

Evaluación de incrementos en ensayos de aclareo para *Cupressus lusitanica* Miller en la región central de Costa Rica

*Evaluation of increments in thinning trials for **Cupressus lusitanica** Miller in central region of Costa Rica*

ELADIO CHAVES SALAS¹,
ORLANDO CHINCHILLA MORA²
y FERNANDO MORA CHACÓN²

¹ Universidad Nacional, Instituto de Investigación y Servicios Forestales, Escuela de Ciencias Ambientales, correos electrónicos: echaves1@ice.co.cr, el.chaves@hotmail.com.

² Universidad Nacional, Instituto de Investigación y Servicios Forestales, correos electrónicos: ochinchi@una.ac.cr, fmora@una.ac.cr, moraf2005@yahoo.com

Recibido: 10-05-12 / Aceptado: 31-10-12

Resumen

Se resume la respuesta de *Cupressus lusitanica*, a cuatro intensidades de aclareo, en dos sitios de Costa Rica: Paraíso y Tarbaca, con 18 y 23 años de registro, respectivamente. Se utilizó un diseño de bloques completos, con cuatro tratamientos y tres repeticiones en cada sitio. Se fijó un S% de 25, 23 y 21 (aclareos fuerte, moderado y leve) y un testigo. Se realizaron aclareos a las edades de 10, 13 y 19 años en Paraíso; 10, 13, 23 y 30 años en Tarbaca. Los aclareos fuerte y moderado favorecieron los crecimientos en diámetro y área basal en ambos sitios. En Paraíso, se encontró una diferencia en el diámetro del área basal promedio de 6,42 cm, entre el testigo y el S%=25, mientras que en Tarbaca, esta diferencia fue de 3,04cm, entre el S%=23 y el S%=21, ambos a la edad de 24 años. Tomando 30 cm como referencia, en Paraíso solo el 8% de los árboles tenían un diámetro superior en las parcelas testigo; con el S%=25, el 48% alcanzaron ese diámetro. En Tarbaca, 49,3% tenían ese diámetro en las parcelas S%=21 y un 65%, con un S%=23. Se recomiendan tres aclareos a las edades de 8, 12 y 16 años, manteniendo el S% entre 25 y 35.

Palabras clave: Ciprés, crecimientos, diámetro medio cuadrático, área basal, altura dominante.

Abstract

This article summarizes the response of *Cupressus lusitanica*, to four intensities of thinning, at two sites in Costa Rica: Paraíso and Tarbaca, with 18 and 23 years of records, respectively. A completely randomized block design with four treatments and three replications was used. The relative spacing index (S%) was chosen as the main thinning criterion. We set the S% at 25, 23 and 21 (heavy, moderate and light thinnings) and a control (no thinning). There were thinnings at ages 10, 13 and 19 years in Paraíso; 10, 13, 23 and 30 years in Tarbaca. Strong and moderate thinnings favored growth in diameter and basal area at both sites. Paraíso showed a difference in average basal area diameter of 6,42 cm between the control and the S%=25, while in Tarbaca this difference was 3,04 cm between the S%=23 and the S%=21, both at the age of 24. With 30 cm as a reference, in Paraíso only 8% of trees were larger in diameter at the control plots; while at S%=25, 48% reached this diameter. In Tarbaca, 49,3% reached this diameter at the control plots and 65% at S%=23. We recommend three thinnings at ages 8, 12 and 16 years, maintaining the S% between 25 and 35%.

Key words: Cypress, growth, mean square diameter, basal area, dominant height.

1. Introducción

El ciprés (*Cupressus lusitanica* Miller) es una especie forestal, cuya distribución natural se extiende desde el sur de México, Guatemala, Honduras hasta El Salvador. Es una de las especies que más se cultiva en las zonas altas de la región centroamericana, entre 1.800 y 2.100 m de altitud, principalmente para la producción de madera, o como cortina rompe vientos en cultivos agrícolas y pastizales

o como planta ornamental. En Costa Rica, además de estos usos, es muy usada para árboles de navidad en turnos cortos de uno o dos años y con fines ornamentales en parques urbanos (Chaves y Fonseca, 1991).

Fue una de las primeras especies introducidas en Costa Rica, lo cual de acuerdo con Holdridge (1953); Goitía (1954) y Bucarey (1967), se dio entre 1880 y 1885, durante esa época se plantó en las zona de Carrizal de Alajuela y en las faldas del vol-

cán Barva, en Heredia de ahí se diseminó por las provincias de Alajuela, Cartago, Heredia y San José y hoy día es una especie que forma parte del paisaje de las tierras altas (Chaves y Fonseca, 1991). Así mismo, Quirós (1988) reportó varias introducciones de esta especie y mencionó que probablemente se dieron muchas otras que no se han reportado. Por lo tanto, el Ciprés que existe hoy en día, en Costa Rica, es producto de una combinación de las distintas introducciones que se han dado desde el siglo XIX. El Ciprés figura entre las especies de árboles plantadas en el país como la más reconocida, para uso en la construcción, según un estudio de Demoscopia (2003), citado por (Morales, 2010).

Esta especie se plantó en forma creciente en la década de los 80's y un gran porcentaje del área plantada se estableció en las zonas altas cercanas a los sitios de más alta densidad de población en Costa Rica. Hasta 1996 se habían plantado 4908 hectáreas (Minae, 1996). A partir de ese año, no se han establecido programas de reforestación, debido a que los sitios de plantación compiten con el desarrollo urbanístico que resulta más rentable. A pesar de que el área plantada no es extensa, si es muy importante, porque existen muchas áreas pequeñas ocupadas con esta especie y existen industrias que se han especializado en su madera.

Se puede citar una buena cantidad de estudios realizados para Ciprés en América Latina. En el campo del mejoramiento genético y de las procedencias hay una diversidad de trabajos realizados en Costa Rica y Colombia: Soares (1973); Zeazer (1973); Gutiérrez (1977); Gutiérrez y Ladrach (1978); Ladrach y Gutiérrez (1979); Vélez (1984); Ladrach y Pereira (1987); Osorio (1987); Quirós (1988) y Rodríguez (1997).

Taxonómicamente, por la variedad de formas que exhibe, existen problemas de nomenclatura, que se dificultan aún más por la hibridación entre ellas; en general, los botánicos encuentran diferencias entre las especies *C. lusitanica*, *C. benthamii* y *C. lindeleyi* (FAO, 1967), pero como no hay un acuerdo entre ellos se consideró el *C. lusitanica*, en el sentido más amplio sin intentar diferenciar entre ellas (Bannister y Orman, 1960). En el campo del manejo silvicultural se han estudiado los aclareos, los rendimientos y la calidad de sitio en Costa Rica, por parte de la Universidad Nacional, en el marco del proyecto ensayos de aclareos en plantaciones

forestales, tales como Chinchilla (1989), Chaves y Chinchilla (1989), Chaves *et al.* (1996) y otros como Alfaro (1983), Groenendijk (1983), Hughell y Chaves (1990) y Moya y Muñoz (2010). También se han desarrollado algunos trabajos por parte del Catie, principalmente como tesis de grado (Goitia, 1954; Bucarey, 1967; Fernández, 1971) y otros realizados en Colombia (Tschinkel, 1972; del Valle, 1975).

Con este estudio, se pretende dar los elementos necesarios para el manejo de la densidad en plantaciones de Ciprés, con la finalidad de producir madera para aserrío, al evaluar diferentes intensidades de aclareo, con el fin de determinar el nivel óptimo de espesura de esta especie en las zonas de estudio. En la plantación de Paraíso, se realizaron un total de tres aclareos a las edades de 10, 13 y 19 años, este ensayo se midió hasta los 24 años. En la plantación de Tarbaca, se realizaron un total de cuatro aclareos a las edades de 10, 13, 23 y 30 años y queda pendiente el aprovechamiento de la masa remanente.

Estos estudios son de mucha importancia, ya que permiten determinar los rendimientos a las diferentes edades. La densidad del rodal es el segundo factor en importancia, después de la calidad de sitio, para determinar de la producción forestal (Daniel *et al.*, 1982), porque es el principal factor que el silvicultor puede manejar durante el desarrollo de una plantación.

2. Materiales y métodos

La plantación de Paraíso, se localiza en la provincia de Cartago, tiene una extensión de 4 ha y se estableció en 1973, con una densidad original de 1.600 árboles/ha. El sitio presentó una precipitación promedio de 2.550 mm, con un período seco de tres meses (enero a marzo), los meses más lluviosos fueron septiembre y octubre. La temperatura media anual fue de 18,4°C (Instituto Meteorológico Nacional, 1981). Con una altitud de 1.400 msnm. Los suelos son poco profundos, la profundidad efectiva fue de 30 cm, de textura arcillosa de franco arcillosa, con un pH ligeramente ácido de 5,5. El contenido de magnesio se encuentra por debajo del nivel crítico (3,2 cmol/kg); el contenido de fósforo (2,0 mg/kg), potasio (0,29 mg/kg) y de calcio (4,25 cmol/kg) fueron bajos de acuerdo con los paráme-

tros de fertilidad de los análisis de suelo (Alfaro, 1983), con un relieve plano y pendientes entre 5 y 10%.

La plantación de Tarbaca, se localiza en la provincia de San José, posee una extensión de 5 ha y se estableció en 1972, con una densidad original de 1.300 árboles/ha. El sitio presentó una precipitación promedio de 2148 mm, con un período seco de tres meses (enero a marzo), los meses más lluviosos fueron septiembre y octubre. La temperatura media anual fue de 19,4 °C (Instituto Meteorológico Nacional, 1981), a una altitud de 1.775 msnm. Los suelos son medianamente profundos, la profundidad efectiva es de 50 cm, de textura arcillosa de franco arenosa a franco arcillosa, con un pH ligeramente ácido de 5,68, el contenido de magnesio se encuentra por debajo del nivel crítico (2,36 cmol/kg); el contenido de fósforo (2,8 mg/kg), de potasio (0,31 mg/kg) y de calcio (6,25 cmol/kg), fueron bajos de acuerdo con los parámetros de fertilidad de los análisis de suelo (Alfaro, 1983). El terreno presenta un relieve inclinado, con pendientes entre 10 y 50%.

Para los ensayos, se utilizó un diseño de bloques completos al azar (Cochran y Cox, 1980; Steel y Torrie, 1986), con cuatro tratamientos y tres repeticiones, en cada sitio. Para demarcar las parcelas, se siguió la metodología de parcelas permanentes

de aclareo y rendimiento (Voorhoeve y Schulz, 1968; Silva, 1971). Las parcelas dentro de los bloques se trataron de ubicar en condiciones homogéneas de densidad. Cada árbol fue identificado con un número y el punto de medición del diámetro se marcó con un anillo de pintura a 1,30 m sobre el nivel del suelo. En cada sitio, se demarcó un total de 12 parcelas, en tres bloques, el tamaño de cada parcela fue de 500 m², las cuales se subdividieron en subparcelas de 100 m² para facilitar la medición de la altura dominante. Cada parcela se identificó con un número romano, pintado sobre uno de los árboles dominantes, cercanos al centro de la parcela (Figura 1).

Como parámetro de aclareo se utilizó el índice de espaciamiento relativo (S%, Ecuación 1, Voorhoeve y Schulz, 1968; Silva, 1971; Kamuru, 1983), que se define como:

$$S\% = a/h_{dom} * 100 \quad (Ec.1)$$

Donde:

a = distancia promedio de los árboles, suponiendo un espaciamiento triangular (m)

h_{dom} = altura dominante promedio (m).

Los tratamientos se asignaron al azar, dentro de cada bloque, estos se fijaron dejando un S% de 25,



Figura 1. Demarcación de la parcela permanente en una plantación de Ciprés (*C. lusitanica* Miller) con una alta densidad.

23 y 21, que se consideraron como aclareos fuerte, moderado y leve respectivamente, más un tratamiento testigo. En la plantación de Tarbaca, este testigo se raleó a los 13 años, para dejarlo en un S%=20. En la plantación de Paraíso, si se mantuvo el testigo, aunque se presentó mucha caída de árboles en las parcelas en las que se asignó este tratamiento. El análisis estadístico se basó en un diseño de bloques completos al azar, con diferente número de observaciones por tratamiento (ocupación múltiple), con cuatro tratamientos y tres repeticiones (Cochran y Cox, 1980; Steel y Torrie, 1986). Las condiciones iniciales de la masa, en ambos sitios, se presentan en el cuadro 1, cada cifra es un promedio de las tres parcelas que le correspondió a cada tratamiento.

El diámetro de todos los árboles se midió anualmente, durante los mismos meses, con cinta diamétrica, a la altura de 1,30 m sobre el nivel del suelo, hasta la edad de 30 años, en Tarbaca. También se midió la altura total del diez por ciento de los árboles más altos de cada parcela (altura dominante) con vara telescópica y con escaleras; posteriormente, se utilizó el hipsómetro electrónico VertexIII. Después de los 30 años, las mediciones se realizaron cada dos años y la última medición se realizó con un intervalo de 5 años. Se analizaron los incrementos en diámetro, área basal y altura dominante, en cada ciclo de aclareo definido este

“como el tiempo transcurrido entre dos aclareos sucesivos” (Johnston *et al.*, 1967).

Para Tarbaca, se analizó el incremento en diámetro, en área basal y en altura, entre los años 10 y 14; 14 y 23; 24 y 30 y 31 y 37, después de cada aclareo. En Paraíso, los análisis se realizaron del año 10 al 13, del 14 al 19 y del 20 al 24, año en que se realizó la última medición; con el fin de analizar el comportamiento de la masa residual después de cada intervención. Para el análisis de los datos se calcularon los incrementos porcentuales que reflejan mejor cuál fue la ganancia en diámetro, en área basal y en altura debido a los aclareos (Husch *et al.*, 1982), utilizando la ecuación 2:

$$I(x) = (M_2 - M_1) / M_1 \quad (\text{Ec.2})$$

Donde:

I(x) = Incremento (en diámetro, área basal, altura, etc.)

M₂ = Segunda medición (al final del período).

M₁ = Primera medición (al inicio del período).

La ecuación 2 permitió conocer cuál fue el aumento en diámetro, área basal y altura dominante, partiendo de un diámetro, un área basal y una altura conocidas. Como los datos están distribuidos entre 0 y 1, para cumplir con uno de los postulados del análisis de varianza, los datos fueron transformados por el método del arco seno raíz de la cuadrada del incremento (Ecuación 3) (Steel y Torrie, 1986).

Cuadro 1. Condiciones iniciales de la masa forestal para los ensayos de aclareos en plantaciones de Ciprés (*C. lusitanica*) a la edad de 10 años. Paraíso y Tarbaca, Costa Rica.

Tratamiento (Aclareo)	N/ha	Dg (cm)	S%	Área basal (m ² /ha)	Altura dominante (m)	Índice de sitio (m)
Paraíso, Cartago						
Control	1293	15,58	21,63	24,66	14,12	21,80
(S%=21)	1220	15,81	22,6	23,3	13,95	21,58
(S%=23)	1460	15,15	19,6	26,1	13,77	21,34
(S%=25)	1170	15,40	22,5	22,3	14,35	22,11
Tarbaca, San José						
Control (S%=20)	1427	16,34	19,34	29,90	14,84	22,75
(S%=21)	1660	15,53	22,73	22,79	14,16	21,86
(S%=23)	1427	17,63	17,65	35,51	15,47	23,57
(S%=25)	1427	17,62	19,20	23,25	15,33	23,39

$$\text{Sen}^{-1} = \sqrt{I(x)} \quad (\text{Ec. 3})$$

Los análisis de varianza se complementaron, en todas las ocasiones, con varias pruebas de medias (DMS, Tukey, Dunnett, Scheffe, Waller-Duncan y Duncan, con desigual número de repeticiones), con un *alfa* de 0,05. La agrupación de medias para las diferentes pruebas fue muy similar, se escogió la prueba de Duncan con desigual número de repeticiones, para efectos de este artículo. Los análisis se realizaron con el paquete estadístico SAS versión 9.2 (SAS Institute, 2010).

3. Resultados y Discusión

3.1 Plantación de Paraíso

A la edad de 10 años (1983), la plantación presentó en promedio para los tres tratamientos un índice de espaciamiento relativo (S%) de 21,58%, un área basal promedio de 24,09 m²/ha, un diámetro pro-

medio de 15,49 cm, una altura dominante de 14,04 m, las demás variables aparecen en el cuadro 1. Por el estado de la masa forestal no todas las parcelas que les correspondió el tratamiento de S%=21 recibieron el aclareo; aunque si se establecieron, al inicio del ensayo, los distintos niveles de espaciamiento relativo (S%) para todos los tratamientos. Esto se puede ver reflejado en las figuras 2a y 2d.

3.1.1 Primer ciclo de aclareo

Se analizó la respuesta de la plantación de Ciprés, al primer aclareo realizado en 1983. Durante este período, el efecto de los bloques y los tratamientos resultaron altamente significativos para los incrementos en diámetro, área basal y altura, o sea que se obtuvo una muy buena respuesta de la plantación a los aclareos realizados (Cuadro 2).

Para los tratamientos, la prueba de medias para el diámetro y el área basal, discriminó cada uno de ellos con diferencias significativas. Para el incremento en altura dominante, la prueba de medias separó los tratamientos en tres grupos; uno

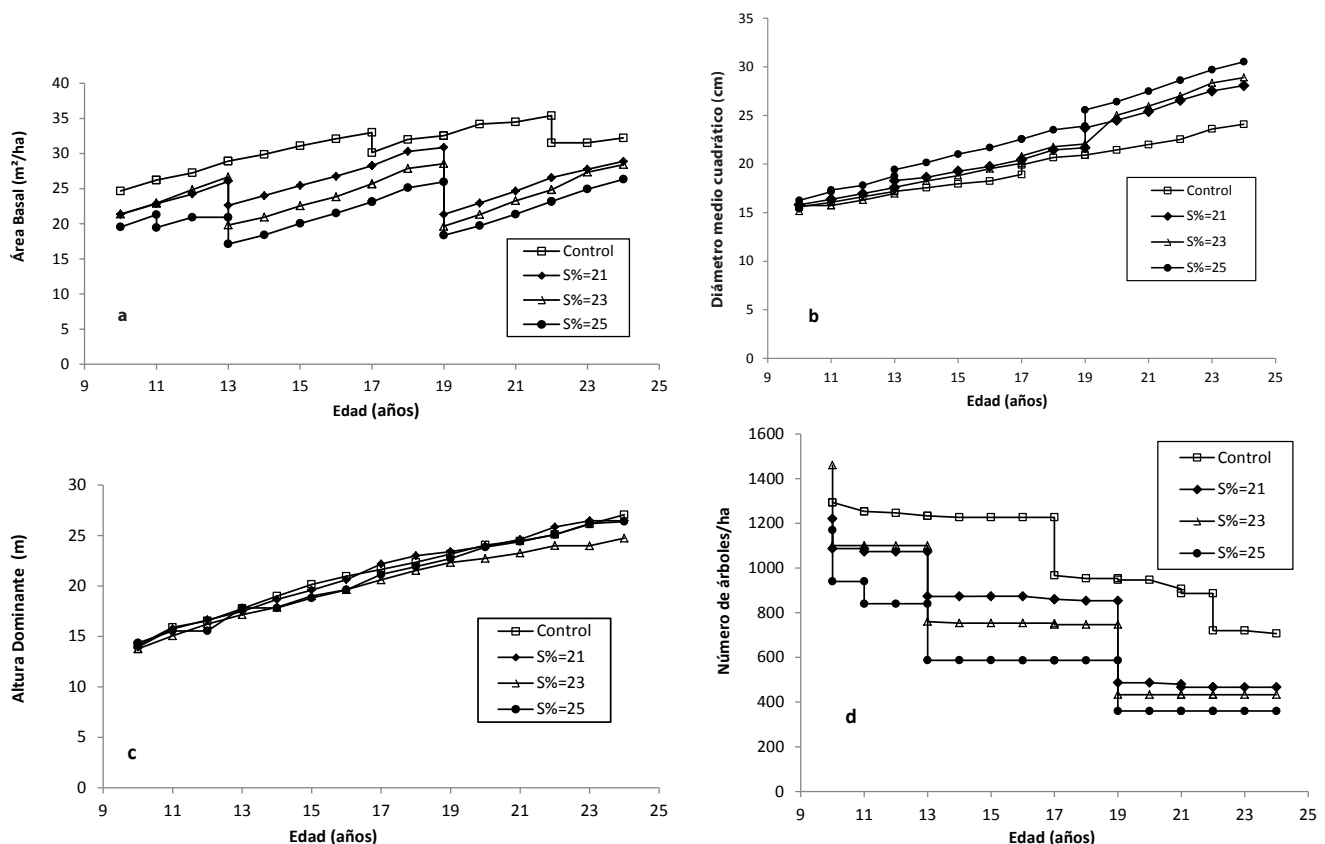


Figura 2. Área basal (a), diámetro medio cuadrático (b), desarrollo de la altura dominante (c) y número de árboles sobre la edad (d) para los diferentes tratamientos de aclareos, en una plantación de Ciprés (*C. lusitanica*), Paraíso, Cartago, Costa Rica.

Cuadro 2. Análisis de varianza y prueba de medias para diámetro (cm), área basal (m²/ha) y altura (m), entre las edades 10 y 13, para plantaciones Ciprés (*C. lusitanica*) sometido a diferentes intensidades de aclareo en Paraíso, Cartago, Costa Rica.

Fuente de variación	GL	Diámetro		Área basal		Altura			
		C.M.	F	C.M.	F	C.M.	F		
Bloque	2	442,12	22,27 0,00	1204,90	21,92 0,00	268,74	12,04 0,00		
Trat.	3	508,05	25,59 0,00	1381,67	25,14 0,00	153,89	9,29 0,00		
Bloque x Trat.	6	140,53	7,08 0,00	379,35	6,90 0,00	96,37	4,31 0,00		
Error	d y ab	618	19,85	54,96					
	Altura	106				22,38			
Prueba de Medias (Duncan) alfa = 0,05									
		Diámetro		Área Basal		Altura			
Trat.	N	Media	G	Media	G	Trat.	N	Media	G
S%=25	125	20,99	a	31,87	a	S%=25	29	32,02	a
S%=23	164	19,88	b	29,95	b	Control	30	29,25	b
S%=21	157	18,86	c	28,28	c	S%=21	32	28,26	bc
Control	184	16,74	d	24,84	d	S%=23	27	26,00	c

Legenda: Cifras en negrita = Probabilidad de que la F calculada sea mayor que la F tabulada (P>F); Trat. = Tratamientos; Media = Corresponde al incremento del período transformado; G = Grupos según la prueba de medias; GL= Grados de libertad N = Número de muestras

formado por el aclareo fuerte (S%=25), otro grupo formado por los tratamientos de aclareo moderado y leve (S% 23 y 21) y el último formado por los tratamientos leve (S%=21) y el control. Esto nos indicó que para estos rangos de densidad, afectaron de forma significativa, los incrementos en altura dominante. En cuanto al diámetro, la mayor media de incremento relativo le correspondió al tratamiento S%=25, con una media de 20,99 y la menor le correspondió al tratamiento testigo con 16,74, estas medias fueron calculadas con la ecuación 2 y transformadas con la ecuación 3. En términos reales se puede decir que para S%=25, los diámetros crecieron en promedio un 12,83% del diámetro que tenían al inicio del periodo. Para el tratamiento testigo el incremento diamétrico fue de solo un 8,3%. Para el área basal, la mayor media le correspondió al tratamiento de S%=25, con 31,87, lo que significó que este tratamiento creció en este ciclo un 27,88% del área basal que tenía al inicio del ensayo; para el aclareo testigo ese incremento fue de solo 24,84, con un 17,65% del área basal, que presentó al inicio

del ciclo, estas medias fueron calculadas y transformadas de la misma forma que con el diámetro (Cuadro 2).

En caso del área basal extraída por hectárea, con el tratamiento de S%=25, se cortó 4,61 m²/ha, del área basal y 4,72 m²/ha, en el tratamiento de S%=23 y solo 1,96 m²/ha, en el tratamiento de S%=21 (Figura 2a).

En términos absolutos se determinó un crecimiento en el diámetro del área basal promedio (dg), para el primer ciclo, de 3,37 cm para el aclareo de S%=25 y de 1,81 cm para el aclareo de S%=23, 1,77 cm para el aclareo S%=21 y 1,60 cm para el testigo (Figura 2d).

En la mayoría de las especies, se ha encontrado que una intervención temprana ayuda a que los árboles desarrollen una copa más amplia y alcancen un mayor crecimiento en diámetro. En este sentido, los resultados concuerdan con lo encontrado por Karani (1976) quien determinó que a mayor espacio entre los árboles, mayor el incremento del diámetro y mayor densidad este incremento decre-

ce. A pesar de que las coníferas reaccionan rápidamente a las intervenciones, una área basal de 24,73 m²/ha, a la edad de 10 años y 28,91 m²/ha, fue un factor limitante para el crecimiento de Ciprés, en suelos medianamente profundos como los encontrados en Paraíso.

En cuanto al incremento relativo de la altura dominante se registraron diferencias significativas entre los tratamientos y entre bloques, lo cual confirma que el efecto de los tratamientos pudo afectar el crecimiento en altura, dentro de este rango de área basal (de 19,46 a 28,92 m²/ha) o que este comportamiento este asociado a la calidad de sitio. La prueba de medias separó de aclareo fuerte (S%=25) los demás tratamientos, un segundo grupo formado por los tratamientos control y el aclareo leve (S%=21), el tercer grupo los tratamientos moderado (S%=23) y leve. El mayor incremento lo presentó el tratamiento S%=25 con una media de 32,02 y el menor incremento lo presentó el tratamiento S%=23 con 26,0, es decir un incremento de 28,11% con respecto a la altura al inicio del ciclo para el aclareo S%=25 y un 19,22% para el tratamiento de S%=23 (Cuadro 2, Figura 2c).

El mayor número de árboles se cortó en el aclareo de S%=23, que pasó de 1460 a 1100; es decir, se cortó 360 árboles/ha (25% de los árboles existentes), mientras que en el aclareo de S%=21, se pasó de 1.220 a 1.087, con el menor número de árboles cortados, (una disminución de un 11%, Figura 2d). De acuerdo con la definición del índice de espaciamiento relativo, un S%=25 lo que busca es que la distancia entre los arboles sea un ¼ de la altura dominante y que conforme los arboles ganan en altura, cuenten con un mayor espacio para el crecimiento (Voorhoeve y Schulz, 1968; Silva, 1971; Kamuru, 1983).

En los tratamientos de aclareo, el mayor crecimiento está asociado a dos factores: 1) la eliminación de los arboles más pequeños y 2) un mayor espacio entre los individuos, que favorece el crecimiento de los arboles remanentes. Malimbwi *et al.* (1992) quienes trabajaron con efecto del espaciamiento sobre el rendimiento y algunas propiedades de la madera del *C. lusitanica*, en el noreste de Tanzania, encontraron que la supervivencia, dap y diámetro de ramas fueron afectadas por el espaciamiento. A mayor espaciamiento, menor mortalidad, pero mayor diámetro de ramas y mayor dap, pero una menor producción en volumen. Por eso

es importante determinar el rango en que se mantiene buen crecimiento en diámetro pero con una ocupación óptima de sitio.

3.1.2 Segundo ciclo de aclareo

En este segundo ciclo se analizó el comportamiento de la masa residual entre el segundo aclareo, que se realizó a los 13 años (en 1986), hasta el año 19 antes de realizar el tercer aclareo. A los 13 años, el área basal de las parcelas testigo había alcanzado 28,92 m²/ha, y un S%=16,16. Para esta segunda intervención, todas las parcelas establecidas recibieron los diferentes tratamientos (Figura 2a), lo cual creó diferentes rangos de densidad, lo que permitió determinar el rango óptimo en que debe mantenerse el área basal, con el fin de maximizar el crecimiento diamétrico de esta especie. El tratamiento S%=21 pasó de 26,05 m²/ha a 22,62 m²/ha, mientras que el aclareo S%=25, pasó de 20,93 m²/ha a 17,12 m²/ha. Pero la mayor área basal, cortada le correspondió al tratamiento S%=23 que pasó de 26,67 m²/ha a 19,82 m²/ha (Figura 2a).

La densidad fue un factor crítico que se manifestó con la muerte de árboles oprimidos en las parcelas testigo. En Paraíso, se observó que muchos de los árboles que se habían cortado en el año 10, sus tocones permanecían vivos ya que mostraban un callo de crecimiento periférico, esto fue posible, por el traslape de raíces con árboles dominantes; por lo tanto, a la edad de 17 años, se cortaron todos los árboles en condición suprimida en las parcelas testigo (Figuras 2a y 2d).

El efecto de los tratamientos y de los bloques, sobre el incremento diamétrico y en el incremento en área basal, resultó altamente significativo, o sea, que existen diferencias marcadas entre los diferentes bloques y los tratamientos. Esto se puede atribuir a que en este segundo período de análisis se marcaron más las diferencias de densidad entre los distintos tratamientos, quedando los niveles del número de árboles y del área basal aún más definidos. Para el incremento en altura dominante, no se detectaron diferencias significativas entre los tratamientos; pero si entre bloques, dicha altura se consideró como independiente de la densidad, para un rango de área basal que va desde los 17,12 m²/ha hasta los 30,13 m²/ha (Cuadro 3).

Para el incremento diamétrico y en área basal, la prueba de medias, separó cada uno de ellas de acuerdo a la intensidad de aclareo. Así que la prue-

Cuadro 3. Análisis de varianza y prueba de medias para diámetro (cm), área basal (m²/ha) y altura (m), entre las edades 13 y 19, para plantaciones Ciprés (*C. lusitanica*) sometido a diferentes intensidades de aclareo en Paraíso, Cartago, Costa Rica.

Fuente de variación	GL	Diámetro		Área basal		Altura			
		C.M.	F	C.M.	F	C.M.	F		
Bloque	2	261,44	6,29 0,00	1070,83	7,46 0,00	258,03	18,22 0,00		
Trat.	3	1282,14	30,86 0,00	4542,75	10,34 0,00	10,77	0,76 0,52		
Bloque x Trat.	6	141,91	3,42 0,00	439,28	3,06 0,00	47,24	3,34 0,01		
Error	d y ab	458	41,54	143,51					
	Altura	88				14,16			
Prueba de Medias (Duncan) $\alpha = 0,05$									
		Diámetro		Área Basal		Altura			
Trat.	N	Media	G	Media	G	Trat.	N	Media	G
S%=25	88	28,04	a	45,49	a	S%=21	28	34,59	a
S%=23	112	25,74	b	41,19	b	S%=25	25	34,21	a
S%=21	128	22,78	c	35,41	c	S%=23	23	34,09	a
Control	142	20,13	d	30,72	d	Control	24	33,73	a

Legenda: Cifras en negrita = Probabilidad de que la F calculada sea mayor que la F tabulada ($P > F$); Trat. = Tratamientos; Media = Corresponde al incremento del período transformado; G = Grupos según la prueba de medias; GL = Grados de libertad N = Número de muestras

ba de medias, ubicó el tratamiento S%=25, como el de mayor crecimiento con una media de 28,46 y el testigo, como el menor, con media 20,13, sugiriendo que las mayores densidades están afectando los incrementos en diámetro y área basal (Cuadro 3). Para el diámetro con el S%=25, creció 22,71% y el de S%=23 un 18,86%; con un menor incremento, el S%=21 creció 15% y el testigo solo un 11,8%. Para el área basal, con el aclareo S%= 25 creció un 50,86%, y con el S%=23 un 43,37%; mientras que, para el aclareo S%=21 el crecimiento fue de 33,6% y para el testigo de solo un 26,1% (Cuadro 3). En este caso (tratamiento S%=25), los árboles al contar con un mayor espacio crecimiento duplicaron el crecimiento en área basal con respecto del testigo (Figuras 2a y 2d).

En general, la literatura reporta datos del comportamiento de la masa forestal después de algunos tratamientos realizados, pero es difícil encontrar sitios con estudios de largo plazo que reporten el comportamiento de las masas forestales del *C. lusitanica*, después de varias intervenciones. Como ejemplo, Karani (1976), reportó el comportamiento

del Ciprés, con edades entre los 9 y 19 años de edad, en dos localidades en Uganda, pero no hay reportes sobre el desarrollo posterior de dichas plantaciones. Como parte del problema de los estudios a largo plazo, Muchirri (1993) reportó que la mayoría de las plantaciones de *C. lusitanica*, en el distrito de Kiambu, Kenia, no siguieron las recomendaciones de manejo establecidas por las autoridades nacionales y las plantaciones de mayor edad fueron cortadas antes del turno establecido.

En general el sitio de Paraíso, se consideró apropiado para el crecimiento de la especie, de acuerdo a Chinchilla (1989), el índice de sitio fue de 22,8 m que se consideró relativamente bueno para esta especie.

En el segundo ciclo, el incremento de Ciprés se mantuvo, tanto en diámetro, área basal como en altura dominante y no dio indicios de deceleración. Es muy importante realizar los aclareos cuando la plantación alcanza el incremento corriente máximo (igual *ica* máximo), para concentrar el potencial productivo del sitio en los árboles de la cosecha futura. La mayoría de las especies, muestra creci-

mientos similares a una ese (S) alargada que disminuyen conforme se avanza en edad (Johnston *et al.*, 1967).

A diferencia del primer ciclo del aclareo, en este segundo ciclo de aclareo, no se encontraron diferencias significativas en la altura dominante. El mayor incremento lo presentó el tratamiento de aclareo S%=21, con una media de 34,59, seguido por el tratamiento de S%=25 y los tratamientos de S%=23 y testigo (Cuadro 3). En términos porcentuales la altura creció un 32,2%, con el S%=21 y un 30,8% con el testigo. En general, la plantación presentó un crecimiento en altura dominante muy uniforme, que no se vio afectado por los tratamientos (Figura 2c).

En cuanto al número de árboles, este se bajó de 1073 a 873 árboles/ha con S%=21, (se cortó el 19% de los árboles), con S%=23, se pasó de 1.100 a 760 árboles/ha, (se cortó el 31% de los árboles) y con S%=25, de 840 árboles/ha se dejaron 587 árboles/ha, (se cortó el 30%) (Figura 2d). Estos números fueron mayores al sugerido por Hughell y Chaves (1990), quienes hicieron aclareos más intensivos, con el número de árboles, como criterio de aclareo recomendaron dejar 387 árboles/ha a los 20 años. Por otra parte Kamuru (1983), propuso para Kenia, un sistema de aclareos para *C. lusitanica*, que combinó la altura y el número de árboles; el primer aclareo lo realizaron cuando la plantación tenía una altura promedio de 11,25 m, eliminando el 55% de los árboles. Los raleos posteriores los realizaron cada 5 años, para alcanzar una densidad final de 266 árboles/ha, manteniendo un S% entre 18 y 30, dependiendo de la calidad de sitio.

A pesar de que se cortaron los árboles oprimidos en las parcelas testigo, estas mantuvieron una alta densidad de la masa forestal, implicando una fuerte competencia entre los árboles. Estas parcelas dan una idea del número máximo de árboles que pueden soportar los sitios similares al sitio bajo estudio, en ese momento la especie alcanza la "ocupación total del sitio", cuando se presenta el aclareo natural en la masa; esto es un indicador del "área basal máxima" que puede soportar un sitio (Johnston *et al.*, 1967). En el "manejo oportuno" se deben de realizar las intervenciones antes de que se presente una competencia excesiva; si el objetivo es maximizar el crecimiento de la plantación, no es aconsejable esperar a que se dé el aclareo natural para intervenir una masa forestal. En su tabla

de rendimiento, Groenendijk (1983), recomendó dejar 637 árboles/ha, para una edad de 12 años, en un índice de sitio 34; así mismo sugirió aclareos a los 6 años y un segundo a los 9 años, manteniendo el S% entre 31 y 20 hasta los 20 años, y reducirá S%=18, en edades mayores a los 25 años.

3.1.3 Tercer ciclo de aclareo

Para el tercer ciclo (1992-1997) se analizó el comportamiento de la masa forestal, después tres aclareos sucesivos (1983, 1986 y 1992). Al igual que en el segundo ciclo, se crearon diferentes rangos de densidad, lo que permitió determinar el rango óptimo en el que se debe mantener el área basal, para obtener el mayor crecimiento de esta especie. El tratamiento S%=25 redujo el área basal de 25,97 m²/ha a 18,37 m²/ha, mientras para el S%=23, se pasó de 28,55 m²/ha a 19,64 m²/ha. La mayor área basal cortada, le correspondió al tratamiento S%= 21 que pasó de 30,87 m²/ha a 21,34 m²/ha (Figura 2a). A pesar de que el parámetro que se usó fue el índice de espaciamiento relativo (S%), las áreas basales guardaron las diferencias con las diferentes intensidades del aclareo. Por otra parte, las parcelas testigos presentaron un área basal de 35 m²/ha, y se caracterizaron por presentar muchos individuos (953 árboles/ha) muy altos y delgados que se cayeron por efecto del viento, lo que causó una disminución en el área basal (Figura 2a).

El análisis de varianza y la prueba de medias para el tercer ciclo, va desde el año 19 hasta la edad de 24 (último año que se midió este ensayo, 1997). El efecto de los bloques y los tratamientos sobre el incremento diamétrico y el incremento en área basal, en este período, resultó altamente significativo para el desarrollo de la plantación de Ciprés (Cuadro 4).

Para el diámetro, los mejores incrementos relativos se obtuvieron en los tratamientos de S%=23, con media de 26,44 cm, S%=25, con 26,03 cm y tratamiento de S%=21, con 18,01 m. En este periodo que el tratamiento de S%=23, superó al tratamiento de S%=25. Los tratamientos de aclareo presentaron diferencias significativas con respecto al testigo, pero no entre ellos (Cuadro 4). La prueba de medias estableció dos categorías de incremento en diámetro y en área basal. Para los tratamientos de aclareo y el testigo estas diferencias fueron significativas. La especie respondió de manera efectiva a los tratamientos; con aclareos más fuertes se produjeron

Cuadro 4. Análisis de varianza y prueba de medias para diámetro (cm), área basal (m²/ha) y altura (m), entre las edades 19 y 24, para plantaciones Ciprés (*C. lusitanica*) sometido a diferentes intensidades de aclareo en Paraíso, Cartago, Costa Rica.

Fuente de variación	GL	Diámetro		Área basal		Altura			
		C.M.	F	C.M.	F	C.M.	F		
Bloque	2	57,08	3,67 0,02	647,38	4,58 0,01	15,34	1,74 0,18		
Trat.	3	1093,79	25,54 0,00	3179,61	22,49 0,00	6,71	0,76 0,52		
Bloque x Trat.	6	60,64	1,42 0,21	205,96	1,45 0,19	5,84	0,66 0,68		
Error	d y ab	278	42,83	141,37					
	Altura	80				8,79			
Prueba de Medias (Duncan) alfa = 0,05									
		Diámetro		Área Basal		Altura			
Trat.	N	Media	G	Media	G	Trat.	N	Media	G
S%=23	65	26,44	a	41,81	a	Control	19	23,24	a
S%=25	54	26,03	a	41,20	a	S%=21	23	22,86	a
S%=21	70	25,26	a	40,24	a	S%=25	22	22,61	a
Testigo	101	18,01	b	27,49	b	S%=23	28	22,14	a

Legenda: Cifras en negrita = Probabilidad de que la F calculada sea mayor que la F tabulada (P>F); Trat. = Tratamientos; Media = Corresponde al incremento del período transformado; G = Grupos según la prueba de medias; GL= Grados de libertad N = Número de muestras.

mayores incrementos, lo que coincide con los resultados de Kamuru (1983) en Kenia.

Para el área basal, se observó el mismo comportamiento que para el diámetro, solo que las diferencias en los incrementos en área basal fueron más marcados; la mayor media se presentó en S%=23, con 41,81 m²/ha, con un incremento de 44,4% respecto de la existente a los 19 años. El testigo presentó una media de 27,49 m²/ha, con 21,3% de incremento (Cuadro 4). El tratamiento de aclareo S%=23 después del año 20 superó a otros aclareos que habían mostrado un mayor incremento en los ciclos anteriores. Los tratamientos de aclareo, crecieron casi el doble del tratamiento testigo, como se refleja en el cuadro 4 y la figura 2b.

En cuanto al incremento en altura dominante, no hubo diferencias significativas entre los tratamientos, confirmando que la densidad no afectó, el crecimiento en la altura dominante (Cuadro 4), lo que sugiere que el Ciprés, puede soportar altas densidades sin afectar el crecimiento de esta variable. El crecimiento en altura dominante fue muy similar, para todos los tratamientos a lo largo distintos

ciclos (Figura 2c). La prueba de medias no encontró diferencias significativas entre el tratamiento de S%=25 y el testigo. En este caso, a diferencia de los ciclos anteriores, el tratamiento testigo alcanzó el mayor incremento, con una media de 23,24 cm, esto significa que creció un 15,57% más respecto a la altura al año 19, con lo cual se demostró que el incremento en altura dominante se puede considerar independiente de la densidad (Cuadro 4).

En cuanto al número de árboles se bajó de 853 a 487 árboles/ha, con el S%=21, o sea, se cortó el 57% de los mismos, con el S%=23, se pasó de 747 a 433 árboles/ha, se cortó 42% y con el S%=25 se eliminó el 38,7% y quedaron 360 árboles/ha (Figura 2d). Este número de árboles fue mayor al sugerido por Hughell y Chaves (1990) quienes propusieron un sistema de manejo más intenso. Pero fue muy similar a los 456 árboles/ha sugerido por Groenendijk (1983), para un índice de sitio 34, en edades entre 21 y 27 años.

A pesar de que el S%, se usó en muchas investigaciones (Braathe, 1957; Voorhoeve y Schulz, 1968; Silva, 1971; Wilson, 1979; Kamuru, 1983) no se

puede aplicar un rango fijo a lo largo de la vida de una plantación. De acuerdo con la experiencia generada con el S% se deben usar valores altos entre 35 y 40%, para el primer aclareo y bajar de manera paulatina en los próximos aclareos; o bien combinarlo con otras variables, tal como hizo Kamuru (1983), en Kenia, quien recomendó este índice para el manejo de *C. lusitanica*, que varió ente 30 y 20, pero el primer aclareo lo realizó cuando la plantación alcanzó 11,25 m de altura y cortaron el 50% de los árboles. Generalmente se espera de un buen índice de aclareos, realizar aclareos más fuertes cuando la masa está en pleno crecimiento y menos intenso cuando la masa madura, tal como lo utilizó Groenendijk (1983), en sus tablas de rendimiento para Ciprés el cual varió a lo largo de todas las edades. Así mismo Lemckert (1980), para programar los aclareos en sus tablas de crecimiento de *P. caribaea*, en Costa Rica, uso el S% que varió entre 28 y 24. En nuestro caso, con el uso de S% de 23 y 25 se cortó un número de árboles muy similar en los tres aclareos, lo que demostró que el S% es un índice muy equilibrado pues mantiene una proporcionalidad del espacio requerido conforme los árboles aumentan su altura. Una desventaja del rango usado de S% (21 a 25) es que se deben realizar muchos aclareos que es adecuado desde el punto de vista silvicultural, pero no en lo económico.

3.2 Plantación de Tarbaca

A la edad de 10 años, la plantación presentó en promedio, un (S%) de 19,12%, 27,83 m²/ha de área basal, 16,78 cm de diámetro, 14,95 m de altura dominante. La densidad fue muy alta, al punto de que no existía sotobosque (Figura 3). El índice de sitio promedio para la plantación, de acuerdo con la clasificación de sitios de Chinchilla (1989), fue de 22,89 considerado como uno de los mejores sitios para el Ciprés (Cuadro 1).

Se realizaron cuatro aclareos a los 10, 14, 23 y 30 años todas las parcelas recibieron el tratamiento correspondiente, se establecieron los distintos niveles de espaciamiento relativo (S%) para todas ellas desde el inicio del ensayo (Figura 4). En este sitio la densidad del tratamiento testigo solo se mantuvo durante el primer ciclo, por razones de sanidad y productividad del sitio.

3.2.1 Primer ciclo de aclareo

Durante este período, los incrementos en diámetro y área basal presentaron diferencias significativas para los tratamientos y los bloques; para altura, se presentaron diferencias para los bloques, pero no para los tratamientos (Cuadro 5). En la prueba de medias, para el diámetro y el área basal, discriminó los aclareos S%=25, S%=23 y S%=21 del testigo,



Figura 3. Plantación de Ciprés (*C. lusitanica* Miller) en Tarbaca, San José, con 10 años de edad, al realizar el primer aclareo.

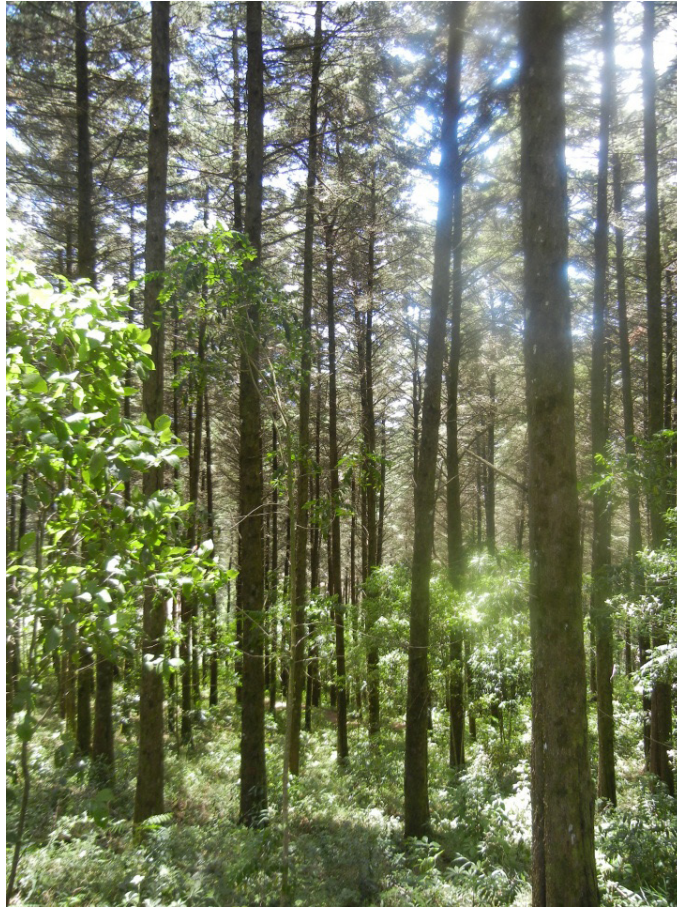


Figura 4. Plantación de Ciprés (*C. lusitanica* Miller) en Tarbaca, San José, con 40 años de edad.

pero no se encontraron diferencias entre el rango de aclareo.

La mayor media para el incremento diamétrico le correspondió al tratamiento de aclareo $S\%=23$, con 18,81 y la menor correspondió al testigo con 14,70. En términos porcentuales para el $S\%=23$, los diámetros crecieron en promedio un 10,4%. Para el testigo el incremento diamétrico fue de solo 6,4%. Para el área basal la mayor media le correspondió al $S\%=23$, con una media de 28,17 (22,3% del área basal previa al aclareo); para el testigo ese incremento fue de 21,65, incrementando solo 13,6% del área basal inicial (Cuadro 5, Figuras 5a y 5b).

En cuanto al incremento en altura dominante no se registraron diferencias significativas entre los tratamientos, la altura se puede considerar como independiente de la densidad, para este rango de área basal (de 20 a 35 m^2/ha), entre el primer aclareo y el segundo. El mayor incremento lo presentó el tratamiento $S\%=21$ con una media de 29,83 y el menor incremento lo presentó el trata-

miento $S\%=25$ con 27,51. En términos porcentuales, un 22,2% con respecto a la altura al inicio del ciclo para $S\%=23$ y un 21,3% para el $S\%=25$ (Cuadro 5, Figura 5c).

3.2.2 Segundo ciclo de aclareo

En este segundo ciclo se analizó el comportamiento de la masa residual entre el segundo aclareo, que se realizó desde los 14 años (1986), hasta el año 23 previo al tercer aclareo. El área basal en el segundo aclareo, se redujo para el $S\%=21$, de 24,14 m^2/ha a 21,58 m^2/ha , mientras que el $S\%=25$, pasó de 25,77 m^2/ha a 20,42 m^2/ha . La mayor área basal extraída le correspondió al tratamiento $S\%=23$ que pasó de 30,10 m^2/ha a 21,02 m^2/ha (Figura 5a). Un año antes de este raleo el área basal de las parcelas testigo, alcanzó 28,92 m^2/ha , con un $S\%=16,16\%$. Por lo general, las parcelas que presentan la mayor área basal desde el inicio del ensayo, van a mantener esa condición a lo largo del mismo, porque están asociadas a una mejor calidad de sitio.

Cuadro 5. Análisis de varianza y prueba de medias para diámetro (cm), área basal (m²/ha) y altura (m), entre las edades 10 y 14, para plantaciones Ciprés (*C. lusitanica*) sometido a diferentes intensidades de aclareo en Tarbaca, San José, Costa Rica.

Fuente de variación	G.L.	Diámetro		Área basal		Altura	
		C.M.	F	C.M.	F	C.M.	F
Bloque	2	695,16	35,56 0,00	1807,69	35,01 0,00	147,51	3,88 0,02
Trat.	3	649,78	33,24 0,00	1629,59	31,56 0,00	9,55	0,25 0,86
Bloque x Trat.	6	150,13	7,68 0,00	397,78	7,70 0,00	30,64	0,81 0,57
Error	d y ab	616	19,55	51,64			
	Altura	58				38,04	

Prueba de Medias (Duncan) alfa = 0,05									
		Diámetro		Área Basal		Altura			
Trat.	N	Media	G	Media	G	Trat.	N	Media	G
S%=23	136	18,81	a	28,17	a	S%=21	16	29,83	a
S%=25	127	18,36	a	27,44	a	S%=23	22	29,51	a
S%=21	158	18,11	a	27,04	a	Control	13	27,61	a
Control	207	14,70	b	21,65	b	S%=25	19	27,51	a

Leyenda: Cifras en negrita = Probabilidad de que la F calculada sea mayor que la F tabulada (P>F); Trat. = Tratamientos; Media = Corresponde al incremento del período transformado; G = Grupos según la prueba de medias; GL= Grados de libertad N = Número de muestras

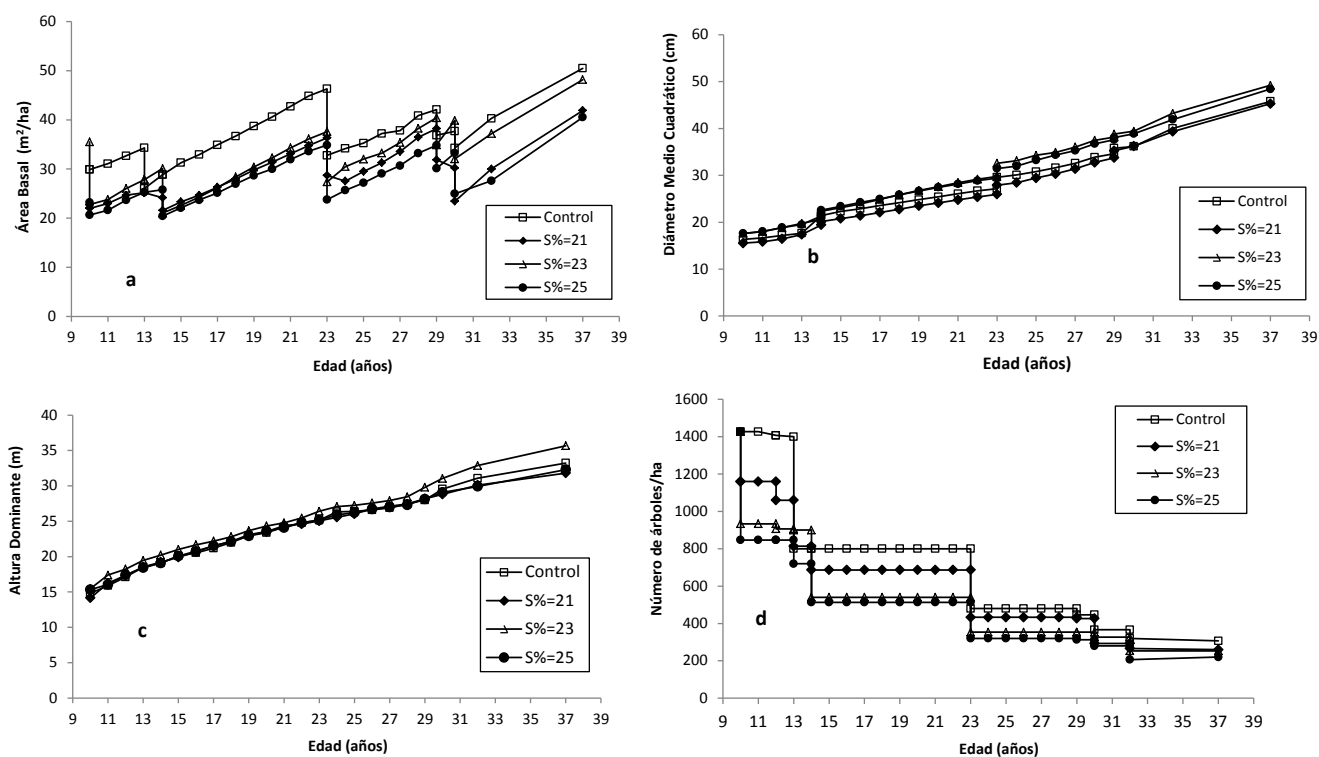


Figura 5. Área basal (a), diámetro medio cuadrático (b), altura dominante (c) y número de árboles (d) sobre la edad para los diferentes tratamientos de aclareos, en una plantación de Ciprés (*C. lusitanica*), Tarbaca, San José, Costa Rica.

A los 13 años las parcelas testigo fueron intervenidas, con fines fitosanitarios y para evitar la caída de árboles por exceso de densidad hasta dejar un S%=20; de esta manera todas las parcelas establecidas recibieron los tratamientos (Figura 5a y 5d). Los rangos de densidad se redujeron, buscando no afectar el desarrollo de la plantación. Los valores de S% quedaron entre 20 y 25%.

Los incrementos relativos en diámetro y en área basal, presentaron diferencias significativas entre los tratamientos y entre bloques, a pesar de reducir la densidad, se presentó como factor crítico. La altura no presentó diferencias significativas (Cuadro 6). Al ralear las parcelas testigo, el efecto de los tratamientos en el análisis de varianza, se va reducir, pero el efecto de los aclareos en la plantación se verá reflejado en árboles más vigorosos y en un mejor crecimiento en cuanto a los incrementos en área basal y en diámetro, para los diferentes bloques y tratamientos.

Para el diámetro, la prueba de medias separó las medias de los tratamientos de S%=25, 23 y 21, del S%=20, (que antes había sido el testigo), pero no

encontró diferencias en el rango de los tratamientos (S%=25 a 21). Los mayores incrementos para el diámetro se presentaron en los tratamientos de aclareo S%=23, con una media de 34,59 y el aclareo S%=20, con 29,24 con el menor. En términos porcentuales, el diámetro con el aclareo de S%=23, creció 32,23% y el de S%=20 un 23,86%; con un menor incremento. Para el área basal, la prueba de medias separó las medias de los tratamientos de S%=23, del S%=20, (que antes había sido el testigo), pero no encontró diferencias en el resto de los tratamientos (Cuadro 6). El mayor crecimiento en área basal lo presentó el aclareo de S%=23 con una media de 53,87, y el menor el S%=20 con un 47,86, en términos porcentuales se encontró que S%=23 creció un 65,2%, mientras que el aclareo S%=20 creció 55% (Cuadro 6). Los datos de los incrementos se pueden considerar que el crecimiento de este sitio fue muy positivo; no se aprecia indicios de estancamiento (Figuras 5b y 5c).

En general, este sitio se consideró apropiado para el crecimiento de Ciprés. Chinchilla (1989), determinó un índice de sitio promedio de 22,89 m

Cuadro 6. Análisis de varianza y prueba de medias para diámetro (cm), área basal (m²/ha) y altura (m), entre las edades 14 y 23, para plantaciones Ciprés (*C. lusitanica*) sometido a diferentes intensidades de aclareo en Tarbaca, San José, Costa Rica.

Fuente de variación	G.L.	Diámetro		Área basal		Altura			
		C.M.	F	C.M.	F	C.M.	F		
Bloque	2	303,79	5,50 0,00	479,33	2,55 0,08	119,64	15,36 0,00		
Trat.	3	566,51	10,26 0,00	846,49	4,51 0,00	3,59	0,46 0,71		
Bloque x Trat.	6	169,66	3,07 0,00	640,94	3,41 0,00	32,17	4,13 0,00		
Error	d y ab	367	55,21	187,74					
	Altura	86				7,79			
Prueba de Medias (Duncan) alfa = 0,05									
		Diámetro		Área Basal		Altura			
Trat.	N	Media	G	Media	G	Trat.	N	Media	G
S%=23	80	34,59	a	53,87	a	S%=23	23	34,27	a
S%=25	77	32,64	a	51,84	a b	S%=21	27	33,87	a
S%=21	103	32,49	a	51,64	a b	S%=20	24	33,57	a
S%=20	119	29,24	b	47,86	b	S%=25	24	33,43	a

Leyenda: Cifras en negrita = Probabilidad de que la F calculada sea mayor que la F tabulada (P>F); Trat. = Tratamientos; Media = Corresponde al incremento del período transformado; G = Grupos según la prueba de medias; GL= Grados de libertad N = Número de muestras

considerado relativamente bueno para esta especie.

Para el incremento relativo en altura dominante, no se detectaron diferencias significativas entre los tratamientos, pero sí entre los bloques. El mayor incremento lo presentó el tratamiento de $S\%=23$, con 34,27 y el menor el tratamiento de $S\%=20$ con 33,43 (Cuadro 6). En términos porcentuales la altura creció 31,7%, con $S\%=23$ y 30,4% con $S\%=20$. En general, la plantación presentó un crecimiento en altura muy uniforme, que no se vio afectado por los tratamientos y se consideró como independiente de la densidad, para un rango de área basal que va desde los 28,67 m²/ha, hasta los 46,30 m²/ha (Cuadro 6, Figura 5c).

En la tabla de rendimiento de Groenendijk (1983), para un índice de sitio 34, a los 15 años, la altura prevista fue de 19,9 m; para esta plantación se encontró una altura dominante promedio de 20 m y el tratamiento $S\%=23$ presentó una altura de 21 m (Figura 5c).

En cuanto al número de árboles, se bajó de 1.160 a 687 árboles/ha, con $S\%=21$, o sea, se cortó el 41% de los mismos; con $S\%=23$, se redujo de 933 a 540 árboles/ha, se cortó el 42% de los árboles y con $S\%=25$ de 847 se dejaron 513 árboles/ha, se cortó el 39,4%. Estos aclareos se realizaron en dos años consecutivos, porque estaba asociado al aprovechamiento comercial de la plantación (Figura 5d). Este número de árboles es muy cercano al sugerido por Hughell y Chaves (1990) y Groenendijk (1983), quienes recomendaron dejar entre 387 y 535 árboles, respectivamente.

3.2.3 Tercer ciclo de aclareo

En este ciclo se analizó el comportamiento de la masa residual entre el tercer aclareo, que se realizó a los 23 años (en 1995), y el año 30 (año 2002), antes de efectuar el cuarto aclareo. Al reducir la densidad en las parcelas testigo, al año 13, se redujo el efecto de tratamientos sobre el crecimiento, pero se mejoraron las condiciones de la masa residual. Los rangos de densidad ($S\%$) se mantuvieron de 20 a 25%.

El análisis de varianza para este ciclo, para el incremento diamétrico y en área basal presentaron diferencias significativas, para el efecto de bloques y tratamientos, la altura dominante resultó no significativo. Con base en el análisis se puede decir que el efecto de los tratamientos, resultó significativo para el desarrollo de la plantación, aun cuando,

el efecto de la densidad se redujo al intervenir las parcelas testigo; el efecto de los bloques resultó significativo para las variables evaluadas, lo cual se debe a un crecimiento diferente en los distintos bloques, asociados principalmente a la pendiente (Cuadro 7).

Para el diámetro, la prueba de medias separó el $S\%=20$, de los demás tratamientos; el mejor incremento se obtuvo en el tratamiento $S\%=23$, con una media de 30,87 y el menor en el $S\%=20$, con una media de 27,39; estas diferencias resultaron significativas. Para el área basal, el mayor incremento lo presentó el aclareo con $S\%=23$, con una media de 53,87 y el menor el tratamiento con $S\%=20$, con una media de 47,86; entre estos tratamientos se presentaron diferencias significativas (Cuadro 7). En el tercer aclareo, con un $S\%=20$, se disminuyó el área basal de 46,31 m²/ha a 32,77 m²/ha, mientras que con el aclareo $S\%=23$ se pasó de 37,60 m²/ha a 27,35 m²/ha (Figura 5a).

Para el número de árboles se bajó de 800 árboles/ha a 480, es decir, se cortó un 40% de los árboles con $S\%=20$; mientras que con el $S\%=23$, se pasó de 540 árboles/ha a 353, o sea, se cortó el 34,6% de los árboles (Figura 5d). En su tabla de rendimiento, para un índice de sitio 34, que fue similar a este sitio, Groenendijk (1983) recomendó realizar aclareos a las edades de 6, 9, 12, 15, 21 y 27, los cuales son muchas intervenciones; en este ensayo con tres aclareos se llegó a una menor cantidad de árboles a la edad de 23 años. En general, aclareos leves y frecuentes favorecen la calidad de la madera, pero son muy desfavorables desde el punto de vista financiero porque se está cortando muy poco volumen de madera en cada intervención. En contraste Hughell y Chaves (1990) recomendaron dos aclareos, a las edades de 8 y 12 años, para una densidad final de 237 árboles/ha y un turno de 30 años.

3.2.4 Cuarto ciclo del aclareo

En el cuarto período, se analizó el comportamiento de la masa forestal, después de cuatro aclareos sucesivos, desde los 30 hasta los 37 años (2002 a 2009). En este sitio, solo falta la corta final, ya que los árboles presentan las condiciones óptimas para su comercialización. Al inicio de este ciclo la plantación, se raleó pasando de un área basal de 41,08 m²/ha a 34,23 m²/ha, para el tratamiento de $S\%=20$, con el $S\%=21$ se pasó de 38,21 m²/ha a 23,45 m²/ha, en el $S\%=23$, que presentó 40,43 m²/ha, se dejó en

Cuadro 7. Análisis de varianza y prueba de medias para diámetro (cm), área basal (m²/ha) y altura (m), entre las edades 23 y 30, para plantaciones Ciprés (*C. lusitanica*) sometido a diferentes intensidades de aclareo en Tarbaca, San José, Costa Rica.

Fuente de variación	G.L.	Diámetro		Área basal		Altura			
		C.M.	F	C.M.	F	C.M.	F		
Bloque	2	303,78	5,50 0,00	479,33	2,55 0,08	119,64	15,36 0,00		
Trat.	3	566,51	10,26 0,00	846,49	4,51 0,00	3,60	0,49 0,71		
Bloque x Trat.	6	169,66	3,07 0,01	640,94	3,41 0,00	32,17	4,13 0,00		
Error	d y ab	367	55,21	187,63					
	Altura	86				7,79			
Prueba de Medias (Duncan) alfa = 0,05									
		Diámetro		Área Basal		Altura			
Trat.	N	Media	G	Media	G	Trat.	N	Media	G
S%=23	80	30,87	a	53,87	a	S%=23	23	34,27	a
S%=25	77	28,52	a	51,84	a b	S%=21	27	33,87	a
S%=21	103	28,27	a	51,64	a b	S%=20	24	33,57	a
S%=20	119	27,39	b	47,86	b	S%=25	24	33,43	a

Legenda: Cifras en negrita = Probabilidad de que la F calculada sea mayor que la F tabulada (P>F); Trat. = Tratamientos; Media = Corresponde al incremento del período transformado; G = Grupos según la prueba de medias; GL= Grados de libertad N = Número de muestras.

32,06 m²/ha y por último, el aclareo S%=25, se pasó de 34,81 m²/ha a 24,96 m²/ha (Figura 5a).

Como se esperaba, por los aclareos realizados y la edad de la plantación, en el análisis de varianza, no se detectó diferencias significativas para el diámetro, el área basal y la altura dominante, aunque para esta última y para el área basal, el efecto de los bloques resultó significativo (Cuadro 8). La prueba de medias no detectó diferencias para los tratamientos evaluados, tanto para el diámetro, el área basal y la altura dominante. Para el área basal el mayor incremento lo presentó el S%=23 y su media fue de 48,32 y el menor incremento le correspondió a el tratamiento con S%=25, con una media de 41,39; entre estos tratamientos no se presentaron diferencias significativas (Cuadro 8). Para el diámetro los mejores incrementos se obtuvieron en los tratamientos de aclareo S%=23, con una media de 29,24 y el menor el S%=25, cuya media fue de 27,52; en términos absolutos a los 37 años el aclareo S%=23 presentó una media de 49,21 cm y el S%=25, con 48,43 cm (Figura 5b).

El crecimiento de la altura dominante para todos los tratamientos fue muy uniforme, creciente y su pendiente se mantuvo constante en el transcurso de los años. La mayor diferencia se presentó entre el tratamiento de S%=23 y el S%=21, que fue del 1,31 m desde el inicio del ensayo, hasta los 37 años, edad en la cual la diferencia entre esos dos tratamientos aumentó a 3,87m. Para el resto de los tratamientos las diferencias fueron mínimas (Figura 5c).

En cuanto al número de árboles, con los aclareos S%=20 y S%=21, se cortó el 23,5%. En el primero se pasó de 480 a 367 árboles/ha; en el S%=21, de 433 se pasó a 293 árboles/ha, Por su parte, en el aclareo S%=23, se redujo de 353 a 253 árboles/ha y se cortó el 28,3% y en el tratamiento S%=25, se bajó de 320 a 220 árboles/ha, se cortó el 31,3% de los árboles (Figura 5d).

En la tabla de rendimiento Groenendijk (1983), para un índice de sitio 34 a la edad de 30 años, la densidad final sugerida fue de 382 árboles/ha, que de acuerdo a lo observado en Tarbaca son muchos árboles; solo el aclareo de S% = 20 (testigo) tiene un

Cuadro 8. Análisis de varianza y prueba de medias para diámetro (cm), área basal (m²/ha) y altura (m), entre las edades 30 y 37, para plantaciones Ciprés (*C. lusitanica*) sometido a diferentes intensidades de aclareo en Tarbaca, San José, Costa Rica.

Fuente de variación	G.L.	Diámetro		Área basal		Altura			
		C.M.	F	C.M.	F	C.M.	F		
Bloque	2	83,32	1,52 0,22	356,73	3,34 0,04	114,83	4,58 0,02		
Trat.	3	19,10	0,35 0,79	346,61	3,25 0,43	4,49	0,18 0,91		
Bloque x Trat.	6	131,91	2,40 0,03	322,78	3,02 0,01	15,51	0,62 0,71		
Error	d y ab	142	54,89	106,80					
	Altura	35				25,09			
Prueba de Medias (Duncan) alfa = 0,05									
		Diámetro		Área Basal		Altura			
Trat.	N	Media	G	Media	G	Trat.	N	Media	G
S%=23	37	29,24	a	48,32	a	S%=23	12	19,59	a
S%=21	39	28,86	a	47,62	a	S%=25	11	19,11	a
S%=20	46	28,60	a	43,32	a	S%=21	12	18,78	a
S%=25	32	27,52	a	41,39	a	S%=20	12	17,94	a

Leyenda: Cifras en negrita = Probabilidad de que la F calculada sea mayor que la F tabulada (P>F); Trat. = Tratamientos; Media = Corresponde al incremento del período transformado; G = Grupos según la prueba de medias; GL= Grados de libertad N = Número de muestras

número de árboles similar, los demás tratamientos, están por debajo de 250 árboles/ha. Lemckert (1980), en las tablas de *P. caribaea*, recomendó densidades finales de 175 árboles/ha, con un turno de 35 años. En este caso la densidad final para ciprés esta un rango de 200 a 250 árboles/ha, esta densidad final está muy cercana a la recomendada por Kamuru (1983), quien propuso en Kenia, para *C. lusitanica*, una densidad final de 260 árboles/ha.

3.3 Comparación entre sitios

En general tanto Paraíso como Tarbaca, presentaron buenos crecimientos, sin embargo, el crecimiento en Tarbaca fue mayor. De acuerdo con la clasificación de sitios de Paraíso (Chinchilla, 1989), presentó un índice de sitio promedio de 21,7 m, con un máximo de 22,1 m y un mínimo de 21,3 m; mientras que en Tarbaca, presentó un índice de sitio promedio de 22,9 m, con un máximo de 23,4 m y un mínimo de 21,9 m. Tarbaca por ser un sitio de mayores pendientes presentó una mayor variación en el crecimiento.

Las condiciones climáticas son similares, en ambos sitios pero en cuanto a los suelos se presentan algunas diferencias; Tarbaca con una mayor profundidad, mayor pH y contenido de calcio. En un experimento en Nueva Zealand, el *C. lusitanica*, respondió favorablemente a la fertilización con sodio intercambiable (Watt *et al.*, 2005). En el caso de este ensayo, la especie mostró un mayor crecimiento en el sitio con mejores condiciones.

A los 24 años las diferencias en el crecimiento fueron mayores entre ambos sitios, en Tarbaca, el tratamiento con el aclareo S%=23, presentó un diámetro promedio de 33,14 cm y una altura de 27,07 m, como los mejores y un diámetro promedio de 28,45 cm y una altura dominante promedio de 25,6 m como los menores correspondientes al S%= 21. En Paraíso a esa misma edad, se encontró un diámetro promedio de 30,52 cm que correspondió al aclareo de S%=25, mientras que la mayor altura (27,07 m) correspondió al tratamiento testigo, con un diámetro promedio de 26,04 cm. En cuanto a los árboles con diámetro aprovechable a los 24 años en Paraíso, solo el 7,7% superaron un dap por

arriba de 30 cm en las parcelas testigo, mientras que con el S%= 25 el 48% de los árboles alcanzaron ese diámetro. En Tarbaca, en las parcelas testigo (raleadas a los 13 años), el 49,3% de los árboles tenían un diámetro superior a 30cm, mientras que en el tratamiento S%=23 el 65% de los individuos alcanzó dicho diámetro.

El crecimiento en altura dominante fue muy similar en ambos sitios, sin embargo el crecimiento en diámetro en Tarbaca, mostró promedios más altos, que se incrementaron luego de los aclareos realizados en los años 23 y 30. Si tomamos 40 cm como diámetro de referencia, en Paraíso, solo un árbol alcanzó ese diámetro, mientras que en Tarbaca, el 24% de los árboles tenían ese diámetro en las parcelas con los tratamientos de S%=23 y 25.

De acuerdo con las estimaciones de la tabla de rendimiento de Groenendijk (1983), con un índice de sitio 34, deben existir en promedio 456 árboles/ha, con una altura dominante de 27,4 y un dap promedio de 34 cm, los datos de altura en ambos sitios están muy cercanos, a los datos de la tabla, pero los diámetros están por debajo de los que reportó este autor. Hughell y Chaves (1990) recomendaron que a los 24 años deben existir 237 árboles/ha, con un diámetro promedio de 31,6cm y una altura media de 19,5 m, estos datos son muy cercanos a Paraíso, con un aclareo de S%=25, pero están por debajo de los de Tarbaca. En un experimento de aclareos en Kenia, se demostró que el volumen comercial total de *C. lusitanica*, podría aumentar entre un 5 y un 10%, cuando se aplica un 20% la intensidad de raleo, según la calidad de sitio (Kamuru, 1983).

En realidad lo que se requiere para hacer estimaciones precisas del crecimiento es una buena base de datos que cubra un amplio rango de sitios y de edades, pero lo más importante es disponer con rodales manejados hasta la edad del turno, ya que solo así se podrá obtener estimaciones de crecimiento más confiables.

En estos ensayos (Paraíso y Tarbaca) se mantuvo un S% máximo de 25%, lo que significa que el espaciamiento debe ser de una cuarta parte de la altura dominante; la experiencia en general demuestra que a mayor altura, los árboles requieren mayor espacio de crecimiento. Para el primer aclareo fue preferible manejarlo por el número de árboles, o un S% entre 35 y 40, ya que esperar que la plantación llegue un S%=25, puede formar rodales con altas densidades, que pueden afectar el

crecimiento de la masa. Si se mantiene un S% de 25 durante el turno de rotación de la especie, nos obliga a realizar aclareos moderados y frecuentes, que resultan silviculturalmente adecuados pero financieramente poco atractivos. Esto nos lleva a concluir que es necesario realizar aclareos fuertes cuando la masa está en pleno crecimiento y separar las intervenciones en el tiempo. Con las densidades que se manejan actualmente las coníferas en Costa Rica (1100 árboles/ha), el rango de S% que se utilizó en este ensayo (S%) debe ser más amplio entre 35 y 40% o usar la altura dominante, esperar a que la plantación alcance una altura dominante entre 10 m y 12 m y eliminar el 50% de los árboles originales, o bien, adoptar un S% más alto entre 35 y 40%, para el primer aclareo.

La silvicultura actual en Costa Rica, para otras especies va encaminada un manejo más intensivo, que tiende a reducir la densidad inicial de las plantaciones basado en: 1) criterios financieros que buscan reducir costos de establecimiento y manejo posterior de la plantación; 2) prácticas silviculturales intensivas que permiten concentrar el potencial de sitio en un menor número de árboles y 3) programas de mejoramiento genético, que facilitan un material vegetativo superior, que asegura una cosecha futura de árboles vigorosos y de buena forma.

4. Conclusiones y recomendaciones

En ambos sitios el crecimiento en diámetro y en área basal, fue mayor en los tratamientos en los cuales se practicó un aclareo S%= 23 y 25, en contraste con los aclareos S%=21 y testigos los cuales registraron los menores incrementos. En Paraíso, el efecto de los tratamientos, para el incremento en diámetro y en área basal resultó significativo en todos los casos, porque el testigo mantuvo un área basal, muy por encima de los demás tratamientos, a lo largo de todo el ensayo. En Tarbaca se encontraron diferencias marcadas en los tres primeros ciclos, pero se minimizaron en el último a medida que se realizaron los aclareos en las parcelas testigo, lo que disminuyó el efecto de las densidades.

En general, la densidad afectó el incremento en diámetro y en área basal; mientras que el incremento en altura dominante fue independiente de la misma. En Paraíso, los mayores incrementos

estuvieron asociados a los aclareos más intensos $S\%=25$, pero en Tarbaca, estos estuvieron asociados a los aclareos considerados moderados $S\%=23$, debido posiblemente a una mejor calidad de sitio, en las parcelas que les correspondió ese tratamiento.

Desde el punto de vista silvicultural, el índice de espaciamiento relativo, demostró ser un indicador equilibrado, ya que mantuvo una proporcionalidad a lo largo de todo el ensayo, entre el número de árboles remanentes y la altura alcanzada por la masa, a las diferentes edades. Para plantaciones de Ciprés, se sugiere utilizar la altura dominante y el número de árboles para efectuar el primer aclareo, luego se debe mantener la masa en un $S\%=25$ y 35. En sitios similares al de este estudio, se recomienda realizar el primer aclareo entre el año 7 y 8 cuando la plantación presente una altura de 10 a 12 metros y cortar el 50% de árboles originales.

En cuanto al número de raleos que se deben aplicar a plantaciones de Ciprés, en condiciones similares a las de los sitios, se recomienda realizar tres aclareos a los 8, 12 y 16 años.

En Paraíso, se encontró una diferencia mayor en el diámetro promedio, entre el testigo y el aclareo fuerte ($S\%=25$). En Tarbaca a los 24 años esta diferencia se presentó, entre el aclareo moderado ($S\%=23$) y el $S\%=21$.

En términos de árboles aprovechables a los 24 años en Tarbaca, se encontró el mayor porcentaje de ellos.

Para el Ciprés, si se quiere mejorar la calidad de la madera se deben podar los árboles promisorios que posiblemente lleguen a la cosecha final, esta práctica sería recomendable realizarla después del primer aclareo. Para sitios similares a los de la zona de estudio, esta primera poda se debe realizar alrededor del año 8 ó 9, cuando los árboles alcanzan una altura de 12 metros, podando hasta un 40% de su la copa.

5. Referencias bibliográficas

- ALFARO, M.A. 1983. Relación entre los factores edáficos e índice de sitio para *Cupressus lusitanica* Mill. en el Valle Central de Costa Rica. Trabajo de grado. Escuela de Ciencias Ambientales, Universidad Nacional. Heredia, Costa Rica. 111 p.
- BANNISTER, M. y H. YORMAN. 1960. *Cupressus lusitanica* as a potential timber tree for New Zealand. *Journal of Forestry* 8(2):203-217.
- BUCAREY, B.J.R. 1967. El Ciprés (*Cupressus lusitanica* Mill.) como base de las reforestaciones planificadas en el valle Central de Costa Rica. Trabajo de grado. Maestría en Manejo de Recursos Naturales. IICA. Turrialba, Costa Rica. 102 p.
- BRAATHE, P. 1957. *Thinning in even-aged Stands*. Faculty of Forestry, University of New Brunswick. Fredericton, Canada. 92 p.
- CHAVES, S.E. y O. CHINCHILLA. 1990. Ensayo de aclareo en plantaciones de Ciprés (*Cupressus lusitanica*) en Costa Rica. In: *Manejo y aprovechamiento de plantaciones forestales con especies de uso múltiple*. Actas Reunión de IUFRO. R. Salazar (ed). CATIE. Turrialba, Costa Rica. 233-246 pp.
- CHAVES, S.E. y O. CHINCHILLA. 1989. Ensayo de aclareo en plantaciones de Ciprés (*Cupressus lusitanica*) en Cartago, Costa Rica. *Guía Agropecuaria de Costa Rica* 9(13):58-60.
- CHAVES, S.E. y W. FONSECA. 1991. Ciprés (*Cupressus lusitanica*) especie de árbol de uso múltiple en América Central. CATIE. Turrialba, C.R. (*Serie técnica. Informe técnico / CATIE; No. 168*). 70 p.
- CHAVES, S.E., J.A. RODRÍGUEZ y V.J. JIMÉNEZ. 1996. Determinación de la intensidad de aclareo óptima para plantaciones de Ciprés (*Cupressus lusitanica* Miller) en Costa Rica. IV Taller Nacional de Investigación Forestal y Agroforestal. 9 al 11 de diciembre 1996. Guácimo, Limón, Costa Rica.
- CHINCHILLA, O. 1989. Curvas de índice de sitio para Ciprés (*Cupressus lusitanica* M.) en la zona de distribución artificial en Costa Rica. Trabajo de grado. Escuela de Ciencias Ambientales, Universidad Nacional. Heredia, Costa Rica. 108 p.
- COCHRAN, W. y G. COX. 1980. *Diseños Experimentales*. Trad. de la 2da Edición en Inglés por el Centro de Estadística y Cálculo. Ed. Trillas. México, México. 661 p.
- DANIEL, P., U. HELMS y F. BAKER. 1882. *Principios de Silvicultura*. Trad. R. Elizondo M. McGraw-Hill. México, México. 492 p.
- FERNÁNDEZ, J. 1971. Estudio de las propiedades físico-mecánicas del Ciprés (*Cupressus lusitanica* Mill.) en el valle central de Costa Rica. Trabajo de grado. Maestría en Manejo de Recursos Naturales. IICA. Turrialba, Costa Rica. 87 p.
- FAO. 1967. Seminario y viaje de estudio de coníferas latinoamericanas. 2ed. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales. México, México. 218 p.

- GOITIA, D. J. 1954. Estudio del incremento volumétrico del *Cupressus lusitanica* en relación a la edad y al sitio. Trabajo de grado. Maestría en Manejo de Recursos Naturales. IICA. Turrialba, Costa Rica. 70 p.
- GROENENDIJK, H. 1983. *Tablas de crecimiento de Cupressus lusitanica para el valle central de Costa Rica*. Heredia, Costa Rica. 13 p.
- GUTIÉRREZ, M. 1977. Establecimiento de un huerto semillero de *Cupressus lusitanica*. Cartón de Colombia. *Informe de Investigación No. 25*. 15 p.
- GUTIÉRREZ, M. y W. LADRACH. 1978. Iniciación de un programa de mejoramiento genético de *Cupressus lusitanica* y *Pinus patula* en Colombia. *Boletín IFLAIC* 53: 3-19.
- HOLDRIDGE, L.R. 1953. El ciprés mexicano (*Cupressus lusitanica* Mill.) en Costa Rica. Boletín Técnico N° 12, Ministerio de Agricultura. San José, Costa Rica. 31 p.
- HUGHELL, D. y E. CHAVES. 1990. Modelo de crecimiento y rendimiento de ciprés (*Cupressus lusitanica* Mill.) en Costa Rica, Guatemala y el Salvador. *Silvoenergía* (C.R.) 38: 1-4.
- HUSCH, B., C.M. MILLER y T. BEERS. 1982. *Forest mensuration*. 3^{era} Edición. J. Wiley and Sons. New York, USA. 401 p.
- INSTITUTO METEOROLÓGICO NACIONAL. 1981. *Anuario Meteorológico*. Resumen de 10 años de registros. San José, Costa Rica. 215 p.
- JOHNSTON, D., A. GRAYSON y R. BRADLEY. 1967. *Forest Planning*. Faber and Faber Limited. London, England. 541 p.
- KAMURU, W.J. 1983. Growth, yield and silvicultural management of exotic timber species in Kenya. Thesis. British Columbia University. Vancouver, Canadá. 276 p.
- KARANI, K. 1976. Interim results of thinning research on (*Cupressus lusitanica*) in Uganda. *Commonwealth Forestry Review* 55 (1):41-55.
- LADRACH, W. E. y M. GUTIERREZ. 1979. Logros genéticos con *Cupressus lusitanica* a través de seis años de mejoramiento de árboles de Colombia. Cartón de Colombia. *Informe de investigación* N° 50. 43 p.
- LADRACH, W. E. y G. PEREIRA. 1987. Crecimiento y patrones de heredabilidad para la progenie de *Cupressus lusitanica* de polinización abierta a los ocho años. Cartón de Colombia. *Informe de investigación* N° 117. 10 p.
- LEMCKERT D. 1980. Tablas de crecimiento de *Pinus caribaea* var *hondurensis* (preliminar) en Costa Rica. Documento de trabajo N.6. FAO Roma, DGF. San José, Costa Rica. FAO-FO--COS/79/001. 39 p.
- MINAE, 1996. *Informe estadístico relevante sobre el sector forestal 1975-1995*. San José, Costa Rica. 134 p.
- MALIMBWI, R.E., A. PERSSON, S. IDDI, A.O. CHAMSHAMA y S.T. MWIHOMEKE. 1992. Effects of spacing on yield and some wood properties of *Cupressus lusitanica* at Rongai, Northern Tanzania. *Forestry* 65 (1): 73-82.
- MORALES, D. M. 2010. Importación de madera de Pino en Costa Rica. Trabajo de grado. Escuela de Ciencias Ambientales, Universidad Nacional. Heredia, Costa Rica. 153 p.
- MOYA, R. y F. MUÑOZ. 2010. Physical and mechanical properties of eight fast-growing plantation species in Costa Rica. *Journal Tropical Forest Science* 22 (3):317-328.
- MUCHIRI, M.N. 1993. Effects of deviating from recommended thinning practices on cypress plantations in Kenia. *Journal of Tropical Forest Science* 5 (4):450-464.
- OSORIO, G. 1987. Crecimiento de 20 familias de *Cupressus* de Costa Rica, Kenia, México y Europa a los 8 años. Cartón de Colombia. *Informe de investigación* N° 113. 4 p.
- QUIRÓS, R. 1988. Selección de rodales semilleros de Ciprés (*Cupressus lusitanica* Mill.). Trabajo de grado. Escuela de Ciencias Ambientales, Universidad Nacional. Heredia, Costa Rica. 76 p.
- RODRÍGUEZ, J.A. 1997. Evaluación de un ensayo de progenies de Ciprés (*Cupressus lusitanica* Miller) en tres sitios de Costa Rica. Trabajo de grado. Escuela de Ciencias Ambientales, Universidad Nacional Heredia, Costa Rica. 144 p.
- SAS INSTITUTE, 2010. *SAS/STAT 9.2 User guide*. Second edition. SAS, Institute Inc. Cary, NC, USA. 7.820 p.
- SILVA, S.R. 1971. Metodología para la investigación en parcelas permanentes de aclareo y rendimiento en plantaciones forestales. *Boletín IFLAIC* 38: 59-89.
- SOARES, A.R. 1973. Adaptacao de nove procedencias de *Cupressus lusitanica* Mill. em Costa Rica. Trabajo de grado. Maestría en Manejo de Recursos Naturales. IICA. Turrialba, Costa Rica. 76 p.
- STEEL, R. y J. TORRIE. 1986. *Bioestadística: Principios y procedimientos*. Trad. de la 2^{da} ed. en inglés por Ricardo Martínez. McGraw-Hill. México, México. 622 p.
- TSCHINKEL, H. 1972. Clasificación de sitios y el crecimiento de *Cupressus lusitanica* en Antioquia, Colombia. *Revista Facultad Nal. de Agronomía* (Col) 27 (1):3-30.
- VALLE, J.I. del. 1975. El crecimiento y rendimiento de *Cupressus lusitanica* Mill. en Antioquia, Colombia, utilizado parcelas permanentes. Trabajo de grado.

- Maestría en Manejo de Recursos Naturales. UCR/CATIE. Turrialba, Costa Rica. 111 p.
- VÉLEZ, E. 1984. Desarrollo de 20 familias de *Cupressus* procedentes de Kenia, México y Europa al finalizar el quinto año. Cartón de Colombia. *Informe de Investigación* N°. 106. 12 p.
- VOORHOEVE, A.G. y J.P. SCHULZ. 1968. La necesidad de parcelas permanentes de aclareo y rendimiento en plantaciones forestales. *Boletín IFLAIC* (27-28): 3-17.
- WATT, M.S, G. COKER, P. CLINTON, R.P. DAVIS, R. SIMCOCK, L. GARRETT, T. PAYN, B. ROBINSON y A. DUNNINGHAM. 2005. Defining sustainability of plantation forests through identification of site quality indicators influencing productivity. A national view for New Zealand. *Forest Ecology and Management* 216:51-63.
- WILSON, F.G. 1979. Thinning an orderly discipline. *Journal of Forestry* 77(8): 483-486.
- ZEAZER, D. 1973. *Prueba de procedencias, Huerto semillero, Mejoramiento del Ciprés*. Proyecto presentado al Centro Científico Tropical. Costa Rica. 10 p.