

RENDIMIENTO Y CRECIMIENTO DEL CEREZO (*Alnus jorullensis*) EN LA REGION CENTRAL ANDINA, COLOMBIA

JORGE IGNACIO DEL VALLE ARANGO *
HUBERTO GONZALEZ PEREZ **

RESUMEN

*Se establecieron 77 parcelas permanentes en plantaciones de cerezo (*Alnus jorullensis* H.B.K.), distribuidas en rangos de edad, calidad de sitio, posición altitudinal y localidad presentes en la región Central Andina en Colombia. Se determinaron ecuaciones de conicidad, de volumen derivadas y ecuaciones de volumen directas con base en mediciones de árboles apeados de las distintas posiciones fitosociológicas. Se definieron índices de sitio en función de la altura de dominantes, se determinaron modelos matemáticos que expresan el crecimiento de la altura de dominantes, la altura promedio, el diámetro promedio cuadrático, el área basal y el volumen con corteza en función de la edad, índices de sitio y la densidad de la plantación. Con esta base se derivaron ecuaciones que permiten pronosticar el comportamiento del rodal después de aprovechamientos intermedios.*

Palabras claves: Crecimiento, rendimiento, *Alnus jorullensis*, índices de sitio, conicidad, ecuaciones de volumen, métodos explícitos.

ABSTRACT

*GROWTH AND YIELD OF "CEREZO" (*Alnus jorullensis*) IN THE ANDEAN CENTRAL REGION, COLOMBIA*

*Seventy-seven permanent plots were established in *Alnus jorullensis* plantations distributed over a wide range of ages*

* ** Profesores titular y asociado respectivamente, Universidad Nacional de Colombia. Facultad de Ciencias Agropecuarias, Medellín. Apartado aéreo 568.

(3 to 35-years old), site qualities, positions and altitude through the highlands of the Andean Central Region of Colombia. In a sample of trees felled of all the sociological positions, there were calculated taper equations and their derivated volume equations. Also directly volumen equations were calculated. Site indices depending on the dominant height of trees were defined. There were calculated mathematical models of growth and of growth rate of the dominant height, the average height, the quadratic diameter, the basal area and over bark and under bark volumen as a function of the age, the site index and the plantation density. Based on this information, projection equations were derivated in order to forecast the effect of thinning in future yields.

Key words: Growth, yield, Alnus jorullensis, site indices, taper equations, volume equations, explicit methods.

INTRODUCCION

En razón de algunas de sus características autoecológicas el cerezo fue una de las primeras especies nativas que se utilizó en programas de reforestación en el país. Las primeras plantaciones se establecieron en la cuenca del río Blanco, municipio de Manizales, hace ya cerca de 40 años. Las experiencias con la especie en la región central andina de Colombia han mostrado una excelente adaptación a las condiciones climáticas y edáficas predominantes en esa región y actualmente está siendo utilizada como componente de sistemas silvopastoriles, los cuales son de gran interés en el contexto de encontrar tecnologías apropiadas para el uso y manejo del suelo en cuencas hidrográficas. Las características de la madera de cerezo la hacen atractiva en el mercado maderero local y las posibilidades de utilización son más amplias cada vez.

Estas circunstancias permiten vislumbrar la posibilidad en el mediano plazo de un impulso a la reforestación con la especie, para lo cual se requieren herramientas tecnológicas que permitan determinar la bondad de proyectos de inversión en plantaciones de cerezo.

Lo anterior motivó a CONIF y al Departamento de Ciencias Forestales de la Universidad Nacional, Seccional Medellín, con el patrocinio de COLCIENCIAS, a emprender el presente estudio, con el propósito fundamental de encontrar modelos de rendimiento de las variables relevantes en función de la edad, el índice de sitio

y la densidad, de tal manera que se posibilite tanto el planteamiento de alternativas de manejo racionales como la realización de los análisis económicos de rentabilidad correspondientes.

INFORMACION BASICA

La especie

La especie *Alnus jorullensis* H.B.K., llamada cerezo o alisocerezo en el departamento de Caldas, tiene una amplísima distribución geográfica en los Andes de América, por cuanto se le encuentra desde México hasta Tucumán, Argentina. Originario del hemisferio norte, los estudios palinológicos dan cuenta de la presencia de este género en territorio colombiano desde hace al menos dos millones de años (Livingstone, 1978).

En condiciones naturales el cerezo crece a lo largo de los cursos de agua y participa de muchas de las estrategias ecológicas de las especies pioneras, pero se aparta de éstas en su gran talla, habiéndose medido ejemplares en la región del estudio de 40 m de altura y 57 cm de diámetro; también se diferencia en la falta de latencia de las semillas.

Indudablemente el cerezo es una de las especies nativas más promisorias para la reforestación en Colombia en razón de su precocidad, arquitectura de copa monopódica y estrecha cuando crece en masas densas, la abundante producción de semillas y la presencia de racimos de nódulos en las raíces producidos por el actinomiceto *Frankia* sp., y que la habilita para fijar nitrógeno del aire del suelo. Esta última propiedad ha permitido su empleo en plantaciones muy espaciadas en sistemas silvopastoriles, que deben manejarse cuidadosamente toda vez que parece que sus hojas contienen un principio que induce al aborto en el ganado vacuno. La baja densidad de su madera es también una característica adversa para muchos usos potenciales. No es de descartar asimismo la influencia benéfica de ectomicorrizas que ya han sido identificadas en otras especies del género como *A. rubra* y *A. incana* (Neal *et al*, 1968).

Las prioridades físico mecánicas de trabajabilidad y usos del cerezo han sido estudiadas por Lastra (1971) y Rojas *et al* (1978) en Colombia y por González (1970) en Costa Rica y las caracte-

rísticas anatómicas por Acosta (1967) en Costa Rica y por Lastra (1971) en Colombia, descritas además en la monografía de Rojas *et al* (1978). Se destacan en estos estudios la baja gravedad específica de su madera con promedios de entre 0,33 hasta 0,36; el rango para la procedencia de la región de este estudio se situó entre 0,230 y 0,474. Asimismo, con base en datos de Murillo y Camacho (1985) se puede deducir que la gravedad específica en lotes de 2,5 a 3,5 años en Costa Rica se encuentra entre 0,30 y 0,35. A los 30 años Canet (1985) hace cálculos con base en una gravedad específica de 0,40. Por lo tanto la cifra de 0,50 a 0,60 citada en algunos textos (National Academy of Sciences 1980), parece demasiado alta al menos para las procedencias tropicales de zonas húmedas. En la actualidad el principal uso del cerezo en Co'ombia es para la elaboración de fósforos.

No debe confundirse el cerezo de la región del gran Caldas con la variedad o especie afín *A. ferruginea* (aliso) de la cordillera oriental, la cual es de porte y crecimiento notablemente inferiores y crece en climas más secos en el altiplano cundiboyacense.

Distribución y características de la región

En el departamento de Caldas, y más concretamente en el área correspondiente al municipio de Manizales y otros municipios vecinos, localizados todos en las faldas del volcán y nevado del Ruiz esta especie se ha observado desde los 1.700 m hasta los 3.300 m de altitud en condiciones naturales. Su talla y crecimiento se recienten notablemente en ambos extremos de su distribución, pero especialmente en el límite superior. Las mejores condiciones para la especie parecen encontrarse entre los 2.500 m y los 2.700 m de altitud. De acuerdo con Pretel *et al* (1985) en el Perú medra hasta los 3.800 m.

Climáticamente el cerezo habita en zonas frías y húmedas (tanto en precipitación como en humedad atmosférica). Los datos de la tabla 1 dan alguna idea de las condiciones climáticas en que esta especie crece en condiciones naturales y en plantaciones en los departamentos de Caldas, Risara'da y Quindío. En estos departamentos las precipitaciones en todo su rango altitudinal se encuentran generalmente cerca de los 2.000 mm anuales. Si se adopta el criterio de mes seco como aquel cuya precipitación en milímetros es menor a 2 veces la temperatura media, no existen meses secos. Con base en el gradiente regional de temperatura se

TABLA 1

INFORMACION CLIMATICA DE LA REGION DE ESTUDIO
(DATOS ENTRE 1971 y 1984)

Dato	Manizales		Caldas *		Salento		Quindío	
	Agronomía	La Esperanza	Cocora	Navarra	La Picota	Navarra	La Picota	Navarra
Altitud (m)	2.150	3.240	2.500	2.680	2.500	2.680	2.800	2.800
Temp. media anual (°C)	16,6	8,5	14,1		14,1			
Temp. media máxima anual (°C)	21,4		18,1		18,1			
Temp. media min. anual (°C)	12,9	1,0	11,1		11,1			
Precipitación anual (mm)	1.974	1.991	1.568	1.520	1.568	1.520	2.135	2.135
Humedad relativa (%)	80,1		78,0		78,0			
Brillo solar anual (horas)	1.453	1.105	1.544		1.544			

* Fuente: Smit, G. S.; no se indican los años.

estima que la especie crece naturalmente desde unos 18°C hasta unos 8,5°C de temperatura media anual en la región del estudio. Ocasionalmente se presentan heladas y temperaturas inferiores a 0°C. Tanto en el departamento de Caldas como en el Quindío la humedad atmosférica promedio es de cerca del 80%. De acuerdo con el sistema de Holdridge (1982), la especie se distribuye naturalmente en la región en las zonas de vida bosque húmedo montano bajo (bh-MB), bosque muy húmedo montano bajo (bmh-MB) y bosque pluvial o páramo pluvial montano (bp-M).

La información disponible sobre los suelos donde la especie crece tanto en forma espontánea como cultivada en la región de estudio, aunque limitada, permite hacer algunas generalizaciones. En efecto, los autores que han tocado este tema afirman que estos suelos son pobres (Rojas *et al*, 1978, Muñoz, 1971), quizá por la costumbre de compararlos con suelos agrícolas que con frecuencia han recibido fertilizaciones. En verdad, el problema químico principal que presentan estos suelos derivados de cenizas volcánicas es su baja disponibilidad de fósforo, sin embargo en otras regiones de Colombia, tal como ocurre en los departamentos de Antioquia y Cauca, se tienen plantaciones de coníferas, a veces con excelentes crecimientos, sobre suelos con sólo 2-3 ppm de fósforo, esto es la tercera a la quinta parte del que tienen los suelos donde crece o se ha plantado el cerezo. Asimismo, saturaciones de bases del orden del 20% no deben considerarse muy bajas si de plantaciones forestales se trata. Desde el punto de vista de la fertilidad, estos suelos se pueden considerar de fertilidad mediana, especialmente cuando se trata de especies que como *Alnus jorullensis* presentan nódulos de actinomicetos y micorrizas que le ayudan grandemente en la captación del nitrógeno y el fósforo respectivamente.

En lo que atañe con las propiedades físicas no existen restricciones, como cabría esperarse de suelos Andept recientes. Más aún, en las cercanías de las quebradas la especie resiste inundaciones, pero no aguas estancadas.

La influencia de las especies del género *Alnus* en los suelos ha recibido la atención de varios investigadores, pero virtualmente no existen investigaciones sobre *A. jorullensis*. De acuerdo con Tarrant (1968), la acumulación de nitrógeno por estas plantas se encuentra entre 60 y 209 kg/ha con base en experimentos en potes y en la acumulación en suelos desnudos de glaciales. La única experiencia con *A. jorullensis* es la efectuada por Rodrí-

guez-Barrueco (1966); sin embargo, las condiciones en que se efectuó el experimento en Glasgow no fueron las ideales. A pesar de esto, diferentes investigadores han encontrado tanto en Japón (Yamaya, 1968) como en los Estados Unidos (Ugolini, 1968; Franklin *et al.*, 1968), que estas especies ejercen un efecto claramente acidificante en el suelo. Además Yamaya (1968) encontró que debido a que la tasa de reciclaje de nutrientes bajo *A. mokumae* es más rápido que en coníferas, el contenido de nutrientes del suelo es generalmente menor, pero cuando se corta el bosque, el ciclo se rompe y se incorporan grandes cantidades de nitrógeno al suelo. Por otra parte Franklin *et al* (1968) encontraron en bosques de *A. rubra* en los Estados Unidos, que la materia orgánica, el nitrógeno total y la acidez fueron significativamente superiores que en coníferas, porque estos últimos poseían hasta 3 veces más bases en el horizonte A y casi iguales proporciones en el B. Finalmente, Ugolini (1968) describe la formación de un podzol en suelos de glaciales bajo vegetación de *A. rubra*; después de 150 años el pH había bajado desde cerca de 8,2 hasta cerca de 4,7; a los 250 años el pH llegó a 4,5.

No existe, que se sepa, ninguna investigación similar con *A. jorullensis* a pesar de la gran importancia que tiene esta clase de estudios pedogenéticos.

Las plantaciones existentes

Los estudios hechos sobre el área de plantaciones de cerezo existentes en el país (Ruán, 1985) indican que el área reforestada es de 585 ha. De éstas, 525 ha se encuentran en el departamento de Caldas, 50 ha en Salento, Quindío y 10 ha en Santa Rosa, Risaralda. Se sabe además de la existencia de pequeñas reforestaciones en el departamento del Huila, así como de manchas de regeneración natural en diversas localidades dentro de su distribución en Colombia.

Parece que las primeras plantaciones de cerezo se establecieron hacia 1951 en la cuenca del río Blanco, y es allí donde se encuentra el grueso de las plantaciones actuales (325 ha) y cerca del 50% de las parcelas permanentes.

En esta región del municipio de Manizales ha predominado la plantación en triángulo con espaciamiento de 3 m, esto es entre 1.100 y 1.300 árboles/ha. Cerca del 24% de las parcelas fueron plantadas entre 1.500 y 1.900 árboles ha. En Salento se plantó

con la mayor densidad puesto que las plantaciones se efectuaron generalmente a 2 m en cuadro (2.500 árboles/ha).

El hecho de que las plantaciones acusan en la actualidad densidades notablemente más bajas se debe a una mezcla de factores como entresacas, alta mortalidad, plantaciones menos densas que las nominalmente estipuladas y extracciones furtivas de madera. Infortunadamente no existe información confiable sobre el manejo de ninguna de las plantaciones. Sólo se conoce que algunas de ellas en el departamento de Caldas fueron entresacadas sin ninguna aclaración de tipo cuantitativo. En las plantaciones de Saiento parece ser que hasta el momento no se ha efectuado ningún tratamiento o intervención.

Dadas las densidades actuales, se estima que la mortalidad natural ha debido jugar un papel muy importante en la reducción de la densidad. El hecho de que la gran mayoría de las plantaciones se haya hecho a raíz desnuda, unido a las mínimas atenciones en la fase inicial, parece darle pávulo a tal especulación.

Otro factor que pudo afectar las plantaciones fue el pastoreo temprano. Según los registros de campo de las parcelas, un alto porcentaje de ellas se encuentra sometido a pastoreo extensivo predominando como pasto el kikuyo (*Penisetum clandestinum*). El resto se encuentra con rastrojo alto o bajo, pero en su mayoría con historia de pastoreos anteriores.

CALCULO DEL VOLUMEN

Con el fin de obtener una muestra para el desarrollo de ecuaciones de conicidad y volumen que representara adecuadamente la población de la especie, se apearon un total de 147 árboles, 3 árboles en cada una de 49 parcelas permanentes de crecimiento, seleccionando uno en cada una de las posiciones fitosociológicas: dominante, codominante y suprimida.

Los árboles fueron escogidos dentro de la misma parcela, y sólo excepcionalmente, cuando había impedimentos para el apeo, se tomaron de los alrededores.

El procedimiento de medición fue el siguiente:

- medición y marcación del diámetro a 1,3 m de altura.
- apeo y desrame.

- medición y marcación de la longitud cada décimo de ella.
- medición de la longitud total con cinta métrica.
- medición de diámetros a cada décimo de la longitud total (cinta diamétrica, precisión de 0,1 cm).
- medición del espesor de la corteza a cada décimo de la longitud total.

El volumen individual de cada árbol derribado se determinó para el fuste con corteza y sin corteza, utilizando la técnica de las "spline" cúbicas descrita por González (1983 a). La integración de la función "spline" cúbica es numérica y para su cálculo se empleó el programa "Interpolación cúbica segmentada", escrito por el profesor Horacio Arango de la Universidad Nacional, Seccional Medellín.

Las ecuaciones de volumen con y sin corteza se determinaron siguiendo dos metodologías independientes.

La primera de las metodologías se fundamenta en la determinación de una ecuación de conicidad estimada a partir de la serie de diámetros. Para el efecto se utilizó el modelo de conicidad propuesto por González (1983 b) el cual es de la forma (ver anexo A para la nomenclatura)

$$d_i = K \cdot d(1 - h_i/L) \quad \text{o} \quad d_i = b_0 + b_1 \cdot d(1 - h_i/L)$$

El ajuste de este modelo se muestra en la tabla 2.

Los modelos de conicidad permiten estimar el diámetro a cualquier distancia desde la base, o la longitud del fuste hasta que se alcance cualquier diámetro dado.

TABLA 2
ECUACIONES DE CONICIDAD Y SUS ESTADISTICOS

<i>Variable dependiente</i>	<i>Variable independiente</i>	<i>Estimadores parámetros</i>	<i>Ajuste R²</i>
dcc		0,01569	
	d(1 - h _i /L)	1,09998	0,949 *
dsc		0,01361	
	d(1 - h _i /L)	1,07076	0,951 *

INSTITUTO DE BIBLIOTECAS Y
 DOCUMENTACIÓN
 GÓMEZ
 UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA
 MEDIAN PEREIRA

En las ecuaciones de conicidad la integral definida entre cualesquier dos puntos h_1 y h_2 representa el volumen del fuste entre estos dos puntos.

$$v = \frac{\pi}{40.000} \left[\frac{(h(b_0^2) + 2 \cdot b_0 \cdot b_1 \cdot d + (b_1^2) \cdot (d^2))}{(h^2)} \right. \\ \left. - \frac{(b_0 \cdot b_1 \cdot d) + (b_1^2) \cdot (d^2)}{L} + \frac{(b_1^2) \cdot (d^2)}{3} \frac{(d^2)}{L^2} \right] h_2$$

Si dichos puntos son $h_1 = 0$ y $h_2 = L$ se obtendrá el volumen total del fuste y podrá calcularse como

$$v = \pi/40.000 \cdot L \left((b_0^2) + b_0 \cdot b_1 \cdot d + (b_1^2) \cdot (d^2)/3 \right)$$

Para vcc $R^2 = 0,929$

La segunda metodología consiste en estimar directamente el volumen del fuste en función de variables como el diámetro y la longitud total. Los modelos ensayados fueron de la forma

$$v = b_0 + b_1 (d^2) \cdot L \quad y \\ v = b_0 (d^{b_1}) \quad o \quad \ln v = \ln b_0 + b_1 (\ln d)$$

La estimación de los coeficientes y el análisis estadístico de los modelos se hizo siguiendo técnicas de regresión lineal.

Las ecuaciones de volumen encontradas y sus estadísticos se presentan en la tabla 3.

Tanto los modelos como las variables resultaron altamente significativos. A pesar de que el nivel de ajuste en los dos tipos de modelos es similar, en este trabajo se utilizó el modelo

$$vcc = b_0 + b_1 (d^2) \cdot L$$

para la estimación de los volúmenes totales de los árboles individuales, en razón de su más alta significancia estadística (valores de F mayores) y de su mayor explicación a la variación del volumen (valores de R^2 más altos).

DETERMINACION DEL INDICE DE SITIO

El índice de sitio cuantifica el potencial productivo de una localidad. Para muchas especies el potencial de producción en volumen está positivamente correlacionado con el crecimiento en altura de los árboles dominantes. En consecuencia se tomó como

TABLA 3

ECUACIONES DE VOLUMEN Y SUS ESTADISTICOS

Dependiente	Variables Independiente	Coefficientes	t	F	R ²	Sxy	Indice Furnival
vcc	(d ²) . L	0,02102 3,6338E-05	67,95	4617,58	0,970	0,0604	
lnvcc	ln d	-9,3704 2,7635	44,66	19994,43	0,932	0,3650	0,0480
vsc	(d ²) . L	0,01375 3,5265E-05	67,24	4520,8	0,970	0,0524	
ln vsc	ln d	-9,5486 2,8036	38,49	1481,17	0,913	0,4180	0,04090

medida del índice de sitio la altura que alcanzan los árboles dominantes a una edad determinada, denominada edad base. Para el efecto se determinó la altura de dominantes de cada parcela como el promedio de las alturas totales correspondientes a los 250 árboles más altos por hectárea.

Con el propósito de determinar una ecuación que permitiera estimar el índice de sitio para cada parcela se siguió el método de la curva guía (Clutter *et al*, 1983), con el fin de generar ecuaciones anamórficas del índice de sitio. Para ello se utilizó un modelo originalmente sugerido por Schumacher (1939), el cual permitió construir curvas altura-edad de la forma

$$hd = e^{(b_0 + b_1/t)} \quad \text{c} \quad \ln hd = b_0 + b_1/t$$

De acuerdo con la definición asumida para el índice de sitio, éste es igual a la altura de dominantes cuando la edad es la edad base, o sea

$$\ln S = \ln hd - b_1 \cdot (1/t - 1/t_b)$$

Se escogió una edad indicadora de 15 años con el fin de comparar las curvas con las existentes en el país para *Cupressus lusitanica* (Tshinkel, 1972), *Pinus kesiya* y *P. oocarpa* (Cartón de Colombia S. A., 1986).

La función que expresa la relación entre las alturas dominantes y la edad fue

$$\ln hd = 3,32684 - 4,46305/t \quad (1)$$

De donde la ecuación de la familia de curvas anamórficas de índices de sitio será

$$\ln S = \ln hd - 4,46305 (1/15 - 1/t) \quad (2)$$

Con base en esta ecuación se determinó el índice de sitio de cada una de las parcelas del estudio. En la figura 1 se presentan todas las parcelas y 7 familias de índice de sitio espaciadas cada 3 m; las curvas de sitio oscilaron desde 12 m/15 años para los sitios más pobres hasta 30 m/15 años para los más productivos. Estas curvas revelan un crecimiento en altura superior al de *P. oocarpa* y *P. kesiya*, cuyos índices de sitio en promedio en Colombia fueron de 18,5 y 19,0 m/15 años respectivamente. Sin embargo no supera al crecimiento en altura del *Eucalyptus saligna* en Antioquia, el cual a los 10 años ya iguala el índice del cerezo a los 15 años (Vélez, 1982).

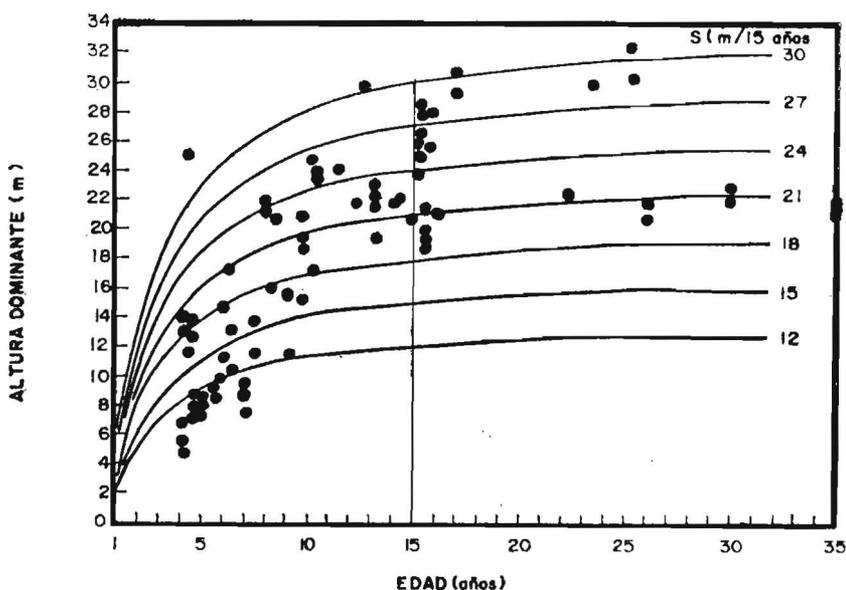


Figura 1. Curva de índice de sitio del cerezo (*A. jorullensis*)

CALCULO DEL RENDIMIENTO Y CRECIMIENTO

La obtención de la base de datos de campo para el desarrollo de ecuaciones de rendimiento y crecimiento se logró con el establecimiento de 77 parcelas permanentes de crecimiento (PPC), siguiendo la metodología de John y Tschinkel (1975). En el anexo B se presenta la distribución de las parcelas por edad, sitio y localidad.

Durante el trabajo de campo se cuidó que la muestra de parcelas estuviese equitativamente distribuida en edad, calidad de sitio, localización geográfica y localización altitudinal (entre 1480 y 3320 msnm); se efectuó una selección del lugar con densidad normal del bosque para el establecimiento de la parcela, evitando en lo posible la presencia de claros; las parcelas se trazaron de forma rectangular de 20×30 m (600 m^2), medidas con cinta métrica (o similar) y brújula de pie. En el anexo 8 se encuentra la distribución de las parcelas por edad, índice de sitio y región.

En cada parcela se midió lo siguiente:

- Diámetro normal de todos los árboles vivos (con forcípula, precisión de 0,1 cm)
- Altura de los árboles dominantes (con blume leiss)
- Altura de una muestra de árboles representativa de las demás posiciones fitosociológicas.

El diámetro promedio de la parcela se determinó como el diámetro correspondiente al árbol de área basal promedio (promedio cuadrático). El área basal de la parcela se determinó como la sumatoria de las áreas basales de cada uno de los árboles; para el área basal cada árbol se asumió circular. El volumen de la parcela se determinó como la sumatoria de los volúmenes de los árboles individuales. La altura de cada uno de los árboles se estimó con la siguiente ecuación:

$$\ln L = 3,5841 - 10,3776/d$$

calculada con base en los datos de diámetro y longitud de los 147 árboles apeados, con los estadísticos $R^2 = 0,720$, $F = 370,57$ y $S_{xy} = 0,2684$.

En la práctica se considera $L = h$.

Para describir el comportamiento de variables tales como diámetro promedio, altura dominante, altura promedio, área basal y volumen a través del tiempo, se emplearon modelos que expresan éstas como variables dependientes en función de las variables independientes edad, índice de sitio y de densidad del rodal. Estos modelos resultan de transformaciones del modelo originalmente propuesto por Schumacher (1939).

El crecimiento y la tasa de crecimiento instantáneo (incremento corriente anual) se encuentran relacionados matemáticamente de la siguiente manera:

$$\begin{aligned} \text{ica} &= dy/dt = f_1(t, S, \text{densidad}) \\ y &= f_2(t, S, \text{densidad}) = \int dy/dt \end{aligned}$$

De tal suerte que si se dispone de una ecuación de crecimiento, matemáticamente se puede determinar la del incremento y viceversa.

Estas relaciones son la base del cálculo de las curvas de incremento corriente y medio anual en este estudio, así como de las proyecciones del manejo.

Crecimiento y tasa de crecimiento de la altura

De la ecuación (2) se puede calcular el crecimiento en altura de los árboles dominantes en función de la edad para diferentes sitios; por lo tanto, la tasa de crecimiento en altura se expresa como:

$$d(\text{hd})/dt = (-4,46305 t^{-2}) [e^{(\ln S - 4,46305(1/15 - 1/t))}] \quad (3)$$

Si se desea conocer bien sea el crecimiento o la tasa de crecimiento promedio en altura media, se debe tener en cuenta la relación de esta variable con la altura de dominantes expresada por la ecuación

$$hg = -0,829879 + 0,945922 \cdot \text{hd} \quad (4)$$

$$R^2 = 0,981 \quad \text{y} \quad S_{xy} = 0,9626$$

y reemplazar en la ecuación (2):

Crecimiento y tasa de crecimiento del diámetro

Habida cuenta de que el diámetro es afectado no sólo por la edad y el sitio sino por la densidad, se analizaron varios modelos de crecimiento donde se incluyeron índices o expresiones de la densidad del rodal. Los que finalmente produjeron los mejores resultados fueron los siguientes:

$$\ln dg = 3,780106 - 5,101818/t - 8,887911/S \quad (5)$$

$$R^2 = 0,824 \quad \text{y} \quad S_{xy} = 0,2019$$

$$\ln dg = 1,933681 - 3,624136/t + 0,021828(S) + 0,212426(ER) \quad (6)$$

$$R^2 = 0,958 \quad \text{y} \quad S_{xy} = 0,0990$$

$$\ln dg = 5,458779 - 3,66711/t + 0,020870(S) + 0,411597(\ln N) \quad (7)$$

$$R^2 = 0,953 \quad \text{y} \quad S_{xy} = 0,1052$$

Todas las funciones dan buenas predicciones del diámetro, pero en especial las dos últimas, como cabría esperarlo. Los valores de t de Student para las variables independientes ER y $\ln N$ son casi tan altos como los de la edad y superiores a los del índice de sitio.

La tasa instantánea de crecimiento diamétrico derivada de la función (5) es:

$$d(dg)/dt = 5,101818 \cdot dg/t^2 \quad (8)$$

Crecimiento y tasa de crecimiento del área basal

La función que mejor expresó el crecimiento del área basal fue:

$$\ln G = 3,455344 - 12,627642/t + 0,296313(S/t) \quad (9)$$
$$R^2 = 0,912 \quad \text{y} \quad S_{xy} = 0,1874$$

cuya tasa de crecimiento instantáneo es

$$dG/dt = G (12,627642 - 0,296313(S)) / (t^2) \quad (10)$$

Estas expresiones se representan en las figuras 2 y 3.

Rendimiento y tasa de crecimiento del volumen

Las siguientes funciones se seleccionaron para expresar el rendimiento volumétrico del cerezo en función de la edad, el sitio y la densidad:

$$\ln V_{cc} = 5,992802 - 8,427309/t \quad (11)$$
$$R^2 = 0,792 \quad \text{y} \quad S_{xy} = 0,3047$$

$$\ln V_{cc} = 4,922292 - 7,212180/t + 0,043752(S) \quad (12)$$
$$R^2 = 0,906 \quad \text{y} \quad S_{xy} = 0,2059$$

$$\ln V_{cc} = 2,392708 - 1,451706/t + 0,005370(S) \\ + 0,990445 (\ln G) \quad (13)$$
$$R^2 = 0,989 \quad \text{y} \quad S_{xy} = 0,0662$$

$$\ln V_{cc} = 4,883250 - 7,352416/t + 0,04414(S) \\ + 0,000055(N) \quad (14)$$
$$R^2 = 0,907 \quad \text{y} \quad S_{xy} = 0,2067$$

La ecuación (11) se emplea para hacer estimaciones muy globales cuando sólo se dispone de la edad de una plantación. La ecuación (12) se emplea para hacer estimaciones generales de la producción, o cuando no se tienen mediciones sobre la densidad u ocupación de una plantación, pero sí estimaciones o mediciones sobre la calidad del sitio. Las ecuaciones (13) y (14) se deben emplear cuando se dispone de información relativa al área basal o al número de árboles por hectárea. La ecuación (13) es, con mucho, la más confiable.

De la ecuación (12) representada en la figura 4 se deriva la tasa instantánea de crecimiento

$$d(V_{cc})/dt = 7,212180 \cdot V_{cc} / (t^2) \quad (15)$$

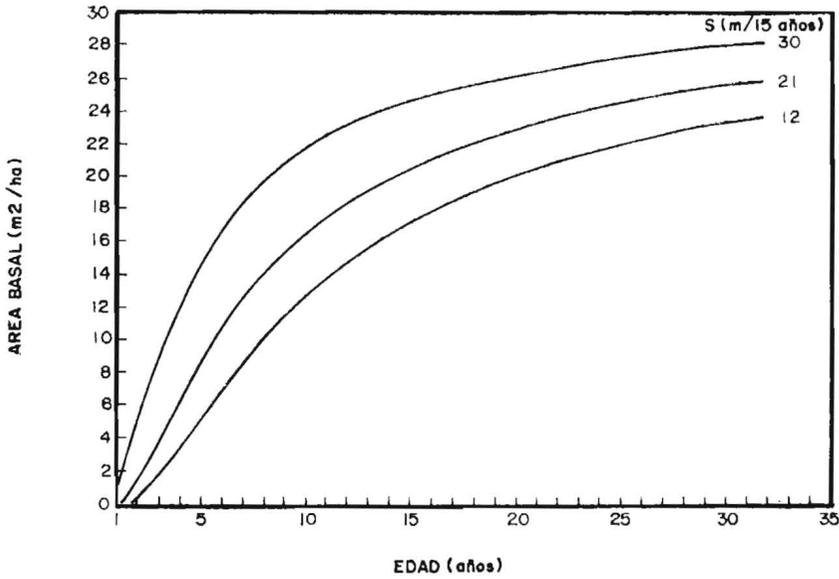


Figura 2. Crecimiento del área basal del cerezo (*A. jorullensis*)

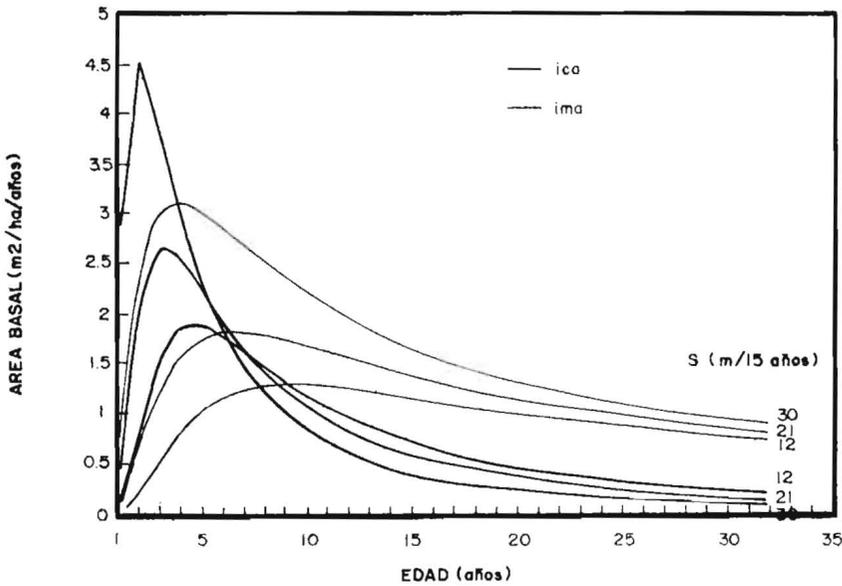


Figura 3. Tasa de crecimiento instantáneo y medio anual en área basal del cerezo (*A. jorullensis*).

UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA
 DEPTO. DE BIBLIOTECAS-
 BIBLIOTECA "EFE" GOMEZ-
 SEDE MEDILLIN

La ecuación que expresa el crecimiento medio del volumen en dependencia de la edad y el sitio se expresa como

$$\bar{V} = V_{cc}/t = e^{(4,922292 - 7,21218/t + 0,043752 (S))/t} \quad (16)$$

Estas dos últimas ecuaciones se han graficado en la figura 5 para los índices de sitio bajo, medio y alto.

Desarrollo de la densidad

Para estimar la densidad en número de árboles por hectárea en función del diámetro se calculó la ecuación

$$\begin{aligned} \ln N &= 8,966281 - 0,844626 (\ln dg) \\ R^2 &= 0,650 \quad \text{y} \quad S_{xy} = 0,2962 \end{aligned} \quad (17)$$

El ajuste para esta ecuación no fue muy satisfactorio; aunque altamente significativo desde el punto de vista estadístico, tiene ciertos problemas de residuales. Este modelo, propuesto originalmente por Reineke (1933), cuando emplea sólo parcelas "totalmente ocupadas", produce para todas las especies una pendiente cercana a $-1,5$ y es la base del índice de densidad del rodal propuesto por aquel autor (Clutter *et al*, 1983).

El hecho de que muchas de las parcelas muestreadas no ocuparan totalmente el sitio, como se aprecia en las bajas densidades, explica el bajo valor de la pendiente (ver figura 6). El modelo indica densidades excesivamente altas para diámetros menores de 4 a 5 cm, que corresponden a extrapolaciones, y por lo tanto no tienen validez.

Discusión

Con los modelos empleados la edad de culminación del incremento corriente (tasa instantánea de crecimiento) es sumamente temprana, especialmente para la altura; es así como para un sitio promedio este punto se presenta cerca a sólo un año de edad.

Para el diámetro, el volumen y el área basal la máxima tasa de crecimiento corriente se presenta a los 2,6, 3,6 y 4,3 años respectivamente. Asimismo, los modelos imponen que la culminación del crecimiento medio anual se presente al doble de la edad de culminación del incremento corriente, punto en el cual ambas expresiones del crecimiento son iguales. Por lo tanto, las edades de culminación

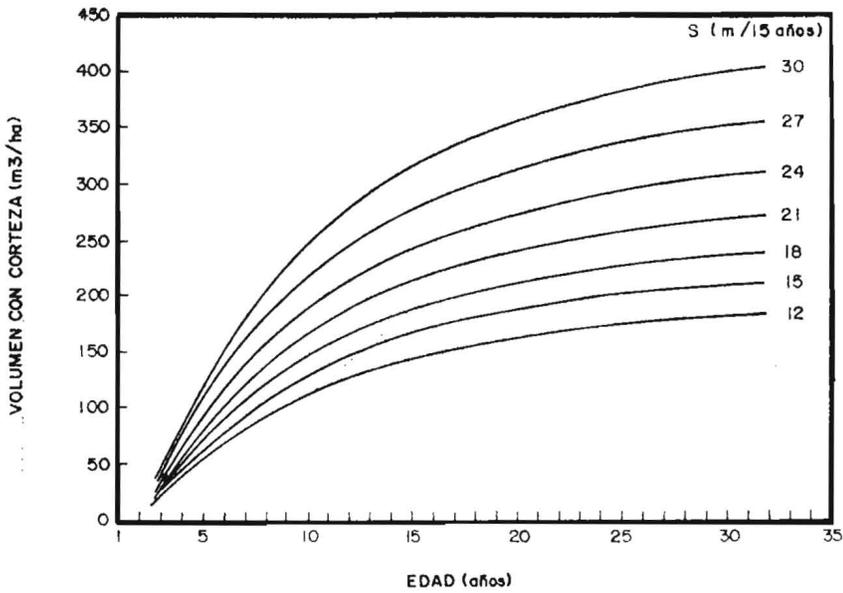


Figura 4. Rendimiento en volumen con corteza del cerezo (*A. jorullensis*)

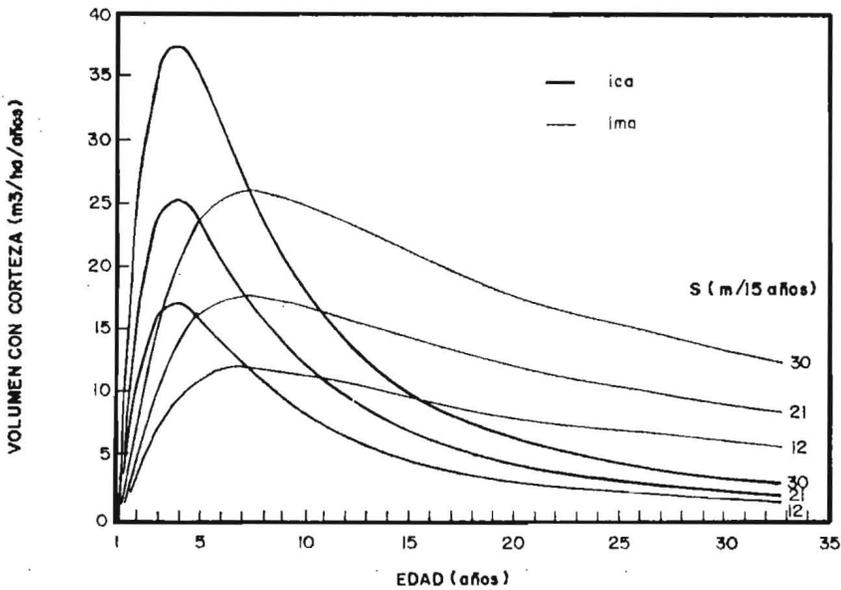


Figura 5. Tasa de crecimiento instantáneo y medio anual en volumen con corteza del cerezo (*A. jorullensis*).

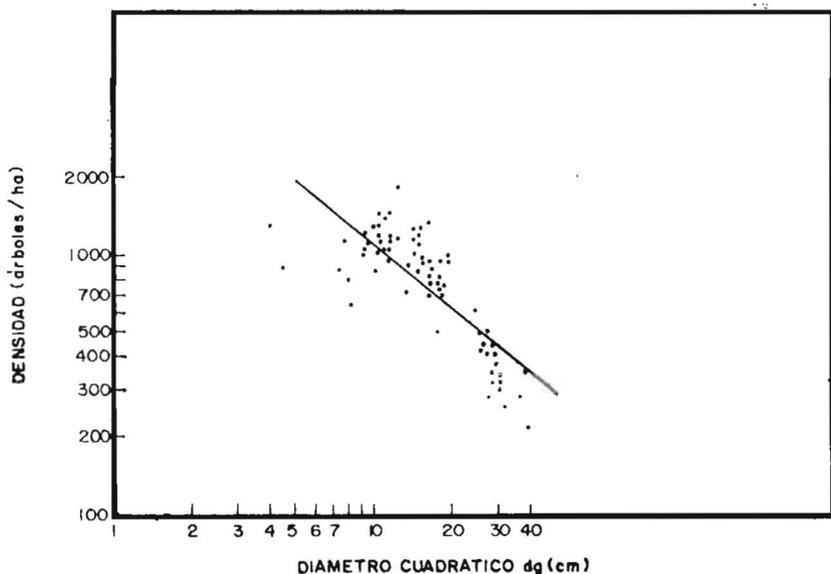


Figura 6. Relación entre el número de árboles y el diámetro promedio d_g en cerezo (*A. jorullensis*).

y las relaciones entre ellas están determinadas tanto por factores biológicos inherentes a la especie como por características intrínsecas del modelo matemático empleado. El máximo crecimiento medio en volumen para un sitio medio ($S = 21$ m/15 años) ocurre a los 7,2 años con una tasa de $17,6$ m³/ha/año de volumen con corteza (figura 5).

En verdad, sólo un análisis cuidadoso de parcelas permanentes medidas frecuentemente desde la plantación y durante una parte sustancial de su turno, permitiría determinar de una manera objetiva los puntos críticos de las curvas de crecimiento del cerezo; pero faltando esta información, hay que atenerse por el momento a los modelos que, necesariamente, son una simplificación de la realidad del fenómeno biológico que se pretende explicar. Con todo, no es improbable que efectivamente esto esté ocurriendo. Las estrategias ecológicas de las pioneras les permiten desarrollar crecimientos tan rápidos en su juventud, especialmente en altura, que las curvas son básicamente cóncavas hacia abajo (ecuaciones de tipo Mitscherlich). A medida que las especies son más tolerantes, su crecimiento obedece cada vez más a las ecuaciones

ciones tipo logístico y, por lo tanto, con puntos de inflexión a edades más avanzadas. En concordancia con esto, las curvas de las tasas de crecimiento en altura son básicamente en forma de J invertida. En relación con esta discusión vale la pena mencionar que tanto *A. glutinosa* en Europa (Klepac, 1976) como *A. rubra* en Estados Unidos (Newton *et al*, 1968) también exhiben una culminación de la tasa de crecimiento supremamente temprana.

Empleando modelos esencialmente iguales se han encontrado en Colombia edades de culminación de las tasas de crecimiento también muy bajas en ciprés (*Cupressus lusitanica*) y en eucalipto (*E. saligna*) (del Valle, 1975; Vélez, 1982), aunque no tanto como en esta especie; por el contrario en *P. oocarpa* y en *P. kesiya* estas curvas se hacen máximas aproximadamente a los 7 años al menos para el volumen sin corteza (Cartón de Colombia, 1986).

No se ha encontrado en la literatura estudios similares que permitan comparar los resultados del crecimiento del cerezo con otros de una manera dinámica en regiones tropicales sino estudios puntuales donde se reportan crecimientos y rendimientos de parcelas a edades fijas. De acuerdo con informaciones provenientes de Costa Rica (Alvarez Valle, 1956), las plantaciones de cerezo rinden entre 10 y 15 m³/ha/año para turnos de 18 a 20 años. Estas cifras coinciden con los rendimientos medios para el sitio promedio (S = 21 m/15 años) del presente estudio, el cual a los 19 años presenta un crecimiento medio de 12,6 m³/ha/año. Asimismo Murillo y Camacho (1986) encontraron en parcelas de Costa Rica con edades entre 2,7 y 3,5 años crecimientos medios que aumentaban en función del número de árboles por hectárea, pero en esencia similares a los de un sitio de clase media de este estudio (S = 21-24 m/15 años).

Cuando se emplean sistemas silvopastoriles las densidades son mucho menores y, por lo tanto, los rendimientos, pero de otro lado el diámetro crece virtualmente al máximo posible para la especie y el sitio. Al respecto Budowski (1983) cita tasa de crecimiento diamétrico de cerca de 2,3 cm/año a los 15 años y de 2,8 cm/año a los 6 años. El remanente de árboles a estas edades fue de 78 y entre 130 y 159 por hectárea, respectivamente. En este mismo país Canet (1985) encontró en uno de estos sistemas 35 árboles/ha a los 30 años, los cuales rindieron 70 m³/ha.

Varios autores, entre ellos Canet (1985), Budowski (1983), Alvarez Valle (1956), Smit (1971) y Vanegas (1971) describen el sistema silvopastoril en el cual se asocia el pasto kikuyo (*Pe-*

nisetum clandestinum) con el cerezo. Este último autor encontró que los terneros que pastaban bajo el bosque adeseado aumentaron de peso 33% más rápido que los que pastaban en áreas sin el componente forestal.

A pesar del rápido crecimiento inicial del cerezo, para sitios y edades comparables, los rendimientos en volumen resultan inferiores a los de *P. oocarpa* y *P. kesiya* en el departamento del Valle, así como a los de *E. saligna* en Antioquia (Vélez, 1982). Esto en parte se debe atribuir a las más bajas densidades de las plantaciones de cerezo.

PROYECCIONES

La derivada de la función del crecimiento del área basal, o sea su tasa de crecimiento, puede también expresarse como

$$dG/dt = G(3,455344 - \ln G)/t \quad (18)$$

Reagrupando e integrando se tiene

$$\ln G_2 = 3,455344 (1 - t_1/t_2) + (t_1/t_2) \ln G_1 \quad (19)$$

Asimismo, una expresión de la derivada de la ecuación (13) resulta en la función

$$dV_{cc}/dt = V_{cc} (1,451706/t^2 + 0,990445/t \cdot (3,45344 - \ln G)) \quad (20)$$

La proyección del volumen se puede lograr bien integrando la función (20) o reemplazando la función (13) en la (19), pero con subíndices que indiquen el volumen y el área basal en t_2 , esto es

$$\begin{aligned} \ln V_{cc_2} = & 2,392708 - 1,451706/t_2 + 0,005370(S) \\ & + 0,990445 (t_1/t_2) \cdot \ln G_1 \\ & + 3,422328 (1 - t_1/t_2) \end{aligned} \quad (21)$$

La figura 7 representa gráficamente la tasa de crecimiento en función de diferentes edades y áreas basales para un índice de sitio promedio, obtenida por medio de la función (20). De acuerdo con esta figura y con los modelos empleados pareciera ser que en *A. jorullensis* las máximas tasas de crecimiento volumétrico ocurren en áreas basales bajas; esto es, que las altas áreas basales parecen tener efectos detrimentales en cuanto a las tasas de crecimiento del volumen. Aunque estos resultados deben confirmarse

con experimentos de campo, estas tendencias permiten hasta ahora recomendar un manejo basado en bajas densidades tanto en el número de árboles como en las áreas basales.

A modo de ilustración en la figura 8 se muestra la evolución de una plantación de cerezo en un sitio promedio cuyas condiciones iniciales son: $t = 10$ años, $G = 20 \text{ m}^2/\text{ha}$, $V = 206 \text{ m}^3/\text{ha}$. Se desea conocer qué volumen y qué área basal tendrá a los 25 años si no se hiciese ninguna entresaca y cuál sería la producción en el caso de que se hiciese una entresaca fuerte, buscando además de ingresos intermedios mantener alta la tasa de crecimiento.

Utilizando las funciones citadas se concluye que si no se hiciesen entresacas, a los 15 años el área basal sería de $23,3 \text{ m}^2/\text{ha}$ y a los 25 años de $26,3 \text{ m}^2/\text{ha}$. Asimismo, el volumen en estas edades sería de $251,5$ y $294,6 \text{ m}^3/\text{ha}$ respectivamente. Ahora bien, si a la edad de 15 años se simula una entresaca que baje el área basal a $12 \text{ m}^2/\text{ha}$, se producirán $121,2 \text{ m}^3/\text{ha}$ y a los 25 años el bosque tendrá $17,7 \text{ m}^2/\text{ha}$ y un volumen en pie de $199,0 \text{ m}^3/\text{ha}$. Esto es, la producción total incluyendo la entresaca sería de $320,2 \text{ m}^3/\text{ha}$.

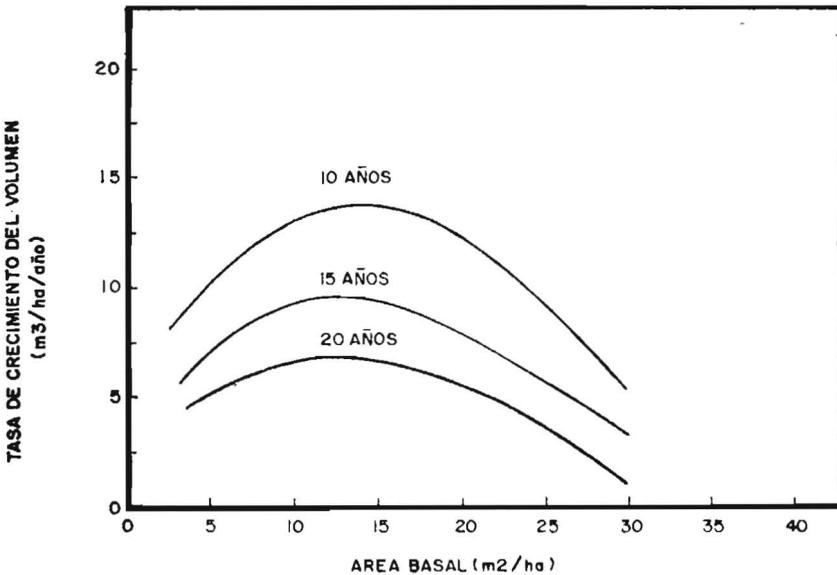


Figura 7. Tasa de crecimiento del volumen en función del área basal y de la edad para un sitio promedio ($S = 21 \text{ m}/15 \text{ años}$) en cerezo (*A. jorullensis*).

Es importante destacar que las proyecciones aquí presentadas, basadas en regresiones obtenidas de una primera medición de las parcelas y, luego, mediante procesos de derivación e integración entre una edad actual y otra futura, no tienen en cuenta la mortalidad y por lo tanto, deben producir sobreestimación tanto del área basal como del volumen. Esto sólo podrá mejorarse con el tiempo, una vez se analicen los resultados de las subsecuentes mediciones de las parcelas, tema en el cual los autores se encuentran trabajando.

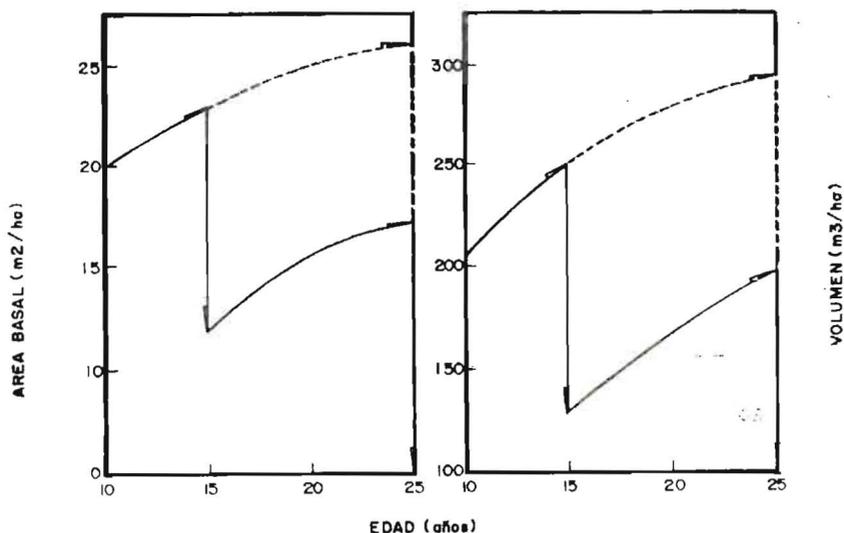


Figura 8. Proyecciones del área basal y del volumen con simulación de una entresaca en cerezo (*A. forullensis*).

AGRADECIMIENTOS

CONIF y el Departamento de Ciencias Forestales de la Universidad Nacional, expresan su agradecimiento a las instituciones y personas que en su momento hicieron posible la realización del presente estudio, y en especial a:

COLCIENCIAS, por la financiación para el inicio del estudio.

Compañía Fosforera Colombiana S. A., por su contribución en las actividades operativas durante la elaboración del informe final.

Al ingeniero forestal Guillermo Restrepo U. y a los tecnólogos forestales Jorge Carmona y Henry Valencia, por su participación en la organización y elaboración del trabajo de campo.

A los ingenieros forestales Alberto Uribe, Carlos Mario Duque y Fernando Vélez E., por su colaboración en el procesamiento y edición del trabajo.

Al ingeniero Gustavo Castrillón, director del Centro de Cómputos, Universidad Nacional, Seccional Medellín.

BIBLIOGRAFIA

- Acosta, I. 1967. Descripción anatómica, propiedades físicas y algunos usos de 25 maderas de Costa Rica. Tesis Mag. Sci. Turrialba, Costa Rica, IICA. 192 p.
- Alvarez-Valle, M. 1956. Estudio forestal de jaúl (*Alnus jorullensis* H.B.K.) en Costa Rica. Tesis Mag. Sci. Agr. Turrialba, Costa Rica, IICA. 87 p.
- Budowski, G. 1983. An attempt to quantify some current agroforestry practice in Costa Rica. En: Huxley, R. A., ed. Plant research and agroforestry. pp. 44-62. Nairobi, Kenya, ICRAF.
- Canet, G. 1985. Características del sistema silvopastoril jaúl (*Alnus acuminata*) con lechería de altura en Costa Rica. En: Simposio sobre técnicas de producción de leña en fincas pequeñas y recuperación de sitios degradados por medio de silvicultura intensiva. Turrialba, 1985. Actas. pp. 241-250. e.s.
- Cartón de Colombia S. A., 1986. Indices de sitio y funciones de producción de *Pinus oocarpa* y *Pinus kesiya* en los departamentos del Valle y Cauca, Colombia. Medellín. 106 p.
- Clutter, J. L. et al. 1983. Timber management; a quantitative approach. John Wiley. 309 p.
- Del Valle, J. I. 1975. Rendimiento y crecimiento de *Cupressus lusitanica* en Antioquia, Colombia. Tesis Mag. Sci. Turrialba, Universidad de Costa Rica. 112 p.
- Franklin, J. F. et al. 1968. Chemical soil properties under coastal Oregon stands of Alder and conifers. En: Biology of Alder. Symposium held at Northwest Scientific Association, Pulman, Washington, 1967. Proceedings. pp. 157-172. USDA. Forest and Range Experimental Station.
- González C. A. 1983 (a). Descripción del perfil de los árboles utilizando la aproximación spline cúbica. Medellín, Universidad Nacional de Colombia, 57 p.
- González, H. 1983 (b). Cuantificación y calificación de la conicidad del ciprés (*Cupressus lusitanica* M). Medellín, Universidad Nacional de Colombia. 101 p.
- González, R. 1970. Relación entre el peso específico y algunas propiedades mecánicas del *Alnus jorullensis* H.B.K. Tesis Mag. Sci., Turrialba, Costa Rica, IICA. 107 p.
- Holdridge, L. H. 1982. Ecología basada en zonas de vida. San José, Costa Rica, IICA. 216 p.
- John, H. y Tschinkel, H. 1971. Parcelas forestales permanentes; su establecimiento, medición y análisis. Medellín, Universidad Nacional de Colombia. 190 p.
- Klepac, D. 1976. Crecimiento e incremento de árboles y masa forestales. Universidad de Chapingo, México, 365 p.

- Lastra, J. A. 1971. Características anatómicas y tecnológicas de la madera del *Alnus jorullensis* H.B.K. En: Foro de Corporaciones Forestales. Tercero. Manizales, 1971. Informes. pp. 22-26. Manizales, s.e.
- Livingstone, D. A. 1978. Paleogeography and climatology. En: UNESCO, UNEP y FAO, Tropical forest ecosystems; a state of knowledge report. pp. 61-90. S. L.
- Muñoz, V. M. 1971. Apuntes sobre generalidades y manejo de plantaciones de *Alnus jorullensis* H.B.K. En: Foro de Corporaciones Forestales. Tercero. Manizales, 1971. Informes. pp. 22-26. Manizales, s.e.
- Murillo, O., Camacho, P. y Rojas, F. 1985. Análisis de plantaciones jóvenes de jaúl (*Alnus jorullensis*) como una opción para el suministro de leña. En: Simposios sobre técnicas de producción de leña en fincas pequeñas y recuperación de sitios degradados por medio de la silvicultura intensiva. Turrialba, 1985. Actas. pp. 301-314. Turrialba, s.e.
- National Academy of Sciences. 1980. Firewood crops; shrub and tree species for energy production. Washington D. C. 237 p.
- Neal, J. L. *et al.* 1968. Nodule endophytes in the genus *Alnus*. En: Biology of Alder. Symposium held at Northwest Scientific Association, Pulman, Washington. 1967. Proceedings. pp. 185-192. USDA. Forest and Range Experimental Station.
- Newton, M. 1968. Role of Red Alder in western Oregon forest succession. En: Biology of Alder. Symposium held at Northwest Scientific Association, Pulman, Washington. 1967. Proceedings. pp. 73-84. USDA. Forest and Range Experimental Station.
- Pretell, J. J. *et al.* 1985. Apuntes sobre algunas especies forestales nativas de la sierra peruana. Lima, Ministerio de Agricultura. 120 p.
- Rodríguez-Barruecos, C. 1966. Fixation of nitrogen in roots nodules of *Alnus jorullensis* H.B.K. *Phyton* (Buenos Aires), 23:103-110.
- Rojas, R., Macía, F. y Lastra, J. A. 1978. Monografía del *Alnus jorullensis*. Colombia Forestal (Bogotá), 1(1):5-22.
- Ruan, R., F. 1985. Cuantificación y calificación de poblaciones de aliso (*Alnus jorullensis* H.B.K.) comercialmente aprovechables en los departamentos de Caldas, Risaralda y Quindío. Compañía Fosforera Colombiana. Bogotá. 39 p. (sin publicar).
- Schumacher, F. X. 1939. A new growth curve and its application to timber yields studies. *Journal of Forestry* (Washington), 37:819-820.
- Smit, G. S. 1971. Notas silviculturales sobre el *Alnus jorullensis* de Caldas, Colombia. Turrialba (Costa Rica), 21(1): 22-26.
- Tarrant, R. F. 1968. Some effects of Alder on the forest environmental. En: Biology of Alder. Symposium held at Northwest Scientific Association, Pulman, Washington. 1967. Proceedings. pp. 193-194. USDA. Forest and Range Experimental Station.
- Tschinkel, H. 1972. La clasificación de sitios y el crecimiento del *Cupressus lusitanica* en Antioquia, Colombia. *Revista Facultad Nacional de Agronomía* (Medellín), 27(1):3-30.

- Ugolini, F. C. 1968. Soil development and Alder invasion in a recently deglaciated area of Glacier Bay, Alaska. En: Biology of Alder. Symposium held at Northwest Scientific Association, Pulman, Washington. 1967. Proceedings. pp. 115-140. USDA. Forest and Range Experimental Station.
- Vélez J. G. 1982. Índice de sitio, su estimación edáfica y rendimiento de *Eucalyptus saligna* Sm en Antioquia. Tesis de Ing. For. Medellín, Universidad Nacional de Colombia. 140 p.
- Venegas, L. 1971. Resumen sobre algunos aspectos silviculturales de *Alnus jorullensis* H.B.K. En: Foro de corporaciones forestales. Tercero. Manizales, 1971. Informes. pp. 22-26. Manizales, s.e.
- Williamson, R. L. 1968. Productivity of Red Alder in western Oregon and Washington. En: Biology of Alder. Symposium held at Northwest Scientific Association, Pulman, Washington, 1967. Proceedings. pp. 287-292. USDA. Forest and Range Experimental Station.
- Yamaya, K. 1968. On the influence of Alder (*Alnus inokumae*) on soil properties in Northern Japan. En: Biology of Alder. Symposium held at Northwest Scientific Association, Pulman, Washington. 1967. Proceeding. pp. 197-228. USDA. Forest and Range Experimental Station.

Anexo A
GLOSARIO DE SIMBOLOS

- d** = diámetro de un árbol a 1,3 m de altura (cm)
- dcc** = diámetro con corteza a 1,3 m de altura (cm)
- dg** = diámetro del árbol de área basal promedia, o promedio cuadrático (cm)
- di** = diámetro en el punto de estimación *i* (cm)
- dsc** = diámetro sin corteza
- ER** = espaciamiento relativo de la plantación, medido como la relación entre altura dominante y la distancia promedia entre árboles, calculada con la fórmula $hd/(100 N/1,072)$
- G** = área basal (m^2/ha)
- Gi** = área basal a la edad *ti*
- h** = altura total del árbol desde el nivel del suelo hasta el ápice terminal (m)
- hi** = altura del árbol desde el nivel del suelo hasta el punto de estimación *i* (m)
- hd** = altura promedia de los árboles dominantes —250 árboles más altos por hectárea (m)
- hg** = altura correspondiente al árbol de área basal promedio (m)
- L** = longitud total del fuste (m)
- ica** = tasa instantánea de crecimiento en volumen o incremento corriente anual ($m^3/ha/año$)
- ima** = incremento medio anual ($m^3/ha/año$)
- N** = densidad del rodal (árboles/ha)
- ns** = no significativo al nivel de 95% de confianza
- S** = índice de sitio. Altura promedia de los árboles dominantes a los 15 años de edad (m/15 años)
- Sxy** = error estándar

- t = edad de la plantación (años); valor de t de Student
 t_b = edad base (años)
 t_i = edad i (años)
 v = volumen del fuste (m^3)
 v_{sc} = volumen del fuste sin corteza (m^3)
 v_{cc} = volumen del fuste con corteza (m^3)
 V_{cc} = volumen con corteza por hectárea (m^3/ha)
 V_{cci} = volumen con corteza a la edad t_i (m^3/ha)
 $*$ = significativo al nivel de 95% de confianza
 $**$ = significativo al nivel de 99% de confianza
 \bar{V} = tasa media del crecimiento en volumen (i.m.a. = V/t)
 en $m^3/ha/año$
 e = base de los logaritmos naturales

Anexo B

DISTRIBUCION DE LAS PARCELAS PERMANENTES DE
CRECIMIENTO

DISTRIBUCION POR EDAD E INDICE DE SITIO

<i>Edad</i> (años)	<i>Rango de S (valor medio)</i>							<i>Total</i>
	12	15	18	21	24	27	30	
0,0-5,0	3	5			1	3	1	13
5,1-10,0	4	5	5	3	2	3	1	23
10,1-15,0	1		1	6	2	5	1	16
15,1-20,0			3	2	2	5	3	15
20,1-25,0						3		3
25,1-30,0			3	1				4
30,1-35,0			3					3
Total	8	10	15	12	7	19	6	77

DISTRIBUCION POR DEPARTAMENTO Y MUNICIPIO

Departamento	Municipio	Cuenca hidrográfica o localidad	Número de parcelas
Caldas	Manizales	Río Blanco	37
Caldas	Manizales	Río Chinchiná	8
Caldas	Manizales	Fábrica de Licores	3
Caldas	Manizales	Única	1
Caldas	Neira	Cementos Caldas	4
Quindío	Salento	Río Quindío	23
Risaralda	Santa Rosa	La Pastora	1

77