IS/E) + b_3(A) + b_4(A^2) + b_5(A/L) + b_6(A^2/E) \\ + b_7(IS)A + b_8(IS)A^2 + b_9(1/E) \dots\dots\dots/56/$$

3.6.5. Crecimiento en área basal (A^i).

Clutter (11)

$$A^i + (A \ln A)/E = b_0 + b_1A/E + b_2A(IS/E) \dots\dots\dots/57/$$

Curtis (13)

$$\log A^i = \log b_0 + b_1 \log e + b_2(1/E) + b_3 \log e + b_4(IS) b_5 \log (IS) \\ + b_6A + b_7(1/A) + b_8A^2 + b_9(IS)/E + b_{10}(IS)E \dots\dots\dots/58/$$

Duckman (9)

$$A^i = b_0 + b_1A + b_2A^2 + b_3E + b_4E^2 + b_5(IS) + b_6AE \dots\dots\dots/59/$$

Nelson (32)

$$A^i = b_0 + b_1(IS) + b_2(IS/E) + b_3A + b_4A^2 + b_5(A/E) + b_6(A^2/E) \\ + b_7(IS)A + b_8(IS)A^2 + b_9(1/E) \dots\dots\dots/60/$$

3.6.6. Criterio para la selección de modelos.

para

En una primera etapa se estimó cada uno de los modelos ya enunciados sus parámetros. A cada parámetro se le calculó el valor de "t" de Student para determinar su nivel de significación. Se calculó también el valor de "F" de Fisher para determinar el nivel de significación estadística de cada uno de los modelos en conjunto. Adicionalmente se determinó la bondad del ajuste calculando el coeficiente de determinación (R^2) y su significación. En una segunda etapa se seleccionaron aquellos modelos que por tener numerosas variables o combinaciones de ellas eran poco prácticos, pero que algunas de ellas fueron significativas. A estos modelos se les estimaron nuevamente sus parámetros después de haber eliminado las variables o combinación de varia-

bles no significativas. También aquí se determinaron de nuevo los valores de "t", "F" y "R²". Se seleccionaron aquellos modelos que demostraron un mayor ajuste y adaptación al fenómeno biológico.

Como procedimiento alterno las ecuaciones de crecimiento se derivarán matemáticamente de las de rendimiento inspirándose en los trabajos de Clutter (11) y de Schumacher (42). La diferencia básica con Clutter consiste en que este autor obtuvo de modelos literales de rendimiento los de crecimiento, es timando luego por mínimos cuadrados los parámetros de las variables, en cambio en el presente trabajo las ecuaciones que representan el crecimiento se obtuvieron de los modelos de rendimiento expresados en forma numérica.

3.7. Procesamiento de datos.

El procesamiento de los datos se hizo en la computadora electrónica IBM-1130 del IICA. Los programas utilizados para encontrar el crecimiento bruto entre cada par de mediciones se encuentran detalladamente descritos por John y Tschinkel (21). Los demás programas utilizados para los modelos de rendimiento y crecimiento, distribución diamétrica y relación DAP altura pertenecen al Departamento de Estadística y Cómputos del CATIE.

4. RESULTADOS

Los cuadros 1 a 4 del apéndice resumen los resultados de las cuatro mediciones de las parcelas permanentes de Cupressus lusitanica utilizadas en esta investigación. Estos cuadros se construyeron con base en otros cuadros que se hicieron de cada parcela para cada par de mediciones, y de los cuales se incluye una muestra en el apéndice, (cuadros 5 y 6 del apéndice), no fue posible incluirlos todos por imposibilidad de espacio ya que comprenden un total de 110 cuadros, así: 42 de la primera y la segunda medición, 42 de la segunda y la tercera y 26 de la tercera y la cuarta^{1/}. La información suministrada en dichos cuadros, con excepción del índice de espacio de crecimiento y del número de árboles por ha, se utilizaron como variables para los modelos de rendimiento y crecimiento del DAP, del área basal y del volumen. Se nota que al cuadro 1 del apéndice le faltan dos columnas que si tienen los cuadros 2 a 4; estas dos columnas corresponden a los crecimientos en área basal y en volumen que, al obtenerse por diferencias entre estas dos variables para cada par de mediciones, arroja una cifra que se coloca en la medición posterior. De esta forma se tienen 152 datos para los modelos de rendimiento y 110 para los de crecimiento.

La Fig. 2 se ha incluido con el fin de visualizar mejor el rango de sitios y de edades cubierto por la investigación. Entre las edades de 5 a 20 años se encuentra la gran mayoría de la información dentro de una amplia gama de calidades de sitio que van desde $IS \approx 10$ hasta $IS \approx 28$, pero con énfasis en los índices intermedios (IS 15 a 20) que son los más representativos. Estrictamente hablando los resultados de esta investigación sólo deberán aplicarse dentro de estos límites de edad y sitio, sin embargo, es posible hacer extrapolaciones hasta unos 25 años y, con menos seguridad, quizá hasta

^{1/} El resto de los cuadros pueden solicitarse al autor a precio de costo.

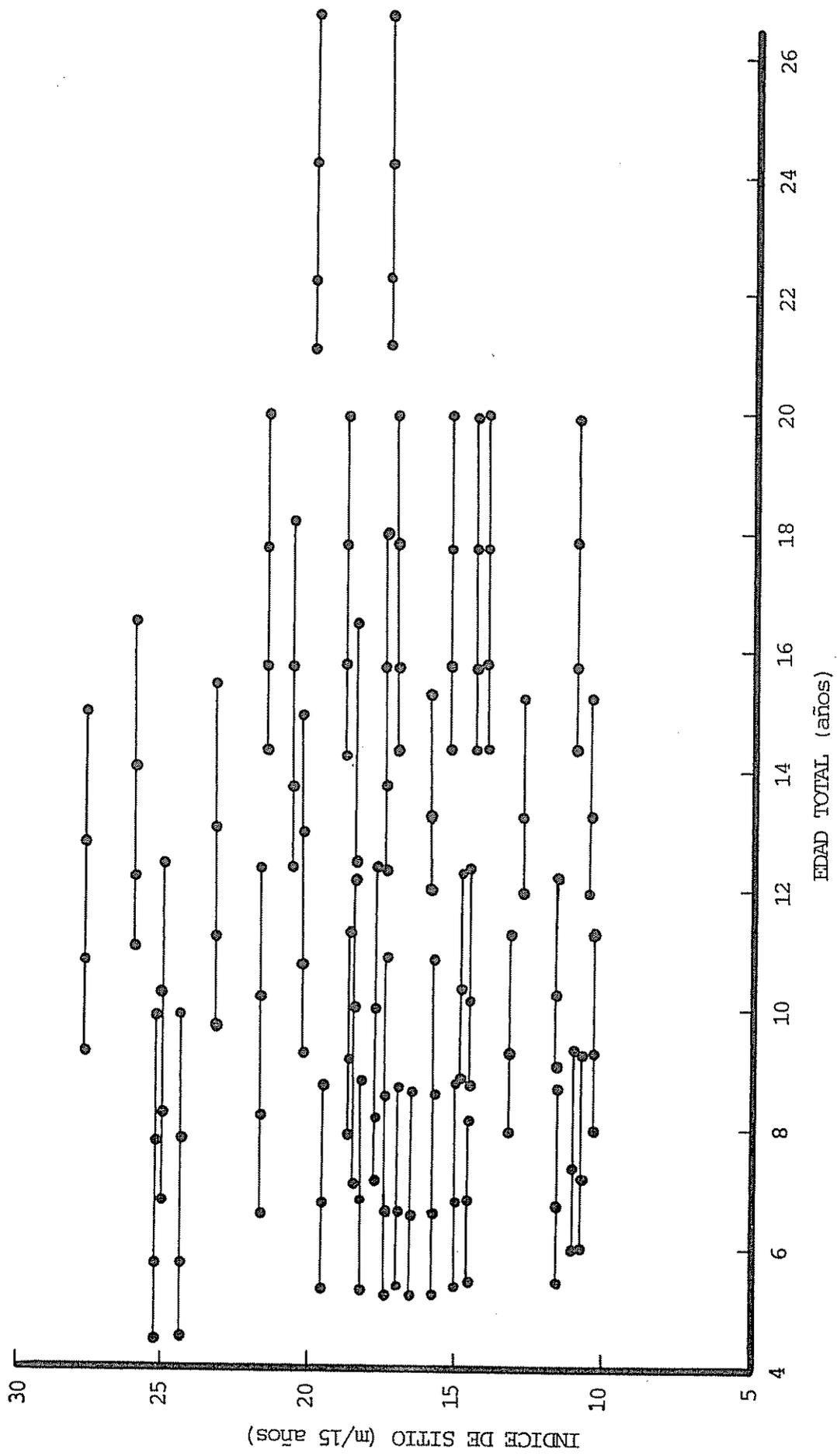


Fig. 2. Distribución de las parcelas permanentes estudiadas por edad e índice de sitio calculado con la última medición, las líneas unen mediciones sucesivas de la misma parcela.

30 años con el apoyo de las dos parcelas de 26.5 años.

Llaman especialmente la atención tres aspectos en los cuadros 1 a 4 del apéndice; el primero es la altísima densidad de población de las parcelas reflejando un sistema de manejo muy conservador con muy pocos aclaros y entre sacas. Muchas parcelas tienen igual o casi igual número de árboles en la primera y en la cuarta medición. El segundo es el aumento del índice de sitio que generalmente muestran las parcelas desde la primera hasta la última medición. El tercero y último es la disminución en el índice de espacio de crecimiento desde la primera hasta la última medición en la mayoría de las parcelas, indicando un aumento concomitante en la densidad de las parcelas.

4.1 Relaciones entre alturas y diámetros.

Para las tres clases de sitio se seleccionó el modelo logarítmico entre seis modelos provados. La selección se basó en que este modelo tuvo coeficientes de determinación iguales o mayores que otros modelos más complicados y, además, la no existencia de un punto de máxima, lo hace más lógico desde un punto de vista biológico, puesto que las plantaciones aquí estudiadas por ser jóvenes no han alcanzado aún sus dimensiones máximas. Las ecuaciones seleccionadas se encuentran graficadas en la Fig. 3 y corresponden a las siguientes expresiones:

a) Clase de índice de sitio 1 (IS < 12 m/15 años)

$$Y = 2.53108 X^{51554} \dots\dots\dots/61/$$

$$R^2 = 0.50^{**}$$

$$n = 930$$

b) Clase de índice de sitio 2 (IS de 12 a 16 m/15 años)

$$Y = 2.99753 X^{0.53903} \dots\dots\dots$$

$$R^2 = 0.65^{**}$$

$$n = 880$$

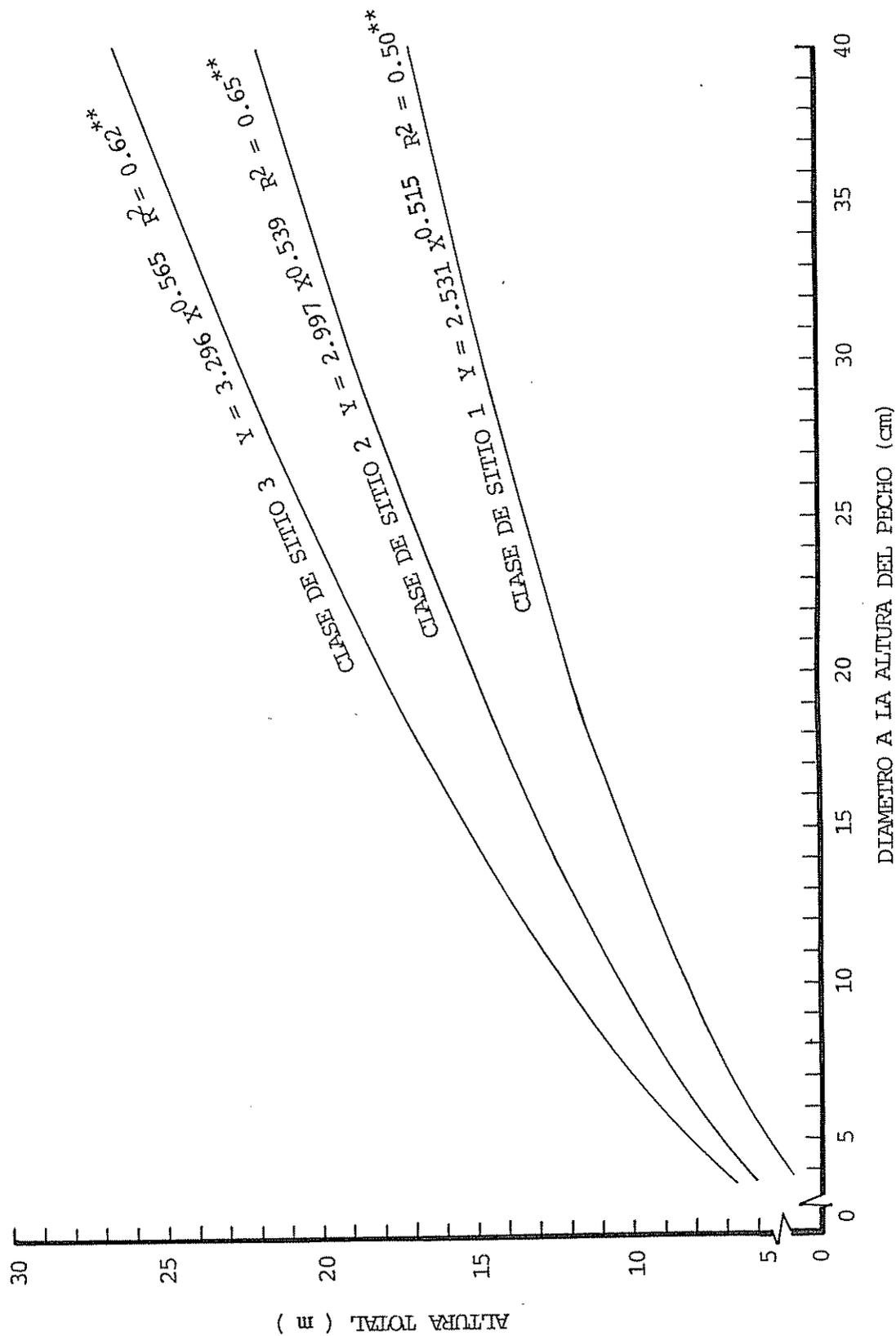


Fig. 3 Relaciones entre la altura total y el diámetro a la altura del pecho para las tres clases de sitio.

c) Clase de índice de sitio 3 (IS > 16 m/15 años)

$$Y = 3.29587 X^{0.56481} \dots\dots\dots/63/$$

$$R^2 = 0.62^{**}$$

$$n = 660$$

Donde: Y = altura total, m.

X = DAP, cm.

n = número de alturas medidas.

Por medio de estas ecuaciones se estimó la altura en las cuatro mediciones de todos los árboles con base en su diámetro, dato que luego fue utilizado para la cubicación de los árboles utilizando la ecuación 2. de la página 4.

4.2. Distribución diamétrica.

Se ha podido comprobar que la función gamma se ajustó muy bien a la distribución de frecuencias por clases de DAP, como lo indican en forma concluyente los coeficientes de determinación obtenidos en las nueve combinaciones de clases de índices de sitio y clases de edad que fueron estudiados. En las ecuaciones 64 a 72 y en las Figs. 4 a 6 aparecen las ecuaciones encontradas con base en la función gamma con sus correspondientes coeficientes de determinación los cuales explicaron entre el 95% y 99% de la variación en las distribuciones diamétricas. Estas curvas típicamente unimodales indican claramente la naturaleza coetánea de estos bosques.

En los cuadros 2 a 4 aparecen las frecuencias observadas y las calculadas con las ecuaciones antes mencionadas notándose, en general, buena correspondencia entre los valores calculados y los observados.

Comparando las Figs. 5 a 6 (clases de sitio 2 y 3) con la Fig. 4 (clase de sitio 1) se aprecian marcadas diferencias, pero quizá la más notable sea

que en las clases de sitio 2 y 3 los árboles de la clase de edad de 5.1 a 10 años se encuentran estrechamente agrupados alrededor del DAP de máxima frecuencia o moda, mientras que en las clases de edad más avanzada hay una dispersión mayor. En la clase de sitio 1, por el contrario, este efecto casi no se nota siendo las curvas para las tres clases de edad más similares.

Característica general en todas estas curvas fue su asimetría con colas más largas hacia la derecha. Tal asimetría tiende a ser mayor en las clases de edad más avanzadas de las clases de sitio 2 y 3, pero en la clase de sitio 1 casi no varía. Simultáneamente con éste efecto de las colas se nota un achatamiento de las curvas disminuyendo su curtosis y un desplazamiento de las curvas hacia la derecha con un leve aumento de la moda (Figs. 5 y 6). Con respecto a lo anterior fue muy espectacular el cambio de la frecuencia máxima entre la clase de edad 1 con la 2 y la 3 pero no entre las dos últimas. No se encontró, por lo tanto, un aumento sistemático en el valor de la moda con disminución de su frecuencia a medida que aumentaba la edad.

1. Clase de índice de sitio 1 ($IS < 12$ m/15 años)

a) Clase de edad 1 (5.1 - 10 años)

$$Y = 22.07300 e^{-3.46346x} x^{0.54678} \dots\dots\dots/64/$$

$$R^2 = 0.99^{**}$$

b) Clase de edad 2 (10.1 - 15 años)

$$Y = 20.33102 e^{-3.47253x} x^{0.51123} \dots\dots\dots/65/$$

$$R^2 = 0.96^{**}$$

c) Clase de edad 3 (15.1 - 20 años)

$$Y = 5.15154 e^{-4.14855x} x^{0.55114} \dots\dots\dots/66/$$

$$R^2 = 0.97^{**}$$

2. Clase de índice de sitio 2 (IS de 12 a 16 m/15 años)

a) Clase de edad 1 (5.1 - 10 años)

$$Y = 4.27955 e^{-0.57428x} x^{1.04710} \dots\dots\dots/67/$$

$$R^2 = 0.99^{**}$$

b) Clase de edad 2 (10.1 - 15 años)

$$Y = 5.51402 e^{-3.40638x} x^{0.38937} \dots\dots\dots/68/$$

$$R^2 = 0.97^{**}$$

c) Clase de edad 3 (15.1 - 20 años)

$$Y = 9.54821 e^{-3.27657x} x^{0.38832} \dots\dots\dots/69/$$

$$R^2 = 0.99^{**}$$

3. Clase de índice de sitio 3 (IS > 16 m/15 años)

a) Clase de edad 1 (5.1 - 10 años)

$$Y = 2.68950 e^{-4.83203x} x^{0.59372} \dots\dots\dots/70/$$

$$R^2 = 0.99^{**}$$

b) Clase de edad 2 (10.1 - 15 años)

$$Y = 0.00053 e^{-7.97032x} x^{0.57191} \dots\dots\dots/71/$$

$$R^2 = 0.99^{**}$$

c) Clase de edad 3 (15.1 - 20 años)

$$Y = 0.33741 e^{-4.48425x} x^{0.37224} \dots\dots\dots/72/$$

$$R^2 = 0.95^{**}$$

Donde: Y = Clase de DAP en cm.

X = Número de árboles por ha.

Cuadro 2. Distribución de frecuencias en las clases diamétricas observadas y calculadas mediante una función gamma para las 3 clases de edad establecidas. Sitio 1.

Marca de clase (DAP) cm	Frecuencias - Número de árboles por ha					
	5.1 - 10 años		10.1 - 15 años		15.1 - 20 años	
	observado	calculado	observado	calculado	observado	calculado
2	68.3	32.2	107.2	81.7	18.7	30.6
4	326.7	305.9	344.3	328.6	218.1	181.4
6	404.7	420.5	451.5	486.6	284.7	326.3
8	369.9	384.4	457.8	478.6	371.6	360.2
10	307.4	281.0	425.7	376.2	505.4	304.1
12	190.7	178.3	313.9	256.6	242.2	216.8
14	91.2	102.6	109.7	158.8	130.0	135.0
16	31.1	55.0	50.8	91.4	62.7	80.0
18	20.8	27.9	18.7	49.8	16.3	43.7
20	20.8	13.6	9.3	26.0	16.0	22.6
22					7.0	1.1

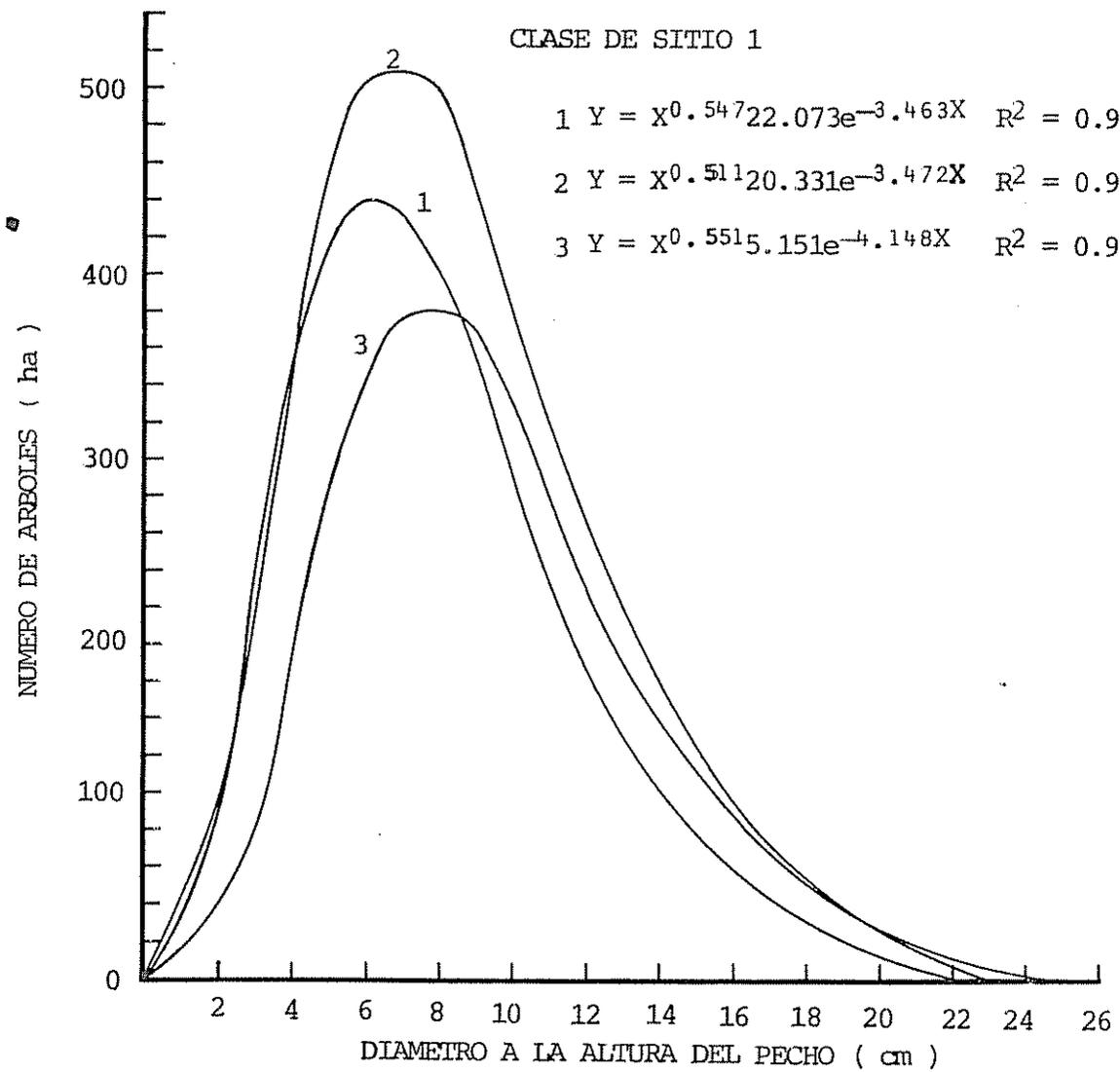


Fig. 4 Curva de frecuencias de diámetros ajustadas a la función gamma para tres clases de edad en la clase de sitio 1 (IS<12 m).

Cuadro 3. Distribución de frecuencias en las clases diamétricas observadas y calculadas mediante una función gamma para las 3 clases de edad establecidas. Sitio 2.

Marca de clase (DAP) cm	Frecuencias - Número de árboles por ha -					
	5.1 - 10 años		10.1 - 15 años		15.1 - 20 años	
	observado	calculado	observado	calculado	observado	calculado
2	39.3	50.9	17.5	27.3	33.4	42.8
4	609.4	606.4	133.6	135.1	211.8	191.7
6	1093.4	1099.1	285.7	251.1	317.6	334.6
8	880.9	901.8	268.9	312.4	387.1	397.1
10	526.2	488.5	315.5	312.0	410.6	381.4
12	182.5	202.3	269.2	271.1	303.2	320.5
14	52.5	69.3	266.4	214.0	243.9	245.5
16	16.0	20.9	147.9	157.5	184.5	175.8
18	6.6	5.7	104.2	109.8	122.0	119.6
20	3.8	1.4	60.0	73.4	70.0	78.1
22			36.3	47.4	48.6	49.3
24			20.6	29.8	24.0	30.3
26			15.5	18.3	19.0	18.2
28			11.2	11.0	11.3	10.7
30			5.0	6.5	3.1	6.2
32			5.0	0.4	2.2	2.0

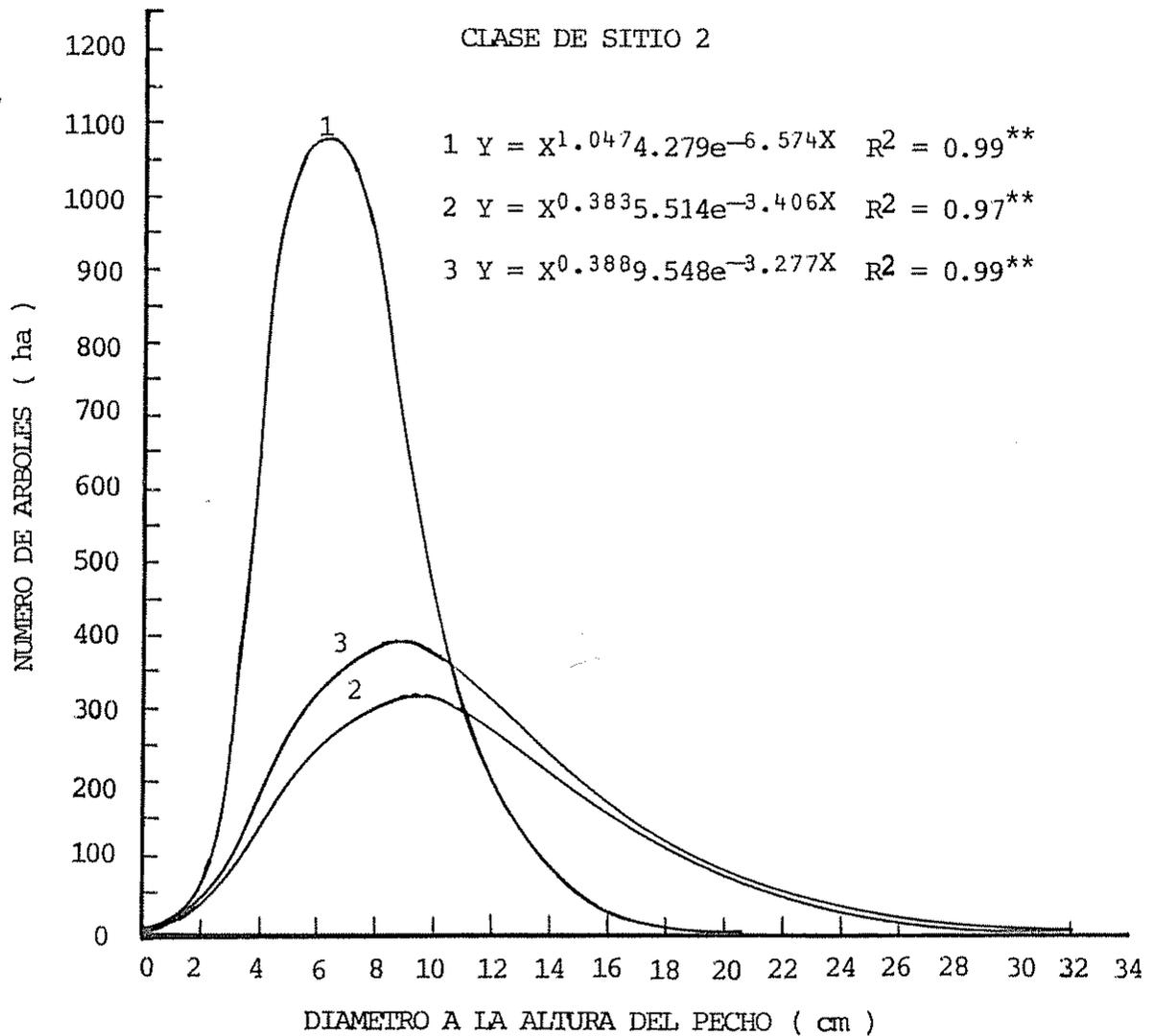


Fig. 5 Curva de frecuencias de diámetros ajustadas a la función gamma para tres clases de edad en la clase de sitio 2 ($12 < IS < 16$).

Cuadro 4. Distribución de frecuencias en las clases diamétricas observadas y calculadas mediante una función gamma para las 3 clases de edad establecidas. Sitio 3.

Marca de clase (DAP) cm	Frecuencias - Número de árboles por ha -					
	5.1 - 10 años		10.1 - 15 años		15.1 - 20 años	
	observado	calculado	observado	calculado	observado	calculado
2	40.4	23.5	1.2	4.2		
4	156.9	206.3	7.3	3.4	68.3	38.5
6	494.4	449.9	2.7	2.8	144.8	113.3
8	555.3	555.3	80.0	88.4	155.4	196.4
10	478.5	501.9	168.9	168.1	229.7	255.1
12	369.8	372.4	238.6	230.9	284.3	275.8
14	333.8	241.1	258.1	353.3	307.9	262.8
16	156.1	141.3	224.7	235.7	233.8	228.3
18	98.5	76.8	190.4	193.5	191.7	184.8
20	44.2	39.3	143.6	143.9	105.2	141.5
22	29.4	19.1	105.0	98.7	89.6	103.6
24	13.2	9.0	66.0	63.4	44.8	73.0
26	12.7	4.6	41.2	38.5	69.6	49.9
28	3.5	0.8	19.2	22.3	37.1	33.2
30			13.0	12.4	30.2	21.6
32			5.9	6.7	22.5	13.8
34			9.7	3.5	30.4	8.6
36			2.8	1.8	20.7	5.3
38			3.3	0.9	17.1	3.2
40			1.0	0.4	7.4	1.9
42			1.7	0.2	7.7	1.2
44					4.8	0.7
46					4.5	0.4
48					0.3	0.2
50					0.1	0.1

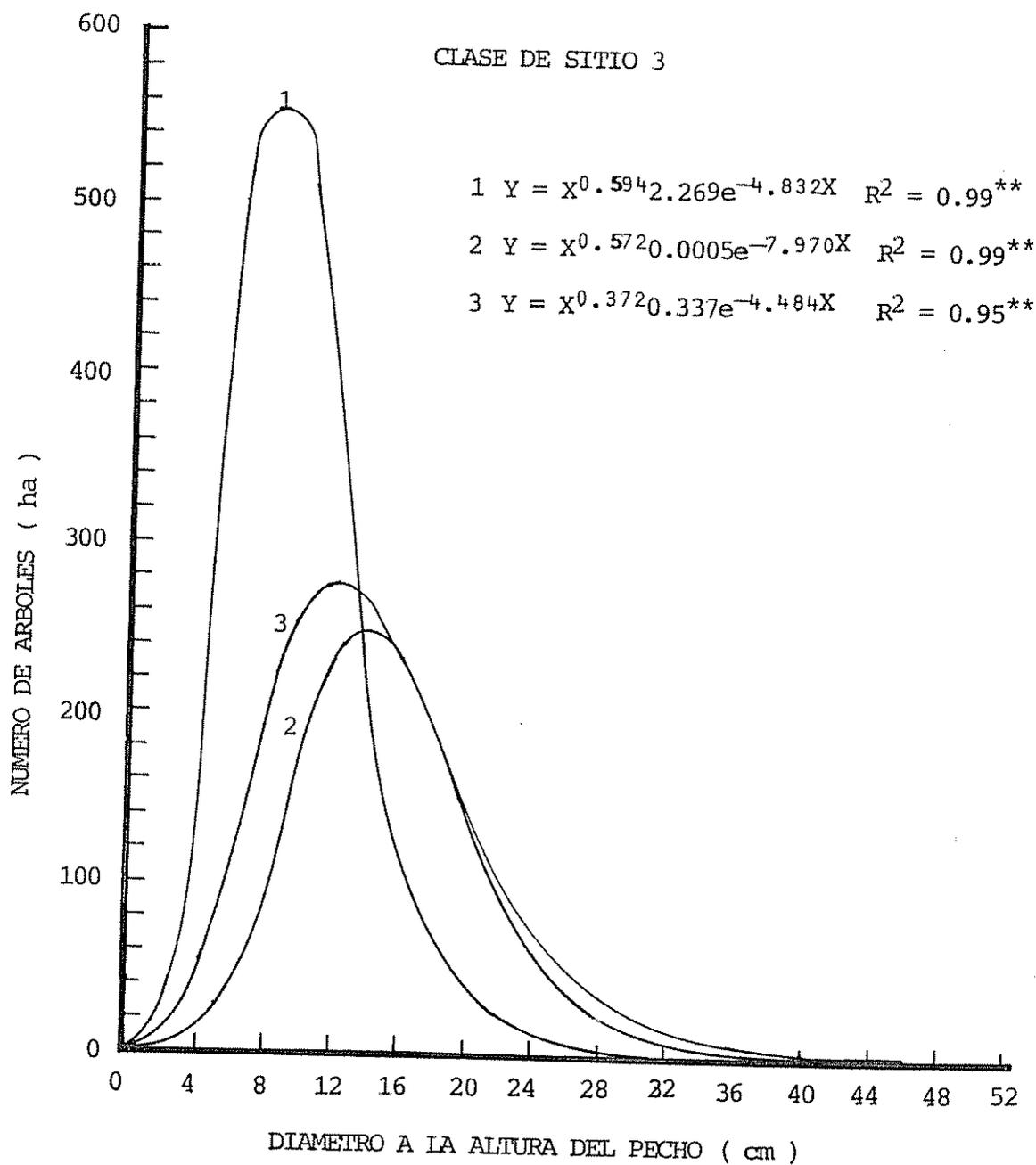


Fig. 6 Curva de frecuencias de diámetros ajustadas a la función gamma para tres clases de edad en la clase de sitio 3 (IS > 16 m).

4.3. Rendimiento y crecimiento de Cupressus lusitanica.

Los resultados de los modelos de rendimiento y crecimiento ensayados se encuentran detallados en los cuadros 5 a 9 y 11 a 12. Para cada modelo se indica su variable dependiente y las variables independientes con sus coeficientes y el término independiente. La significación de cada variable independiente se ha determinado por la prueba de "t" de Student, y la de todo el modelo por la prueba de "F" de Fisher. También se incluye el coeficiente de determinación " R^2 " como criterio de la bondad del ajuste de cada modelo.

4.3.1. Rendimiento bruto del volumen en m^3/ha .

Entre los cuatro modelos ensayados para estimar el rendimiento bruto del volumen, aunque todos fueron altamente significativos, el mejor fue el de Clutter (11) tanto para los árboles de todos los diámetro como para los de $DAP \geq 10$ cm como claramente lo indican los cuadros 9 y 10. Con respecto al primero de estos cuadros que corresponde al volumen total (V), el mencionado modelo de Clutter explicó el 98% de la variación en el rendimiento en volumen y el valor de "F" fué muy alto. Los modelos que siguieron en cuanto a ajuste fueron los dos propuestos en este trabajo que explicaron el 97% y el 95% de la variación en el rendimiento y tuvieron valores de "F" menores. Aunque los dos modelos aquí propuestos fueron casi tan buenos como el de Clutter, de todas maneras no se justificaría adoptarlos por tener mayor número de variables independientes que sólo son combinaciones de las 3 primeras.

En el cuadro 6 se muestran los resultados para los mismos 4 modelos de rendimiento en volumen pero en este caso para los árboles con $DAP \geq 10$ cm ($V \geq 10$). En general, los resultados fueron similares a los obtenidos para el volumen total, pero en este caso el modelo de Clutter aventajo aún más a .

Cuadro 5. Modelos del rendimiento bruto del volumen en m³/ha para los árboles de todas las clases de DAP; se indican sus parámetros, significación y coeficiente de determinación.

Autor	Variable		Coeficientes b	t	F	R ²
	Dependiente	Independiente				
Schumacher	log V		b ₀ = 1.54630		126 **	0.72 **
		1/E	b ₁ = -2.55714	1.787 ns		
		IS	b ₂ = 0.05422	6.511 **		
		IS/E	b ₃ = -0.02146	-0.264 ns		
Clutter	ln V		b ₀ = 1.32814		2682 **	0.98 **
		1/E	b ₁ = -0.43758	-1.887 ns		
		IS	b ₂ = 0.02638	9.850 **		
		ln A	b ₃ = 1.02495	46.387 **		
Este trabajo-1	log V		b ₀ = 1.65523		808 **	0.97 **
		1/E	b ₁ = 0.60881	2.509 *		
		IS	b ₂ = 0.01150	5.127 **		
		A	b ₃ = 0.01266	23.859 **		
		(1/E) (1/A)	b ₄ = -26.64577	-5.764 **		
		(1/E) (1/A) IS	b ₅ = 0.78012	1.753 ns		

Continúa.

Cuadro 5. Continuación.

Autor	log V		Coeficientes b	t	F	R ²
	Dependiente	Independiente				
Este trabajo-2			$b_0 = 1.73201$		558 **	0.95 **
	1/E		$b_1 = 1.41588$	2.188 *		
	IS		$b_2 = 0.03771$	10.403 **		
	1/A		$b_3 = -3.72704$	-12.889 **		
	A/E		$b_4 = 0.09506$	10.745 **		
	IS/E		$b_5 = -0.23534$	- 6.640 **		

* , Significativo al 5%

** Significativo al 1%

ns no significativo

Cuadro 6. Modelos del rendimiento bruto del volumen en m^3/ha para los árboles de $DAP > 10$ cm; se indican sus parámetros, significación estadística y coeficiente de determinación.

Autor	Variables Dependiente	Independiente	Coefficientes b	t	F	R ²
Schumacher	$\log V > 10$		$b_0 = 1.82293$		98 **	0.66 **
		1/E	$b_1 = -10.87263$	- 4.233 **		
		IS	$b_2 = 0.04666$	3.120 **		
		IS/L	$b_3 = 0.29634$	2.030 *		
Clutter	$\ln V > 10$		$b_0 = 1.27189$		7458 **	0.99 **
		1/E	$b_1 = -1.05736$	- 4.529 **		
		IS	$b_2 = 0.03566$	15.207 **		
		$\ln A$	$b_3 = 1.00609$	87.228 **		
Este trabajo-1	$\log V > 10$		$b_0 = 1.32909$		254 **	0.90 **
		1/E	$b_1 = -1.73740$	- 3.866 **		
		IS	$b_2 = 0.03187$	6.742 **		
		A	$b_3 = 0.01499$	11.583 **		
		(1/E) (1/A)	$b_4 = 0.49798$	0.155 ns		
	(1/E) (1/A) IS	$b_5 = 0.18663$	- 0.750 ns			
Este trabajo-2	$\log V > 10$		$b_0 = 1.75365$		307 **	0.91 **
		1/E	$b_1 = -5.59279$	- 4.166 **		
		IS	$b_2 = 0.02431$	3.091 **		
		1/A	$b_3 = -0.18162$	-12.044 **		
		A/E	$b_4 = 0.20116$	14.166 **		
	IS/E	$b_5 = 0.01156$	0.151 ns			

* Significativo al 5%

** Significativo al 1%

ns no significativo

los otros modelos alcanzando un excelente ajuste que explicó el 99% de la variación en el rendimiento, siendo además sus 3 variables independientes altamente significativas. Los dos modelos propuestos en este trabajo explicaron el 90% y el 91% de la variación en el crecimiento, además, tuvieron dos y una variable no significativas respectivamente.

Las ecuaciones obtenidas con el modelo de Clutrer se pueden utilizar en la elaboración de tablas de rendimiento para diferentes densidades posibles del rodal. Estas ecuaciones son:

$$\ln V = 1.322814 - 0.43758 (1/E) + 0.02038 (IS) + 1.02495 (\ln D) \dots\dots/73/$$

$$R^2 = 0.98^{**}$$

$$\ln V_{> 10} = 1.27189 - 1.05738 (1/E) + 0.03506 (IS) + 1.00607 (\ln D) \dots /74/$$

$$R^2 = 0.99^{**}$$

El modelo de Schumacher tuvo siempre el menor ajuste siendo sus coeficientes de determinación de 0.72 para (V) y de 0.66 para (V > 10). Debe tenerse en cuenta que este modelo no puede compararse directamente con los demás modelos por no tener una variable independiente que exprese la densidad. Este tipo de modelos se utilizan en la elaboración de las llamadas "tablas de rendimiento normal" cuando se esta seguro de que las parcelas tienen "densidad normal". En el presente estudio reflejan el volumen obtenido con la densidad promedio de las parcelas estudiadas. Las ecuaciones relativas a este modelo se dan a continuación:

$$\log V = 1.54630 - 2.55714 (1/E) + 0.05422 (IS) - 0.02148 (IS/E) \dots\dots/75/$$

$$R^2 = 0.72^{**}$$

$$\log V_{> 10} = 1.82293 - 10.87263 (1/E) + 0.04666 (IS) + 0.29634 (IS/E) \dots/76/$$

$$R^2 = 0.66^{**}$$

Y han sido utilizadas para calcular las columnas correspondientes al volumen de la tabla de rendimiento par C. lusitanica que aparece en el cuadro 10.

Dichas ecuaciones se encuentran graficadas en la Fig. 7 para una gana muy

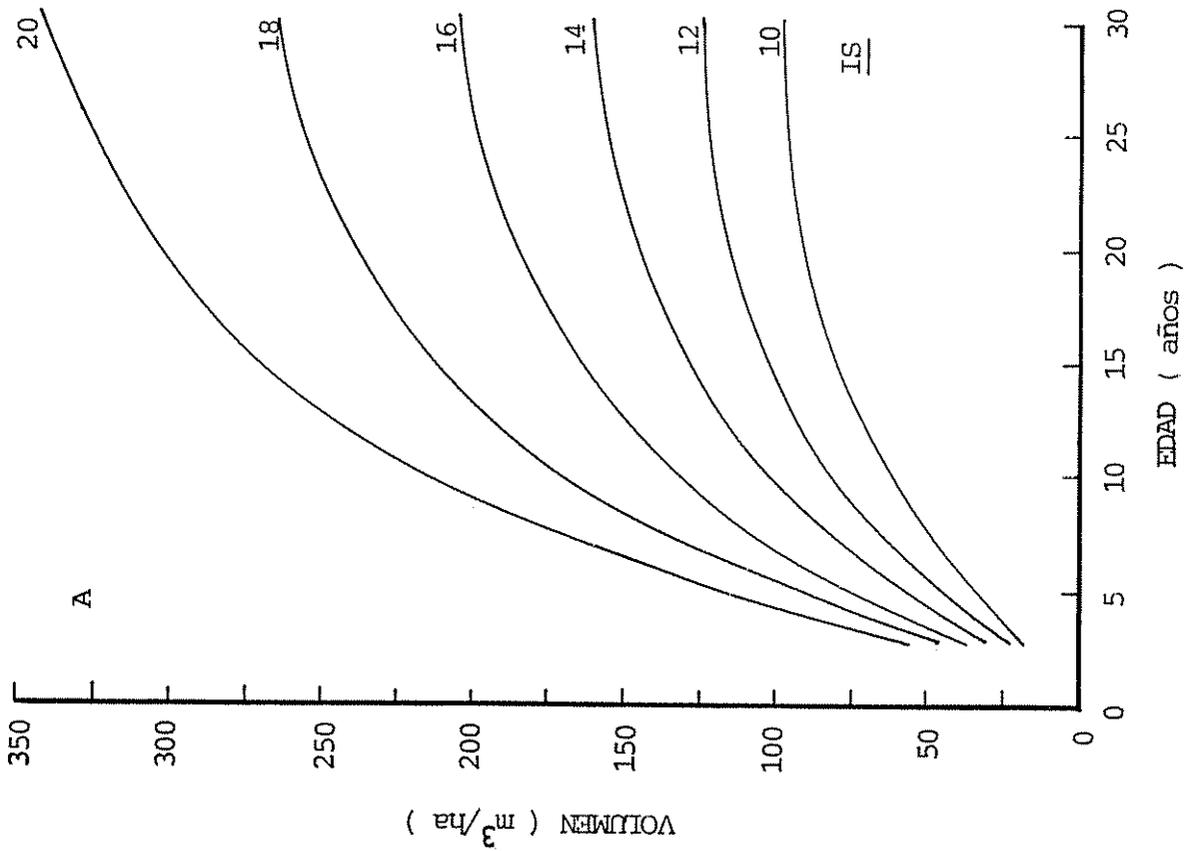
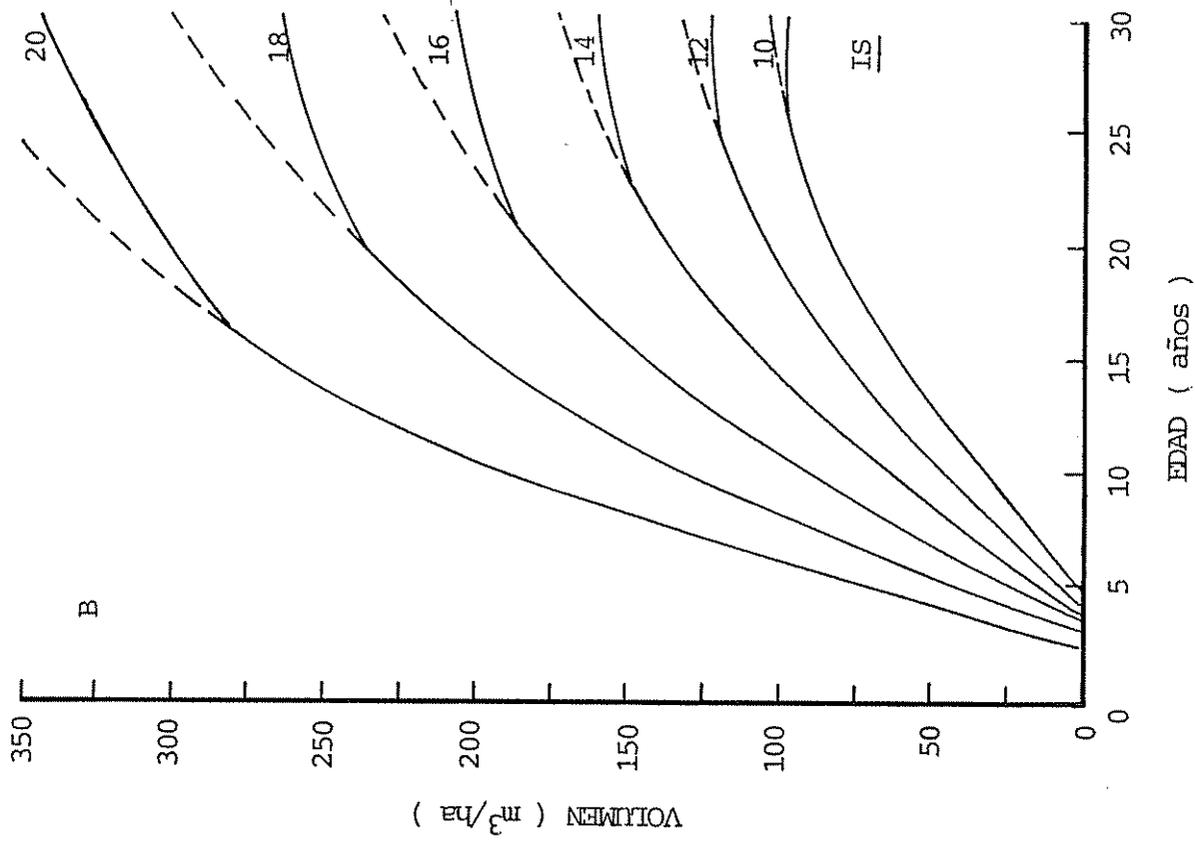


Fig. 7 Volumen de *Cupressus lusitanica* en relación con la edad y el sitio. A - todos los árboles; B - árboles con DAP \geq 10 cm.

amplia de índices de sitio que van desde los de peor calidad (IS = 10) hasta los de buena calidad (IS = 20). La suspensión de las curvas de la Fig. 7B (que también se observa en la Fig. 8B) con cambio abrupto de tendencia siguiendo ya la de la Fig. 7A, indica que a la edad correspondiente a tal cambio ya todos los árboles han alcanzado los 10 cm de DAP y, por lo tanto, de aquí en adelante la curva deberá seguir la tendencia indicada para el volumen total. La edad a la cual estas curvas se interceptan depende del sitio, así: las parcelas con IS = 20 tendrán todos los árboles con DAP > 10 cm aproximadamente a los 16 años, tanto que aquellas parcelas con IS = 10 tendrán que esperar 10 años más para superar dicho límite de DAP. Lo dicho es bastante teórico puesto que cortas fuertes por lo bajo que elimine los diámetros más pequeños, pueden reducir esta edad. Por otra parte, la intersección de las curvas de las Figs. 7B y 8B con la abscisa que representa la edad, indica la edad a la cual los árboles de una parcela empiezan a alcanzar los 10 cm de DAP, tal edad se encuentra cerca de los 2 años en las parcelas de IS = 20 y como a los 3.5 años para las parcelas de IS = 10.

4.3.2. Rendimiento bruto del área basal en m^2/ha .

Los cuadros 7 y 8 muestran el resultado de los modelos ensayados para el área basal total y el área basal de los árboles con DAP > 10 cm respectivamente. Como se ve, todos los modelos fueron altamente significativos de acuerdo con sus valores de "F" y al coeficiente de determinación, pero hubo diferencias importantes entre ellos.

El modelo de Curtis debe desecharse debido al valor tan alto del término independiente. Si se aplicara tal modelo se obtendrían rendimientos de unos 25 m^2/ha para todos los árboles y de unos 42 m^2/ha para los de DAP > 10 cm en la edad cero, resultados a todas luces ilógicos.

Cuadro 7. Modelos del rendimiento bruto del área basal en m²/ha para los árboles de todas las clases de DAP; se indican sus parámetros, significación estadística y coeficiente de determinación.

Autor	Variables		Coeficientes b	t	F	R ²
	Dependientes	Independientes				
Schumacher	log A		b ₀ = 1.08795		91 **	0.65 **
		1/E	b ₁ = -3.79803	-2.820 **		
		IS	b ₂ = 0.03343	4.263 **		
		IS/E	b ₃ = 0.06586	0.360 ns		
Curtis	A		b ₀ =-29.50461		164 **	0.52 **
		(logE) (logIS)	b ₁ = 45.54264	12.791 **		
Schumacher Modificada-1	log A		b ₀ = 0.90195		56 **	0.66 **
		1/E	b ₁ = -2.82895	-1.803 ns		
		IS	b ₂ = 0.03002	3.553 **		
		IS/E	b ₃ = 0.07203	0.924 ns		
		E	b ₄ = 0.00778	1.303 ns		
	D	b ₅ = 0.00324	1.448 ns			
Schumacher Modificada-2	ln A		b ₀ = 1.80463		76 **	0.67 **
		1/E	b ₁ = -7.90711	-2.637 **		
		IS	b ₂ = 0.04813	2.500 **		
		IS/E	b ₃ = 0.22105	1.292 ns		
	ln (D)	b ₄ = 0.38957	3.508 **			

* significativo al 5%

** significativo al 1%

ns no significativo

Cuadro 8. Modelos del rendimiento bruto del área basal en m²/ha para los árboles de DAP > 10 cm; se indican sus parámetros constante, significación estadística y coeficiente de determinación.

Autor	Variables		Coeficientes b	t	F	R ²
	Dependientes	Independientes				
Schumacher	log A>10		b ₀ = 1.32849		72 **	0.59 **
		1/E	b ₁ =-11.03794	- 4.385 **		
		IS	b ₂ = 0.02715	1.853 ns		
		IS/E	b ₃ = 0.33453	2.339 *		
Curtis	A>10		b ₀ =-41.92407		205 **	0.58 **
		(logE) (logIS)	b ₁ = 52.77832	14.314 **		
Schumacher Modificado-1	log A>10		b ₀ = 1.68578		47 **	0.62 **
		1/E	b ₁ =-13.18257	- 4.559 **		
		IS	b ₂ = 0.00884	0.567 ns		
		IS/E	b ₃ = 0.42826	2.980 **		
		E	b ₄ = 0.01342	- 1.220 ns		
		D	b ₅ = 0.01209	2.927 **		
Schumacher Modificado-2	ln A>10		b ₀ = 0.51261		91 **	0.71 **
		1/E	b ₁ =-22.36591	-44.557 **		
		IS	b ₂ = -0.04231	- 1.343 ns		
		IS/E	b ₃ = 1.02260	3.653 **		
		ln (D)	b ₄ = 1.41599	7.790 **		

* Significativo al 5%. ** Significativo al 1%. ns No significativo

El modelo de Schumacher resultó aceptable especialmente cuando se incluyeron los árboles de todas las dimensiones, pues a pesar de tener menor número de variables independientes que los dos modelos propuestos en este trabajo, su ajuste fue muy similar al de ellos ($R^2 = 0.65$). Para árboles de DAP ≥ 10 cm se logró un ajuste menos satisfactorio ($R^2 = 0.59$) pero aún altamente significativo.

Entre los dos modelos propuestos en este trabajo resultó mejor el segundo para ambas formas de rendimiento pues aunque su ajuste y término independiente es muy similar al menos para los árboles de todos los diámetros, tiene más variables significativas.

Con base en lo anterior se pueden seleccionar los siguientes modelos:

$$\log A = 1.0879 - 3.79803(1/E) + 0.03343(IS) + 0.06586(IS/E) \dots\dots/77/$$

$$R^2 = 0.65^{**}$$

$$\ln A = 0.56266 - 3.43423(1/E) + 0.02090(IS) + 0.0960(IS/E)$$

$$+ 0.38957 \ln(\bar{D}) \dots\dots\dots/78/$$

$$R^2 = 0.67^{**}$$

$$\log A_{\geq 10} = 1.32849 - 11.0.3794(1/E) + 0.02715(IS) + 0.33463(IS/E) \dots/79/$$

$$R^2 = 0.59^{**}$$

$$\ln A_{\geq 10} = 0.37335 - 9.71390(1/E) - 0.01838(IS) + 0.44414(IS/E)$$

$$+ 1.41600 \ln(\bar{D}) \dots\dots\dots/80/$$

$$R^2 = 0.71^{**}$$

Las ecuaciones 77 y 79 obtenidas con el modelo de Schumacher para el rendimiento en área basal total y para los árboles con DAP ≥ 10 cm se han dibujado en la Fig. 8. Los resultados respecto a los puntos de intercepción de estas ecuaciones son similares a los ya reseñados para la Fig. 7. También aquí, como en el caso del volumen, hay grandes diferencias entre los sitios.

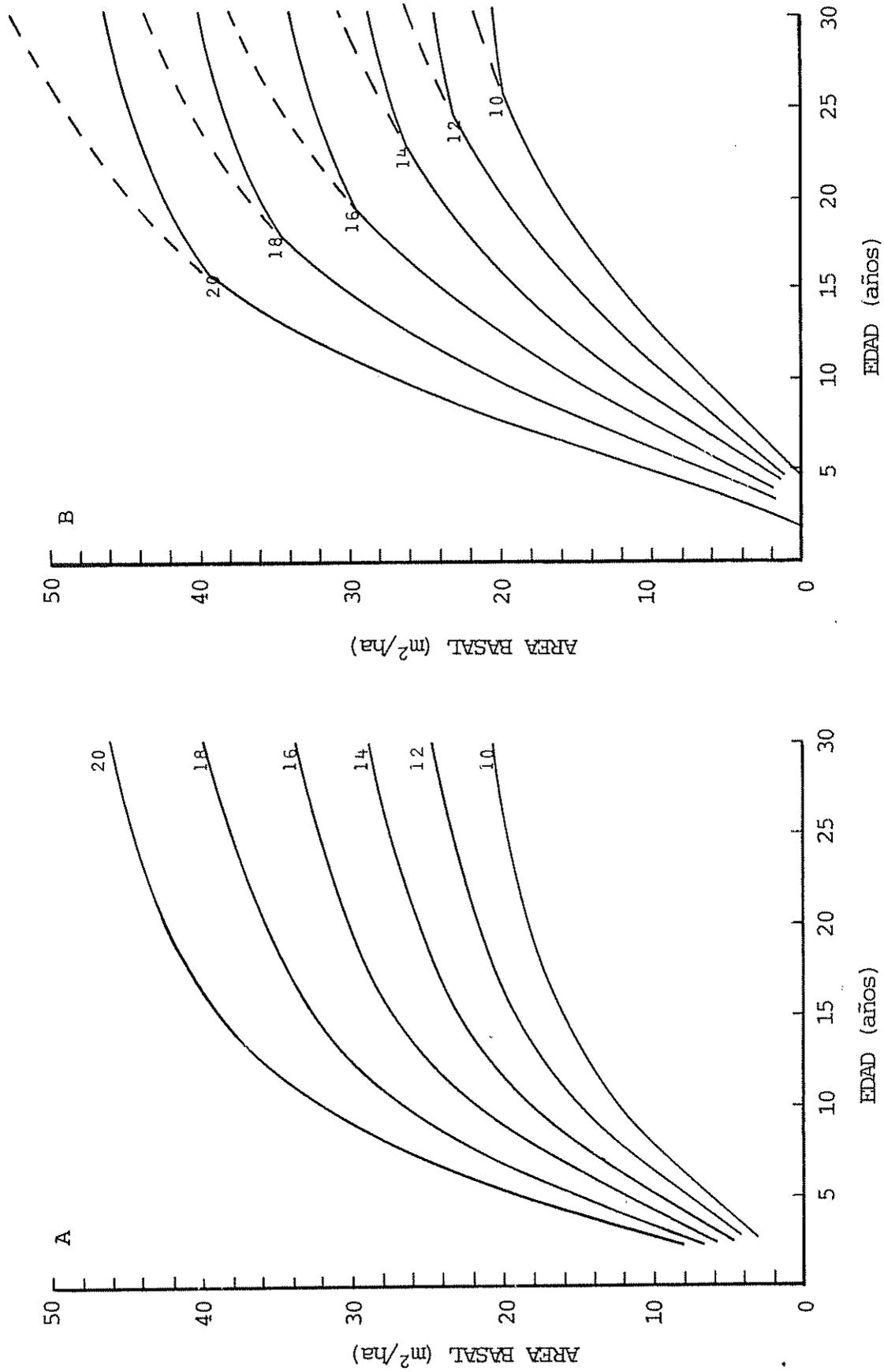


Fig. 8. Area basal de Cupressus lusitanica en relación con la edad y el sitio. A-todos los árboles; B-árboles con DAP > 10 cm.

Las columnas correspondientes al área basal de la tabla de rendimiento del cuadro 10 se han calculado con estas ecuaciones.

Las ecuaciones 78 y 80 son prácticamente el mismo modelo de Schumacher al que se le adicionó la variable $\ln(\bar{D})$. La inclusión de esta variable mejoró los coeficientes de correlación, siendo además altamente significativa y con el mayor valor de "t" dentro de las cuatro variables independientes del modelo.

4.3.3. Rendimiento del diámetro medio en cm/ha (\bar{D}).

El rendimiento diámetrico aquí reportado es más bien un rendimiento neto debido a que no se tuvieron en cuenta los árboles cortados y muertos; sólo se probaron dos modelos cuyos resultados se dan en el cuadro 9. También aquí el modelo de Clutter tuvo mejor ajuste que el de Schumacher aunque ambos fueron altamente significativos. Se destaca nuevamente el efecto favorable que tiene en los modelos la inclusión del área basal como variable independiente. Los dos modelos se dan también a continuación:

$$\log \bar{D} = 0.78096 - 0.93520(1/E) + 0.03215(IS) - 0.07733(IS/E) \dots\dots/81/$$

$$R^2 = 0.64^{**}$$

$$\ln \bar{D} = 1.65737 - 4.02923(1/E) + 0.03959(IS) + 0.19151(\ln A) \dots\dots/82/$$

$$R^2 = 0.66^{**}$$

4.3.4. Crecimiento bruto del volumen y del área basal utilizando modelos de crecimiento.

4.3.4.1. Crecimiento bruto del volumen en m³/ha/año (V^*)

Para los modelos de crecimiento se tuvieron en cuenta todos los árboles sin separar los de diámetro mayores de 10 cm. En el cuadro 11 se muestran

Cuadro 9. Modelos de rendimiento del DAP medio (\bar{D}) en m^2/ha ; se indican sus parámetros, significación estadística y coeficiente de determinación.

Autor	Variables		Coeficientes b	t	F	R ²
	Dependientes	Independientes				
Schumacher	log \bar{D}		$b_0 = 10.78096$		86 **	0.64 **
		1/E	$b_1 = -0.93520$	-0.973 ns		
		IS	$b_2 = 0.03215$	5.747 **		
		IS/E	$b_3 = -0.07733$	-1.416 ns		
Clutter	ln \bar{D}		$b_0 = 1.65737$		94 **	0.66 **
		1/E	$b_1 = -4.02923$	-6.765 **		
		IS	$b_2 = 0.03951$	5.743 **		
		ln A	$b_3 = 0.19151$	3.374 **		
Schumacher Modificado	\bar{D}		$b_0 = -2.05985$		35 **	0.42 *
		1/E	$b_1 = 26.75811$	0.534 ns		
		IS	$b_2 = 1.36924$	4.697 **		
		IS/E	$b_3 = -5.89929$	2.845 **		

* Significativo al 5%

** Significativo al 1%

ns No significativo

Cuadro 10. Tabla de rendimiento bruto de *Cupressus lusitanica* para diferentes índices de sitio.

IS (m/15 años)	Edad (años)	DAP prom. (cm)	Area basal total (m ² /ha)	Volumen total (m ³ /ha)	Area basal DAP>10cm (m ² /ha)	Volumen DAP>10cm (m ³ /ha)
10	5	5.8	6.2	34.2	1.2	5.1
	10	8.5	12.8	64.7	6.8	31.5
	15	9.7	16.3	80.1	12.2	57.8
	20	10.4	18.4	89.1	16.4	78.3
	25	10.8	19.8	95.0	19.6	94.0
12	5	6.2	7.7	43.0	1.8	8.3
	10	9.6	15.4	82.3	8.9	44.8
	15	11.0	19.4	101.9	15.4	76.5
	20	11.8	21.8	113.8	20.1	104.0
	25	12.4	23.4	121.4	23.4	121.4
14	5	6.7	8.6	54.2	2.7	13.5
	10	10.7	18.5	104.6	11.8	63.6
	15	12.5	23.1	128.5	19.3	106.6
	20	13.0	25.8	145.4	24.6	138.0
	25	14.1	27.6	155.3	27.6	155.3
16	5	7.3	11.9	68.2	4.2	22.0
	10	12.0	22.3	133.0	15.6	90.4
	15	14.1	27.5	160.9	24.2	144.8
	20	15.4	30.6	185.7	30.1	183.3
	25	16.2	32.6	198.5	32.6	198.5
18	5	7.8	14.7	85.8	6.5	35.9
	10	13.4	26.8	169.0	20.7	128.5
	15	16.0	32.8	209.0	30.4	196.6
	20	17.5	36.2	237.1	36.2	237.1
	25	18.5	38.5	253.8	38.5	253.8

Continúa.

Cuadro 10. Continuación.

IS (m/15 años)	Edad (años)	DAP prom. (cm)	Area basal total (m ² /ha)	Volumen total (m ³ /ha)	Area basal DAP>10cm (m ² /ha)	Volumen DAP>10cm (m ³ /ha)
20	5	8.5	18.2	108.0	10.0	58.5
	10	15.0	32.2	214.8	27.4	182.6
	15	18.1	39.0	276.1	38.2	266.9
	20	19.9	42.9	302.9	42.9	302.9
	25	21.1	45.4	324.5	45.4	324.5
22	5	9.1	22.7	135.4	15.3	95.3
	10	16.8	38.7	271.2	36.4	259.7
	15	20.5	45.4	342.6	46.4	342.6
	20	22.7	50.7	384.3	50.7	384.3
	25	24.1	53.6	412.5	53.6	412.5
24	5	9.9	28.0	171.0	24.5	155.9
	10	18.8	46.6	347.0	46.6	347.0
	15	23.2	55.3	439.7	55.3	439.7
	20	25.9	60.2	494.2	60.2	494.2
	25	27.6	63.3	530.0	63.3	530.0

los resultados de los modelos ensayados. Los dos modelos de Clutter se diferencian en que en el primero el volumen (V) es generado por medio de la ecuación del rendimiento en volumen tal como lo utilizó el autor del modelo, en cambio en el segundo el volumen (V) es el real encontrado en las parcelas estudiadas siendo esta una modificación introducida en este trabajo.

Desde el punto de vista del ajuste el mejor modelo es el de Curtis que tiene el coeficiente de determinación más alto (0.84) seguido luego por el de Clutter-2, luego el de Nelson y, por último, el de Clutter-1 ya que en este sentido disminuyen los coeficientes de determinación. Observando otros aspectos se nota que en el modelo de Curtis sólo la variable área basal (A) es significativa absorbiendo una gran proporción de la suma de cuadrados. Es muy poco práctico trabajar con todas estas variables que, por otra parte, no son significativas. El modelo de Clutter-2 es mucho más simple y todas sus variables son altamente significativas, pero presenta una dificultad importante que es común también a otros modelos. Esta dificultad proviene del hecho de que aquellas variables en las que aparece el índice de sitio ya sea solo o en combinación con otras variables, tienen parámetros negativos. Lo anterior significaría que a medida que mejorara el sitio el crecimiento disminuiría, resultado ilógico porque no se conforma ni con la experiencia ni con los modelos de rendimiento que indican que el crecimiento es más alto a medida que el índice de sitio aumenta. El modelo de Nelson tiene también muchas variables, pero aquí hay 5 que resultaron significativas al menos al 5%. Es posible entonces simplificarlo reteniendo sólo aquellas variables que son significativas, desechando las no significativas. El resultado de este procedimiento arrojó la siguiente ecuación del crecimiento en volumen (V') en $m^3/ha/año$.

Cuadro 11. Modelos del crecimiento bruto del volumen en m³/ha/año; se indican sus parámetros significación estadística y coeficiente de determinación.

Autor	Variables		Coeficientes b	t	F	R ²
	Dependientes	Independientes				
Clutter-1 (V generada)	V'		b ₀ =-2.87747		56 **	0.68 **
		V/E	b ₁ = 3.50006	3.088 **		
		V/E ²	b ₂ =-4.44563	-2.105 *		
		V(IS/E)	b ₃ =-0.03255	-2.781 **		
		(V ln A)/E	b ₄ =-0.31098	-1.560 ns		
Clutter-2 (V real)	V'		b ₀ =-6.14547		103 **	0.80 **
		V/E	b ₁ = 4.73127	5.580 **		
		V/E ²	b ₂ = 5.85867	3.803 **		
		V(IS/E)	b ₃ =-0.03200	-3.616 **		
		(V n A)/E	b ₄ =-0.56841	-3.733 **		
Curtis	log V'		b ₀ = 3.26025		50 **	0.84 **
		E	b ₁ =-0.01686	-0.269 ns		
		1/E	b ₂ =-3.03853	-0.314 ns		
		log E	b ₃ =-1.82711	-0.636 ns		
		IS	b ₄ =-0.03530	-0.613 ns		
		log IS	b ₅ = 0.30339	0.380 ns		
		A	b ₆ = 0.00700	3.069 **		
	1/A	b ₇ =-3.49948	-1.030 ns			

Continúa.

Cuadro 11. continuación.

Autor	Variables Dependientes	Variables Independientes	Coeficientes b	t	F	R ²
	A ²		b ₈ = -14.37976	-0.871 ns		
	IS/E		b ₉ = 0.07699	0.251 ns		
	(IS)E		b ₁₀ = 0.00222	0.991 ns		
Nelson	V ⁱ		b ₀ = -11.12483	4.1 **	0.79 **	
	IS		b ₁ = 1.7796	2.316 *		
	(IS/E)		b ₂ = -17.12145	-2.650 **		
	A		b ₃ = 1.29477	-1.757 ns		
	A ²		b ₄ = 0.02387	2.173 *		
	A/E		b ₅ = 24.83837	4.870 **		
	A ² /E		b ₆ = 0.31364	-4.974 **		
	(IS)A		b ₇ = 0.00008	-0.002 ns		
	(IS)A ²		b ₈ = 0.00004	-0.224 ns		
	1/E		b ₉ = 62.08224	0.778 ns		

* significativo al 5%

** significativo al 1%

ns no significativo

$$V' = -5.51106 + 0.09291(IS) + 0.99052(IS/E) + 0.00824 A^2 \\ + 10.44111(A/E) - 0.15573(A^2/E) \dots\dots\dots/83/ \\ R^2 = 0.76^{**}$$

4.3.4.2. Crecimiento bruto del área basal en m²/ha/año (A')

En el cuadro 12 se detallan los resultados obtenidos con los modelos utilizados para el crecimiento en área basal organizado en forma similar a los anteriores. Desde el punto de vista del ajuste, o sea de su coeficiente de determinación, la bondad de los modelos es en orden del mejor al peor así: Clutter-1, Curtis, Nelson, Clutter-2 y Buckman. Sus coeficientes de determinación fueron altamente significativos en todos alcanzando respectivamente las siguientes cifras: 0.97, 0.77, 0.73, 0.65 y 0.63. Como en el caso del volumen todos los modelos aquí ensayados tienen el escollo de poseer parámetros negativos para las variables en que aparece el índice de sitio. Esto imposibilita el uso de cualquiera de estos modelos con fines prácticos. El modelo de Curtis que tuvo el segundo mejor ajuste tiene otras razones adicionales para desecharse porque de sus 10 variables independientes solamente una, el área basal, llegó a ser significativa, dejando variables tan importantes como la edad sin significación estadística.

4.3.5. Crecimiento bruto del volumen y del área basal derivados de las ecuaciones de rendimiento.

En vista de que la mayoría de los modelos de crecimiento utilizados en este estudio fallaron al tratar de obtener por métodos de regresión ecuaciones que expresaran adecuadamente el crecimiento de C. lusitanica, con

Cuadro 12. Modelos de crecimiento bruto del área basal en m²/ha/año; se indican sus parámetros significación estadística y coeficiente de determinación.

Autor	Variables		Coeficientes b	t	F	R ²
	Dependientes	Independientes				
Clutter-1	A' + (lnA)/E		b ₀ = -0.86892		1839 **	0.97 **
	A/E		b ₁ = 5.14888	18.784 **		
	A (IS/E)		b ₂ = -0.01139	-1.048 ns		
Clutter-2	A'		b ₀ = -0.07549		65 **	0.65 **
	A/E		b ₁ = 2.90388	8.970 **		
	A (IS/E)		b ₂ = -0.03883	-4.437 **		
	A (ln A)E		b ₃ = -0.29882	-3.846 **		
Curtis	log A'		b ₀ = 0.73350		33 **	0.77 **
	E		b ₁ = -0.00627	-0.107 ns		
	1/E		b ₂ = 8.96077	1.001 ns		
	log A		b ₃ = 0.25517	0.102 ns		
	IS		b ₄ = 0.03297	0.621 ns		
	log IS		b ₅ = -1.07443	-1.457 ns		
	A		b ₆ = 0.00050	0.088 ns		
	1/A		b ₇ = -6.84705	-6.413 **		
	A ²		b ₈ = 0.00004	0.754 ns		
	IS/E		b ₉ = -0.00020	-0.097 ns		
(IS)E		b ₁₀ = -0.21151	-0.753 ns			

Continúa.

Cuadro 12. Continuación.

Autor	Variables		Coeficientes b	t	F	R ²
	Dependientes	Independientes				
Nelson	A'		$b_0 = 3.21560$		30 **	0.73 **
		IS	$b_1 = 0.22149$	2.169 *		
		IS/E	$b_2 = 2.07935$	-2.410 *		
		A	$b_3 = 0.06191$	0.632 ns		
		A ²	$b_4 = 0.00014$	-0.236 ns		
		A/E	$b_5 = 2.54071$	3.878 **		
		A ² /E	$b_6 = 0.03429$	-4.070 **		
		(IS)A	$b_7 = 0.00850$	-2.267 *		
		(IS)A ²	$b_8 = 0.00012$	2.018 *		
	1/E	$b_9 = 27.27925$	2.559 *			
Buckman	A'		$b_0 = 6.48919$		29 **	0.63 **
		E	$b_1 = 0.57484$	-6.285 **		
		E ²	$b_2 = 0.01202$	3.130 **		
		A	$b_3 = 0.10917$	4.137 **		
		A ²	$b_4 = 0.00057$	-2.424 *		
		IS	$b_5 = 0.07518$	-2.831 **		
	AE	$b_6 = 0.00616$	-0.116 ns			

* significativo al 5%

** Significativo al 1%

ns no significativo

Base en los datos disponibles de parcelas permanentes, se utilizó el procedimiento alterno mencionado en el capítulo de materiales y métodos. Es posible teniendo una ecuación que representa el rendimiento, obtener la ecuación correspondiente de crecimiento corriente anual que sería la ecuación de la primera derivada de la del rendimiento; o también al contrario integrando la ecuación de crecimiento.

Iscribiendo nuevamente la ecuación 77 que indica el rendimiento en área basal de todos los árboles se tiene:

$$\log A = 1.08795 - 3.79803(1/E) + 0.03343(IS) + 0.06586(IS/E) \dots\dots/84/$$

derivando ($\log A$) con respecto a la edad utilizando fórmulas corrientes del cálculo diferencial (45) se llega a esta expresión:

$$A' = \frac{dA}{dE} = AE^{-2}(3.79803 - 0.06586(IS)) \ln 10 \dots\dots\dots/85/$$

Esta es la ecuación del crecimiento corriente anual bruto del área basal en $m^2/ha/año$, cuyo máximo para la edad se puede demostrar (ver demostración en el apéndice) que ocurre cuando

$$E = 1.15129(3.79803 - 0.06586(IS)) \dots\dots\dots/86/$$

Se ve como la edad de culminación del crecimiento corriente anual del área basal depende del índice de sitio, siendo menor a medida que éste aumenta.

Similarmente la edad de culminación del crecimiento medio anual del área basal ocurre cuando

$$E = 2.36259(3.79803 - 0.06586(IS)) \dots\dots\dots/87/$$

O sea que se presenta al doble de la edad del crecimiento corriente anual.

En la Fig. 1 se han dibujado curvas de crecimiento corriente anual (C.C.A.) y de crecimiento promedio anual (C.P.A.) del área basal para varios índices de sitio, notándose grandes variaciones en el crecimiento en área ba-

sal entre los índices de sitio y, además, una edad de culminación sumamente temprana que disminuye levemente a medida que el sitio mejora. En el cuadro 13 se han calculado para una gama amplia de índices de sitio sus máximos C.C.A. y C.P.A. en área basal y la edad a la cual se alcanzan.

Según este cuadro la culminación del C.C.A. del área basal ocurrirá cerca a los 3.61 años en lugares donde el crecimiento es muy bajo ($IS = 10$), edad en la cual el bosque crecerá $1.93 \text{ m}^2/\text{ha/año}$. En sitios donde el crecimiento es muy alto ($IS = 24$) el C.C.A. máximo del área basal se alcanza a los 2.55 años, llegando a la cifra de $8.21 \text{ m}^2/\text{ha/año}$. El C.P.A. máximo culmina exactamente al doble de estas edades.

Similarmenete la ecuación 75 (página 58) que sirve para calcular el rendimiento en volumen en función de la edad y el sitio es:

$$\log V = 1.54630 - 2.55714(1/E) + 0.05422(IS) - 0.02148(IS/L) \dots\dots/88/$$

Como en el caso del área basal, o sea, derivando $\log V$ con respecto a la edad se obtiene:

$$V' = \frac{dV}{dE} = V L^{-2} (5.88803 + 0.04940(IS)) \dots\dots\dots/89/$$

que es la ecuación del crecimiento corriente anual bruto del volumen en $\text{m}^3/\text{ha/año}$, que presenta su culminación a la edad:

$$E = 1.15129(2.55714 + 0.02148(IS)) \dots\dots\dots/90/$$

Aquí la edad a la cual se presenta el máximo crecimiento corriente aumenta cuando aumenta el índice de sitio.

La edad del máximo crecimiento corriente del volumen es:

$$L = 2.30229(2.55714 + 0.02148(IS)) \dots\dots\dots/91/$$

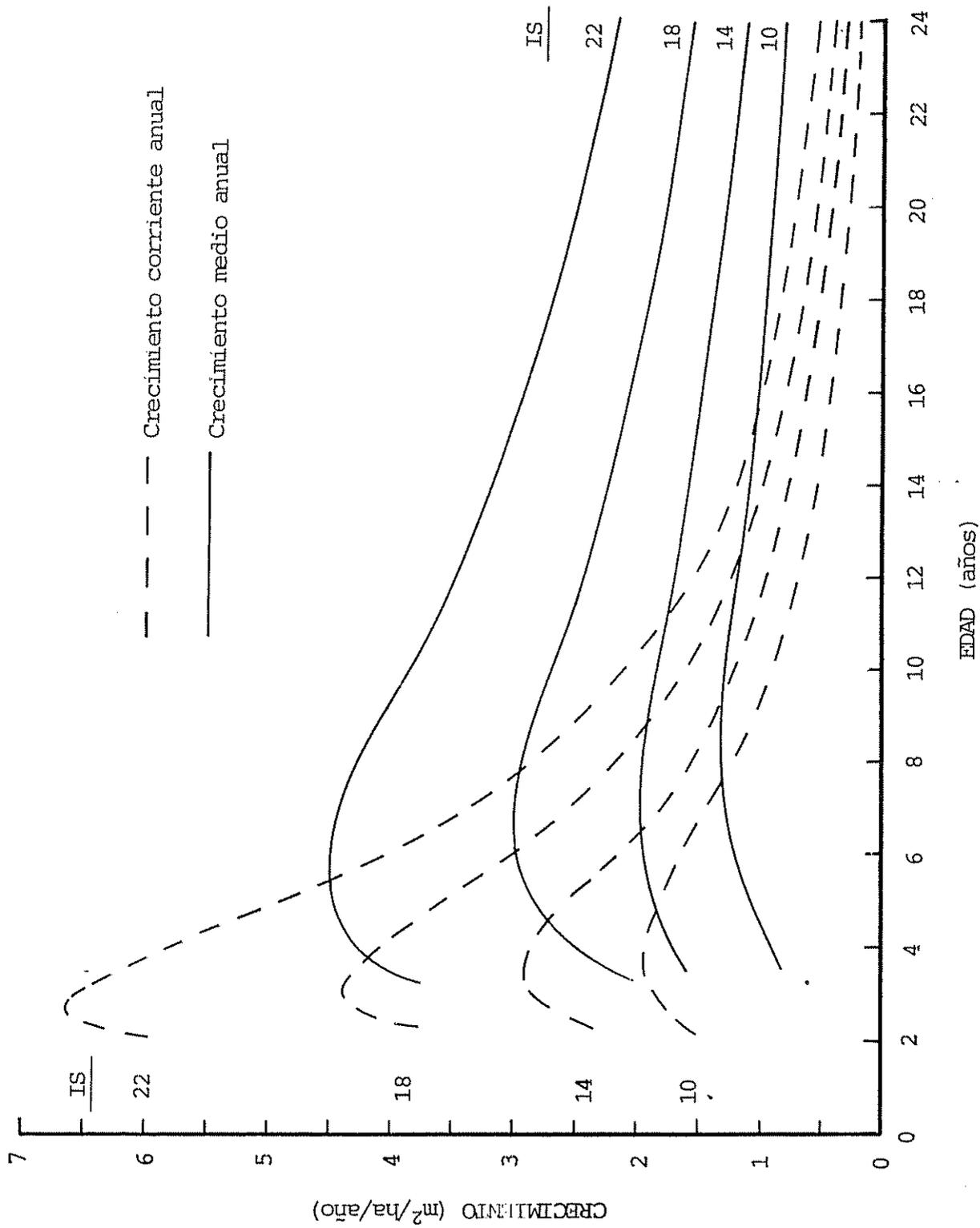


Fig. 9 Crecimiento bruto del área basal de Cupressus lusitanica en cuatro sitios diferentes.

Cuadro 13. Crecimientos corrientes y promedios máximos del área basal en $m^2/ha/año$ y edad a la cual se presentan en diferentes calidades de sitio.

Índice de sitio	10	12	14	16	18	20	22	24
C.C.A. máximo	1.96	2.33	2.93	3.59	4.40	5.41	6.66	8.21
Edad	3.61	3.46	3.31	3.16	3.00	2.86	2.70	2.55
C.P.A. máximo	1.32	1.59	1.95	2.37	3.00	3.67	4.53	5.64
Edad	7.22	6.92	6.62	6.32	6.00	5.72	5.40	5.10

La Fig. 10 muestra el C.C.A. y el C.P.A. del volumen para 3 sitios diferentes. También aquí se ven grandes diferencias en el crecimiento entre los sitios y una edad de culminación muy temprana, pero a diferencia del caso del área basal, la edad de culminación del crecimiento en volumen aumenta levemente a medida que aumenta el índice de sitio. En el cuadro 14 se han tabulado la edad de culminación y el crecimiento alcanzado a esa edad en varios índices de sitio.

Cuadro 14. Crecimientos corrientes y promedios máximos del volumen en $m^3/ha/año$ y edad a la cual se presentan en diferentes calidades de sitio.

Índice de sitio	10	12	14	16	18	20	22	24
C.C.A. máximo	10.3	13.1	16.6	21.0	26.5	33.6	42.6	53.3
Edad	3.10	3.24	3.29	3.33	3.39	3.43	3.49	3.54
C.P.A. máximo	7.1	8.9	11.3	14.3	18.1	22.9	28.9	36.6
Edad	6.38	6.48	6.58	6.66	6.73	6.80	6.98	7.08

La ecuación 84 (página 75) puede escribirse así

$$\log A = 0.03343(IS) - 1.08795 = -3.79803I^{-1} + 0.06306(IS)I^{-1}$$

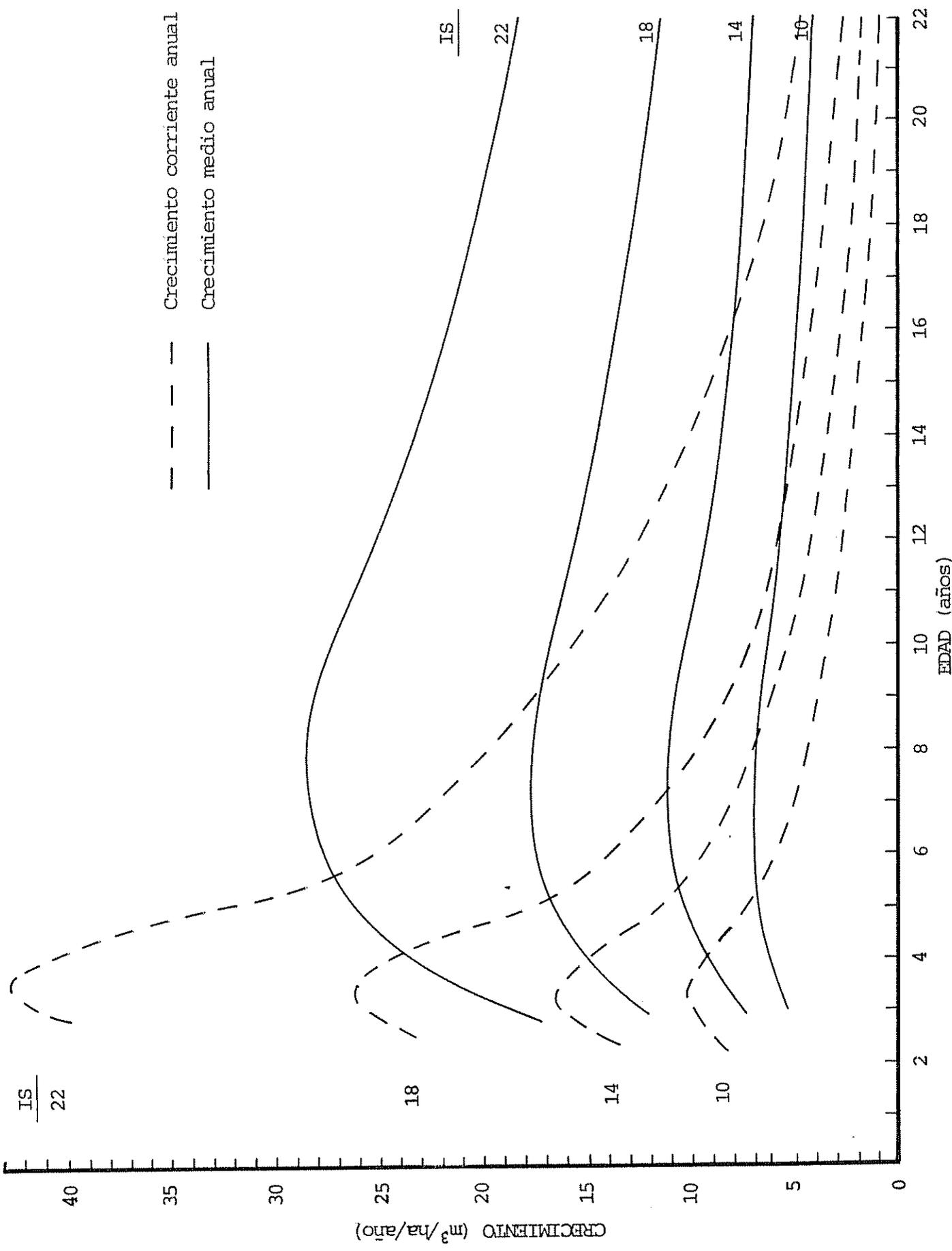


Fig. 10 Crecimiento bruto del volumen de Cupressus lusitanica en cuatro sitios diferentes.

y reemplazando en la ecuación 84 se llega a una nueva forma de expresar el crecimiento bruto esperado del área basal que será útil posteriormente, esta forma es

$$\frac{dA}{dE} = AE^{-1}(2.50510 + 0.07698(IS) - 2.30259 \log A) \dots\dots\dots/92/$$

Esta ecuación se ha graficado en la Fig. 11 para dos índices de sitio representativos de calidad mediana (IS 10) y buena (IS 20) para C. lusitanica. Estos gráficos indican para diferentes edades y densidades (área basal) el crecimiento que se puede esperar del área basal.

Con las fórmulas disponibles no es posible aún conociendo el área basal inicial predecir el rendimiento futuro, o sea su proyección para una edad posterior. Esto se logra mediante la integración de la ecuación 92

$$\int_{E_0}^{E_p} E^{-1} dE = \int_{A_0}^{A_p} (2.50510 + 0.07698(IS) - 2.30259 \log A)^{-1} A^{-1} dA$$

Donde E_0 es la edad inicial y E_p la edad proyectada; así mismo A_0 es el área basal inicial y A_p el área basal proyectada.

Desarrollando los integrales se tiene:

$$\ln E_p - \ln E_0 = -\{\ln(2.50510 + 0.07698(IS) - 2.30259 \log A_p) - \ln(2.50510 + 0.07698(IS) - 2.30259 \log A_0)\} + C$$

$A_p = A_0$ cuando $E_p = E_0$; luego $C = 0$

Sacando antilogaritmos en ambos lados de la ecuación se llega a la siguiente expresión:

$$E_p \cdot E_0^{-1} (2.50510 + 0.07698(IS) - 2.30259 \log A_p) = (2.50510 + 0.07698(IS) - 2.30259 \log A_0)$$

De donde

$$\log A_p = 1.08795 + 0.03343(IS) - \frac{E_0^{-1}}{E_p} (1.08795 + 0.03343(IS) - \log A_0) \dots/93/$$

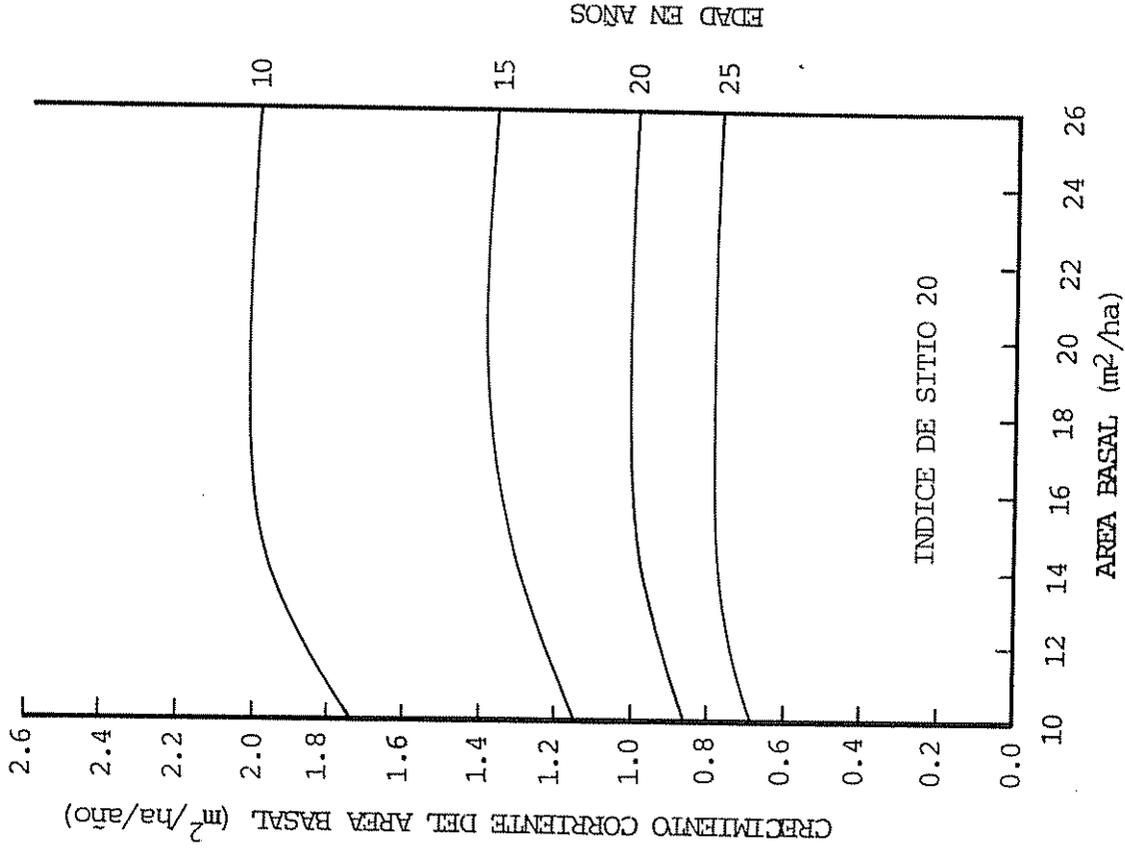
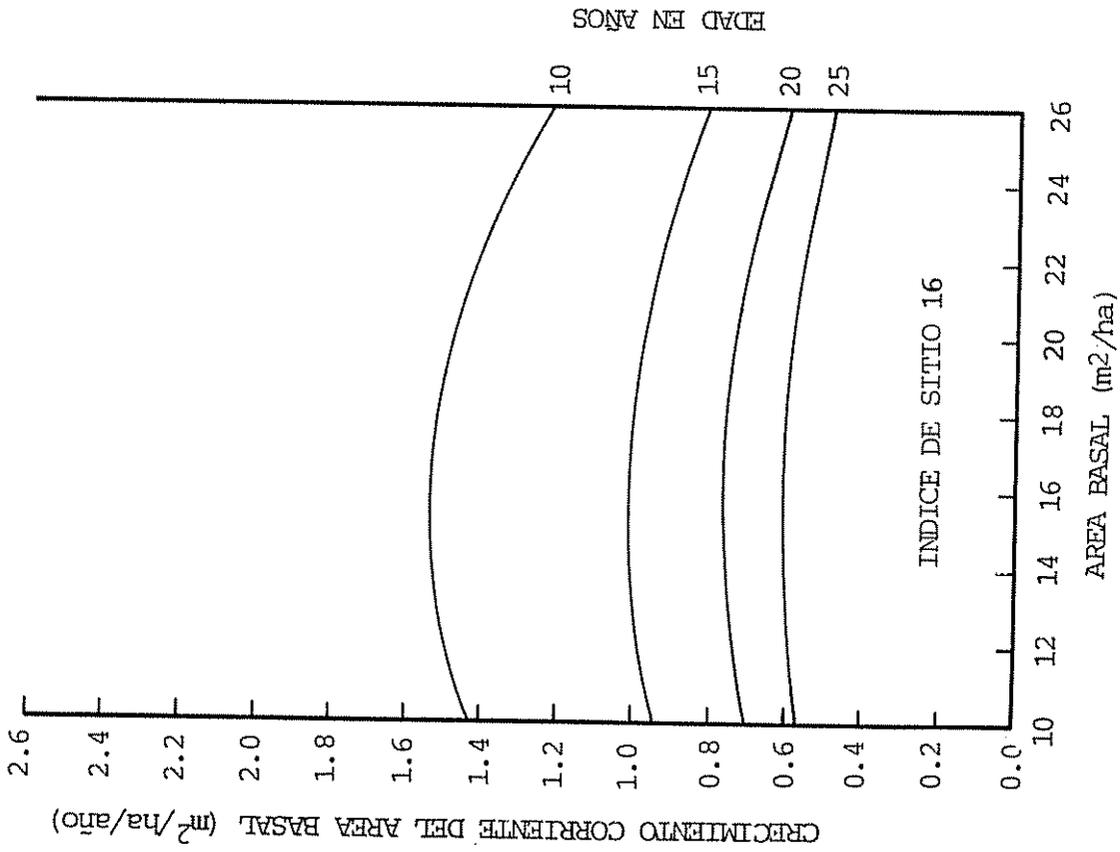


Fig. 11 Crecimiento esperado del área basal para varias edades y densidades en los índices de sitio 16 y 20.

La Fig. 12 es la expresión gráfica de esta ecuación para los índices de sitio 16 y 20. Esta figura representa familias de curvas que se han proyectado a partir del área basal inicial a los 10 años de edad.

La ecuación 73 que expresa el rendimiento en volumen como función de la edad, el índice de sitio y el área basal es

$$\ln V = 1.32814 - 0.43758(1/E) + 0.02638(IS) + 1.02495(\ln A) \dots\dots/94/$$

y se encuentra expresada en forma gráfica en la Fig. 13 para dos índices de sitio representativos de crecimiento mediano y bueno.

Esta ecuación también puede escribirse

$$V = e^{(1.32814 - 0.43758E^{-1} + 0.02638(IS) + 1.02495 \ln A)}$$

derivando con respecto a la edad

$$\frac{dV}{dE} = e^{(\text{exp})} \left\{ 1.02495A^{-1} \frac{dA}{dE} + 0.43758E^{-2} \right\} \ln e$$

Aquí (exp) es el exponente de e en la expresión anterior, pero

$$e^{(\text{exp})} = V \quad \text{y,} \quad \ln e = 1$$

Luego:

$$\frac{dV}{dE} = 1.02495 VA^{-1} \left(\frac{dA}{dE} \right) + 0.043758 VE^{-2} \dots\dots\dots/95/$$

pero la ecuación 92 (página 80) dice que

$$\frac{dA}{dE} = AE^{-1}(2.50510 + 0.07698(IS) - 2.30259 \log A) \dots\dots\dots/96/$$

Se debe tener en cuenta que el término $\log A$ es una función de la edad, luego la forma de la ecuación esta especificada por la ecuación 93 (página 80) , la cual debe substituirse en la ecuación 96. Se usará la notación A y E en lugar de A_p y E_p . Haciendo dichos reemplazamientos se tiene que

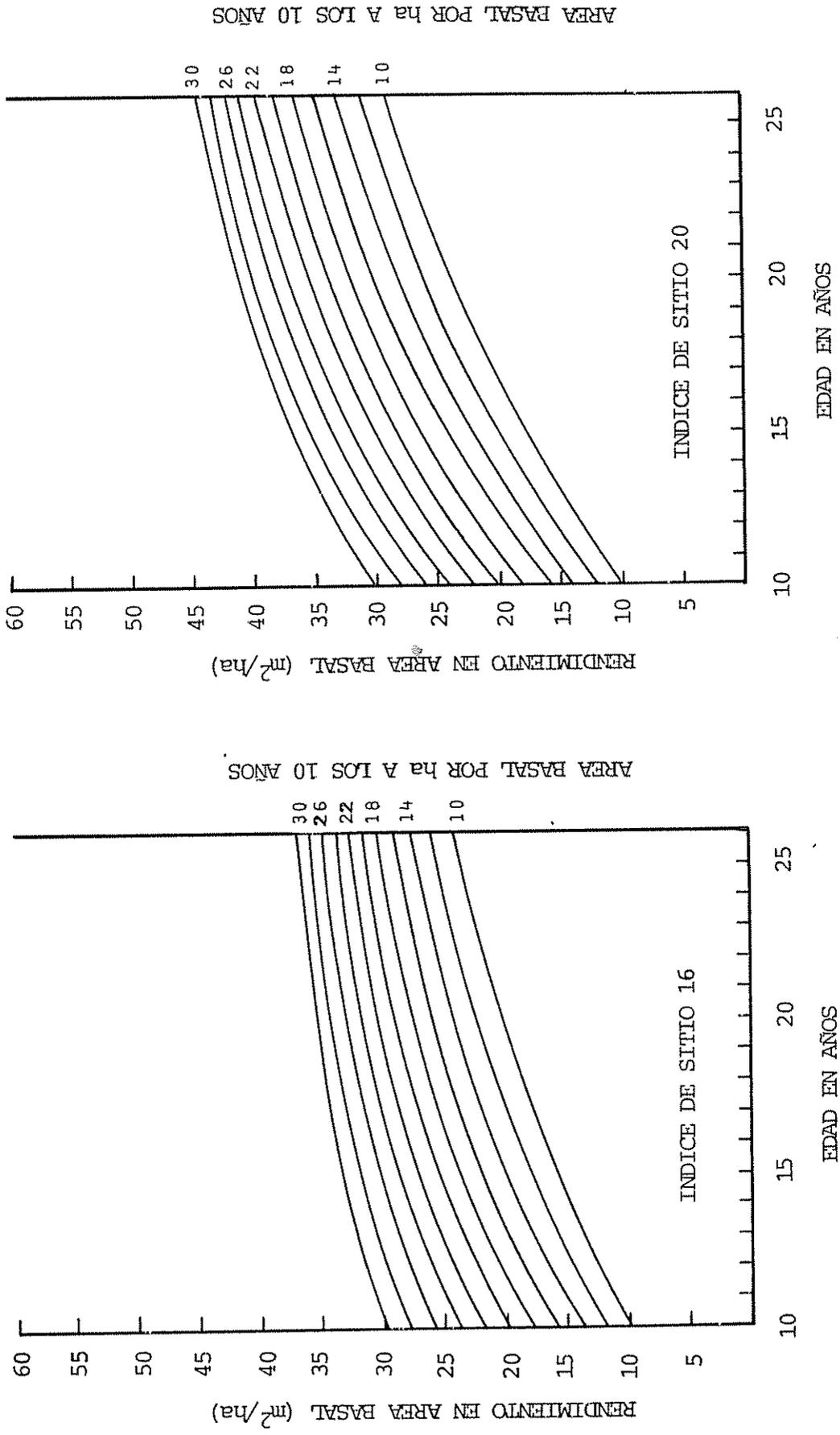


Fig. 12 Proyección del área basal a varias edades y densidades iniciales para los índices de sitio 16 y 20.

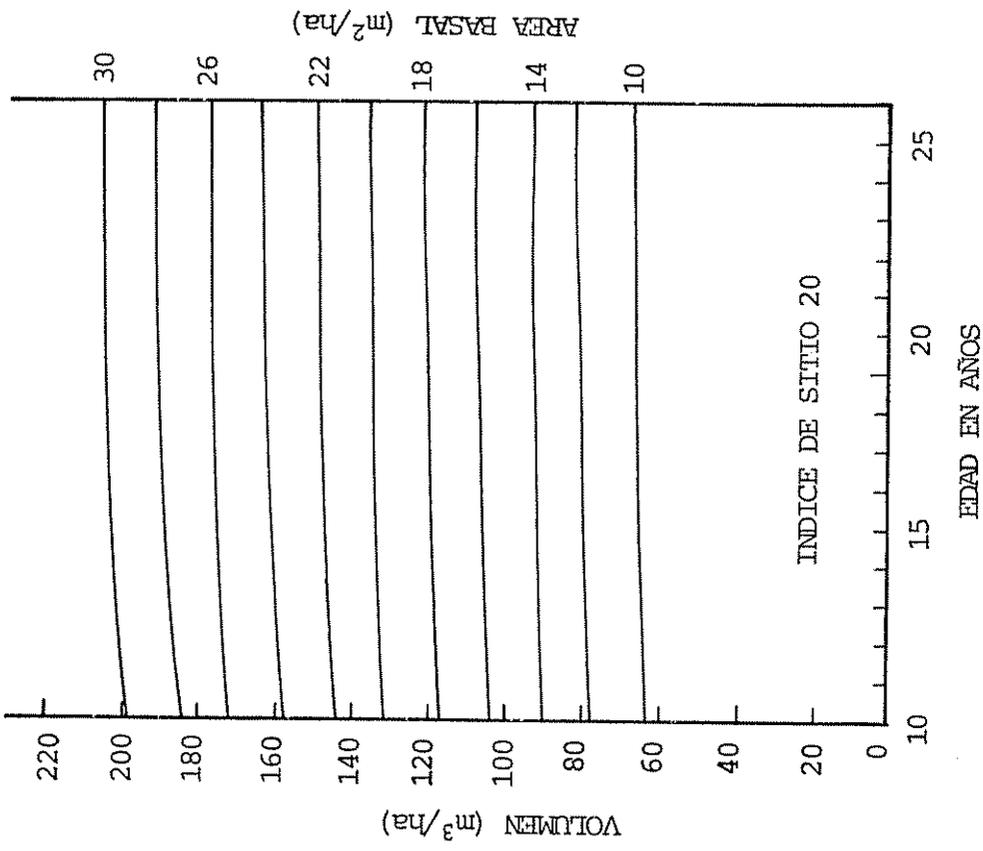
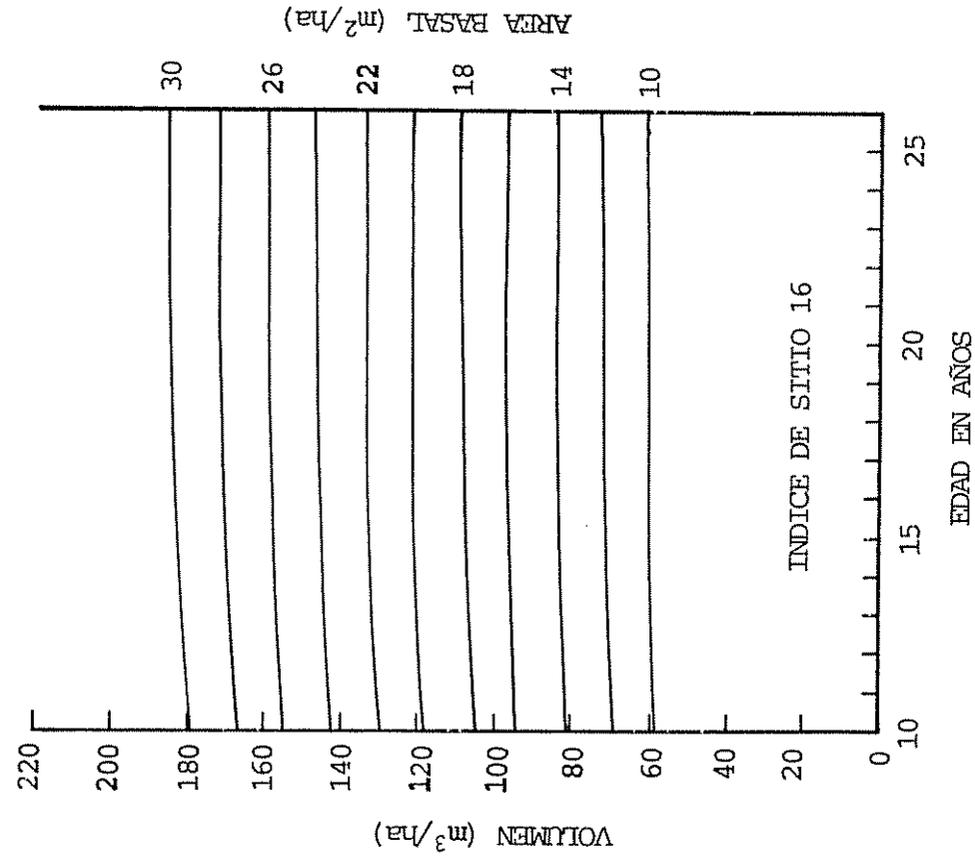


Fig. 13. Rendimiento esperado del volumen para varias edades y densidades en los índices de sitio 16 y 20.

$$\frac{dA}{dE} = AE^{-1} \{ 2.50510 + 0.07698(IS) - 2.30259(1.08795 + 0.03343(IS) - E^{-1}E_0(1.08795 + 0.03343(IS) - \log A_0) \}$$

simplificando da

$$\frac{dA}{dE} = AE^{-2} E_0 \{ 2.50510 + 0.07698(IS) - 2.30259 \log A_0 \}$$

substituyendo esta ecuación en la 95 se puede escribir

$$V' = \frac{dV}{dE} = VE^{-2} \{ 1.02495E_0(2.50510 + 0.07698(IS) - 2.30259 \log A_0) + 0.43758 \} \dots\dots\dots/97/$$

que indica el crecimiento corriente bruto esperado del volumen para diferentes edades, índices de sitio y densidades posibles del rodal. Como en el caso del área basal esta ecuación se ha graficado en la Fig. 14 para dos índices de sitio.

La proyección del volumen desde una edad y área basal iniciales se logra integrando la ecuación anterior

$$\int_{V_0}^{V_p} V^{-1} dV = \int_{E_0}^{E_p} E^{-2} \{ 1.02495E_0(2.50510 + 0.07698(IS) - 2.30259 \log A_0) + 0.43758 \} dE$$

Aquí V_0 es el volumen inicial y V_p el volumen proyectado desde la edad inicial E_0 hasta la edad proyectada E_p , se tiene

$$\ln V_p = \ln V_0 + (E_0^{-1} - E_p^{-1}) \{ 1.02495E_0(2.50510 + 0.07698(IS) - 2.30259 \log A_0 + 0.43758 \} + C \dots\dots\dots/98/$$

$V_p = V_0$ cuando $E_p = E_0$; luego $C = 0$

Esta ecuación sirve para pronosticar el desarrollo futuro de un rodal que tenga cualquier densidad inicial y se muestra en la Fig. 15.

Tanto en la Fig. 12 como en la Fig. 15 se nota que las curvas tienden a juntarse a medida que la edad aumenta, esto indica que a pesar de las

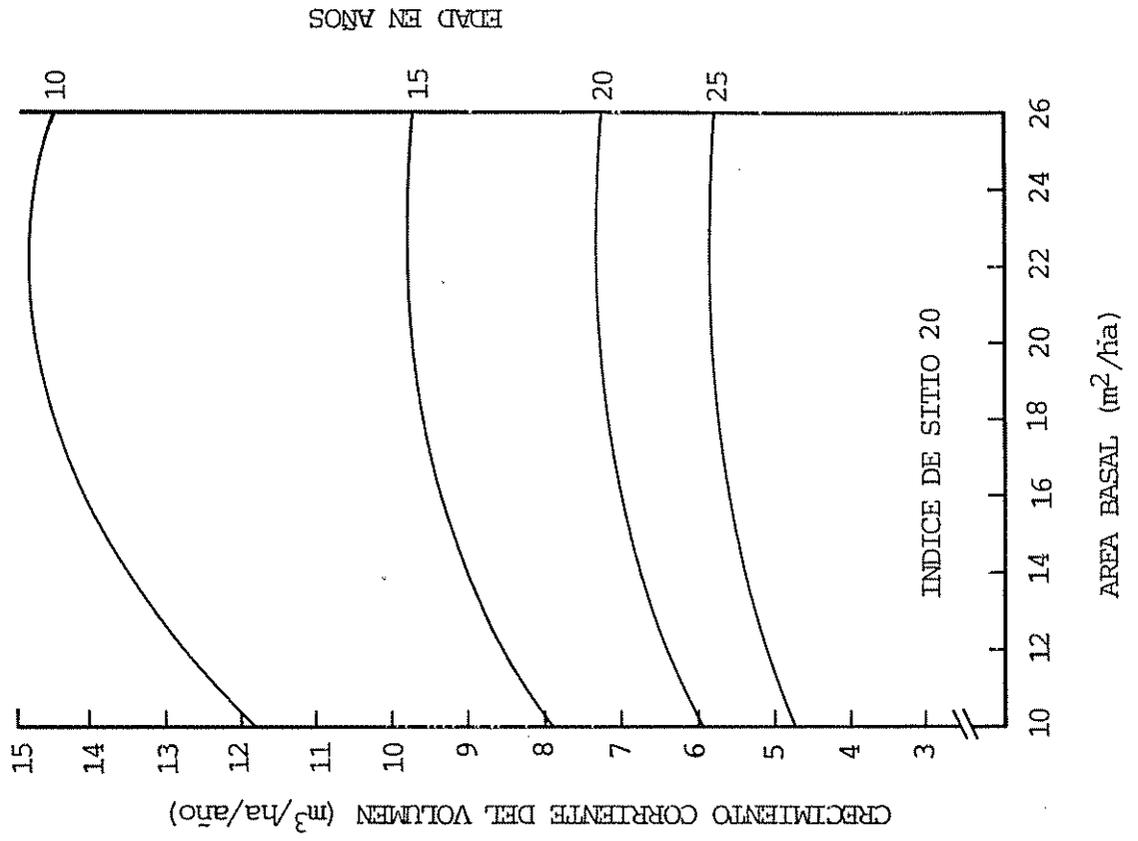
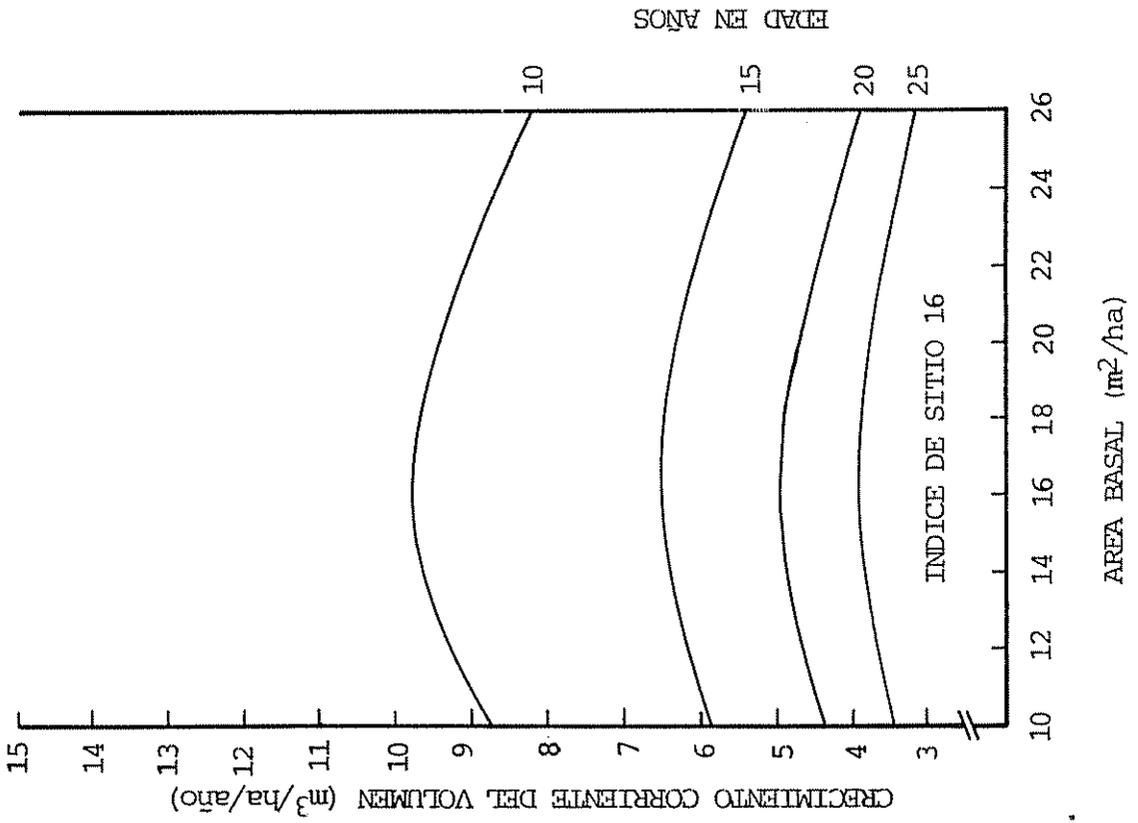


Fig. 14 Crecimiento bruto esperado del volumen para varias edades y densidades en los índices de sitio 16 y 20

diferencias iniciales en área basal y volumen, llegará un momento en el que, sino se hacen cortas, se alcanzará un área basal y un volumen iguales en las parcelas que tengan idéntico índice de sitio.

4.4. Algunas relaciones adicionales entre el volumen y el área basal

Aprovechando la estrecha relación que generalmente existe entre volumen y área basal, se ensayaron 6 modelos matemáticos lineales o linearisables con el fin de obtener estimaciones del volumen a partir del área basal.

Los modelos fueron los siguientes: lineal, logarítmico, geométrico, cuadrático, raíz cuadrático y función gamma. Se utilizó la misma técnica para hallar relaciones entre el volumen de todos los árboles y el de aquellos con DAP \geq 10 cm. Similarmenete se procedió para el área basal. Aunque en algunos de estos análisis hubo algunos modelos que ajustaron mejor que el lineal, se escogió este modelo para todos los casos por su simplicidad, A continuación se detallan los resultados:

Volumen total en m^3/ha como función del área basal total expresada en m^2/ha

$$V = -44.29455 + 8.09665 A \dots \dots \dots /99/$$

$$R^2 = 0.95^{**}$$

$$n = 152$$

Volumen de árboles de DAP \geq 10 cm en m^3/ha como función de su área basal expresada en m^2/ha

$$V_{\geq 10} = -31.42564 + 7.88620 A_{\geq 10} \dots \dots \dots /100/$$

$$R^2 = 0.96^{**}$$

$$n = 152$$

Volumen de árboles de DAP \geq 10 cm en m^3/ha como función del volumen total en las mismas unidades:

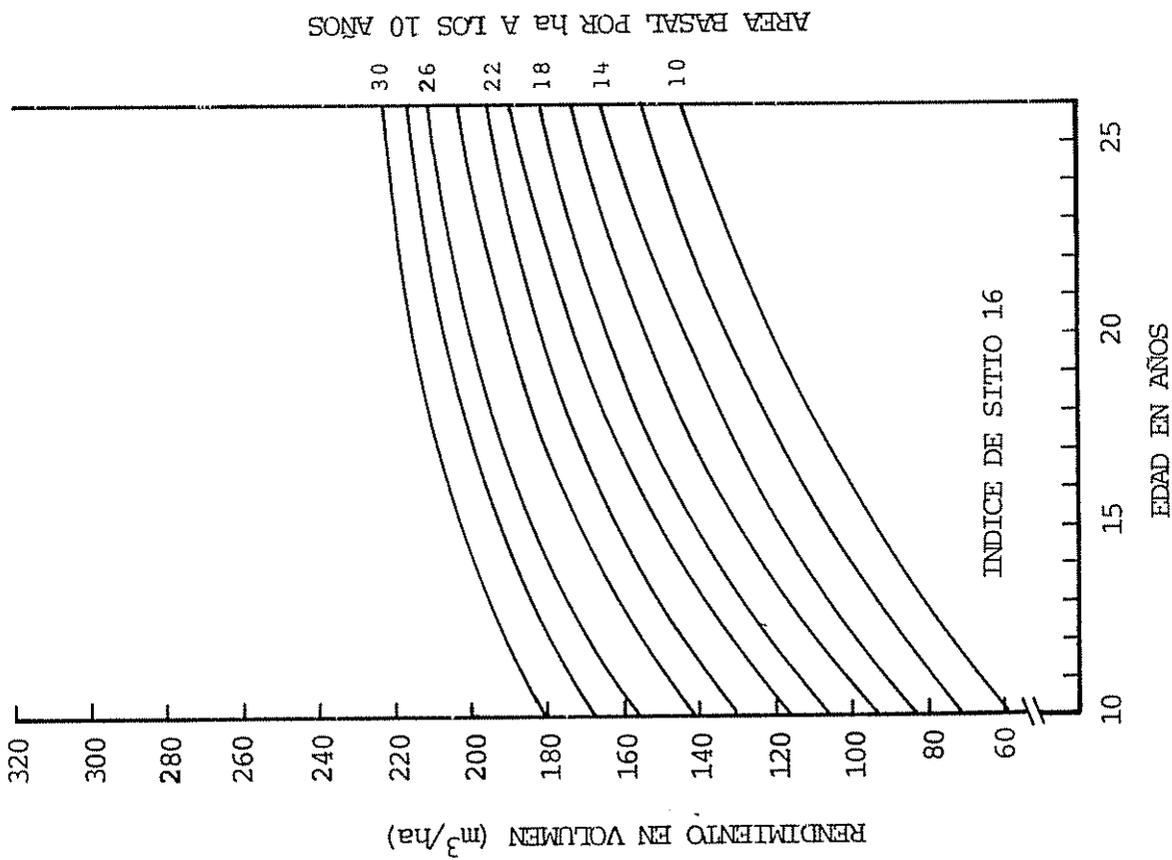
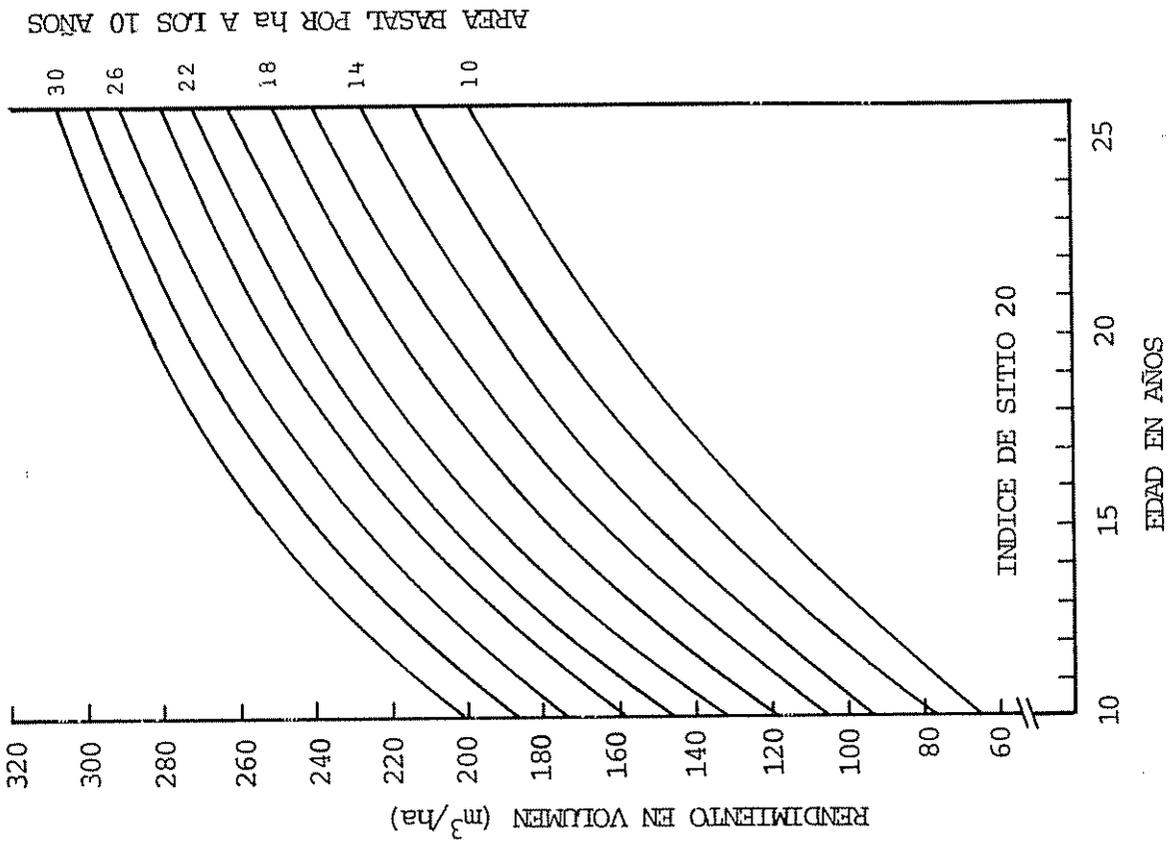


Fig. 15 Proyección del volumen a varias edades y densidades iniciales para los índices de sitio 16 y 20.

$$V_{\geq 10} = -29.35433 + 1.05723 V \dots\dots\dots/101/$$

$$R^2 = 0.97^{***}$$

$$n = 152$$

Area basal de árboles de DAI > 10 cm en m²/ha como función del área basal total expresada en las mismas unidades.

$$A_{\geq 10} = -5.59016 + 1.00239 A \dots\dots\dots/102/$$

$$R^2 = 0.96^{***}$$

$$n = 152$$

El área basal y el volumen obtenidos con las ecuaciones 99 a 102 da es timaciones rápidas pero poco confiables. Esto se puede comprobar al com - pararlas con los datos de la tabla de rendimiento del cuadro 14.

5. DISCUSION!

5.1. Indice de sitio.

El que el índice de sitio aumente con la edad para la misma parcela, indica que las curvas de este parámetro obtenidas por Tschinkel (46) y utilizadas en esta investigación, subestiman el crecimiento del ciprés. Teóricamente el índice de sitio de una parcela no debería cambiar con la edad, en la práctica se acepta que haya altibajos, pero cuando en la mayoría de las parcelas el índice aumenta es evidente que las curvas no se adaptan muy bien al fenómeno. El error producido por este cambio en el índice de sitio puede minimizarse en los cálculos de rendimiento y crecimiento, asignándole a cada parcela el índice que tenga en cada medición, que fue el procedimiento aquí seguido, más bien que un sólo índice para todas las mediciones de cada parcela.

Las variaciones observadas en el índice de sitio seguramente están relacionadas con la juventud de las plantaciones. Téngase en cuenta que la edad básica para la construcción de estas curvas de índice de sitio fue de sólo 15 años, cuando en las zonas templadas y frías para este mismo tipo de curvas es generalmente de 50 años.

5.2. Distribución diamétrica.

Muchos tipos de funciones se han utilizado para el cálculo teórico de la distribución diamétrica en los bosques no existiendo unanimidad en cuanto a su bondad. Lotchin et al (29) recomiendan la función beta porque además de su gran versatilidad tiene límites mínimo y máximo (no es asintótico en el eje x), lo que es más lógico desde el punto de vista biológico. Nelson (33) recomienda la curva de crecimiento de poblaciones de Pear-Reed por su excel-

lente ajuste y fácil solución, lo que la hace una herramienta más deseable para caracterizar distribuciones diamétricas que la distribución gamma. Tal vez la función más recientemente incorporada al campo forestal con buen éxito, tanto en distribuciones unimodales como descendentes sea la de Weibul (1).

Comparando los resultados obtenidos por los investigadores mencionados con los de esta investigación se puede afirmar, sin lugar a dudas, que el ajuste aquí alcanzado con la función gamma, es igual o superior al de los mejores modelos recomendados. Sería poco probable que otros modelos de distribución pudieran explicar más del 95% al 99% de la variación en la distribución diamétrica. Es posible que no haya un modelo que pueda aplicarse con igual éxito en todas las especies y bajo diferentes manejos y, de allí, que un mismo modelo pueda dar resultados diferentes. Para el caso concreto de C. lusitanica no es posible establecer comparaciones por no haber antecedentes al respecto.

Desde el punto de vista de la facilidad de solución las funciones beta, gamma y de Weibul son muy similares pudiéndose todas linearizar para aplicar un ajuste por mínimos cuadrados utilizando una computadora. Si el ajuste ha de hacerse "a mano" la facilidad de solución para encontrar sus parámetros adquiere importancia como lo indican Loetsch et al para la función beta (29).

La ventaja de la función beta de tener límites máximo y mínimo, es una ventaja de índole teórico más que práctico, puesto que cuando las frecuencias son tan bajas, como de menos de 1 árbol por ha, se puede considerar que se ha llegado al límite de la distribución.

La asimetría positiva de las distribuciones aquí obtenidas puede atri-

buirse a varias causas. En plantaciones jóvenes ésta asimetría es una característica común en los rodales forestales, llegando aún en los más jóvenes a ser descendente como se ha probado con P. radiata (29), pero de acuerdo con Husch (25), tal asimetría desaparece con la edad llegando inclusive a invertirse en las plantaciones más antiguas. Debe indicarse que bajo el concepto de la silvicultura de las zonas templadas y frías, todas las plantaciones de este estudio estarían aún en una etapa juvenil. Otra razón puede atribuirse a la elevada densidad de las plantaciones que puede deberse a un sistema de manejo muy conservador, o a falta de prácticas de manejo que no ha permitido el desarrollo de un número considerable de diámetros grandes. Estas curvas y las frecuencias altas observadas en clases diamétricas de sólo 2 a 6 cm aún en las plantaciones de 15 a 20 años, indican la ausencia de aclareos o entresacas en muchas de las plantaciones estudiadas, o que estas intervenciones han sido muy ligeras.

Al comparar la estructura de estas plantaciones con la de las plantaciones de P. radiata en Chile para clases de edad comparables (29), se comprobó que la moda ocurre en frecuencias de entre la mitad y la tercera parte pero en diámetros mayores, que en las plantaciones de C. lusitanica de este estudio. Aunque no es muy válido hacer comparaciones entre especies diferentes, parece indudable el hecho de que el mantenimiento de un elevado número de árboles en las clases diamétricas inferiores está afectando un desarrollo más acelerado de los diámetros de mayores dimensiones.

Se sugiere en forma más o menos implícita en la literatura tanto de silvicultura como de manejo, que hay una estructura óptima del rodal que corresponde a un crecimiento máximo. Las evidencias actualmente disponibles indican que no hay relación entre diferentes características de las curvas de distribución diamétrica tales como curtosis, sesgo, asimetría, desviación es

estandard etc. y el crecimiento. Nelson analizó estadísticamente 15 de estas características de la estructura de los rodales de P. taeda no encontrándose correlación con el crecimiento (33). A igual conclusión llegó Gimrich (23) en bosques mixtos latifoliados. La importancia fundamental de una curva de distribución diamétrica en el manejo de bosques, está en que indica el número de árboles de determinada clase diamétrica que hay por unidad de superficie, ya que el uso de la madera depende frecuentemente de sus dimensiones. También se puede usar para hacer comparaciones regionales y cronológicas y para planear aclareos y entresacas. Combinando el dato suministrado por estas curvas de distribución diamétrica con las curvas de diámetro contra altura (Fig. 3) y con la ecuación de doble entrada para calcular el volumen (ecuación 2 página 4), es posible obtener estimativos del volumen de aprovechamientos intermedios.

5.3. Relación entre alturas y diámetros.

Inicialmente se calcularon relaciones independiente entre el diámetro y la altura para cada par de mediciones, utilizando los modelos lineal, logarítmico, geométrico, cuadrático, raíz cuadrático y gamma. Se pudo comprobar entonces que en la mayoría de los casos el modelo logarítmico era el que mejor se ajustaba a los datos de acuerdo con los coeficientes de determinación. Se planteaba la dificultad ahora de manipular 9 ecuaciones diferentes (3 para cada par de mediciones) dificultando mucho los cálculos. Por tal razón se reunieron los datos de todas las mediciones con el fin de obtener para cada sitio una sola ecuación que se utilizaría para obtener la altura estimada de todos los árboles en las cuatro mediciones. Tal procedimiento se encuentra plenamente justificado por investigadores experimentados como Curtis (14), quien recomienda usar una sola curva para todas las medi-

ciones, más bien que curvas de diámetro-altura individuales para cada medición. En esta forma se obtienen estimados del crecimiento y del volumen más precisos y consistentes según el citado autor. También aquí las mejores ecuaciones resultaron ser las del modelo logarítmico, que a pesar de sólo explicar el 50%, 65% y 62% de la variación asociada con la relación diámetros-alturas, fueron altamente significativas. Aunque algunos modelos como el gamma y el cuadrático fueron en algunos casos iguales al logarítmico, no se seleccionaron debido a que presentaban un punto de máxima a alturas y diámetros relativamente pequeños. Datos de plantaciones que doblan en edad a las aquí estudiadas obtenidos en Costa Rica (24) y Africa (12, 30, 35) indican que el punto de culminación de esta relación aún no se ha alcanzado. Es por este motivo, que desde el punto de vista biológico el modelo logarítmico resulta mejor. Reforzando lo dicho se puede afirmar que el modelo logarítmico cumple con los tres requisitos básicos que debe llenar una buena curva de diámetro contra altura, los cuales son (14):

- 1) Pendiente positiva en todos los puntos, aproximándose a cero cuando los diámetros sean muy grandes.
- 2) Que pase a través del origen.
- 3) Fácil de ajustar por los métodos de regresión lineal convencionales.

Utilizando los datos de la primera medición de estas mismas parcelas Tschinkel (46) seleccionó también el modelo logarítmico entre cinco modelos ensayados. Las ecuaciones encontradas por este autor tuvieron parámetros similares a los aquí encontrados especialmente para la clase de sitio 1 en que prácticamente se superponen las curvas. Para las clases de sitio 2 y 3 las curvas de Tschinkel están un poco por debajo de las actuales. Esta diferencia se debe seguramente al efecto de las mayores dimensiones que tienen

los árboles actualmente.

Curtis (14) ha estudiado en detalle las relaciones entre diámetro, altura y edad, encontrando que tal superposición de las curvas de las mediciones más antiguas sobre las jóvenes es una norma general en estos estudios.

En el estudio de parcelas permanentes se considera que una vez se haya establecido la relación diámetro-altura con suficiente exactitud para un grupo de parcelas, no será necesario en el futuro medir más alturas (27). Tal postulado es aplicable sólo cuando se está seguro de que las parcelas han cubierto adecuadamente todo el rango de crecimiento de los árboles desde la etapa juvenil hasta la madurez. Como éste no es el caso de las parcelas aquí estudiadas, será necesario seguir midiendo alturas en las mediciones venideras. Con relación a lo anterior debe destacarse que como la medición de alturas es difícil y costosa, la mencionada superposición de las curvas de la primera medición con la de las mediciones posteriores en la clase de sitio 1, indica que en el futuro no es necesario tomar muchos datos de altura en las parcelas de dicha clase de sitio, dedicando un mayor esfuerzo a las otras dos.

5.4. Rendimiento y crecimiento de *Cupressus lusitanica*.

Los resultados del rendimiento en volumen y en área basal muestran claramente la gran variación en crecimiento que tienen las plantaciones de *C. lusitanica* en Antioquia, coincidiendo con los resultados obtenidos por Tschinkel (47, 48). Como ejemplo puede citarse que para un índice de sitio 10 a los 20 años se alcanza un rendimiento de apenas unos 66 m³/ha mientras que para un índice de sitio 18 a la misma edad llega a 235 m³/ha. Debe tenerse en cuenta que estos dos sitios no son extremos pues el rango de índi-

ces de sitio de la zona fluctúa entre cerca de 6 los más bajos hasta quizá unos 30 lo más altos.

Se notaron algunas variaciones con respecto a los estudios realizados por Tschinkel utilizando la primera medición de estas mismas parcelas, siendo las más notables las siguientes:

- 1) Las curvas de rendimiento del volumen, área basal y diámetro estuvieron sistemáticamente por encima en todos los sitios. Por lo tanto, las estimaciones del rendimiento hechas con las ecuaciones aquí desarrolladas dan para la misma edad y sitio un volumen superior al obtenido por este autor.
- 2) El punto de culminación no se alcanza a edades tan tempranas como en el estudio citado debido a que la pendiente de las curvas es un poco mayor en cada punto. En efecto, no se nota que las curvas de rendimiento nivelen por lo menos hasta los 30 años de edad.

A primera vista podría suponerse que el mayor volumen obtenido con los datos de este estudio con relación al de Tschinkel podría deberse a que en este trabajo se utilizó rendimiento bruto, en tanto que aquel autor utilizó rendimiento neto. Esta discrepancia debe descartarse debido a que en aquel entonces las plantaciones se manejaba con un criterio conservador, el cual permitió que entre la primera y la segunda medición no se cortó un solo árbol en ninguna de las 42 parcelas estudiadas. En consecuencia, cuando no hay cortas o muertes, o cuando estas son muy bajas, el rendimiento y el crecimiento neto y bruto son iguales.

Otras dos razones no excluyentes la una de la otra pueden explicar mejor la diferencia encontrada. En primer lugar como las curvas de diámetro contra altura estuvieron casi siempre por encima de las obtenidas por Tschinkel, lógicamente las estimaciones del volumen en cada parcela serán mayores. La utilización de un mayor número de datos y con un rango de edades más amplio es-

tá indicando que el crecimiento del ciprés es mayor de lo que se había estimado en estudios anteriores (47, 48).

Con todo, el crecimiento y el rendimiento del ciprés en las plantaciones de Antioquia representadas por estas parcelas, es usualmente inferior al que alcanzan otras especies de coníferas en varios países de las zonas tropicales y templadas (2, 11, 12, 30, 35, 41), especialmente en los sitios de índice inferior a 18. Al comparar los rendimientos de C. lusitancia de este estudio con los obtenidos para la misma especie en otros países se encuentra que el rendimiento promedio sería inferior a los encontrados en Nueva Zelanda (2), pero muy similares a los de Venezuela (42), aclarándose de paso que todos los datos de estos países se basan en un número muy pequeño de parcelas por no existir plantaciones de gran extensión. En el Africa donde si existen plantaciones, el crecimiento es más uniforme que en las plantaciones aquí estudiadas y el rendimiento es también superior según informan Tschinkel (43) y Paterson (35).

Resultó desconcertante el hecho de que la mayoría de los modelos de crecimiento estudiados no dieron resultados satisfactorios, debido a que el parámetro de la variable índice de sitio tuvo valores negativos. Si se tiene en cuenta que todos estos modelos han sido utilizados exitosamente con anterioridad en el campo forestal para plantaciones homogéneas de coníferas y parcelas permanentes, o sea el sistema seguido en este trabajo, no existe una razón aparente que explique esta inconsistencia. Las únicas diferencias entre este estudio y aquellos de los cuales se obtuvieron los modelos, son el tiempo transcurrido entre mediciones consecutivas, que mientras aquí osciló entre 1 a 2 años, en aquellos fue de 5 a 10 años. La otra diferencia es de especies puesto que ninguno de estos modelos había sido utilizado previamente con C. lusitánica. Tales diferencias pueden ser la ex-

plicación de la falta de mejores resultados con los modelos empleados.

El método alternativo basado en una derivación matemática de las ecuaciones de crecimiento a partir de las de rendimiento, apoyándose en la estrecha relación que existe entre estas dos variables, según la cual el rendimiento es solamente un crecimiento corriente acumulado, puede considerarse como un procedimiento idóneo, simple y de aplicación general para cualquier especie a condición de que se disponga de ecuaciones de rendimiento.

Las ecuaciones de crecimiento han permitido a su vez, volver a las de rendimiento, pero modificadas de tal manera que conociendo el área basal y el volumen que tendrán en cualquier edad posterior, utilizando para este efecto las ecuaciones 93 y 98 que indican la proyección de estas variables. Estas predicciones no es posible hacerlas empleando solamente ecuaciones obtenidas por métodos de regresión tales como las ecuaciones 75 y 77 que expresan el rendimiento en área basal y en volumen en función de la edad y el índice de sitio y, ni aún con la ecuación 73 que expresa el rendimiento en volumen como función de la edad, el índice de sitio y el área basal, pues ellas sirven para calcular estas variables en un momento dado de la vida de un rodal, pero no para conocer un valor futuro a partir del actual.

Todas estas ecuaciones son útiles y necesarias en el manejo de los bosques pero tienen diferentes finalidades. Las ecuaciones 75 y 77 (así como sus correspondientes 76 y 79 para árboles de DAF \geq 10 cm) sirven para estudiar el desarrollo promedio de una plantación en la cual tanto el área basal como el volumen aumentan con la edad (ver Figs. 7 y 8). Estas ecuaciones frecuentemente se expresan en forma tabular como tablas de rendimiento normal o medio (ver tabla de rendimiento para C. lusitanica en el cuadro 14).

Por otra parte la ecuación 73 expresa el rendimiento esperado en volu-

men cuando después de cierta edad el área basal se mantiene constante como bien lo muestra la Fig. 13. El control del área basal es posible lograrlo a través de un plan de aprovechamientos intermedios periódicos y utilizando métodos como el del prisma para verificar el crecimiento del área basal. Por último, las ecuaciones 93 y 98 sirven para un propósito aún no alcanzado con las anteriores, porque; partiendo del estado real actual de un rodal o parcela, permite predecir su rendimiento futuro tanto en el caso de que no haya limitaciones al crecimiento posterior del área basal, como si ésta es reducida a cualquier nivel deseado. También sirven para pronosticar el desarrollo futuro de parcelas que teniendo el mismo índice de sitio, difieren en sus áreas basales y volúmenes.

Debido a que en el método de derivación-integración empleado se obtuvieron ecuaciones matemáticas a partir de ecuaciones estadísticas, se hace preciso reconocer la diferencia que existe entre estos dos tipos de ecuaciones. Las ecuaciones estadísticas siempre presentan un error y el coeficiente de determinación expresa que tan bueno fué el ajuste alcanzado entre el modelo empleado y los datos suministrados; también es posible calcularle su significación estadística dentro de niveles de probabilidad deseados. Las ecuaciones matemáticas en cambio no tienen error.

La proyección del rendimiento bruto, tanto del área basal como del volumen, se pueden utilizar en el manejo de plantaciones para estudiar el efecto de aprovechamientos intermedios en el rendimiento total, así como para comparar diferentes alternativas de manejo. A manera de ejemplo se dan dos alternativas de manejo para una plantación con índice de sitio 20 de C. lusitanica las cuales aparecen en la Fig. 16. Bajo la alternativa 1 (línea gruesa

sa continua) una plantación con área basal a los 10 años de $30 \text{ m}^2/\text{ha}$ se la deja crecer sin ninguna intervención hasta los 25 años, edad en la cual se hace un aprovechamiento total, o tala rasa. A la edad de corte esta plantación tendrá $44.13 \text{ m}^2/\text{ha}$ y rendirá un volumen total de $304.80 \text{ m}^3/\text{ha}$.

Bajo la alternativa 2 (línea gruesa interrumpida) la misma plantación es tará sometida a dos entresacas o aprovechamientos intermedios antes de la tala final a los 25 años, con el fin de mantener el área basal en los $30 \text{ m}^2/\text{ha}$ que tenía a los 10 años de edad. La primera de estas entresacas se hará a los 15 años y la segunda a los 20 años. En esta forma la plantación rendirá lo siguiente:

Aprovechamiento	Edad años	Área basal extraída %	Volumen extraído m^3/ha
Entresaca 1	15	19.21	45.91
Entresaca 2	20	15.25	38.15
Tala rasa final	25	100.00	235.61
Total			323.67

Analizando los resultados de esta investigación se hace evidente que prácticamente la misma información podría haberse obtenido de parcelas temporales, debido a que los modelos de crecimiento en los cuales se utilizaban las diferencias entre mediciones no tuvieron éxito. La dificultad al usar parcelas temporales está en que es difícil saber si han sido intervenidas, y en el caso de que así fuera, cuando ocurrió la intervención con el fin de hacer los ajustes necesarios para calcular el volumen bruto. De todas maneras las parcelas permanentes son más seguras y a la larga resultan más económicas.

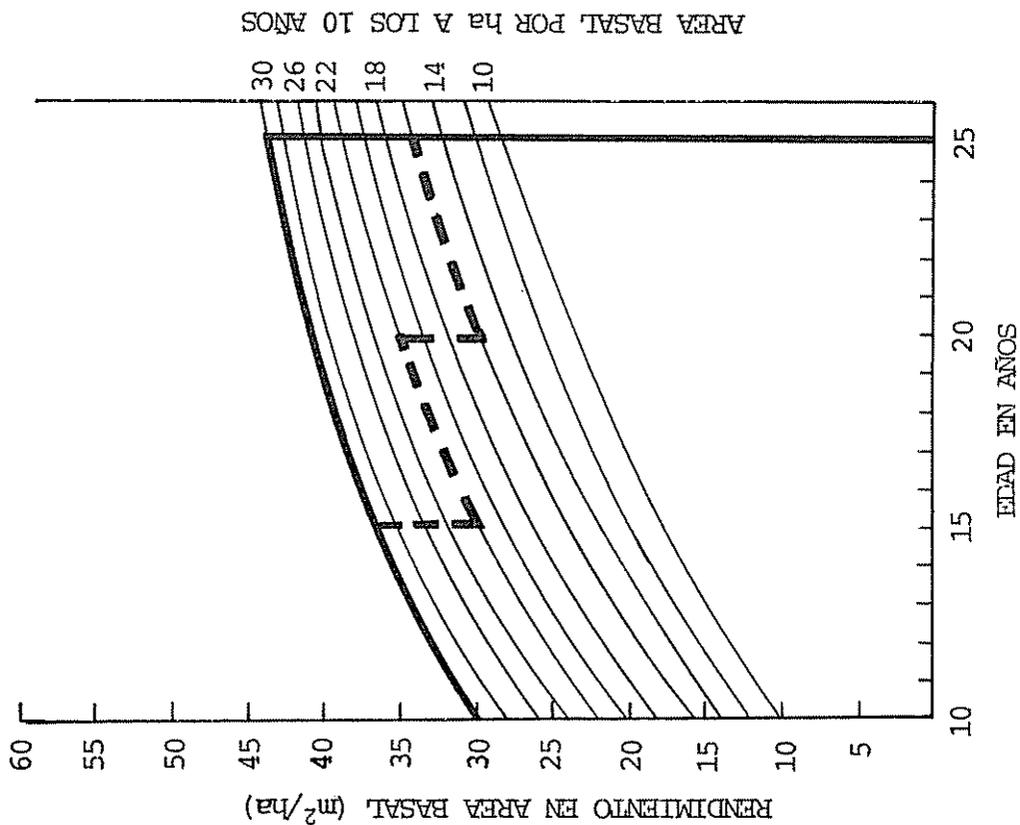
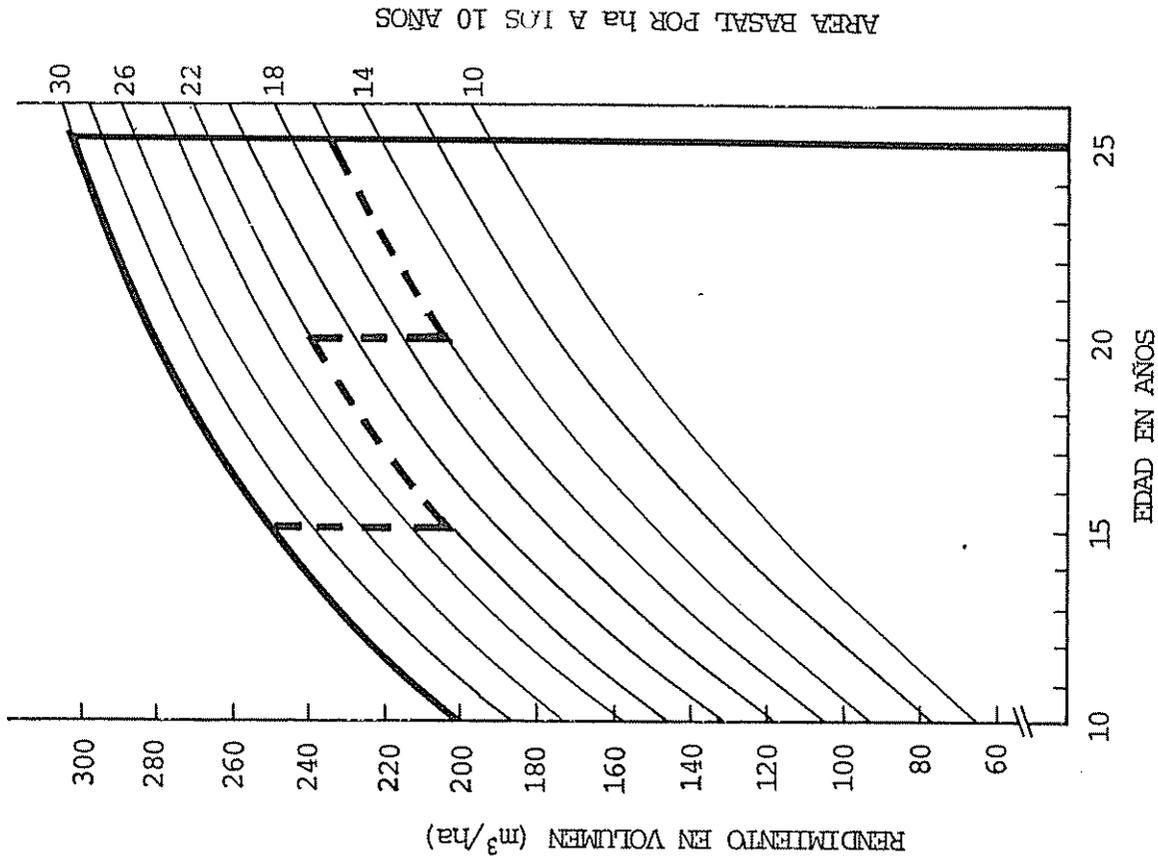


Fig. 16. Efecto de dos alternativas de manejo en el rendimiento de un rodal de índice de sitio 20 y área basal a los 10 años de 30 m²/ha. Línea gruesa continua, tala rasa a los 25 años; línea gruesa interrumpida, dos aprovechamientos intermedios antes de la tala rasa.

6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

- 1- Se ha observado una tendencia hacia aumentar el índice de sitio desde la primera hasta la última medición. Si se tiene en cuenta que, al menos en teoría, este índice no debería cambiar, se puede concluir que las curvas de índice de sitio están subestimando el crecimiento de C. lusitanica en Antioquia.
- 2- La función gamma dió resultados muy satisfactorios para el ajuste de distribuciones diamétricas de C. lusitanica alcanzándose coeficientes de determinación de 0.96 a 0.99.

La representación gráfica de las distribuciones diamétricas pone en evidencia el hecho de que la alta densidad de estas plantaciones está produciendo un gran número de árboles de pequeñas dimensiones y un número comparativamente pequeño de árboles de dimensiones mayores. Con base en esto, un aclareo o entresaca sería recomendable.

- 3- Dentro de seis modelos ensayados el que mejor expresó la relación diámetros-alturas, tomando en cuenta su ajuste y adaptabilidad biológica, fue el logarítmico en las tres clases de índices de sitio, o sean: $IS \leq 12$, $12 < IS < 16$ e $IS > 16$.
- 4- Para el rendimiento bruto en volumen se seleccionaron los modelos de Schumacher y de Clutter tanto para todos los árboles como para aquellos de $DAP > 10$ cm. Ambos modelos dieron coeficientes de determinación altamente significativos pero fueron mayores para el de Clutter debido a que este modelo tiene como variable independiente una expresión del área basal ($\log A$).

Los coeficientes de determinación con el modelo de Schumacher fueron: para todos los árboles 0.72; para los de $DAP > 10$ cm 0.66. Con el modelo

de Clutter fueron: para todos los árboles 0.98, para los de DAP > 10 cm 0.99.

- 5- Los dos modelos de rendimiento del volumen aquí propuestos que emplean como variables independientes básicas el índice de sitio, la edad y el área basal, dieron resultados muy satisfactorios con coeficientes de determinación entre 0.91 y 0.97 según el caso, pero no pudiendo igualar al modelo de Clutter fueron desechados para posteriores análisis en este trabajo. A pesar de ésto se pueden recomendar para ensayos con otras especies en las que podrían ser superiores a otros modelos.
- 6- El rendimiento bruto en área basal se calculó utilizando el modelo de Schumacher que dió ajustes altamente significativos siendo su coeficiente de determinación de 0.65 para todos los árboles y de 0.59 para aquellos con DAP > 10 cm. Otras dos ecuaciones obtenidas con este mismo modelo, pero agragandole como variable independiente el logaritmo del diámetro medio, dieron coeficientes de determinación de 0.67 y 0.71 respectivamente.
- 7- El rendimiento en volumen de Cupressus lusitanica en Antioquia es muy variable y sólo en los mejores sitios puede compararse aproximadamente con el de otras especies de coníferas en zonas tropicales y subtropicales, e inclusive con las plantaciones de esta misma especie en el Africa. Variaciones tan grandes en el rendimiento como las encontradas para el ciprés en Antioquia no aparecen en la literatura revisada. Con base en lo anterior se recomienda substituir esta especie en los sitios malos tales como aquellos con IS < 12 m por otras especies menos exigentes.
- 8- Tanto el volumen como el área basal y el diámetro medio obtenidos con la tabla de rendimiento aquí calculada son superiores a los obtenidos con la tabla actualmente en uso en Antioquia calculada por Tschinkel (43).

- 9- Los modelos de crecimiento tanto del volumen como del área basal no se adaptaron adecuadamente a la información disponible porque, a pesar de que varios tuvieron coeficientes de determinación altamente significativos, la variable índice de sitio tuvo en la mayoría de ellos parámetros negativos, lo que no resulta lógico ni es compatible con los modelos de rendimiento.
- 10- La edad del máximo crecimiento corriente anual tanto del área basal como del volumen es sumamente temprana y depende del sitio. En el caso del área basal disminuye un poco a medida que el índice de sitio aumenta de tal manera que para $IS = 10$ el crecimiento culmina a los 3.61 años y para $IS = 24$ a los 2.55 años. Para el volumen ocurre lo contrario, o sea que el crecimiento se maximiza a mayor edad a medida que el sitio aumenta, aquí para $IS = 10$ la edad de culminación es de 3.19 años entanto que para $IS = 24$ la culminación llega los 3.54 años. El crecimiento medio anual de ambas variables sigue la misma tendencia y culmina al doble de la edad del crecimiento corriente anual.
- 11- Basándose en la estrecha relación existente entre el rendimiento y el crecimiento, se han derivado matemáticamente de las ecuaciones de rendimiento las de crecimiento tanto del área basal como del volumen. También ha sido posible generar ecuaciones que permiten proyectar un área basal y volumen iniciales al que tendrán a cualquier edad en el futuro.
- 12- De acuerdo con los resultados de este estudio, dentro de un mismo índice de sitio, parcelas de áreas basales y volumen iniciales diferentes, tienden a equilibrarse con el tiempo pero en forma muy lenta.

7. RESUMEN

Datos sobre distribución diamétrica, rendimiento y crecimiento de bosques de C. lusitancia fueron obtenidos por estudios basados en cuatro mediciones de 42 parcelas permanentes, localizadas en el departamento de Antioquia, Colombia.

La función gamma se adaptó bien a la distribución diamétrica obteniéndose nueve ecuaciones con coeficientes de determinación entre 0.96 y 0.98. Las ecuaciones fueron obtenidas por las combinaciones de 3 clases de edad: 5.1-10 años, 10.1-15 años y 15.1-20 años, y con 3 clases de índice de sitio a saber $IS < 12$, $12 < IS < 16$, y $IS > 16$.

Las distribuciones diamétricas encontradas, caracterizadas por el dominio de clases diamétricas inferiores, demuestran que el sistema de manejo de estos bosques o es muy conservador o no existe.

Por medio de análisis de regresión se evaluaron varios modelos de rendimiento del volumen del área basal y el diámetro, seleccionándose los siguientes como los más útiles y de mejor ajuste:

Rendimiento bruto en volumen en m^3/ha de todos los árboles (V)

$$\ln V = 1.322814 - 0.43758(1/L) + 0.02638(IS) + 1.02496(\ln A)$$

$$R^2 = 0.98 **$$

$$\log V = 1.54630 - 2.55714(1/E) + 0.05422(IS) - 0.02148(IS/E)$$

$$R^2 = 0.72**$$

Donde: E = edad en años

IS = índice de sitio, m/15 años.

A = área basal m^2/ha .

Rendimiento bruto en volumen en m^3/ha de los árboles con DAP ≥ 10 cm

(V ≥ 10)

$$\ln V \geq 10 = 1.27189 - 1.05738(1/E) + 0.03566(IS) + 1.00607(\ln A)$$

$$R^2 = 0.99^{**}$$

$$\log V \geq 10 = 1.82293 - 10.87263(1/E) + 0.04666(IS) + 0.29634(IS/E)$$

$$R^2 = 0.66^{**}$$

Rendimiento bruto en área basal en m^2/ha de todos los árboles (A)

$$\log A = 1.08790 - 3.79803(1/E) + 0.3343(IS) + 0.06586(IS/E)$$

$$R^2 = 0.65^{**}$$

$$\ln A = 0.56266 - 3.43423(1/E) + 0.02090(IS) + 0.09601(IS/E) + 0.38957 \ln \bar{D}$$

$$R^2 = 0.67^{**}$$

Donde: \bar{D} = DAP medio, cm.

Rendimiento bruto del área basal en m^2/ha de los árboles con DAP ≥ 10 cm

(A ≥ 10)

$$\log A \geq 10 = 1.32849 - 11.03794(1/E) + 0.03715(IS) + 0.33483(IS/E)$$

$$R^2 = 0.59^{**}$$

$$\log A \geq 10 = 0.37335 - 9.71300(1/E) - 0.01838(IS) + 0.44414(IS/E) + 1.41600 \ln \bar{D}$$

$$R^2 = 0.71^{**}$$

Rendimiento del diámetro medio en cm/ha . (\bar{D})

$$\log \bar{D} = 0.78090 - 0.9352(1/E) + 0.03215(IS) - 0.7733(IS/E)$$

$$R^2 = 0.64^{**}$$

$$\ln \bar{D} = 1.65737 - 4.02923(1/E) + 0.03951(IS) + 0.19151(\ln A)$$

$$R^2 = 0.66^{**}$$

De las ecuaciones de rendimiento se derivaron matemáticamente las ecuaciones de crecimiento corriente bruto que se dan a continuación:

Crecimiento corriente bruto del volumen de todos los árboles en $m^3/ha/año$

(V')

$$V' = VE^{-2}(5.38803 + 0.04946(IS))$$

$$V' = VE^{-2}(1.02495E_0(2.50510 + 0.07698(IE) - 2.30259 \log A_0) + 0.43758)$$

Donde: E_0 = edad inicial

A_0 = área basal inicial

Crecimiento corriente bruto del área basal en $m^2/ha/año$ (A')

$$A' = AE^{-1}(2.50510 + 0.07698(IE) - 2.30259 \log A)$$

Con base en estas ecuaciones se han desarrollado otras que sirven para pronosticar, a partir de una condición inicial de un rodal, su área basal y su volumen futuro para cualquier edad. Estas ecuaciones son las siguientes

Proyección de volumen en m^3/ha .

$$\ln V_p = \ln V_0 + (E_0^{-1} - E_p^{-1})(1.02495E_0(2.50510 + 0.07698(IE) - 2.30259 \log A_0) + 0.43758)$$

Donde: V_p = volumen posterior

V_0 = volumen inicial

E_0 = edad inicial

E_p = edad posterior

A_0 = área basal inicial

Proyección del área basal en m^2/ha

$$\log A_p = 1.08795 + 0.03343(IE) - E_0^{-1} E_0(1.08795 + 0.03343(IE) - \log A_0)$$

También se incluye en esta tesis una tabla de rendimiento para C. lusitánica y se ilustró con ejemplos la utilización de las fórmulas de proyección en el manejo de plantaciones de esta especie.

BIBLIOGRAFIA

1. BAILEY, R.L. y DELL, T.R. Quantifying diameter distributions with the Weibull function. *Forest Science* 19:97 - 104. 1973.
2. BARNISTER, M.H. y ONIAN, H.R. Cupressus lusitanica as a potential timber tree for New Zealand. *New Zealand Journal of Forestry*. 8:203 - 217. 1967.
3. BARRERA, H.C. Tablas volumétricas del Cupressus lusitanica Mill. para la región de Piedras Blancas Tesis Ing. For. Medellín, Colombia, Universidad Nacional, Facultad de Agronomía. 1964. 248p.
4. BELERS, T.M. Components of forest growth. *Journal of Forestry* 60:245 - 348. 1962.
5. BICKFORD, C.A., EAKER, F.A. y WILSON, G. Stocking, normality, and measurement of stand density. *Journal of Forestry* 55:99 - 104. 1960.
57,
6. DOTERO, A.G. Contribución al conocimiento de la geología en la zona central de Antioquia. Universidad Nacional, Facultad de Minas, Medellín. *Anales de la Facultad de Minas*. 1963. 101p.
7. DRAATE, P. Thinning in even-aged stands; a summary of European literature. Faculty of Forestry, University of New Brunswick. 1957. 92 p.
8. BRUCE, D. y SCHUMACHER, F.X. Forest mensuration. New York, Mc Graw Hill. 1950. 483 p.
9. BUCKMAN, R.L. Growth and yield of red pine in Minnesota. U.S. Department of Agriculture. Technical Bulletin N° 272. 1962. 50 p.
10. CHISHAM, H.H. y SCHUMACHER, F.X. On the tree-area ratio and certain of its applications. *Journal of Forestry* 38:311 - 317. 1940.
11. CLUTTER, J. Compatible growth and yield models for loblolly pine. *Forest Science* 9:354 - 371. 1963.
12. CRAIB, I.J. The Silviculture of exotic conifers in South Africa. In British Empire Forestry Conference. London, City Printing Works, 1947. 35 p.
13. CURTIS, R.O. A method of estimation gross yield of Douglas-fir. *Forest Science Monograph* 13. 1967. 24 p.
14. _____ Height-diameter and height-diameter-age equation for second growth Douglas Fir. *Forest Science* 13:165 - 375. 1967.
15. _____ Stand density measures: An interpretation. *Forest Science* 16:403 - 414. 1970.

16. _____ Yields tables; past and present. *Journal of Forestry* 70: 28 - 32. 1972.
17. CZARNOWSKI, H.S. Dynamics of even-aged forest stands. Louisiana State University Studies. Biological Sciences Series N°4. 1961. 132 p.
18. DECCOURT, N. Tables de production pour l'Épicéa commun et le douglas dans l'ouest des massifs central. *Revue Forestière Française*. 25 (2):99 - 104. 1973.
19. ESPINAL, L.S. Formaciones vegetales del departamento de Antioquia. *Revista Facultad Nacional de Agronomía (Colombia)* 24:1 - 83. 1964
20. FALLA, R.A. Reforestación en zonas altas de América tropical. In *Símpoio Mundial sobre Bosques Artificiales y su importancia Industrial*, Canberra, Australia, FAO, 1967. pp. 1137 - 1164.
21. FASSBENDER, H.W. y TSCHINKEL, H. Relación entre el crecimiento de plantaciones de Cupressus lusitanica y las propiedades de los suelos derivados de cenizas volcánicas. *Turrialba* 24:141 - 149. 1974.
22. FOGGIE, A. On the determination of quality class by top height instead of mean height for conifers in Great Britain. *Forestry* 18:29-39. 1944.
23. GINGRICH, S. Measuring and evaluating stand density in upland hardwood forest in the central states. *Forest Science* 13:38 - 53. 1967.
24. GOITIA, D.J. Estudio del incremento volumétrico del Cupressus lusitanica Mill. en relación a la edad y al sitio. Tesis Mag. Sc. Turrialba, Costa Rica, Instituto Interamericano de Ciencias Agrícolas, 1954. 59 p.
25. HUECK, D. Forest mensuration and statistics. New York, Ronald Press. 1963. 474 p.
26. ILLIENNIK, G. Tablas de rendimiento para estación promedio de Cupressus lusitanica en Medellín y sus alrededores. Universidad Nacional, Departamento de Recursos Forestales, Medellín (mimeografiado). Sin fecha.
27. JOHN, H. y TSCHINKEL, H. Parcelas forestales permanentes: su establecimiento, medición y análisis. Medellín, Centro de Publicaciones de la Universidad Nacional, Departamento de Recursos Forestales, 1971. 190 p.
28. KRAJICER, J.E., BRINKMAN, K.A. y GINGRICH, S.F. Crown competition measure of density. *Forest Science* 7:35 - 42. 1961.
29. LOETSCH, F., ZOHNER, F. y MALLER, K.E. Forest Inventory, München, D. L. V., 1973. 2v. 189 p.

30. HARCH, E.K. Some preliminary results from O'Connor's correlated curve trend (C.C.T.) experiments on thinnings and spacings and their practical significance. Pretoria (Australia), the Government Printer, 1957. 21 p.
31. MOSLER, J.W. y HALL, C.F. Deriving growth and yield functions for uneven-aged forest stands. *Forest Science* 15:133 - 188. 1969.
32. _____ Diameter distribution and growth of Loblolly Pine. *Forest Science* 10:105 - 115. 1964.
34. _____ Trends in mensuration research in the Southern United States. In *TUFRO-CONGRES*, 14, Section 25, München, Alemania. 1967. pp. 404 - 409.
35. PATERSON, D.N. Volume and value yields from east african exotic softwood crops in highlands sites and a fresh approach to east african silviculture. East African Agriculture and Forestry Research Organization. Forestry Technical Note N°19. 1967. p. 19.
36. PELMAR, L.V. y TURBULL, K.J. The Chapman-Richards generalization of von Bertalanffy's growth model for basal area growth and yield in even aged stands. *Forest Science* 19:2 - 22. 1973.
37. RAILSTON, C.D. y KORSTIAN, C.F. Prediction of pulpwood yield of Loblolly and Shortleaf Pine plantations. *Forest Science* 8:149 - 162. 1962.
38. REINENS, L.H. Perfecting a stand density index for even-aged forest. *Journal of Agriculture Research* 46:627 - 638. 1933.
39. SCHULZ, J.P. y RODRIGUEZ, L.L. Establecimiento de parcelas para estudio de rendimiento en plantaciones experimentales de Cupressus lusitanica, Pinus radiata y P. pseudostrobus en los andes venezolanos. *Revista Forestal Venezolana* 15:21 - 35. 1962.
40. SCHUMACHER, F.W. A new growth curve and its application to timber yield studies. *Journal of Forestry* 37:819 - 820. 1939.
41. SCOTT, C.W. Pino insigne; (Pinus radiata D. Don). Roma, Organización Mundial para la Agricultura y la Alimentación (FAO), 1961. 340 p.
42. SILVA, R. Evaluación de las plantaciones experimentales forestales en los Andes venezolanos. Mérida, Venezuela, Instituto Forestal Latinoamericano de Investigación y Capacitación, 1973. 92 p. (mimeografo).
43. SJOLTE-JORGENSEN, J. The influence of spacing on the growth and development of coniferous plantations. In *International Review of Forestry Research*. New York: Academic Press, 1967. 5v. pp. 43 - 94.
44. SULLIVAN, A.L. y CHUTTER, J.H. A simultaneous growth and yield model for Loblolly Pine. *Forest Science* 18:75 - 86. 1972.

45. THOMAS, G. Cálculo infinitesimal y geometría analítica. Trad. de la 3 ed. inglesa por Julio Forcel y Luis Bravo. Madrid, Aguilar, 1964. 920 p.
46. TSCHINKEL, H. Primeros resultados de las parcelas permanentes de rendimiento en ciprés. Medellín, Universidad Nacional, Departamento de Recursos Forestales. 1971. 10 p. (Manuscrito sin publicar).
47. _____ Growth, site factors and nutritional status of Cupressus lusitanica plantations in the Highlands of Colombia. Dissertation zur Erlangung des Doktorgrades, Alemania. Universität Hamburg, 1972. 165 p.
48. _____ La clasificación de sitios y el crecimiento del Cupressus lusitanica en Antioquia, Colombia. Revista Facultad Nacional de Agronomía (Colombia) 27:3 - 30. 1972.
49. VALLE, J.I. DEL y CADAVID, H. Retención de humedad en Andosoles de Antioquia determinada por el método del papel de filtro. Tesis Ing. For. Medellín, Colombia, Universidad Nacional, Facultad de Ciencias Agrícolas, 1970. 119 p.
50. _____ La mineralización del nitrógeno en suelos de cenizas volcánicas de Colombia y su relación con el crecimiento del ciprés. 1975. 14 p. (Manuscrito sin publicar).
51. VOORHOEVE, A.G. y SCHULZ, J.P. La necesidad de parcelas permanentes de claro y rendimiento en plantaciones forestales. Mérida, Venezuela, Instituto Forestal Latinoamericano de Investigación y Capacitación. Boletín N°27 - 28. 1968. p. 19.
52. WENGER, L.F., EVANS, T.C., LOTTI, T., COOPER, L. y BRADDER, E.U. The relation of growth to stand density in natural Loblolly Pine stands. U.S. Southern Forest Experimental Station. Paper 97. 1958. 10 p.
53. WILSON, F.G. Numerical expression of stocking in terms of height. Journal of Forestry 44:758 - 761. 1946.

A P E N D I C E

Cuadro 1A. Información suministrada por la primera medición (año 1969) de las 42 parcelas permanentes de *Cupressus lusitanica* utilizadas en este estudio.

Parcela Nº	Edad (años)	Alt. Dom. m	Índice de silito m/15 años	Nº de arbo les por ha	Índice de espacio de Crecimiento	DAP prom. cm	Area basal bruta, m ² /ha	Vol. bruto m ³ /ha	Area basal bruta, m ² /ha	DAP ₁₀ cm bruto	Vol. bruto DAP ₁₀ cm m ³ /ha	Crecimiento área basal m ² /ha/año	Crecimiento volumen m ³ /ha/año
43	5.3	8.1	13.4	3933	21.1	5.3	8.7	60.8	0.6	3.0	3.0	0.0	0.0
44	5.3	10.0	16.6	4083	16.8	6.6	14.1	90.5	3.7	21.0	21.0	0.0	0.0
45	5.3	10.9	18.1	4050	15.4	6.9	15.1	95.1	3.4	19.5	19.5	0.0	0.0
46	5.2	8.9	15.0	3084	21.7	6.7	10.8	63.1	1.4	7.3	7.3	0.0	0.0
47	5.2	9.3	15.7	3900	18.5	6.4	12.8	76.0	1.4	6.9	6.9	0.0	0.0
48	9.3	7.6	12.8	4550	20.9	5.0	8.8	65.0	0.1	0.7	0.7	0.0	0.0
52	9.3	15.9	18.8	2275	14.1	12.5	27.9	171.9	26.5	164.0	164.0	0.0	0.0
53	9.3	20.2	23.9	1230	15.1	20.0	38.6	286.8	38.6	286.8	286.8	0.0	0.0
54	9.3	19.2	22.7	1650	13.7	15.7	31.9	215.0	31.4	212.0	212.0	0.0	0.0
56	6.8	14.9	20.8	1438	19.0	15.3	26.3	173.4	26.1	172.1	172.1	0.0	0.0
57	9.8	17.7	20.5	3513	21.5	14.2	66.1	443.9	65.1	437.7	437.7	0.0	0.0
58	6.6	14.3	20.3	3738	12.2	10.0	29.6	170.0	23.0	138.3	138.3	0.0	0.0
49	6.8	9.8	13.7	4317	16.6	6.8	15.6	92.6	5.5	28.1	28.1	0.0	0.0
2	12.4	14.3	15.2	1950	17.0	13.3	27.0	148.2	26.0	152.4	152.4	0.0	0.0
4	14.4	12.1	12.2	2838	16.6	7.9	14.0	78.2	7.1	37.1	37.1	0.0	0.0
5	14.4	12.4	12.5	4188	13.3	8.1	21.4	119.7	13.0	67.4	67.4	0.0	0.0
60	5.4	10.1	16.5	1263	29.9	14.8	21.7	140.1	21.5	138.8	138.8	0.0	0.0
55	14.4	11.6	11.7	1630	22.9	12.3	19.5	85.6	18.4	80.4	80.4	0.0	0.0
7	14.4	16.5	16.7	3660	10.7	11.8	40.4	253.6	36.6	229.3	229.3	0.0	0.0
8	14.4	9.3	9.4	1663	28.3	6.7	5.9	31.0	1.6	7.1	7.1	0.0	0.0
15	14.4	11.8	11.9	1600	22.7	12.2	18.8	100.9	17.6	94.4	94.4	0.0	0.0
16	14.4	14.3	14.5	1725	18.0	14.1	27.1	151.0	26.6	147.9	147.9	0.0	0.0
42	12.4	16.8	17.8	880	21.5	14.2	14.0	90.5	13.7	88.6	88.6	0.0	0.0
61	5.4	8.1	13.3	1663	32.5	6.9	6.2	36.2	2.2	11.3	11.3	0.0	0.0
62	6.0	7.8	11.8	1713	33.2	8.4	9.4	44.6	6.5	28.0	28.0	0.0	0.0
63	6.0	7.9	12.0	1030	42.2	8.1	5.3	25.4	3.4	14.5	14.5	0.0	0.0
64	8.0	12.6	16.1	1463	22.3	10.6	12.9	83.3	10.7	68.1	68.1	0.0	0.0
65	8.0	10.9	13.9	1125	29.3	10.5	9.7	54.3	8.0	43.5	43.5	0.0	0.0
67	12.0	11.4	12.2	1418	25.0	12.2	16.6	94.2	15.2	85.3	85.3	0.0	0.0
68	12.0	8.4	9.0	2291	26.7	9.1	15.0	69.5	11.0	47.7	47.7	0.0	0.0
69	6.0	5.8	7.4	3473	31.4	6.4	11.2	61.2	3.1	13.4	13.4	0.0	0.0
59	10.0	12.2	13.1	2236	18.6	11.0	21.4	121.8	18.3	101.7	101.7	0.0	0.0
79	11.2	17.9	19.7	1620	14.9	18.7	44.4	321.1	44.4	321.1	321.1	0.0	0.0
80	11.2	14.5	15.9	1720	17.8	14.6	28.8	161.6	28.2	153.5	153.5	0.0	0.0
81	7.1	9.5	13.1	3600	16.6	8.9	22.3	119.1	13.7	70.6	70.6	0.0	0.0
82	7.1	12.8	17.4	1640	19.5	11.1	17.7	106.7	14.9	90.4	90.4	0.0	0.0
71	21.1	19.5	18.0	1255	15.5	24.4	58.5	490.3	58.5	490.3	490.3	0.0	0.0
72	21.1	15.6	14.4	1873	15.9	17.1	42.8	253.5	41.8	248.6	248.6	0.0	0.0
74	4.5	12.4	23.7	2780	16.4	10.1	22.3	136.7	18.0	108.8	108.8	0.0	0.0
75	4.5	11.9	22.7	3180	16.0	9.4	22.0	136.4	16.8	101.6	101.6	0.0	0.0
76	9.1	7.5	9.0	1960	32.3	6.2	5.9	33.3	1.6	6.6	6.6	0.0	0.0
77	8.9	10.6	12.8	1180	29.5	13.3	16.5	94.3	15.3	86.9	86.9	0.0	0.0

Cuadro 2A. Información suministrada por la segunda medición (año 1970) de las 42 parcelas permanentes de Cupressus lusitanica utilizadas en este estudio.

Parcela No	Pdad (años)	Alt. Dcm.	Indice de sitio m/15 años	Nº de arboles por ha	Indice de crecimiento de espacio de crecimiento	DAP prom. cm	Area basal bruta m ² /ha	Vol. bruto m ³ /ha	Area basal Bruta, DAP10 cm m ² /ha	Vol. bruto DAP10 cm m ³ /ha	Crecimiento Area basal m ² /ha/año	Crecimiento Volumen m ³ /ha/año
43	6.8	9.9	13.8	3933	17.3	6.8	14.2	83.0	2.8	14.6	3.9	15.7
44	6.8	12.3	17.2	4050	13.7	8.4	22.4	135.5	11.8	69.3	5.9	31.8
45	6.8	13.5	18.8	4017	12.5	8.5	22.9	136.2	12.2	72.0	5.5	30.4
46	6.7	11.9	16.8	3084	16.2	8.5	17.5	93.6	9.7	49.9	4.8	21.6
47	6.7	11.2	15.8	3900	15.3	8.3	21.0	112.5	10.3	52.6	5.9	25.8
48	6.7	11.0	15.5	4550	14.4	6.4	14.8	88.8	2.3	11.6	4.3	16.8
52	10.8	16.7	18.6	2275	16.8	13.4	32.3	203.1	31.7	199.7	3.1	22.1
53	10.8	23.8	26.5	1230	12.6	21.0	42.4	323.4	42.4	323.4	2.7	25.9
54	10.2	20.0	22.3	1650	13.2	16.9	36.9	257.0	35.4	254.1	3.5	29.7
56	8.3	15.9	16.9	1438	17.8	16.3	30.1	204.0	29.8	202.6	2.7	21.7
57	11.2	19.0	19.2	3100	20.6	15.1	71.7	450.5	70.7	463.4	3.9	32.9
58	8.2	15.9	20.0	3638	11.2	10.9	34.0	209.0	28.2	173.5	3.1	21.2
49	8.2	10.5	13.1	4317	15.5	8.0	21.4	119.1	12.1	62.5	4.1	18.7
4	13.8	14.6	15.0	1950	16.6	14.0	29.8	166.4	29.0	161.4	2.0	12.9
5	15.5	13.3	12.5	2638	15.8	8.5	16.1	88.2	9.8	51.0	1.5	7.1
60	5.7	12.5	13.1	4182	12.4	8.6	24.1	132.3	15.5	80.3	1.9	5.0
55	15.5	11.9	17.6	1263	24.1	17.5	30.4	210.1	30.3	209.7	6.9	55.8
7	15.8	17.5	11.3	1630	22.3	12.9	21.3	54.3	20.5	90.2	1.3	6.0
8	15.8	9.8	17.2	3660	10.1	12.3	43.3	273.4	39.7	250.8	2.0	14.0
15	15.6	12.4	9.7	1663	26.8	7.2	6.8	34.2	2.7	11.5	0.7	2.3
16	15.6	12.4	13.2	1600	20.0	13.0	21.3	116.4	20.5	111.8	1.8	11.0
42	13.5	17.5	17.3	1725	14.7	14.9	30.1	170.3	26.6	167.3	2.1	13.7
51	6.7	8.6	12.1	680	20.6	14.8	15.2	100.2	14.9	98.3	0.8	6.9
62	7.3	9.2	12.1	1350	30.7	8.9	10.4	35.5	6.6	34.2	3.4	15.5
63	7.3	8.6	11.0	1625	32.5	9.2	11.4	55.9	8.6	37.4	1.6	6.6
64	9.3	15.9	11.5	1038	38.7	8.6	6.0	28.4	4.5	18.7	0.6	2.4
65	9.3	11.5	13.6	1450	17.8	12.1	16.7	109.5	14.8	97.4	3.0	20.9
67	13.3	11.7	12.1	1125	29.1	11.9	12.5	71.1	11.1	62.6	2.2	13.4
68	13.3	9.5	12.1	1414	24.3	13.5	20.3	116.1	18.9	107.7	2.9	17.4
69	9.3	7.1	9.8	2291	23.6	9.8	17.3	78.1	13.3	57.7	1.8	6.9
59	13.2	13.1	8.4	3455	25.7	7.8	16.7	80.7	8.5	36.6	4.4	15.6
79	12.3	19.9	13.6	2218	17.4	12.1	25.4	145.4	22.4	127.3	3.1	18.9
80	12.3	15.0	21.1	1620	13.4	19.4	47.7	352.5	47.7	352.5	3.0	28.9
81	8.2	11.2	15.9	1720	17.2	15.5	32.5	187.4	32.0	184.7	3.4	23.7
82	8.2	14.5	14.1	2180	20.5	11.5	27.7	147.3	21.1	109.0	4.9	26.0
71	22.3	20.0	17.6	1200	24.6	13.2	20.0	123.1	17.8	110.3	2.1	15.1
72	22.3	15.9	16.3	1255	13.5	25.4	63.4	590.9	63.4	540.9	4.2	43.3
74	5.8	13.6	14.5	1873	14.1	17.8	46.5	260.3	45.8	276.9	3.2	22.9
75	5.8	14.1	21.1	2780	14.9	11.4	28.5	178.7	25.2	157.0	4.9	33.6
76	10.3	9.7	21.9	3160	13.5	10.4	26.8	169.4	22.4	139.5	3.6	26.3
77	10.3	11.4	11.0	1900	25.4	7.8	9.2	45.1	5.9	25.5	2.8	10.0
			12.9	920	31.0	15.5	20.2	119.2	19.3	113.4	3.2	21.3

Cuadro 3A. Información suministrada por la tercera medición (año 1972) de las 42 parcelas permanentes de Cupressus lusitanica utilizadas en este estudio.

Parcela Nº	Edad (años)	Alt. Dom. m.	Índice de sitio m/15 años	Nº de árbol les por ha	Índice de crecimiento espacio de	DAP prom. cm	Área basal bruta m²/ha	Vol. bruto m³/ha	Área basal bruta, m²/ha DAP > 10 cm	Vol. bruto m³/ha DAP > 10	Creimiento área basal m²/ha/año	Creimiento volumen m³/ha/año
43	8.8	12.4	15.1	3163	15.3	8.5	19.3	97.4	10.1	52.1	2.5	11.7
44	8.8	15.1	18.3	4033	11.2	9.8	30.6	165.0	23.5	141.1	4.1	25.0
45	8.7	15.6	19.1	4017	10.8	9.9	31.0	188.4	22.7	138.2	4.2	26.4
46	8.7	13.5	16.5	3067	14.3	10.0	24.0	143.4	18.6	110.6	3.2	19.4
47	8.6	14.2	17.4	3900	12.1	10.0	30.4	180.5	23.8	141.2	4.8	28.7
48	8.7	12.6	15.4	4550	12.6	7.5	20.6	113.2	8.5	43.4	2.8	12.2
52	12.8	17.5	18.4	2275	12.8	14.5	37.7	245.0	37.2	242.3	2.7	20.8
53	12.8	26.1	27.4	1140	12.1	22.5	43.4	386.1	48.4	381.8	3.0	31.2
54	12.8	21.7	22.8	1563	12.5	18.3	42.3	306.5	41.8	304.0	2.7	24.7
56	10.3	19.4	22.0	713	20.7	20.1	36.4	261.3	36.1	285.2	3.0	27.4
57	13.3	20.5	21.2	3050	9.4	17.7	75.9	539.7	75.3	535.9	4.2	36.3
58	10.2	17.9	20.4	1313	17.5	15.4	40.0	255.4	34.5	221.8	3.1	24.0
49	10.2	11.8	13.4	2583	17.9	10.3	27.5	150.7	19.2	101.2	3.0	15.8
2	15.8	16.7	16.5	1950	14.5	15.0	34.6	197.0	33.8	192.3	2.4	15.3
4	17.8	14.4	13.8	2838	14.0	9.0	18.2	99.4	12.5	65.9	1.1	5.6
5	17.8	15.1	14.4	4188	10.9	9.2	27.7	150.6	19.8	103.6	1.8	9.1
60	8.7	14.0	17.1	1175	22.3	20.2	38.5	283.0	38.5	282.6	4.1	36.3
55	17.8	14.0	13.4	1630	19.0	13.6	24.3	133.4	23.8	130.5	1.5	9.1
7	17.8	20.8	19.9	3660	8.5	13.0	48.6	312.2	45.2	290.8	2.7	19.3
8	17.8	10.5	10.0	1638	25.2	7.9	8.1	39.0	4.4	18.7	0.6	2.4
15	17.8	16.4	15.7	1588	16.4	14.2	25.1	140.0	24.5	137.0	1.9	11.3
16	17.8	19.0	18.2	1738	13.5	15.6	33.9	226.8	33.4	225.6	1.8	14.2
42	15.8	19.7	19.4	820	18.3	15.7	17.0	113.7	16.7	112.4	0.9	6.7
61	8.7	9.5	11.6	1623	28.0	11.1	15.7	69.6	13.5	59.1	2.6	11.1
62	9.3	9.3	11.0	1550	29.3	10.8	14.4	66.1	12.1	53.5	1.8	8.1
63	9.3	9.3	11.0	788	41.1	10.1	6.9	32.1	5.1	22.3	0.4	1.9
64	11.3	17.0	18.6	1438	15.9	13.7	21.3	144.7	19.8	135.1	2.3	17.6
65	11.3	12.1	13.2	1075	27.0	13.7	15.8	92.5	14.8	86.6	1.7	10.7
67	15.3	12.9	12.8	1400	22.2	14.7	23.9	140.3	22.9	134.5	1.8	12.1
68	15.3	10.6	10.5	2273	21.2	10.6	20.2	91.0	16.6	72.9	1.5	6.4
69	11.3	9.5	10.4	3455	19.2	9.2	23.0	105.6	16.5	73.1	3.1	12.3
59	15.3	16.0	15.9	2145	14.4	13.3	30.0	175.9	27.5	160.2	2.3	15.3
79	14.2	23.1	23.5	920	15.3	23.6	53.1	408.9	53.0	396.5	2.8	28.3
80	14.2	16.0	16.3	1140	19.8	18.9	37.5	254.4	37.0	261.5	2.6	23.6
81	10.1	14.3	16.3	1440	19.8	14.9	30.4	165.3	28.8	156.9	4.1	24.8
82	10.1	16.3	18.6	780	23.6	16.0	19.8	128.4	19.5	126.8	1.8	13.9
71	24.2	21.7	20.5	1109	14.8	28.1	70.2	619.2	70.2	619.2	3.6	40.7
72	24.2	18.0	16.2	1218	14.0	19.0	51.7	319.4	51.0	316.1	2.7	20.3
74	7.8	18.5	23.9	1360	15.7	16.2	35.9	235.6	32.6	315.5	3.7	28.9
75	7.8	17.3	22.3	2040	13.7	13.7	33.0	217.1	28.6	167.1	3.2	24.5
76	12.3	10.9	11.6	1840	22.9	10.6	16.4	75.0	14.0	61.4	3.5	14.7
77	12.3	11.9	14.8	860	26.3	19.1	24.8	157.0	24.4	154.4	3.6	26.1

Cuadro 4A. Información suministrada por la cuarta medición (año 1974) de las 27 parcelas permanentes de Carex lusitanica utilizadas en este estudio.

Parcela Nº	Edad (años)	Alt. Dom. m	Índice de sitio m/15 años	Nº de árbol les por ha	Índice de espacio de crecimiento	DAP prom cm	Área basal bruta m ² /ha	VOL. bruto m ³ /ha	Área basal bruta, m ² /ha DAP > 10 cm	VOL. bruto DAP > 10 cm m ³ /ha	Creclimiento área basal m ² /ha/año	Creclimiento volumen m ³ /ha/año
47	10.9	17.3	18.9	3870	10.1	11.1	37.3	225.9	32.4	196.6	3.0	19.4
48	10.9	14.2	15.7	4500	11.2	8.5	25.4	138.3	15.5	80.0	2.3	11.1
52	15.0	20.3	20.3	2275	11.0	15.8	44.6	308.0	44.1	296.1	3.0	24.7
53	15.0	26.7	26.7	1010	12.6	24.7	51.5	433.4	51.5	433.1	2.7	31.0
54	15.0	26.1	26.1	1463	10.7	20.1	48.7	370.2	48.3	368.4	3.3	31.0
56	12.5	23.6	24.9	688	17.4	22.9	29.1	232.4	29.1	232.4	3.0	30.0
57	15.5	23.4	23.2	3013	8.3	19.0	85.7	634.0	85.1	630.2	4.9	46.1
58	12.4	20.5	21.7	463	24.3	23.4	32.4	253.8	32.3	233.1	3.5	31.5
49	12.4	13.8	14.6	1467	20.3	13.0	27.4	151.4	24.6	134.6	2.6	15.9
2	18.0	18.6	17.8	1950	13.0	15.9	38.9	264.6	38.1	260.0	2.0	16.0
4	20.0	15.6	14.6	1913	15.7	10.3	20.4	111.5	12.9	81.1	1.0	5.5
5	20.0	16.4	15.3	3775	10.6	9.9	31.0	168.5	23.6	124.6	1.5	8.3
55	20.0	15.1	14.1	1530	18.1	14.7	27.1	151.2	26.6	148.3	1.3	8.2
7	20.0	23.1	21.6	2840	8.7	14.6	52.1	540.4	46.8	319.6	1.6	13.0
8	20.0	11.7	10.9	1538	23.4	8.8	9.7	44.7	6.5	27.8	0.8	2.9
15	20.0	16.3	17.1	1575	14.7	15.2	28.7	191.9	28.4	189.6	1.7	13.5
16	20.0	20.2	18.8	1738	12.7	77.0	39.5	275.9	39.0	272.6	2.6	21.7
42	18.2	21.7	20.7	880	16.6	16.5	18.9	129.6	18.7	128.4	0.8	6.5
79	16.5	26.7	26.0	440	19.1	29.2	47.0	395.1	46.1	395.1	2.8	30.3
80	16.5	19.0	18.5	840	19.5	22.3	39.4	295.2	38.4	295.2	2.8	27.4
81	12.4	17.5	16.5	900	20.4	18.7	32.5	221.9	32.5	221.9	3.2	26.3
82	12.4	16.8	17.8	400	31.9	19.4	20.5	144.2	20.5	144.2	2.1	17.3
71	26.5	22.7	20.1	1091	14.3	29.9	77.3	708.1	73.3	708.1	3.7	41.9
72	26.5	19.6	17.4	1818	12.8	19.5	54.2	401.2	53.7	398.5	1.2	11.2
74	10.0	22.1	25.4	1340	13.2	18.0	34.4	244.2	34.4	244.2	2.9	25.4
75	10.0	21.3	24.5	1480	13.1	16.6	35.4	242.7	33.3	229.8	2.4	20.9

Cuadro 5A. Cálculos del rendimiento y el crecimiento de la primera y la segunda medición de la parcela permanente de Cupressus lusitanica N° 56

DAP	-----MEDICION ANTERIOR-----					-----MEDICION POSTERIOR-----					--CRECIMIENTO ANUAL--			--INTERVALO--	
	NO. ARB	A. BAS	VOLUM. AB	CUM VOL. CUM		NO. ARB	A. BAS	VOLUM. AB	CUM VOL. CUM		NO. ARB	A. BAS	VOLUM. AB	COR VOL. COR	
42	0.0	0.00	0.00	0.00	0.00	12.5	1.73	18.11	1.73	18.11	5.7	0.79	8.34	0.00	0.00
40	0.0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.0	0.00	0.00	1.73	18.11	0.0	0.00	0.00	0.00	0.00
38	0.0	0.00	0.00	0.00	0.00	12.5	1.41	14.03	3.14	32.14	5.7	0.65	6.46	0.00	0.00
36	0.0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.0	0.00	0.00	3.14	32.14	0.0	0.00	0.00	0.00	0.00
34	12.5	1.13	10.58	1.13	10.58	0.0	0.00	0.00	3.14	32.14	-5.7	-0.52	-4.87	0.00	0.00
32	0.0	0.00	0.00	1.13	10.58	37.5	3.01	27.21	6.16	59.36	17.2	1.38	12.54	0.00	0.00
30	12.5	0.88	7.70	2.01	18.28	12.5	0.88	7.70	7.04	67.07	0.0	0.00	0.00	0.00	0.00
28	25.0	1.53	12.94	3.55	31.23	50.0	3.07	25.89	10.12	92.96	11.5	0.70	5.96	0.00	0.00
26	50.0	2.65	21.48	6.21	52.72	75.0	3.98	32.23	14.10	125.19	11.5	0.61	4.95	0.66	5.37
24	62.5	2.82	21.97	9.03	74.69	25.0	1.13	8.79	15.24	133.98	-17.2	-0.78	-6.07	0.00	0.00
22	75.0	2.85	21.22	11.89	95.92	125.0	4.75	35.38	19.99	169.37	23.0	0.87	6.52	0.00	0.00
20	125.0	3.92	27.94	15.81	123.87	137.5	4.31	30.74	24.31	200.11	5.7	0.18	1.28	0.00	0.00
18	100.0	2.54	17.27	18.36	141.14	62.5	1.59	10.79	25.90	210.90	-17.2	-0.43	-2.98	0.00	0.00
16	100.0	2.01	12.99	20.37	154.14	75.0	1.50	9.74	27.41	220.65	-11.5	-0.23	-1.49	0.00	0.00
14	112.5	1.73	10.66	22.10	164.81	50.0	0.76	4.74	28.18	225.39	-28.7	-0.44	-2.73	0.00	0.00
12	37.5	0.42	2.50	22.52	167.31	12.5	0.14	0.83	28.32	226.23	-11.5	-0.13	-0.76	0.14	0.83
10	0.0	0.00	0.00	22.52	167.31	0.0	0.00	0.00	28.32	226.23	0.0	0.00	0.00	0.00	0.00
8	0.0	0.00	0.00	22.52	167.31	0.0	0.00	0.00	28.32	226.23	0.0	0.00	0.00	0.00	0.00
6	0.0	0.00	0.00	22.52	167.31	0.0	0.00	0.00	28.32	226.23	0.0	0.00	0.00	0.00	0.00
4	0.0	0.00	0.00	22.52	167.31	0.0	0.00	0.00	28.32	226.23	0.0	0.00	0.00	0.00	0.00
2	0.0	0.00	0.00	22.52	167.31	0.0	0.00	0.00	28.32	226.23	0.0	0.00	0.00	0.00	0.00
0	0.0	0.00	0.00	22.52	167.31	0.0	0.00	0.00	28.32	226.23	0.0	0.00	0.00	0.00	0.00
T	712.5	22.52	167.31			687.5	28.32	226.23			-11.5	2.66	27.14	0.80	6.20

	MEDIC. ANT.	MEDIC. POST.
DAP PROMEDIO SEGUN A.B.	20.06	22.90
ALTURA PROMEDIA	17.93	19.32
ALTURA DE DOMINANTES	19.4	23.5
IND. DE ESPACIO CREC.	20.7	17.4

	NO. DE ARBOLES CORTADOS	POR AÑO	INTERV
CRECIMIENTO BRUTO DE A.B.	(=A.B. POST. - A.B. ANT. + A.B. CORTADO Y MUERTO)	-11.5	-25.0
CRECIMIENTO BRUTO DE VOL.	(=VOL. POST. - VOL. ANT. + VOL. CORTADO Y MUERTO)	3.03	6.59
		30.00	65.12

Cuadro 6A. Cálculos del rendimiento y el crecimiento de la tercera y la cuarta medición de la parcela permanente de Cupressus lusitanica N° 56

MEDICION ANTERIOR					MEDICION POSTERIOR					CRECIMIENTO ANUAL			INTERVALO		
DAP	NO. ARB	A. BAS	VOLUM. AB	CUM VOL. CUM	NO. ARB	A. BAS	VOLUM. AB	CUM VOL. CUM	NO. ARB	A. BAS	VOLUM. AB	COR	VOL. COR		
26	0.0	0.00	0.00	0.00	25.0	1.32	10.74	1.32	10.74	17.6	0.93	7.59	0.00	0.00	
24	50.0	2.26	17.58	2.26	17.58	25.0	1.13	8.79	2.45	19.53	-17.6	-0.79	-6.21	0.00	0.00
22	0.0	0.00	0.00	2.26	17.58	112.5	4.27	31.84	6.73	51.37	79.5	3.02	22.50	0.00	0.00
20	125.0	3.92	27.94	6.18	45.52	162.5	5.10	36.33	11.83	87.71	26.5	0.83	5.92	0.00	0.00
18	225.0	5.72	38.86	11.91	84.39	187.5	4.77	32.38	16.61	120.09	-26.5	-0.67	-4.57	0.00	0.00
16	275.0	5.52	35.74	17.44	120.13	325.0	6.53	42.24	23.14	162.33	35.3	0.71	4.59	0.00	0.00
14	300.0	4.61	28.45	22.06	148.58	212.5	3.27	20.15	26.41	182.49	-61.8	-0.95	-5.86	0.00	0.00
12	225.0	2.54	15.01	24.60	163.60	225.0	2.54	15.01	28.96	197.50	0.0	0.00	0.00	0.00	0.00
10	187.5	1.47	8.45	26.07	172.06	112.5	0.88	5.07	29.84	202.58	-53.0	-0.41	-2.39	0.00	0.00
8	37.5	0.18	1.09	26.26	173.15	50.0	0.25	1.46	30.09	204.04	8.8	0.04	0.25	0.00	0.00
6	12.5	0.03	0.23	26.30	173.39	0.0	0.00	0.00	30.09	204.04	-8.8	-0.02	-0.16	0.00	0.00
4	0.0	0.00	0.00	26.30	173.39	0.0	0.00	0.00	30.09	204.04	0.0	0.00	0.00	0.00	0.00
2	0.0	0.00	0.00	26.30	173.39	0.0	0.00	0.00	30.09	204.04	0.0	0.00	0.00	0.00	0.00
0	0.0	0.00	0.00	26.30	173.39	0.0	0.00	0.00	30.09	204.04	0.0	0.00	0.00	0.00	0.00
T	1437.5	26.30	173.39			1437.5	30.09	204.04			-0.0	2.68	21.66	0.00	0.00

	MEDIC. ANT.	MEDIC. POST.
DAP PROMEDIO SEGUN A.B.	15.26	16.32
ALTURA PROMEDIA	15.36	15.96
ALTURA DE DOMINANTES	14.9	15.9
IND. DE ESPACIO CREC.	19.0	17.8

	POR AÑO	INTERV
NO. DE ARBOLES CORTADOS	-0.0	0.0
CRECIMIENTO BRUTO DE A.B. (=A.B. POST. - A.B. ANT. + A.B. CORTADO Y MUERTO)	2.68	3.79
CRECIMIENTO BRUTO DE VOL. (=VOL. POST. - VOL. ANT. + VOL. CORTADO Y MUERTO)	21.66	30.65

DEMOSTRACION

$$\log V = b_0 + b_1(1/E) + b_2(IS) + b_3(IS/E)$$

Del cálculo diferencial se sabe que (44):

$$\frac{d \log_a u}{dx} = \frac{1}{u \ln a} \cdot \frac{du}{dx}$$

$$\text{Luego: } \frac{1}{V \ln 10} \cdot \frac{dV}{dE} = -b_1 E^{-2} - b_3 (IS) E^{-2}$$

$$\frac{1}{\ln 10} \cdot \frac{dV}{dE} = (-b_1 E^{-2} - b_3 (IS) E^{-2}) V$$

reemplazando V por su equivalente exponencial queda

$$\frac{1}{\ln 10} \cdot \frac{dV}{dE} = (-b_1 E^{-2} - b_3 (IS) E^{-2}) 10^{(b_0 + b_1 E^{-1} + b_2 (IS) + b_3 (IS) E^{-1})}$$

También del cálculo diferencial (44) se conoce la siguiente fórmula

$$\frac{da^u}{dx} = a^u \cdot \frac{du}{dx} \cdot \ln a$$

que al aplicarla al caso aquí tratado arroja la siguiente expresión que es la segunda derivada de log V con respecto a la edad E

$$\frac{1}{\ln 10} \cdot \frac{d^2V}{dE^2} = ((-b_1 E^{-2} - b_3 (IS) E^{-2}) V \cdot (-b_1 E^{-2} - b_3 (IS) E^{-2}) \ln 10 + V(-2b_1 E^{-3} + 3b_3 (IS) E^{-3}))$$

pasando ln 10 al miembro de la derecha y sacando $(-b_1 E^{-2} - b_3 (IS) E^{-2})$

como factor común, se iguala toda la expresión a cero con el fin de encontrar la edad a la cual hay punto de inflexión en la curva de rendimiento.

$$\ln 10 (-b_1 E^{-2} - b_3 (IS) E^{-2}) (\ln 10 (-b_1 E^{-2} - b_3 (IS) E^{-2}) - 2E^{-1}) = 0$$

$$-E^{-1} (\ln 10 (b_1 E^{-1} + b_3 (IS) E^{-1}) + 2) = 0$$

$$E = -\frac{1}{2} \ln 10 (b_1 + b_3 (IS)) \quad \text{luego}$$

$$E = -1.15129 (b_1 + b_3 (IS))$$

PARCELA PERMANENTE DE CRECIMIENTO

N°

2. DESCRIPCION DE LA PLANTACION

2.1 Mes y año de plantación..... de.....

2.2 Fuente de información de éste dato.....

2.3 Número inicial de árboles..... Area de la plantación..... Ha.

3. DESCRIPCION DE LA PARCELA

3.1 Fecha de establecimiento de la parcela: Mes..... año.....

3.2 Situación dentro de la finca

3.3 Croquis de situación y acceso (en hoja anexa)

3.4 Forma geométrica de la parcela:
Círculo..... Radio..... m.
Cuadrado..... Lado..... m.
Rectángulo... Ladosmx... m.

3.5 Coordenadas cartográficas..... //.....
N° y/o nombre de la plancha.

3.6 Altitud..... m.

3.7 Exposición (Aximut):..... Para filos y quebradas se refieren al rumbo de caída del eje.

3.8 Pendiente (en %):.....

3.9 Aspecto externo de la masa en el primer reconocimiento:

Forma general de los fustes: Rectos.....
Torcidos.....
Bifurcados.....
Color del follaje Verde.....
Verde amarillento.....
Amarillento.....
Otros.....

Sotobosque: Especies más abundantes:

OBSERVACIONES

5. IDENTIFICACION DE PERSONAL

5.1 Nombre Dirección y ocupación de la persona o personas que suministraron los anteriores datos:

5.2 Datos Tomados por:

Nombre

Profesión o cargo

Dirección

Fecha y firma