

# LA CLASIFICACION DE SITIOS Y EL CRECIMIENTO DEL *Cupressus lusitanica* EN ANTIOQUIA, COLOMBIA\*

Por: Heinrich Tschinkel\*\*

## R E S U M E N

En plantaciones jóvenes de *Cupressus lusitanica*, en la Cordillera Central del Departamento de Antioquia, Colombia, se midieron 57 parcelas de las cuales se derivaron curvas de índice de sitio. Por medio de análisis de regresión se desarrolló una tabla de rendimiento expresando el volumen, área basal, y diámetro a la altura del pecho en función de la edad y del índice de sitio. Fueron notables, la amplia variación de la productividad entre sitios y la excesiva densidad de las plantaciones. Dentro de distancias de pocos metros el índice de sitio (con edad base de 15 años) puede variar entre 7 y 21 m. y el volumen en pie a los 15 años puede fluctuar entre 30 y 300m<sup>3</sup>/ha. Para el Oriente Antioqueño se desarrolló un método sencillo para pronosticar el índice de sitio antes de plantar, con base en la pendiente y en una clasificación visual de la convexidad o concavidad topográfica. Esta especie parece excepcionalmente sensible al sitio y su crecimiento es lento sobre formas topográficas convexas.

## AGRADECIMIENTOS

Este trabajo no hubiera sido posible sin la colaboración efectiva de varias entidades forestales y muchas personas.

En especial el autor agradece a la Secretaría de Agricultura de Antioquia, por permitir que el Ing. For. Alberto Villegas, el señor Hernán Rodríguez, el Ing. For. Darío Sanín V., y varios Prácticos Forestales ayudaran en estas labores.

También se expresa el más cordial agradecimiento a Cipreses de Colombia, S. A. que hizo posible la colaboración entusiasta de los Ings. Fors. Gabriel Vélez, Carlos Castrillón y también de otras personas.

A los doctores E. K. Haller y Hugo John del Proyecto UNDP/FAO COL 16, se les agradece sus sugerencias y orientaciones en cuanto a la metodología, el análisis de los datos y la programación del computador y al Ing. For. Jaime Raigosa, por su dedicación al revisar el manuscrito.

Finalmente se dan las gracias a los numerosos reforestadores y finqueros, quienes generosamente ofrecieron su tiempo y pusieron sus fincas a nuestras órdenes.

---

\* El estudio se llevó a cabo dentro del marco del Proyecto UNDP/FAO, Centro de Educación e Investigación Forestal.

\*\* Oficial Forestal. Departamento de Recursos Forestales y Proyecto UNDP/SF - FAO COL 16.

## 1 — INTRODUCCION

La planeación efectiva de plantaciones forestales, en escala comercial, requiere información sobre el rendimiento de la especie en cuestión en diferentes condiciones de sitio.

La reforestación con *Cupressus lusitanica* (Mill.) en la Cordillera Central del Departamento de Antioquia, Colombia, ha llegado a una etapa en su desarrollo donde es posible llegar a conclusiones prácticas, en cuanto al crecimiento de esta especie, que ya cubre varios miles de hectáreas en la región.

Por lo tanto, los objetivos específicos del presente trabajo fueron:

- 1º—Averiguar la tasa de crecimiento de *Cupressus* en Antioquia, y
- 2º—Correlacionar la calidad de sitio con características topográficas y del suelo, utilizando, de preferencia, criterios simples para su aplicación en el campo, de manera que se pueda llegar a una clasificación adecuada de sitios más aptos para la plantación de *Cupressus*.

## 2 — CURVAS DE INDICE DE SITIO

Cualquier expresión del rendimiento de plantaciones debe tomar en cuenta la variación de un lugar a otro. Quizás la medida más práctica para expresar cuantitativamente la calidad de un lugar para producir madera sea la altura que los árboles dominantes alcanzan a cierta edad, lo que comúnmente se conoce con el nombre de "índice de sitio" (también "índice de estación").

Las curvas de índice de sitio son una representación idealizada del crecimiento de la altura de los árboles dominantes de un rodal durante su vida (Fig. 1). Su construcción, utilidad y limitaciones han sido discutidas por Bruce y Schumacher (1965) y Husch (1963) y han sido confeccionadas para numerosas especies. Básicamente su construcción requiere la medición de la altura de los árboles dominantes de numerosas parcelas cuya edad se conoce y el cálculo de la regresión entre la edad y la altura. Para facilitar el cálculo, Bruce y Schumacher (1965), proponen un método para convertir esta relación curvilínea en una relación lineal, transformando la altura en su logaritmo y la edad en su recíproca.

Puesto que se quiso aprovechar las mismas parcelas de muestreo, no solamente para confeccionar curvas de índice de sitio, sino también para conseguir datos sobre crecimiento en volumen (véase Sec. 3), fue necesario medir además de la altura de los árboles dominantes otras características del rodal. Por lo tanto, se emplearon los métodos clásicos para la preparación de tablas de rendimiento descritos por Bruce y Schumacher (1965).

### 2.1. Método de Campo.

Se midieron 57 parcelas temporales de muestreo cubriendo todo el rango de edades y de sitios que fueron de interés.

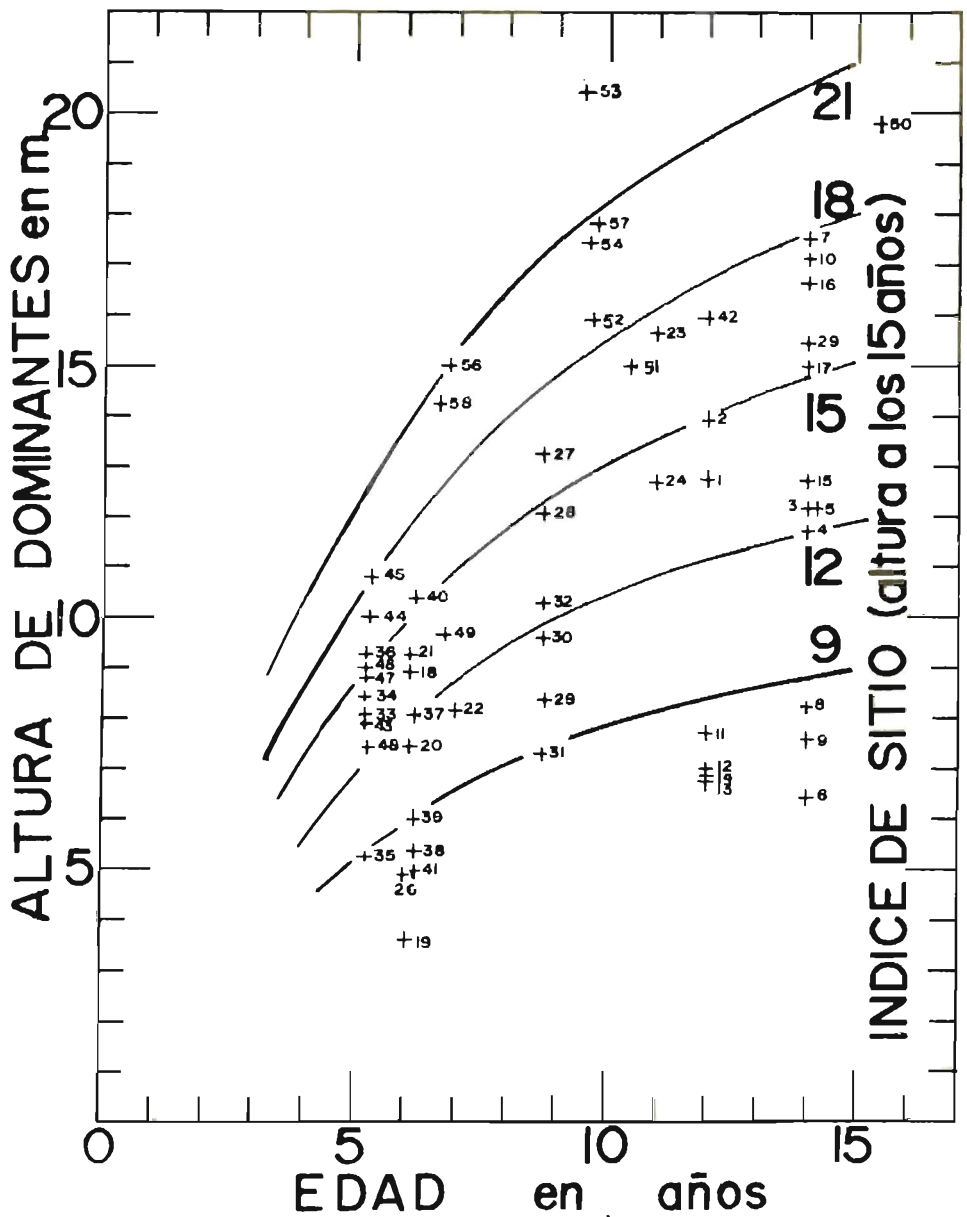


Fig. 1. Relación entre edad y altura de los árboles dominantes. Las curvas indican el índice de sitio, tomando como base la edad de 15 años. Cada punto representa una parcela y lleva el número de identificación del cuadro 2.

Para calcular la tasa de crecimiento, era necesario estar seguro de la edad de la plantación en la cual se ubicó la parcela de muestreo. Debido a la forma empírica como anteriormente se establecieron las plantaciones en la región de estudio, fue sumamente difícil encontrar plantaciones de edad conocida mayores de cinco años. La plantación de mayor edad que se encontró y que reunía los requisitos de selección tenía sólo 15 años.

La selección de las parcelas de muestreo no fue al azar sino que cada parcela tenía que reunir los siguientes requisitos de selección de acuerdo con las normas para la preparación de tablas de rendimiento de Bruce y Schumacher (1965):

1. Seguridad en cuanto a la edad, con un máximo de 10% de error.
2. Ser un rodal, de densidad "normal", es decir, un rodal en el cual los árboles utilizan el sitio al máximo posible.
3. Tener por lo menos cinco años de edad, debido a que en plantaciones más jóvenes, las prácticas de plantación y limpieza pueden tener mayor efecto sobre el crecimiento inicial que las diferencias de sitio.
4. Se trató de que las parcelas estuvieran repartidas aproximadamente igual en el intervalo de edades de 5 a 15 años.
5. Las parcelas se ubicaron para cubrir toda la gama de calidades de sitios que comúnmente había en la región. Es decir, en cualquier finca o plantación se intentó establecer parcelas no sólo en lugares de crecimiento promedio sino también en sitios muy buenos hasta muy malos.
6. Se distribuyeron las parcelas en el máximo número posible de fincas en los municipios de Guarne (Piedras Blancas), Rionegro, El Retiro, La Ceja y Caldas.

Todas las parcelas fueron rectangulares debido a que esta forma es más fácil de delimitar en la topografía quebrada de la región. Se hicieron de tal tamaño que cada parcela tuviera un mínimo de 100 árboles, por lo tanto sus áreas fueron de 240 m<sup>2</sup> hasta 1.000 m<sup>2</sup>.

Se midió el d.a.p. (diámetro a la altura del pecho) de todos los árboles vivos dentro de la parcela con forcípula y se anotaron los diámetros en clases diamétricas de 1 cm. Aquellos árboles que no alcanzaron la altura del pecho, se anotaron en la clase cero.

Con base en las mediciones del diámetro, se localizaron los 250 árboles de mayor diámetro por hectárea y se midieron sus alturas totales. Es decir, en una parcela de 0.1 Ha., se seleccionaron los 25 árboles de mayor d.a.p. para medir sus alturas. El promedio de las alturas medidas en esta forma corresponde a la altura dominante ("top height") y es un parámetro usado para caracterizar objetivamente la altura de los árboles dominantes de un rodal (Foggie, 1944).

Además se midieron las alturas de ciertos árboles no dominantes de tal manera que quedaran totalmente distribuidos a través de todas las clases diamétricas. La finalidad de esta medición fue la construcción de la curva d.a.p. contra altura, necesaria para calcular el volumen. En árboles menores de 12 m. de altura, se midieron las alturas con barras graduadas y extensibles de aluminio. En árboles de mayor altura, se empleó el clinómetro Blume-Leiss. Todas las alturas se anotaron con una precisión de 0.1 m., anotando el d.a.p. del mismo árbol hasta el milímetro.

## 2.2. Método analítico y Resultados.

Las edades y alturas de árboles dominantes de las 57 parcelas se encuentran en el Cuadro 2. La ecuación de regresión fué:

$$\log H = 1.228 - 1.80436(1/E)$$

En donde H es la altura de los árboles dominantes en metros y E es la edad de la plantación en años\*. Se seleccionó la edad de 15 años como edad base y se arregló la ecuación en la siguiente forma:

$$\log I.S. = \log H - 1.80436 (1/15 - 1/E)$$

en la cual I.S. es el índice de sitio con base en 15 años de edad. Se aplicó esta ecuación para construir las curvas de la figura 1.

## 2.3 Aplicación y Limitaciones.

Para determinar el índice de sitio de cualquier parcela entre 5 y 15 años de edad, simplemente se averigua la edad de la plantación y se miden las alturas de los 250 árboles de mayor diámetro por hectárea. Interpolando entre las curvas de la Figura 1, se obtiene directamente el índice de sitio con base en los 15 años de edad. Es decir, el índice de una parcela sería igual a la altura que los árboles dominantes alcanzarían a los 15 años de edad.

En la práctica, los árboles cuyas alturas se deben medir, pueden seleccionarse a ojo sin causar mayores errores. Suponiendo que la parcela de interés tiene un área de 0.1 Ha., deben buscarse los 25 árboles de mayor diámetro en la parcela, una tarea relativamente fácil y se puede hacer sin usar ningún instrumento.

---

\* Se agradece la cooperación del Dr. Gerard Schreuder, en aquel entonces profesor asistente de la Universidad de Yale, New Haven, Conn., quien amablemente procesó los datos en la computadora electrónica.

Desde luego es arriesgada cualquier extrapolación más allá de los 15 años de edad que fue el límite superior de los datos. De ninguna manera se debe aplicar las curvas a plantaciones mayores de 20 años. Plantaciones menores de 5 años, no son lo suficientemente diferenciadas para poder clasificarlas.

La construcción de curvas de índice de sitio con la técnica aquí empleada, se basa en tres suposiciones:

1. Que dentro de cada clase de edad, las parcelas muestra cubren adecuadamente todo el rango de calidades de sitio que ocurren.
2. Que el efecto de diferencias en calidad de sitio sobre el crecimiento en altura sea igual para todas las edades.
3. Que la curva de crecimiento en un sitio malo, tenga la misma forma que la de un sitio bueno.

La distribución de las parcelas en la figura 2, indica que la primera suposición es válida para estos datos. Una prueba estadística, usando la relación de la desviación estándar de los residuos de la regresión con la edad (Bruce y Schumacher, Fig. 2, 1965), demostró que también se puede aceptar la segunda suposición. Es imposible comprobar la validez de la tercera suposición, pero según Spurr (1952), el posible error introducido probablemente no sea importante.

Es notable la gran variación de la calidad de sitio que se encuentra en estas regiones. Los índices de sitio varían desde menos de 9 m., hasta más de 21 m., o sea una relación de aproximadamente 1:2.5. Obviamente, para el reforestador en busca de un alto rendimiento, es importante identificar los sitios más productivos.

Durante los levantamientos de campo, se notaron marcadas diferencias de índice de sitio a distancias sumamente cortas. Por ejemplo, las parcelas 6 y 7, ambas de 14 años de edad, distaban solamente 30 m., pero tenían alturas de árboles dominantes de 6.4 y 17.5 m., respectivamente. No se notó diferencia apreciable de calidad de sitio de una parte del Oriente Antioqueño a la otra. En cambio, una comparación de las parcelas ubicadas en Caldas con las del Oriente (Cuadro 2), claramente demostró la superioridad de aquella región para el crecimiento de ciprés. Con la misma edad y en posiciones topográficas comparables, se puede apreciar que las parcelas de Caldas tienen alturas de árboles dominantes más altas que las del Oriente.

Cabe señalar que el índice de sitio promedio de la Figura 1, no representa necesariamente el índice de sitio promedio de todas las plantaciones de la región. Para averiguar este dato se requeriría un inventario con otra técnica de selección de las parcelas distinta a la empleada aquí.

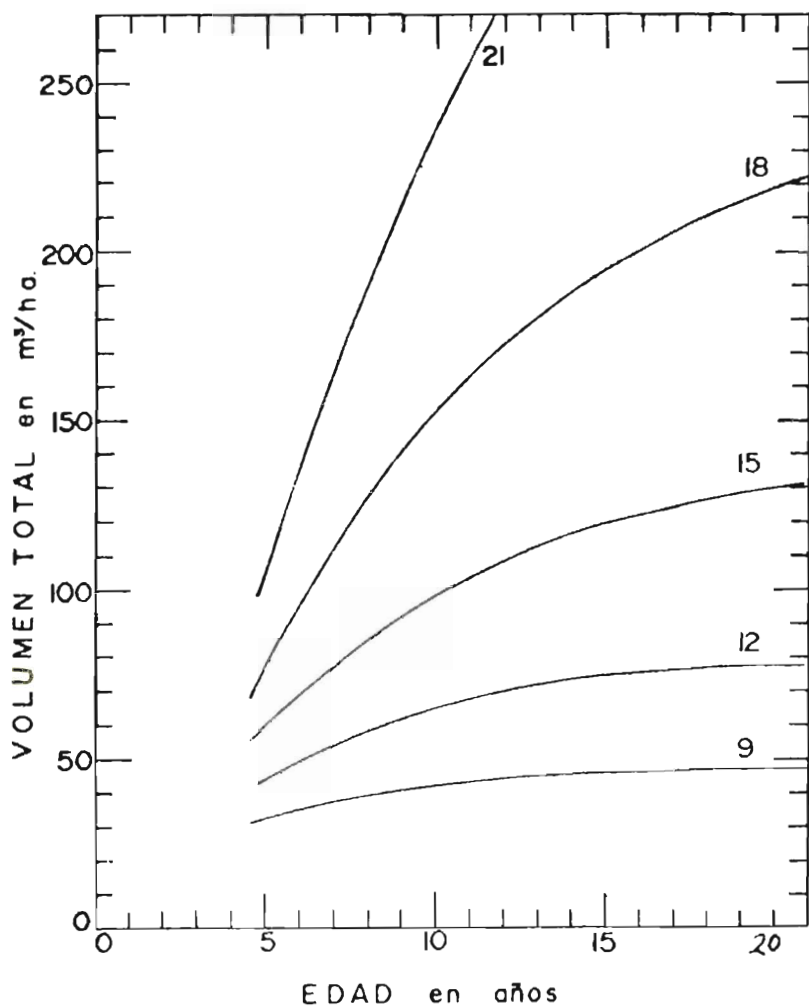


Fig. 2. Rendimiento en volumen total para los diferentes índices de sitio. Los número sobre las curvas indican el índice de sitio en metros.

### 3 — TABLAS DE RENDIMIENTO PARA PLANTACIONES JOVENES

La predicción del rendimiento de plantaciones sobre varias calidades de sitio, es la base de cualquier manejo intensivo y de la planeación de inversiones. Una de las técnicas comunes para estimar el crecimiento futuro ha sido el de las "tablas de rendimiento", las cuales expresan varios parámetros del rodal, tales como el volumen, el área basal, el número de árboles por hectárea, etc., en función de la edad y de la calidad del sitio, y a veces también en función de alguna medida de la densidad del rodal.

Aunque algunos autores ya han estimado el crecimiento de plantaciones de *Cupressus* en Antioquia, como Illencik citado por Falla (1967), ninguno ha calificado el rendimiento según las diferentes calidades de sitio, diferencias que pueden ser extremadamente grandes en la región y que tienen profundas implicaciones prácticas.

Con el fin de hacer una primera aproximación a una tabla de rendimiento para plantaciones de *Cupressus* en Antioquia, se calcularon las existencias de las mismas parcelas usadas para la construcción de curvas de índice de sitio. El método de campo fue descrito en la Sección 2.1.

#### 3.1. Preparación de la Ecuación de Volumen.

La tabla de volumen de Barrera (1964) para *Cupressus*, tiene como entradas d.a.p. y altura total y fue la base para todas las estimaciones de volumen. Para facilitar los cálculos con la computadora electrónica, fue preciso transformar la tabla en una ecuación.

Debido a que los datos originales no estaban disponibles, se tomaron sistemáticamente valores de la tabla y se calculó la regresión múltiple:

$$V = 0.00888 + 0.00003 D^2H$$

en la cual, V es el volumen total del árbol con corteza en metros cúbicos, D es el d.a.p. en cm., y H es la altura total en metros.

El coeficiente de regresión múltiple de 0.99, indicó que la ecuación se ajusta bien a la tabla en el rango usado que fue hasta 30 cm., d.a.p. y hasta 32 m. de altura.

#### 3.2. La Estimación de la Altura con Base en el Diámetro.

En vez de medir las alturas de todos los árboles de la parcela, generalmente se miden los diámetros y alturas de unos pocos árboles muestras, se establece la regresión entre diámetro y alturas y se utiliza esta regresión para estimar la altura promedio de los árboles de cada clase diamétrica. Puesto que la forma de los árboles y por lo tanto la relación d.a.p. — altura varía según la calidad de sitio de la parcela, se clasificaron todas



las parcelas en una de tres categorías según su índice de sitio, luego se calculó una regresión para cada categoría. Las mejores ecuaciones de los cinco modelos que se probaron, se presentan en el Cuadro 1.

CUADRO Nº 1 - ECUACIONES USADAS PARA ESTIMAR ALTURA TOTAL EN METROS (A) CON BASE EN EL d.a.p. EN CM. (D), SEGUN CATEGORIAS DE INDICE DE SITIO.

Límites de la Categoría de I. S.	Ecuación	R <sup>2</sup>	Nº de Árboles usados en la Regresión	Rango Máx. del D. A. P.
Menor que 12	$\log A = 0.342 + 0.558 \log D$	0.81	478	16
12 hasta 16	$\log A = 0.432 + 0.549 \log D$	0.75	545	23
Igual o mayor que 16	$\log A = 0.504 + 0.555 \log D$	0.78	524	35

La diferencia apreciable entre las tres ecuaciones, confirma la necesidad de clasificar primero según el índice de sitio para poder estimar alturas con precisión. La forma logarítmica de las ecuaciones tiene la gran ventaja de que se transforman en rectas al dibujarlas sobre papel con dos ejes logarítmicos, lo que simplifica mucho el procesamiento manual cuando no hay acceso a una computadora electrónica.

Se cree que estas ecuaciones dan estimaciones aceptables de alturas para la mayoría de las plantaciones menores de 15 años en Antioquia, puesto que los datos básicos cubrieron un rango muy amplio de sitios.

### 3.3. Cálculo de las Existencias de Cada Parcela.

La computadora electrónica calculó las existencias de cada parcela partiendo de las distribuciones de los árboles en las clases diamétricas y aplicando las ecuaciones de diámetro-altura y de volumen. Los resultados de estos cálculos están resumidos en el Cuadro 2.

Parcela	Edad (años)	Índice de sitio (m)	Altura dominante (m)	Altura Provedida(m)	D.A.P. promedio(m)	Todos los árboles		Árboles con d. a. p. 10 cm.		Árboles con d. a. p. 15 cm.		Codigo	Localidad		
						No. árb. por ha	Volumen (m <sup>3</sup> /ha)	No. árb. por ha.	Volumen (m <sup>3</sup> /ha)	No. árb. por ha.	Volumen (m <sup>3</sup> /ha)				
														Árboles Básic (m <sup>3</sup> /ha)	Volumen (m <sup>3</sup> /ha)
1	12.0	13.7	12.8	10.4	11.6	1666.	17.7	91.9	1066.	15.9	81.1	283.	6.6	35.7	2
2	12.0	14.9	14.0	11.0	12.9	1933.	25.5	131.8	1381.	24.0	123.5	415.	2.8	68.6	0
3	14.0	12.3	12.1	10.7	12.3	1699.	20.4	102.1	1366.	18.6	92.9	300.	6.3	33.0	0
4	14.0	11.8	11.7	6.6	7.3	2866.	12.0	59.1	333.	3.7	15.5	33.	0.6	2.7	0
5	14.0	12.3	12.1	8.0	7.2	4483.	18.3	102.2	833.	8.0	39.0	33.	0.5	2.9	0
6	14.0	6.5	6.4	4.9	4.2	4095.	5.8	49.3	680.	5.3	22.3	0.	0.0	0.0	0
7	14.0	17.7	17.5	11.9	10.8	3999.	36.9	221.4	2233.	31.5	185.9	650.	13.5	83.5	0
8	14.0	8.4	8.2	6.0	6.1	2325.	6.9	37.9	75.	0.6	2.6	0.	0.0	0.0	1
9	14.0	7.6	7.6	5.7	5.6	2025.	5.0	30.7	125.	0.1	4.5	0.	0.0	0.0	1
10	14.0	17.5	17.2	14.9	16.1	1187.	24.3	159.2	1012.	18.9	127.8	650.	18.9	27.8	1
11	12.0	8.3	7.7	5.9	5.8	2514.	6.8	39.2	134.	1.1	4.7	0.	0.0	0.0	2
12	12.0	7.4	6.9	5.4	5.0	1839.	3.8	25.6	44.	0.3	1.5	0.	0.0	0.0	2
13	12.0	7.3	6.8	5.1	4.6	1785.	3.0	22.4	0.	0.0	0.0	0.	0.0	0.0	2
14	12.0	7.3	6.8	5.2	4.7	1934.	3.4	24.6	30.	0.2	0.9	0.	0.0	0.0	2
15	14.0	12.8	12.7	10.4	11.5	1750.	18.4	92.2	1225.	15.8	79.0	350.	6.8	35.2	1
16	14.0	16.8	16.6	13.7	13.9	1736.	26.4	161.5	1444.	26.0	152.1	452.	15.6	99.7	1
17	14.0	15.2	14.9	10.7	12.3	2026.	24.9	127.7	1479.	22.3	114.5	541.	12.1	64.6	0
18	6.1	13.5	9.0	8.5	8.0	2950.	14.9	80.4	900.	9.5	46.2	0.	0.0	0.0	300
19	6.1	6.9	3.6	2.8	1.5	3000.	0.5	27.4	0.	0.0	0.0	0.	0.0	0.0	300
20	6.1	11.2	7.5	6.4	6.9	2944.	11.0	56.3	500.	4.6	19.2	0.	0.0	0.0	300
21	6.1	13.8	9.2	8.1	7.3	2843.	12.2	67.7	531.	5.6	27.5	31.	0.6	3.2	300
22	7.0	11.2	8.2	4.8	4.0	4656.	6.1	54.6	94.	0.7	3.0	0.	0.0	0.0	100
23	11.0	17.3	17.3	12.2	11.2	1500.	14.9	87.2	880.	11.4	67.9	120.	3.3	22.1	100
24	11.0	14.1	12.7	9.8	10.4	1760.	15.0	74.9	1000.	11.5	56.8	140.	2.6	13.4	100
25	14.0	15.6	15.4	10.6	12.0	2016.	22.9	118.1	1216.	19.2	99.1	464.	10.7	57.6	100
26	6.0	7.3	4.9	3.5	2.3	5291.	2.2	50.5	0.	0.0	0.0	0.	0.0	0.0	100
27	8.8	16.2	13.3	12.7	12.0	2150.	24.7	144.6	1653.	22.8	133.3	425.	8.2	50.2	301
28	8.8	14.7	12.1	9.1	9.2	2824.	19.0	94.6	1180.	11.5	55.5	0.	0.0	0.0	301
29	8.8	10.2	8.4	6.9	7.7	2025.	9.6	44.6	250.	2.3	9.6	0.	0.0	0.0	301
30	8.8	11.7	9.7	7.4	8.8	2050.	12.5	56.0	725.	7.4	31.0	25.	0.4	1.9	301
31	8.8	8.3	7.3	5.8	5.6	2530.	6.4	38.1	72.	0.6	2.5	0.	0.0	0.0	301
32	8.8	12.5	10.3	8.7	8.3	2544.	14.5	75.2	768.	8.0	38.9	0.	0.0	0.0	301
33	5.2	13.5	8.1	7.2	6.0	2625.	7.5	46.2	125.	1.1	5.3	0.	0.0	0.0	301
34	5.2	14.2	8.5	6.7	5.2	3275.	7.0	49.5	50.	0.3	1.5	0.	0.0	0.0	301
35	5.2	10.5	6.3	3.9	2.8	2425.	1.5	24.5	0.	0.0	0.0	0.	0.0	0.0	301
36	5.2	15.7	9.3	7.5	6.4	2175.	7.0	41.4	73.	0.6	3.0	0.	0.0	0.0	301
37	6.2	11.9	8.1	5.8	5.8	2833.	7.6	44.6	190.	1.4	6.2	0.	0.0	0.0	200
38	6.2	7.9	5.3	4.6	3.8	2312.	2.6	26.0	21.	0.1	0.6	0.	0.0	0.0	200
39	6.2	8.7	6.0	5.0	4.4	2450.	3.7	29.7	0.	0.0	0.0	0.	0.0	0.0	200
40	6.2	15.4	10.4	10.0	10.8	2050.	18.8	93.5	1300.	15.3	75.6	200.	3.8	19.8	200
41	6.2	7.3	4.9	3.8	2.6	3031.	1.7	29.9	0.	0.0	0.0	0.	0.0	0.0	200
42	12.0	17.0	15.9	14.4	15.2	2125.	38.9	246.6	1850.	37.9	240.7	1125.	29.4	192.3	2
43	5.3	13.5	8.1	6.5	5.0	3933.	7.8	55.9	33.	0.3	1.5	0.	0.0	0.0	400
44	5.3	18.3	10.1	8.9	6.3	4063.	13.0	83.2	200.	1.5	8.8	0.	0.0	0.0	400
45	5.3	17.4	10.9	9.1	6.6	4049.	14.1	87.9	250.	2.3	13.2	0.	0.0	0.0	400
46	5.3	14.9	9.1	7.4	6.3	3050.	9.6	56.0	67.	0.6	2.9	0.	0.0	0.0	400
47	5.3	15.4	9.0	7.3	6.1	3920.	11.8	69.6	80.	0.7	3.4	0.	0.0	0.0	400
48	5.3	13.1	7.6	6.3	4.6	4550.	7.8	60.3	17.	0.1	0.5	0.	0.0	0.0	400
49	6.7	13.7	9.8	7.6	6.6	4316.	15.1	87.0	383.	3.8	18.7	17.	0.2	1.4	403
50	15.5	19.6	19.8	14.4	15.2	1912.	34.7	236.3	1287.	32.8	223.6	800.	27.2	192.0	404
51	10.5	16.8	15.0	13.9	14.2	1616.	25.9	165.6	1216.	24.7	157.8	700.	18.6	122.6	404
52	9.7	18.6	16.0	12.8	12.2	2275.	26.9	157.4	1900.	25.0	146.3	400.	8.3	51.9	401
53	9.7	23.7	20.4	16.7	19.7	1230.	37.6	261.7	2170.	37.6	261.7	1960.	35.0	246.3	401
54	9.7	22.3	17.5	14.6	15.5	1650.	31.4	200.3	1525.	30.8	196.9	812.	22.3	148.3	401
55	6.9	20.6	15.0	14.4	15.1	1387.	25.0	156.0	1288.	24.4	152.9	725.	17.9	115.8	402
56	9.9	20.4	17.8	14.7	15.8	1625.	31.9	204.0	1562.	31.6	202.2	812.	22.5	150.1	402
57	6.7	20.2	14.4	11.3	9.8	3737.	28.2	163.1	1650.	19.3	111.2	162.	3.3	20.9	403

Codigo de localidad

- 0 - Piedras Blancas,
- 1 - Piedras Blancas,
- 2 - Piedras Blancas,
- 100 - Rio Negro,
- 300 - La Caja,
- 300 - El Retiro,
- 301 - El Retiro,
- 400 - Celdes,
- 401 - Celdes,
- 402 - Celdes,
- 403 - Celdes,
- 404 - Celdes,

Finca

- Lajas
- Veropaz
- Buenavista
- Fátima
- San José Ltda.
- Émaus
- La Guija
- La Vie
- Rondella
- Corsica
- Esperanza
- Gales

### 3.4. El Rendimiento en Relación a la Edad y al Índice de Sitio.

Como el objetivo principal fué el de pronosticar volumen, área basal y diámetro promedio con base en el índice de sitio y en la edad, se desarrollaron ecuaciones de regresión partiendo de los datos del Cuadro 2.

Los resultados derivados de estas ecuaciones de regresión, están resumidos en el Cuadro 3 y para mayor claridad algunas de las relaciones se presentan también en forma gráfica (Fig. 2). La técnica usada para preparar el Cuadro 3, fue la siguiente [semejante a la empleada por Bennet, *et al.* (1959) para plantaciones jóvenes de *Pinus elliottii*]: Para cada variable que se quiso pronosticar (es decir, las variables que figuran en las columnas 3 hasta 7 del Cuadro 3), se calculó la regresión múltiple, usando esta variable como la variable dependiente y la edad y el índice de sitio como las variables independientes. También se ensayaron varias transformaciones de las variables tanto dependientes, como independientes, como por ejemplo el logaritmo del volumen, el recíproco de la edad, y algunos términos de interacción entre las variables. Todos los cálculos fueron hechos en la computadora electrónica, dando como resultado varias ecuaciones posibles para estimar cada variable dependiente. Se escogieron las ecuaciones que mejor se ajustaron a los datos, es decir aquéllas con el mayor valor del coeficiente de determinación ( $R^2$ ), para la elaboración del Cuadro 3.

CUADRO N° 3 - Tabla de rendimiento para plantaciones jóvenes de *Cupressus lusitanica* en Antioquia, Colombia.

Edad (1)	Alt. de Dominantes (m) (2)	D. A. P. Promedio (cm) (3)	A. Basal Total (m <sup>2</sup> /ha) (4)	Volumen Total (m <sup>3</sup> /ha) (5)	Área Basal ≥ 10 cm. (m <sup>2</sup> /ha) (6)	Volumen ≥ 10 cm. (m <sup>3</sup> /ha) (7)	
I.S.=9	5	5.2	1.6	2.1	33.1	0	0
	10	7.8	6.1	6.3	42.6	2.6	5.0
	15	9.0	7.6	9.0	45.7	5.0	8.6
	20	9.6	8.4	10.8	47.8	4.8	11.0
I.S.=12	5	6.9	4.0	4.4	43.7	0	6.3
	10	10.4	8.5	10.3	66.1	9.5	31.8
	15	12.0	10.0	13.6	74.2	13.3	41.1
	20	12.9	10.7	15.7	79.4	13.8	47.0
I.S.=15	5	8.6	6.4	9.0	60.2	1.2	25.1
	10	13.1	10.9	16.7	100.0	16.5	70.5
	15	15.0	12.4	20.5	120.3	21.6	93.6
	20	16.1	13.1	22.7	131.9	22.7	106.8
I.S.=18	5	10.2	8.7	18.6	77.6	4.2	45.0
	10	15.7	13.2	27.3	154.9	23.4	133.1
	15	18.0	14.7	31.0	195.0	29.8	178.8
	20	19.3	15.5	33.0	218.8	31.6	205.9
I.S.=21	5	12.1	11.1	38.4	104.8	7.2	76.0
	10	18.3	15.6	44.5	239.9	30.4	230.0
	15	21.0	17.1	46.8	316.3	38.1	316.3
	20	22.5	17.8	48.0	363.1	40.6	363.1

Abajo se detallan estas ecuaciones empleadas para calcular los valores del Cuadro 3:

Las variables independientes se definen como sigue:

E = la edad de la plantación en años

I.S. = el índice de sitio en metros, con base en 15 años.

#### 3.4.1. *Altura de árboles dominantes en m. (H).*

Una simple transformación de la ecuación de la Sección 2.2, permite calcular la altura de los árboles dominantes según la ecuación siguiente:

$$\log H = \log I.S. + 1.80436 (1/15 - 1/E)$$

o también se pueden leer las alturas en la Figura 1.

En la práctica, por supuesto, se utiliza la altura de los dominantes a cierta edad para estimar el índice de sitio.

#### 3.4.2. *D.A.P. promedio en cm. (D).*

El d.a.p. promedio se define como el diámetro a la altura del pecho del árbol de área basal promedio. Es un valor que cambia debido a entresacas y distancias de plantación y que aquí simplemente refleja las densidades comúnmente encontradas en la región de estudios. Se estima con base en la ecuación

$$D = 3.51 - 44.95(1/E) + 0.79(I.S.)$$

con  $R^2 = 0.88$  y con el error estandar de la media igual a 1.43 cm.

#### 3.4.3. *Área basal total en m<sup>2</sup>/ha. (A. B.)*

El área basal total, es la suma de las áreas basales a la altura del pecho de todos los árboles estimados por:

$\log A.B. = 0.9360 - 7.7603(1/E) + 0.0370(I.S.) + 0.3389(I.S./E)$   
con  $A^2 = 0.83$ . Nótese que la forma de ésta y la siguiente ecuación es muy parecida a la ecuación sugerida por Bruce y Schumacher (1965) mencionada en la Sección 2.

#### 3.4.4. *Volumen total en m<sup>3</sup>/ha. (V).*

El volumen total es la suma de los volúmenes individuales de todos los árboles y la mejor ecuación fue:

$\log V = 0.9788 + 0.8397(1/E) + 0.0840(I.S.) - 0.2131(I.S./E)$   
con  $R^2 = 0.88$ . La Fig. 2, fue construida usando esta ecuación.

#### 3.4.5. *Área basal en árboles con un d.a.p. igual o mayor de 10 cm. en m<sup>2</sup>/ha (A. B.<sub>10</sub>).*

Puesto que los árboles con diámetros muy pequeños son de poco interés económico, a veces es muy útil restringirse al área basal o al volumen de árboles por encima de cierto diámetro. De las 51 parcelas que tenían árboles con el d.a.p. igual o mayor de 10 cm. se desarrolló la siguiente ecuación:

$A. B_{10} = -22.91 + 46.36 (1/E) + 3.64 (I.S.) - 13.23 (I.S./E)$  con  $R^2 = 0.86$  y con el error estándar de la media =  $4.48 \text{ m}^2/\text{ha}$ .

### 3.4.6. Volumen en árboles con un d.a.p. igual o mayor de 10 cm. en $\text{m}^3/\text{ha}$ . ( $V_{10}$ ).

Se encontró una relación lineal estrecha entre el volumen total (V) y el volumen en árboles con d.a.p. igual o mayor de 10 cm. ( $V_{10}$ ), lo cual se puede expresar como:

$$V_{10} = -43.5 + 1.14 V$$

con  $R^2 = 0.94$  y con el error estándar de la media =  $17.2 \text{ m}^3/\text{ha}$ . El intercepto negativo indica qué rodales tienen que superar  $38 \text{ m}^3/\text{ha}$ , antes de que haya algún  $V_{10}$ . Se aplicó esta relación a los valores de volumen total del cuadro para calcular la columna 7.

Dado el pequeño número de parcelas disponibles, especialmente la escasez de parcelas de las edades avanzadas, las ecuaciones y cuadros anteriores deben usarse con mucha cautela. Puesto que las parcelas mayores tuvieron solamente 15 años de edad, los datos para mayor edad, fueron extrapolados. Se advierte que de ninguna manera deben proyectarse las relaciones más allá de los 20 años.

Dentro de estas limitaciones, sin embargo, el Cuadro 3 puede servir como una guía en el manejo de plantaciones jóvenes de *Cupressus* y en la planeación de proyectos de reforestación. Es difícil decir para cuál región realmente tiene validez. Estrictamente hablando, deben aplicarse únicamente a la zona en la cual se tomaron las parcelas muestras, es decir, al Oriente Antioqueño y al municipio de Caldas. En la práctica, sin embargo, se opina que las relaciones tienen validez para una región más amplia. Es decir, que, dado el índice de sitio, a cierta edad debe esperarse la misma producción por hectárea tanto dentro como fuera de la zona de estudio, aún bajo condiciones climáticas y edáficas diferentes, siempre que las prácticas de plantación, especialmente las densidades, sean parecidas. Las grandes diferencias que se espera ocurran en otras regiones, se deberán a que los índices de sitio que comúnmente se encuentran en el campo son inferiores o superiores a los sitios promedios de la zona de estudio.

Vale la pena discutir algunos aspectos del Cuadro 3 y de las figuras relacionadas. Llama la atención la culminación rápida del crecimiento en altura de los árboles dominantes (Fig. 1), en volumen total (Fig. 2) y en área basal (Cuadro 3). Es sabido que el área basal tiende a nivelarse tempranamente en la vida de un rodal, pero normalmente no tan temprano, especialmente



para los índices de sitio buenos, como sucede aquí entre los 15 y 20 años. Es menos probable todavía que el crecimiento en altura y volumen alcancen su culminación tan rápidamente. Los únicos sitios que todavía muestran un crecimiento neto apreciable entre los 15 y los 20 años son aquéllos con un índice mayor de 18 m. (Fig. 2). Las curvas se conforman a la observación general de que los sitios inferiores tienden a nivelar su producción antes que los sitios buenos. Queda la duda si la nivelación realmente viene tan temprano o si es una peculiaridad de los datos limitados y del modelo de regresión usado. Las curvas de índice de sitio para *Cupressus lusitanica* en Africa Oriental (Pudden 1958, Griffith and Howland 1961), ciertamente no alcanzan una nivelación tan temprana. Las implicaciones de una nivelación son de suma importancia práctica, pero la duda solamente podrá clarificarse extendiendo este estudio a parcelas de mayor edad, tarea que se volverá más fácil con el transcurso de tiempo cuando existan más plantaciones de mayor edad. Tal estudio podría utilizar los datos del Cuadro 3 y simplemente complementarlos con parcelas de edad mayor, o lo que es preferible, podría basarse sobre parcelas permanentes de rendimiento.

Debe recordarse que las pendientes de las curvas de la Fig. 2 indican solamente el crecimiento neto en volumen el cual no es de tanto interés práctico en plantaciones de mayor edad. El crecimiento bruto en volumen, que incluye las entresacas, será bastante mayor que el neto en plantaciones de edad avanzada y no tiende a nivelarse tan temprano como lo confirman los primeros resultados de parcelas permanentes en la región de estudio (Tschinkel, 1971).

Lo que más se destaca en la Fig. 2, es la gran diferencia en rendimiento entre los índices de sitio. Mientras un mejoramiento en el índice de sitio de 9 a 12 m. conlleva un aumento de 28 m.<sup>3</sup>/ha. a los 15 años, un mejoramiento en el índice de sitio de 18 a 21 m., está acompañado por un aumento de 121 m.<sup>3</sup>/ha. a la misma edad, lo que es 4.3 veces mayor. De ahí la gran importancia de dar preferencia a los mejores sitios en programas de reforestación, especialmente con una especie exigente como es el *Cupressus*. Sin duda alguna, en sitios buenos, el rendimiento del *Cupressus* es comparable con el de casi cualquier especie del mundo.

Debe anotarse que el número de árboles por hectárea no figura en el Cuadro 3. Esto se debe a que no se encontró una correlación entre esta variable y la edad y el índice de sitio. Probablemente, esto se debe a que el número de árboles por Ha., en estas plantaciones jóvenes no obedece ninguna ley natural de crecimiento, sino simplemente a las densidades de plantación y a las intensidades de entresaca.

### 3.5. Aplicación de las Tablas de Rendimiento.

Dentro de las limitaciones ya discutidas, estas tablas de rendimiento pueden ser una guía útil en el pronóstico del creci-

miento de plantaciones existentes y para una idea de los límites de productividad de terrenos por plantar y especialmente para predecir el crecimiento de plantaciones ya existentes. El procedimiento para lograr esta predicción es sencillo. Dividiendo la plantación (que debe tener por lo menos 5 años) en áreas homogéneas en cuanto a edad y a altura del rodal, se miden las alturas de algunos árboles dominantes. Con base en esta información, se determina el índice de sitio de la Fig. 1 o del Cuadro 3. El mismo cuadro indica las existencias hasta los 20 años de edad y las alturas y diámetros promedios del rodal. Si el área basal actual del rodal en cuestión difiere mucho del valor de la tabla, será necesario hacer un ajuste proporcional.

### 3.6. Rendimiento y Diámetro Promedio Relacionados con la Edad, el Índice de Sitio y la Densidad del Rodal.

Usando los mismos métodos de la Sección 3.3, se calculó la regresión entre el volumen total en m.<sup>3</sup>/ha. (V) y la edad (E), el índice de sitio (I.S.) y el número de árboles por Ha. (N), resultando la ecuación:

$$\log V = 0.7850 + 0.5137 (1/E) + 0.0912 (I.S.) - 0.2451 (I.S./E) + 0.00007 N \text{ con } R^2 = 0.92. \text{ La Fig. 3 muestra lo mismo para tres índices de sitio seleccionados.}$$

Igualmente, se encontró la siguiente relación para el diámetro promedio en cm. (D)

$$D = 5.66 - 33.80 (1/E) + 0.732 (I.S.) - 0.00106 (N) \text{ con } R^2 = 0.94 \text{ y con el error estándar de la media} = 1.12 \text{ cm.}$$

De esta ecuación puede generalizarse que para cualquier combinación de edad e índice de sitio, el aumento de 1000 árboles/ha. causa una reducción de 1 cm. en el diámetro promedio.

Una necesidad urgente en las plantaciones de *Cupressus* en Antioquia es el desarrollo de normas para la entresaca. Aunque la determinación de la densidad óptima de las plantaciones probablemente requieren investigaciones locales, especialmente ensayos de entresaca, se podrá llegar muy cerca al óptimo por medio de la aplicación de principios generales, de la comparación con otras especies, y del análisis de las relaciones aquí presentadas. Entre los reforestadores locales comúnmente se nota la tendencia de mantener plantaciones con un excesivo número de árboles por hectárea, con la esperanza de así aumentar el rendimiento del volumen. Esta opinión es correcta, como también lo indica la Figura 3, pero subestima el efecto negativo que el excesivo número de árboles tiene sobre el d.a.p.

Se tratará de ilustrar estas interrelaciones con el ejemplo de un rodal de 15 años de edad con un índice de sitio de 18 m. Insertando estos valores en las dos ecuaciones anteriores se confeccionó el Cuadro 4 que cubre densidades desde 4.000 hasta 1.000 árboles por Ha. Tomando el volumen que corresponde a 4.000 árboles por ha. como 100% se nota que una disminución

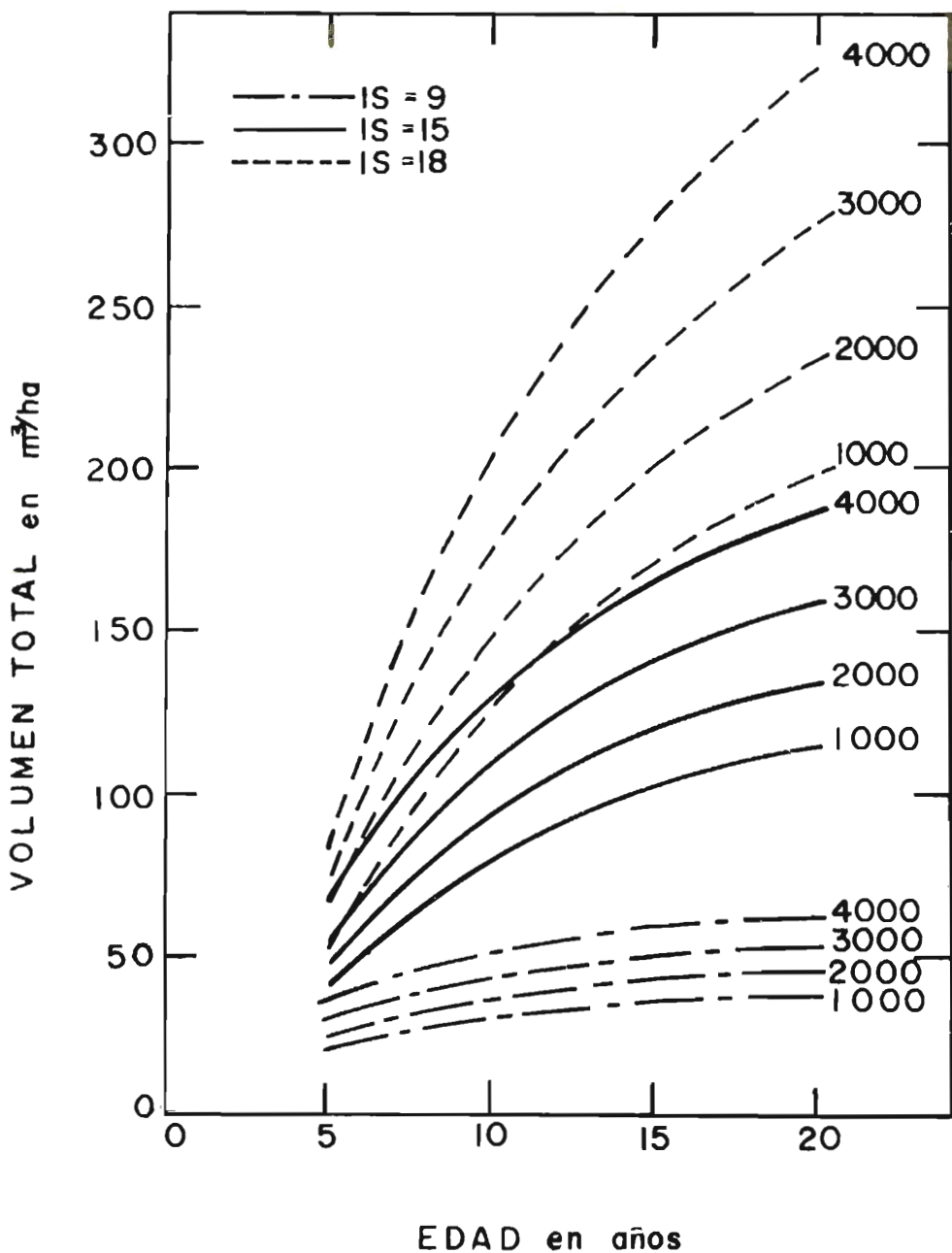


Fig. 3. Rendimiento en volumen total en relación con el número de árboles por hectárea para tres índices de sitio seleccionados. Los números sobre las curvas indican el número de árboles por hectárea.



hasta el 75% en el número de árboles resultaría en un volumen total de 85% del original. Es decir, que el número de árboles por Ha. puede reducirse sin una disminución proporcional en el volumen. Paralelo a esta reducción, el diámetro promedio tiende a incrementarse de 12.3 a 13.4 cm. La última columna muestra que el volumen promedio por árbol individual se incrementa rápidamente (en proporción al cuadro del d.a.p.).

CUADRO Nº 4 - Efecto del número de árboles por Ha. sobre el volumen total y las dimensiones de los árboles individuales, para un rodal con 15 años de edad e índice de sitio de 18 m.

Árboles por ha.		Volumen por ha.		Diámetro promedio cm.	Vol. promedio por árbol m <sup>3</sup>
Número	%	m <sup>3</sup>	%		
4.000	100	255	100	12.3	0.064
3.000	75	217	85	13.4	0.072
2.000	50	185	73	14.5	0.092
1.000	25	157	62	15.5	0.157

Aunque estas interrelaciones simplemente ilustran un principio fundamental de la silvicultura (vea resultados semejantes para *Pinus elliottii*, Bennett 1963), las magnitudes aquí derivadas de datos locales, podrían servir de guías para la entresaca. Por ejemplo, puede fácilmente obtenerse una información como la que contiene el Cuadro 4, para varias edades e índices de sitio. Esta información puede servir de base para cálculos económicos que tratan de encontrar el rendimiento máximo económico, comparando el sacrificio que implica la disminución en el volumen total con las ventajas de tener árboles de mayores dimensiones.

Volúmenes totales por Ha. pueden fácilmente dar impresiones falsas de productividad si no se toma en cuenta la distribución de diámetros. El volumen de madera en fustes de diámetro pequeño (menores de 10 a 15 cm.) es de poco interés económico, aún para pulpa. Por esto es importante desarrollar factores de corrección para la tabla de volumen de *Cupressus* con el fin de poder calcular el volumen por encima de cierto límite de utilización.

Con el objeto de encontrar otras normas para la densidad óptima de las plantaciones, se compararon los datos de Antioquia con datos tomados de las tablas de rendimiento de Africa Oriental (Griffith y Howland 1961) donde hay una experiencia larga con *Cupressus lusitanica*. Es importante anotar que la variación de los índices de sitio es mucho menor en Africa Oriental que

Antioquia y que allí casi no existen plantaciones sobre sitios muy malos. Además para todos los sitios, las curvas de crecimiento son más inclinadas y no tienden a nivelarse tan rápido. En consecuencia, debe tenerse bastante cuidado al tratar de aplicar las tablas de África directamente a Antioquia. A pesar de ésto es razonable esperar que una parcela de igual altura e igual edad en África y Antioquia deben tener aproximadamente igual volumen, siempre que las densidades sean aproximadamente iguales. Por lo tanto para cada parcela de Antioquia, con un índice de sitio mayor de 12 m. se consultó la tabla de rendimiento de África Oriental para calcular el volumen que esta parcela tendría con la edad y altura de los árboles dominantes dados. Estos volúmenes se comparan con los volúmenes reales en la Fig. 4. Se notó que para la misma edad y la misma altura de dominantes las parcelas africanas tienden a tener un volumen ligeramente superior a las antioqueñas.

Se siguió el mismo procedimiento para comparar el número de árboles por Ha. en los dos países (Fig. 5). Es obvio que las parcelas en Antioquia tienen mucho más árboles por Ha. que las parcelas comparables en África Oriental, a menudo cuatro veces más árboles. A pesar de pequeñas imprecisiones tanto en las tablas africanas como en los datos antioqueños, no se puede negar que en África se logra aproximadamente la misma producción de volumen por Ha. que en Antioquia, aunque con menos árboles por Ha. (y por lo tanto con árboles de mayores dimensiones).

Utilizando estas comparaciones y los relaciones expuestas en el Cuadro 4, se podría resumir que, en promedio, las plantaciones de *Cupressus* en Antioquia son excesivamente densas y que deben entresacarse la mitad o más del número de árboles. Para evitar daños al rodal, debido a una abertura demasiado abrupta, posiblemente sea mejor efectuar las entresacas en dos etapas.

### 3.7. *Guías para la Estimación Rápida de Existencias de Madera en Plantaciones Jóvenes.*

Los inventarios de bosques normalmente requieren parcelas de muestreo en las cuales se miden los diámetros de todos los árboles y las alturas de algunos. Estos métodos pueden simplificarse mucho cuando se trata de plantaciones puras y jóvenes. Especialmente recomendable es el uso de prismas para la estimación del área basal. Para ayudar en la estimación del volumen total en m<sup>3</sup>/ha. (V) con base en el área basal total en m<sup>2</sup>/ha. (A.B.) se desarrolló la siguiente regresión lineal, utilizando las 51 parcelas que tenían árboles con el d.a.p. igual o mayor de 10 cm.:

$$V = - 4.52 + 6.19 (A. B.)$$

con R<sup>2</sup> = 0.96 y un error estandard de estimación de 12.8 m<sup>3</sup>/ha. para el volumen promedio de 99 m<sup>3</sup>/ha. Esta estrecha relación

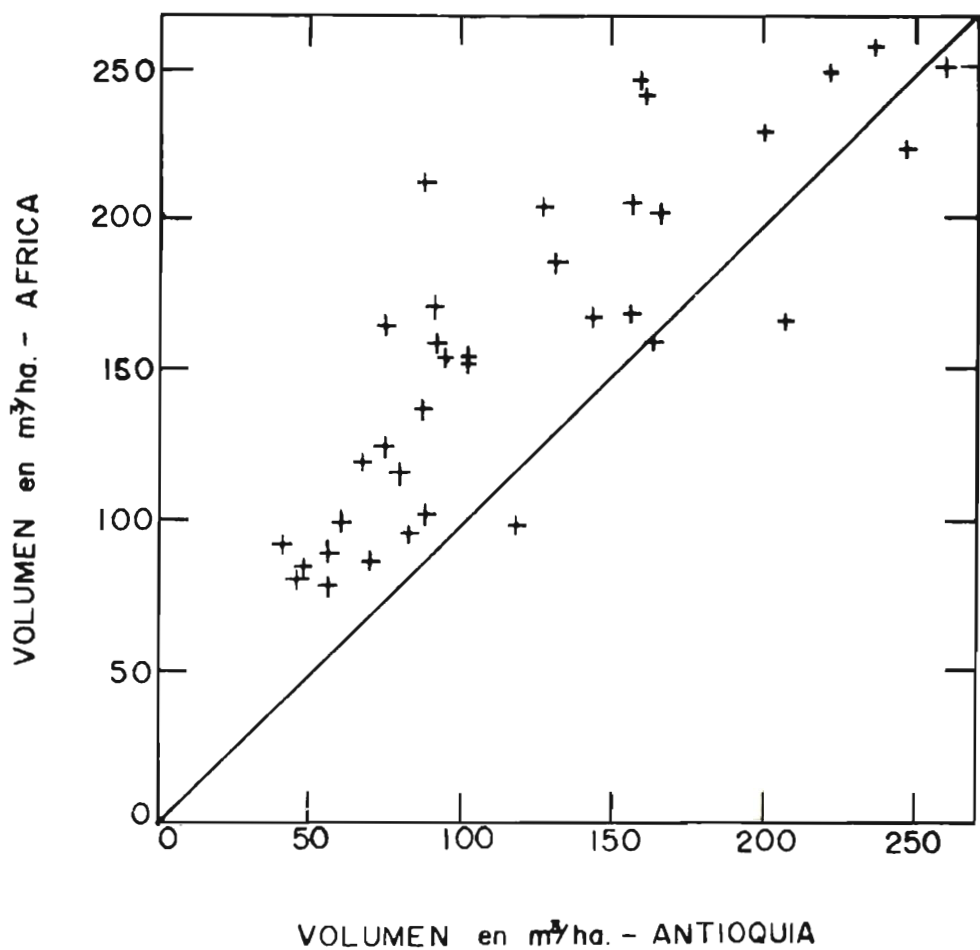


Fig. 4. Comparación del volumen para parcelas de la misma edad y altura de dominantes en Antioquia y Africa oriental.

No. ARBOLES / HA. - AFRICA

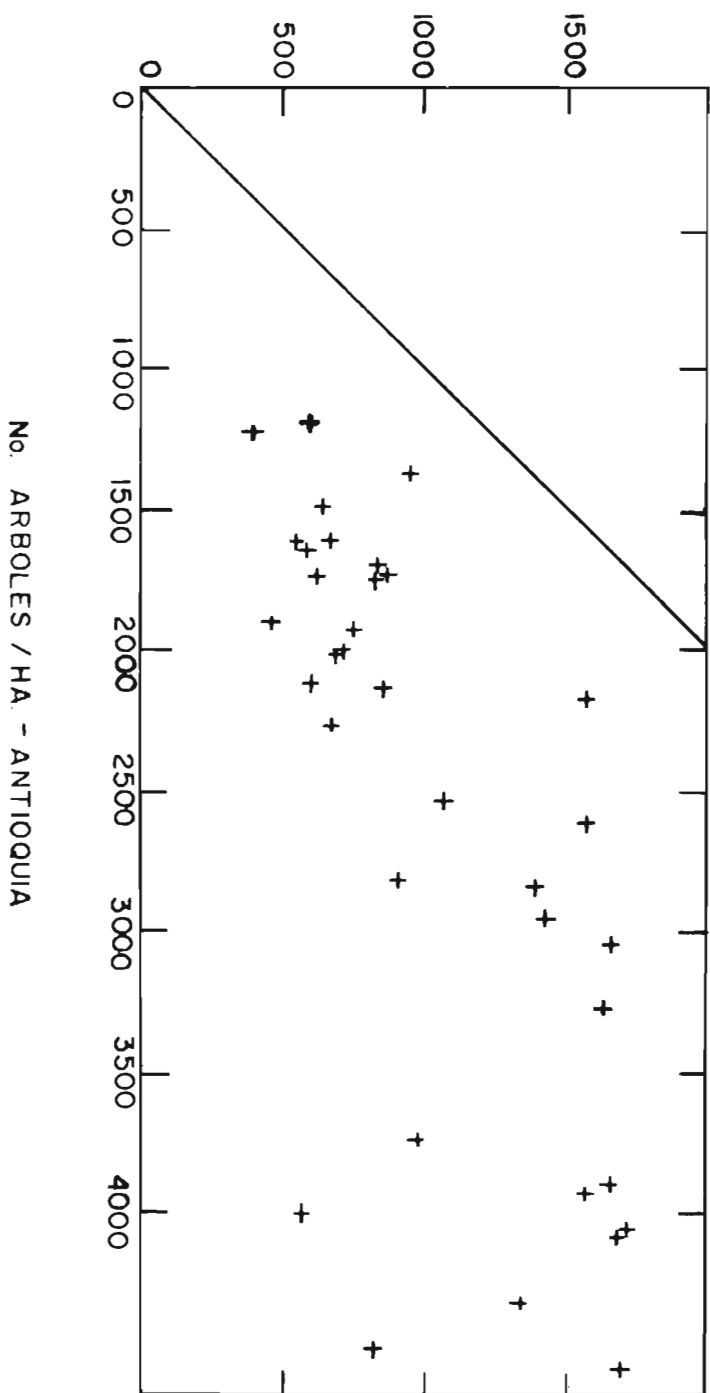


Fig. 5. Comparación del número de árboles por ha. para parcelas de la misma edad y altura de dominantes en Antioquia y Africa Oriental.

implica que para la mayoría de las aplicaciones prácticas en plantaciones con árboles con 10 cm. o más de d.a.p., puede hacerse una estimación del volumen total por Ha. simplemente midiendo el área basal con un prisma y aplicando la ecuación anterior y evitar así la laboriosa medición de las alturas.

Otra relación útil es la que existe entre la altura de los árboles dominantes (H) tal como se definió en la Sección 2.1 y la altura promedio (Hp) definida como la altura del árbol de área basal promedio, calculada por medio de las ecuaciones del Cuadro 1.

La regresión fue:

$$H_p = - 0.15 + 0.82 H$$

con  $R^2 = 0.92$  y un error estándar de estimación de 1 m. correspondiendo el promedio de  $H_p = 8.8$  m.

#### 4 ESTIMACION DEL INDICE DE SITIO CON BASE EN FACTORES FISIOGRAFICOS

Aunque las curvas de índice de sitio son la base de un método fácil y práctico para clasificar la capacidad productora de la tierra para el *Cupressus*, ellas requieren plantaciones ya existentes. Un problema común del reforestador consiste en estimar la calidad del sitio antes de plantar, para así evitar áreas de baja productividad. La universalidad de este problema ha estimulado numerosas investigaciones y la creación de varios métodos. Tal vez el método que mayor éxito y uso ha tenido, especialmente en Norte América, es la relación del índice de sitio con uno o más factores del medio ambiente que se cree limitan el crecimiento. Varios autores tales como Coile (1952), Ralston (1964), Tamm et al. (1967) y Jones (1969) han resumido investigaciones usando esta técnica. Partiendo de mediciones de muchas parcelas de muestreo se desarrolla la regresión entre el índice de sitio con base en la altura de los árboles dominantes y varias variables independientes que posiblemente limitan el crecimiento. La forma general de la ecuación resultante es:

$$I.S. = b_0 + b_1 x_1 + b_2 x_2 \dots + b_n x_n$$

en la cual  $x_1$  hasta  $x_n$  pueden ser factores tales como el porcentaje de arcilla y limo en el suelo, el espesor del horizonte superior, la pendiente, la posición sobre el relieve, etc. Variables no significantes que no mejoran la estimación del índice de sitio son eliminadas. Los coeficientes  $b_1$  hasta  $b_n$  se determinan por análisis de regresión. Las ecuaciones pueden involucrar muchas variables y por lo tanto ser de poca utilidad práctica, como las de Kormanik (1966) para varias especies de *Pinus* en Virginia, una de las cuales incluye 10 variables independientes; o pueden dar estimaciones aceptables usando solamente una o dos variables. Para desarrollar una relación útil, es esencial limitarse a un universo relativamente homogéneo, por ejemplo al clima.

#### 4.1. Metodología.

Se usó esencialmente el mismo método descrito arriba. En las mismas 57 parcelas establecidas para calcular el índice de sitio y el rendimiento se tomaron mediciones de variables que se creyeron limitantes para el crecimiento, a saber: la distancia de la parcela del filo y del valle más cercano, la exposición, la elevación, la concavidad o convexidad del relieve y la pendiente. Se observó que las 15 parcelas del municipio de Caldas se destacaron de las del Oriente Antioqueño, por su índice de sitio más alto aún teniendo aproximadamente los mismos factores fisiográficos, razón por la cual se separaron los datos en estos dos grupos. En otro trabajo se tratará de determinar las posibles causas de estas diferencias. Por inspección se eliminaron algunas de las variables poco prometedoras y se calcularon varias ecuaciones de regresión múltiple.

#### 4.2. Resultados.

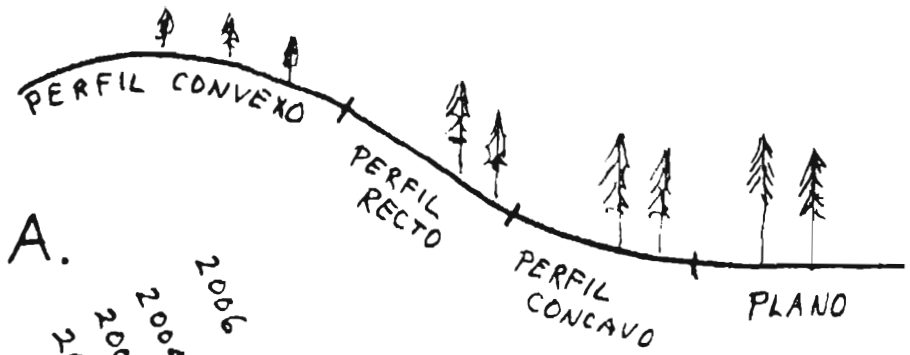
La ecuación que para el Oriente Antioqueño dió mejor estimación del índice de sitio fué:

$$I.S. = 9.28 + 0.133 C. T. - 0.145 P$$

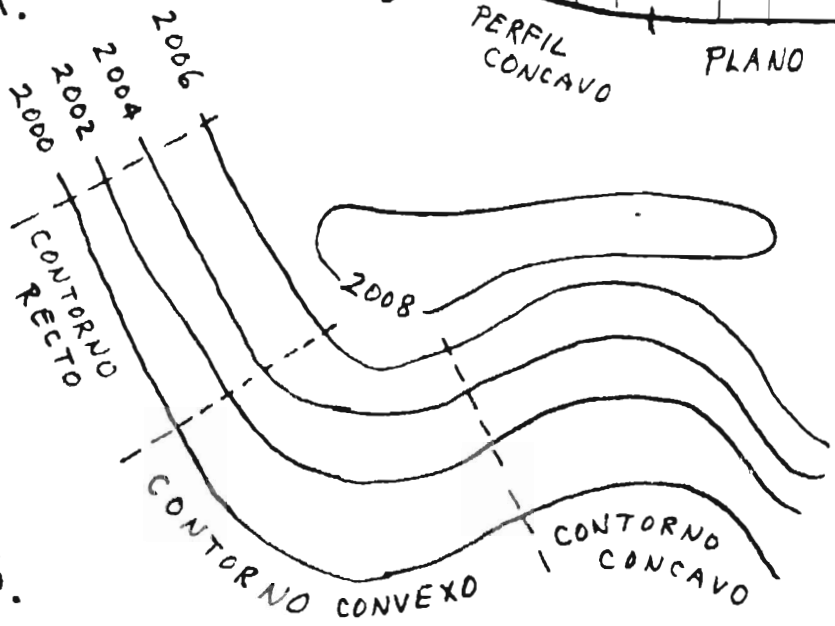
La cual explicó 72% de la variabilidad en los índices de sitio (es decir,  $R^2 = 0.72$ ) y con el error standard de la media igual a 1.9 m.

La variable P es la pendiente mínima de la parcela expresada en grados, es decir, en una parcela de perfil marcadamente cóncavo la pendiente mínima se mide en la parte inferior de la parcela. Se optó por usar la pendiente mínima en vez de la promedio de la parcela, puesto que los árboles dominantes, que determinan el índice de sitio, suelen crecer en la parte más plana de la parcela. Sin embargo, el error incurrido al usar la pendiente promedio en la ecuación es mínima ya que normalmente dentro de parcelas pequeñas la variación de pendiente no es amplia. Es de notar que para parcelas ubicadas sobre filos u hondonadas, la pendiente mínima se refiere a la pendiente que sigue el eje del filo o la hondonada.

La variable C.T., el código topográfico, se basa en una clasificación ocular de la topografía según su convexidad o concavidad. Cualquier parcela o área situada sobre una pendiente puede tener un perfil topográfico cóncavo, convexo o recto como lo ilustra la Fig. 6A. Pero también el contorno de la misma parcela visto desde arriba como en un mapa topográfico puede ser descrito por cotas de nivel de forma cóncava, convexa o recta como lo demuestra la Fig. 6B. Así, la curvatura topográfica de cualquier área puede describirse por tres clases de curvatura en perfil y tres clases de curvatura en contorno, dando un total de nueve posibles combinaciones, más la clase que incluye áreas planas. Puesto que algunas de estas combinaciones son raras en la



A.



B.

C.

CURVATURA TOPOGRAFICA











Perfil	Contorno	Código Topográfico
convexo 	convexo 	10
concavo 	convexo 	20
recto 	convexo 	30
recto 	concavo 	40
concavo 	concavo 	60

Fig. 6. Descripción de un área en cuanto a su curvatura topográfica.

naturaleza solamente se encontraron cinco en el área de estudio. En la Fig. 6C, se señalan estas cinco combinaciones de curvatura topográfica con símbolos que ilustran cada una. A cada clase se le asignó un "código topográfico" variando de 10 hasta 60, el cual es la variable C. T. que figura en la ecuación.

La determinación del código topográfico simplemente requiere una apreciación ocular para determinar la curvatura en perfil y en contorno. La Fig. 6C representa el código topográfico que se inserta en la ecuación para calcular el índice de sitio del área en cuestión, o con el cual se entra a la Fig. 7 o al Cua-

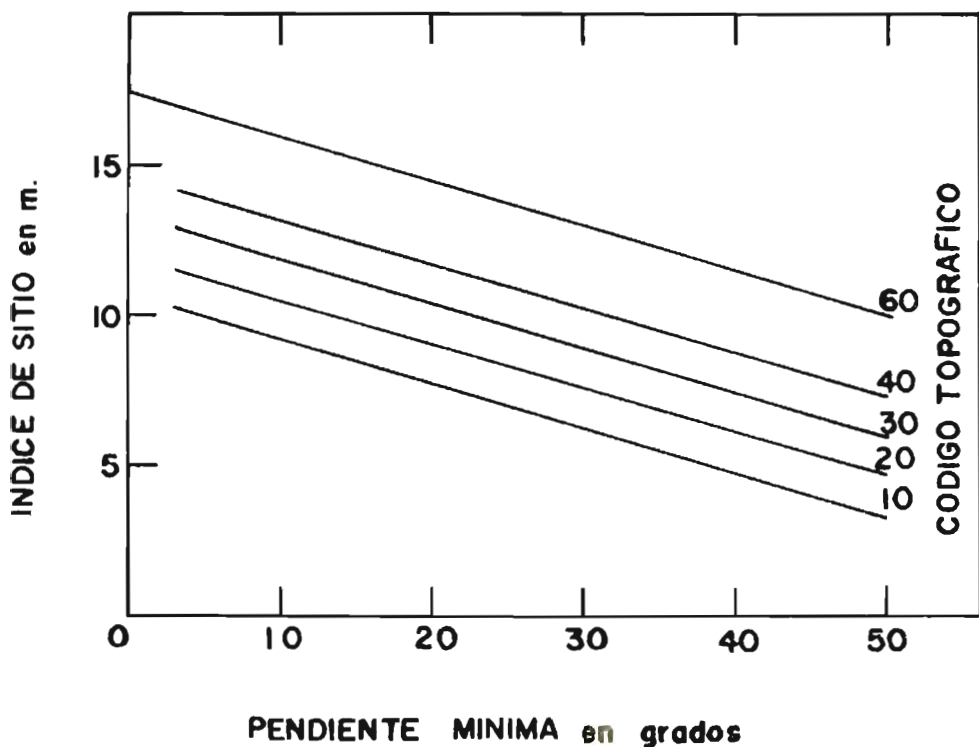


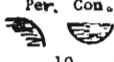
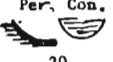
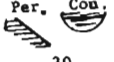

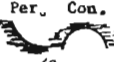
Fig. 7. Estimación del índice de sitio en base a la pendiente mínima y al código topográfico.



dro 5, derivados de la misma ecuación para facilitar los cálculos. El código topográfico fue asignado a cada clase después de arreglarlas en orden ascendente según su índice de sitio promedio. Aunque el C. T. igual a 50 (perfil recto, contorno recto) no figura, éste sí ocurrió en algunas parcelas de Caldas.

CUADRO N° 5 - Estimación del índice de sitio con base en la pendiente mínima y en el código topográfico. Los símbolos se refieren a la curvatura topográfica en perfil (Per.) y en contorno (Con.)

### CODIGO TOPOGRAFICO

PENDIENTE MÍNIMA EN GRADOS	Per. Con.	Per. Con.	Per. Con.	Per. Con.	Per. Con.
	 10	 20	 30	 40	 60
	<i>Índice de sitio en m.</i>				
0	10.6	11.9	13.3	14.6	17.2
10	9.2	10.5	11.8	13.1	15.8
20	7.7	9.0	10.4	11.7	14.3
30	6.2	7.6	8.9	10.2	12.9
40	4.8	6.1	7.4	8.8	11.4
50	3.3	4.7	6.0	7.3	10.0

Aunque se calcularon varias ecuaciones de regresión para las 15 parcelas del municipio de Caldas, ninguna de ellas dió una estimación adecuada del índice de sitio, lo que se debe en parte a la menor variación que existe en estas parcelas, todas las cuales tienen un índice de sitio superior a 12 m. valor más alto que el de la mayoría de las parcelas del Oriente.

#### 4.3. *Discusión.*

Covell y McClurkin (1967) observaron que las ecuaciones para estimar el índice de sitio con base en factores del medio ambiente, raras veces explican más que 50 ó 60% de la variación en el índice de sitio.

En comparación, la ecuación aquí desarrollada, que explica 72% de la variación, es relativamente precisa, lo que probablemente se debe en parte al universo limitado al cual se refiere, que comprende las tierras de colinas de los municipios de Guarne, Rionegro, La Ceja y el Retiro, un área de aproximadamente 800 km<sup>2</sup>. Una extrapolación a otras regiones es arriesgada como lo demuestra la falta de correlación para las parcelas del mu-

nicipio de Caldas. El riesgo de extrapolación posiblemente sea menor si se aplica dentro de una zona climática parecida y con suelos semejantes, como ocurre, por ejemplo, en partes del municipio de El Peñol.

Obviamente la sencillez del método es una ventaja grande. Ambas variables tales como la pendiente mínima y el código topográfico se determinan fácilmente en el campo por capataces u obreros entrenados en la técnica, o aún pueden obtenerse de fotografías aéreas.

De la Fig. 7 se observa que para cierta pendiente, la disminución de 10 unidades en el C. T. está acompañado por una reducción de aproximadamente 1.3 m. en el índice de sitio. Esta es casi la misma reducción que ocurre al mantener el mismo C. T. y aumentar la pendiente en 10 grados. Así que para muchas aplicaciones prácticas será suficiente estimar la pendiente en clases de 5 o aún de 10 grados, simplificando aún más el trabajo.

Debe preguntarse cuál es la relación causal entre el crecimiento de *Cupressus*, la pendiente y la forma topográfica. Obviamente, ninguna de las últimas dos variables influye sobre el crecimiento directamente, sino que ambas condicionan una serie de factores que sí pueden influir sobre los procesos fisiológicos del árbol. Ambas influyen sobre el desplazamiento del agua sobre y dentro del suelo, que a su vez determina el desarrollo del suelo mismo, la disponibilidad de nutrientes y un complejo de otros factores. El aislamiento de los posibles factores que más directamente limitan el crecimiento es complicado y tema de otra investigación.

#### 4.4 Aplicación Práctica del Método.

En la práctica se presentan dos situaciones comunes donde este método podría aplicarse para estimar el índice de sitio antes de plantar. Primero, en proyectos de reforestación la estimación previa del índice de sitio permite concentrar las plantaciones de *Cupressus* en sitios buenos dejando los sitios de inferior calidad a otras especies menos exigentes (por ejemplo, *Pinus patula*). La clasificación puede hacerse por el capataz, en el mismo día de la plantación, el cual señala los límites con estacas para guiar a sus obreros. En la práctica, el valor principal del método no está en decir que ésta área tiene un índice de sitio igual a 14 m. y aquella área uno igual a 17 m., sino en mostrar tendencias, es decir, cuáles suelen ser los terrenos mejores y peores para el *Cupressus*. Esto se debe en parte a la precisión siempre limitada de métodos tan sencillos y al hecho de que un pequeño error en el índice de sitio conlleva un error grande en el volumen de madera que este lugar podría producir, especialmente para sitios buenos (Fig. 2).

Es poco probable que terrenos con índice de sitio inferiores a 13 m. vayan a ser económicamente valiosos para *Cupressus*. Por lo tanto, en la práctica, puede afirmarse que no se debe plantar sobre terrenos con un C. T. igual a 10, 20 ó 30, los cuales nunca alcanzarán un índice de sitio de 13 m. Así, las únicas formas topográficas que aún deben considerarse son aquellas con una curvatura cóncava al contorno, una regla muy fácil para recordar.

La segunda aplicación del método puede ser durante la evaluación de tierras con fines de reforestación. Es fácil hacer un muestreo de la propiedad por puntos sistemáticamente ubicados y estimar el índice de sitio de cada punto, para así tabular el número de puntos con un índice de sitio por encima de cierto límite. Esto dará una idea aproximada del área de la propiedad apta para plantaciones de *Cupressus*. Con buenas fotografías aéreas todo este muestreo probablemente puede hacerse con suficiente precisión en la oficina. También pueden delimitarse clases de índice de sitio sobre las fotografías.

#### SUMMARY

For young *Cupressus lusitanica* plantations in the Central Cordillera of the Department of Antioquia, Colombia, site index curves were derived, based on the measurement of 57 sample plots. By means of regression analysis a yield table was developed expressing the volume, basal area and diameter at breast height as a function of age and site index. The plantations were excessively dense and showed unusually large variations in growth between the different sites. Within a distance of only a few meters, site index (base age 15 years) may vary between 7 and 21 m, and standing volume at 15 years may range from 30 to 300 m<sup>3</sup>/ha. For the region of the Oriente Antioqueño a simple method of estimating site index before planting was developed, based on the slope and an ocular classification of the topographic concavity or convexity. This species seems to be exceptionally sensitive to site and its growth is slow on convex landforms.

#### B I B L I O G R A F I A

- BARRERA M., C. Tablas Volumétricas del *Cupressus lusitanica* Mill. para la Región de Piedras Blancas. Tesis. Facultad de Agronomía, U. N. Medellín. 248 pp. 1964.
- BENNETT, FRANK A. Growth and Yield of Slash Pine Plantations. Southeast Forest Expt. Sta., U. S. Forest Serv. Res. Paper SE-1, 23 pp., ill. 1963.
- BENNETT, F. A. C. E. McGEE, and J. L. CLUTTER. Yield of Old-Field Slash Pine Plantations. USFS Southeast Forest Expt. Sta. Paper 107, 19 pp. 1959.
- BRUCE, D. y F. X. SCHUMACHER, Medición Forestal. México, D. F. Editorial Herrero, S. A. 474 p. (Traducido del inglés por Ramón y José Meza N.) 1965.

- COILE, T. S. Soil and the Growth Forests. *Adv. Agron.* 4:329-398. 1952.
- COVELL, R. R. and D. C. McCLURKIN. Site Index of Loblolly Pine on Ruston Soils in the Southern Coastal Plain. *J. For* 65:263-264. 1967.
- FALLA R., A. Reforestación en Zonas Altas de América Tropical. FAO - Simposio Mundial sobre Bosques Artificiales y su Importancia Industrial. Vol. 2. Canberra. p. 1137-1164. 1967.
- 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.
- GRIFFITH, A. L. and P. HOWLAND, Preliminary yield tables for the cypresses of the *Cupressus lusitanica* group. *East African Agric. and Forestry Res. Org., Forestry Tech. Note* 11, 1961.
- HUSCH, B. *Forest Mensuration and Statistics*. The Ronald Press Co. N. Y. 474 p. 1963.
- JONES, JOHN R. Review and Comparison of Site Evaluation Methods. USDA. Forest Service Research Paper RM-51, 27 pp., ill. Rocky Mountain Forest and Range Experiment Station. Fort Collins Colorado. 1969.
- KORMANIK, Paul P. Predicting Site Index for Virginia, Loblolly and Shortleaf Pine in the Virginia Piedmont. *Southeast. Forest Expt. Sta., U. S. Forest Serv. Res. Paper* SE-20, 14 pp. ill 1966.
- PUDDEN, H. H. C. Quality Classification of Exotic Softwoods. I. *Cupressus lusitanica*. Height Indices Londiani and Elburgon Division. Kenya Forest Department, *Tech. Note* 56. 5 pp. 1958.
- RALSTON, CHARLES. W. Evaluation of Forest Site Productivity, en Romberger and Mikola (ed.). *An International Review of Forestry Research*, Vol. 1 pp. 171-201 Academic Press, N. Y. 1964.
- RENNIE, P. Methods of Assessing Forest Site Capacity. *Trans. Joint Meeting Comm. IV & V. Intern. Soc. Soil Sci. New Zealand* p. 770-785. 1962.
- SPURR, S. H. *Forest Inventory*. Ronald Press Co. N. Y. 476 pp. 1952.
- TAMM, C. O., T. TROEDSON, J. E. LUNDMARK, and O. PERSON, Forecasting Forest Yield from Observations of Site Characteristics. A Critical Discussion. XIV. IUFRO Congress Proc. Section 21 Munchen. 1967.
- TSCHINKEL, H. Primeros resultados de las parcelas permanentes de rendimiento en ciprés. Manuscrito sin publicar. Medellín, Dpto. de Recursos Forestales, Universidad Nacional de Colombia, 10 pp. 1971.