

# EL ESPACIAMIENTO EN PLANTACIONES FORESTALES

Patiño Valera Fernando\*

## RESUMEN

El presente artículo analiza algunos aspectos ligados a una de las decisiones fundamentales que es necesario tomar al establecer estas poblaciones: definir el espaciamiento al que crecerá la población. El espaciamiento es uno de los factores decisivos sobre el comportamiento de la población, e influye sobre las características de crecimiento, sobre la producción, la edad en que puede ser aprovechada y sobre las prácticas culturales a aplicarse a la misma. Para seleccionar el espaciamiento adecuado, debe considerarse también, la calidad del sitio de plantación, la especie a ser plantada y la calidad genética del material a ser empleado, además de las interacciones que se presenten entre éstos componentes.

Los resultados obtenidos por muchos autores permiten señalar entre otras cosas que: La mortalidad y el espaciamiento están altamente relacionados, así, a menor espaciamiento mayor será la mortalidad y que esta relación se ve afectada por la edad, la especie y las condiciones del sitio. El espaciamiento influencia más el desarrollo en diámetro que el crecimiento en altura de los árboles. Las poblaciones más densas producen mayor volumen total de madera que aquellas menos densas; los espaciamientos mayores producen un número más grande de árboles con mayor volumen individual y de mejor forma y dimensiones. El volumen útil de madera puede ser semejante entre poblaciones con mayor y menor número de individuos. Las principales consecuencias negativas, de los espaciamientos pequeños, se pueden resumir en un mayor consumo de plantas y fertilizantes por hectárea, así como una mayor dificultad para el control de maleza y de los aprovechamientos, mayor número de cortas de aclareo y una mayor producción de madera de pequeñas dimensiones, todos ellos incidiendo para aumentar el costo de establecimiento y disminuir el precio de venta de los productos, de menor calidad y dimensiones.

---

\* Ingeniero Agrónomo Forestal, M.C.; Director Regional del CIR-Sureste, INIFAP, SAGDR.

**Palabras clave:** Espaciamiento, plantaciones forestales, mortalidad, comportamiento de población, especie.

## **ABSTRACT**

This paper deals with one of the most important decision to take in the life of a forest plantation: the spacing. The spacing is one of the most decisive factors which influence the growing of tree's population. The spacing has influence in some characteristics like the growth in height and diameter, the wood production rate, the age in which the trees can be harvested, and in the selection of the silvicultural practices applied to management of population's from the initial stage to maturity. In the selection of appropriate spacing, it is necessary to consider some factor affecting the species development like site's quality index, the specie to be established, and the genetic quality of the plants used in the plantation.

The mortality and the spacing in the population are strongly linked, in small spacing it's obtained a major mortality than in bigger spacings, and this relationship its influenced by the age, the specie and the site's quality index. The spacing has a major influence in the diameter than over the height growth, the most dense populations produce more volume of wood than less dense ones; the greater spacing produce a major number of trees with more individual's volume and with better trunk form than less dense populations. The useful volume can be the same between populations growing in different spacing areas and with a different number of individuals. The main negative constraints of minor spacings, can be summarized in the need of a greater number of plants, fertilizers, chemicals and labor required by hectare, and more difficulties to control weeds, more clear cutting practices, and other silvicultural treatments and a bigger production of wood of low quality, all of them conducting to an increase the costs per hectare and with a wood yield of less value.

**Key words:** Spacing, forest plantations, mortality, population management, specie.

## **INTRODUCCIÓN**

En la actualidad se reportan más de 40 millones de hectáreas de plantaciones forestales en los trópicos del mundo y cerca de 100 millones de hectáreas adicionales en las

regiones templadas. Muchos países son enteramente dependientes de las plantaciones para satisfacer su demanda interna de madera, entre ellos se pueden mencionar: Lesotho, Swazilandia y Trinidad y Tobago; algunos otros como Brasil, Chile y Sudáfrica, obtienen de plantaciones comerciales la mayor parte de su demanda interna y exportan sus excedentes.

Evans (1992)<sup>1</sup> estima que para 1990 en los trópicos del mundo existían alrededor de 43 millones de ha de plantaciones, las que, asumiendo una muy conservadora producción de 15 m<sup>3</sup>/ha/año, producirían por sí solas alrededor de 645 millones de m<sup>3</sup> de madera por año, una cantidad similar al 15 % de la demanda mundial de madera que se espera para 1995.

Considerando que el desarrollo de plantaciones va a continuar con la misma tendencia mostrada en los últimos años, es claro que las plantaciones tropicales pueden convertirse en una de las mayores fuentes de productos forestales y de ellas provendrá una cantidad de madera cada vez mayor para satisfacer la demanda, tanto para usos industriales como aserrío, tableros aglomerados, contrachapados, celulosa y papel, como la de madera para construcción y para uso directo, principalmente como fuente de energía, por la población rural.

Los recursos forestales nativos de muchos países se encuentran agotados o no son susceptibles de aprovecharse sin provocar un daño ecológico, como es el caso de los recursos naturales de algunos países Europeos y de Estados Unidos.

La clara tendencia a fomentar la conservación de los bosques, tanto nacionales como privados en países desarrollados, por presiones de grupos ambientalistas, ha disminuido la superficie de aprovechamiento forestal y en consecuencia la producción de madera, como sucedió por ejemplo, en los bosques del noroeste de Estados Unidos en donde, buscando preservar el hábitat del búho moteado, se redujeron las áreas bajo aprovechamiento en un 90 % en terrenos nacionales y en un 25 % en bosques privados de esa región. Esta medida provocó que el precio de la madera se duplicara en menos de un año y que se tuviera la necesidad de importar 1,200 millones de pies cúbicos de madera adicionales, para cubrir el déficit de la demanda interna, causado por la disminución de la producción, en ese país.

Así mismo, es importante señalar que la tendencia de la demanda de productos forestales en el mercado mundial va en aumento. Se espera que ésta se incremente en 15 % para el año 2000. También, se calcula que las necesidades de fibras para celulosa, sólo en México, aumentarán en un 45% para el mismo año de referencia.

---

<sup>1</sup> Evans, F. 1992. Plantation forestry in the tropics.

Esta madera adicional que se va a requerir tanto en Estados Unidos y otros países del mundo como en México, bien puede provenir de plantaciones establecidas en regiones forestales donde la cubierta vegetal original fue alterada o removida y que presentan condiciones agroecológicas favorables para el cultivo de especies arbóreas forestales.

En el país existen condiciones adecuadas, tanto políticas y sociales como tecnológicas, para establecer plantaciones comerciales, considerándolas como una posible alternativa para suplementar la creciente demanda interna de productos forestales: actualmente esa demanda se satisface a través del aprovechamiento de los bosques naturales y una gran parte tiene que importarse del exterior. Estas importaciones son principalmente de productos celulósicos y papel.

Un efecto previsible del Tratado de Libre Comercio de América del Norte, es que inducirá a la producción eficiente y de escala de todo tipo de productos. La posibilidad de competencia entre los tres países es variable en el corto plazo, pero la inevitable apertura comercial, obliga desde ahora, a seguir una estrategia de aumentar la eficiencia productiva y al uso de la tecnología disponible para lograrla, a la reducción de costos en todos los pasos de estas cadenas y también a ubicarse en los escalones de la industrialización que permitan incorporar las mayores ventajas de costo y calidad locales.

México ocupa una posición geográfica privilegiada, tanto en aspectos agroecológicos, como de posibilidades de mercado, ya sea para importar o para exportar. Existen regiones donde la producción agrícola, pecuaria y forestal puede realizarse durante todo el año, limitada únicamente por la disponibilidad de agua; en este sentido debe destacarse la oportunidad de producir madera en plantaciones comerciales tropicales, para celulosa, contrachapados, tableros y/o aserrio, ya sea para abasto nacional o para exportar a Estados Unidos y a países de Europa y Asia.

Considerando las ventajas comparativas señaladas, el trópico de México tiene condiciones muy favorables para optar por ese nicho de mercado. Por esta circunstancia, diversas empresas nacionales y extranjeras, están buscando alternativas para su abastecimiento a partir de plantaciones comerciales forestales, que deberán satisfacer la demanda interna de México, sobre todo de celulosa y papel y, además, exportar los excedentes.

Considerando la importancia que el tema plantaciones forestales ha despertado en el país, se ha creído conveniente analizar algunas de las principales decisiones a tomar en la vida de una plantación, con la finalidad de orientar y dar a conocer algunas experiencias sobre el particular, obtenidas en muchas partes del mundo y en México.

con especies que son objeto de plantación y de interés, como las de los géneros *Eucalyptus*, *Pinus*, *Cedrela*, *Swietenia* y *Gmelina*, entre otros.

Una de las decisiones fundamentales al iniciar la plantación es el espaciamiento a que habrán de colocarse las plantas: el presente documento intenta explicar algunos de los efectos del espaciamiento sobre factores clave para la sobrevivencia y productividad de las especies a utilizar en plantaciones comerciales.

### **Importancia del espaciamiento**

Una ventaja de las plantaciones sobre los bosques naturales es el control estrecho del número y de la distribución de los árboles en la población, mediante el establecimiento en espaciamientos predeterminados, para obtener en el tiempo y el espacio árboles y madera con características más o menos uniformes. Esto contrasta notablemente con los bosques o selvas naturales donde la población es heterogénea, y debido a la forma, a la especie y al tamaño de los árboles presentes, únicamente se pueden aprovechar algunos individuos por hectárea.

Sin embargo, a pesar de que la plantación está normalmente distribuida en el terreno, de manera que toda el área tenga árboles en crecimiento, el sitio no estará totalmente ocupado durante toda la vida de la plantación. Lo anterior se explica por el hecho de que al inicio de la misma, el espacio requerido por los individuos es mínimo, y se puede mantener una densidad alta. Conforme van creciendo y compitiendo los árboles entre sí, el espacio entre ellos se modifica, ya sea por causas naturales, o bien por efecto de los aclaros que se practiquen, hasta dejar la población que llegará al final de la rotación.

El espaciamiento de una plantación representa uno de los factores decisivos sobre el comportamiento futuro de la masa, en virtud de que tiene una gran influencia sobre las características de crecimiento y, consecuentemente, sobre la producción, la edad en que la masa puede aprovecharse y sobre las prácticas culturales a ser aplicadas en la misma.

El espaciamiento también se induce en función del sitio, de la especie, y de la calidad genética del material reproductivo que se va a utilizar, pero indiscutiblemente el uso final de la madera, será un factor decisivo para la selección del espaciamiento adecuado.

La competencia por luz, humedad y nutrientes depende en gran medida de la cantidad de troncos existentes por unidad de superficie, y la interacción del ambiente con los factores genéticos hace que el desarrollo de los árboles sea más intenso, promoviendo la competencia, tanto entre las copas como entre las raíces.

Normalmente los árboles más vigorosos tienden a aumentar anualmente sus alturas, el tamaño del tronco, la longitud de sus ramas y el número de hojas. Por lo tanto, exigen mayores espacios para garantizar su desarrollo y sobrevivencia y en consecuencia manifiestan sus condiciones vitales. Esos árboles más vigorosos, sobrepasarán a los menos adaptados y los suprimirán.

Existen caracteres que no sufren grandes alteraciones con las variaciones ambientales, sin embargo, los caracteres de mayor interés económico generalmente son cuantitativos y por lo tanto pequeñas variaciones en el ambiente son suficientes para provocar modificaciones fenotípicas significativas, como es el caso de las características de crecimiento en altura y diámetro de los árboles, que influyen directamente en la productividad.

La productividad forestal está influenciada por varios parámetros, entre ellos se pueden señalar aquellos relacionados con la calidad genética del material reproductivo utilizado, los espaciamientos compatibles con el uso final de la madera, la edad de corte de los árboles y las prácticas silvícolas empleadas en la población para permitir el adecuado desarrollo de la plantación (Patiño, 1986)<sup>2</sup>.

El espaciamiento tiene implicaciones desde el punto de vista silvícola, tecnológico y económico. Influye en las tasas de crecimiento de las plantas, la calidad de la madera, la edad de corte, así como las prácticas de manejo y aprovechamiento de la plantación, todo ello tiene repercusión también en los costos de producción de la madera.

Smith (1962)<sup>3</sup> señala que el mayor volumen de madera en metros cúbicos se obtiene en las plantaciones cuya población es muy densa y ocupan totalmente con sus copas el espacio disponible a edades tempranas. Sin embargo, es muy importante señalar que el objetivo real consiste en alcanzar una producción óptima de madera en términos de material utilizable (calidad de árboles) y no sólo aumentarla al máximo en términos volumétricos.

De acuerdo a lo anterior el espaciamiento no debe ser rígido para cada especie o sitio, es necesario analizar diversos factores antes de tomar una decisión.

---

<sup>2</sup> Patiño V., F. 1986. Variación genética en progénies de Eucalyptus saligna.

<sup>3</sup> Smith D., M. 1962. The practice of silviculture.

El espaciamiento debe decidirse en función a varios factores como calidad del sitio, el habito de crecimiento de la especie, la sobrevivencia esperada, el objetivo de producción, el método de manejo de la masa en el tiempo y en el espacio, la clase de equipo a utilizar en las prácticas culturales, la forma de aprovechamiento, las implicaciones económicas de cada uno de los factores enumerados y del efecto de sus posibles interacciones.

Es importante tomar todas las precauciones para decidir sobre el espaciamiento a emplear en una plantación, estas decisiones implican un conocimiento de la especie y su comportamiento en diferentes densidades y el efecto que se produce sobre el producto final a obtener.

Considerando lo anterior, a continuación se analizan las implicaciones de la densidad de la población frente a factores silviculturales, tecnológicos y económicos relacionados o que pueden ser alterados por la selección del espaciamiento, entre ellos se tienen los efectos del espaciamiento en su interacción con: la especie, calidad del sitio, prácticas de manejo, calidad de la madera, volumen de madera a producir, edad de corte de la madera e implicaciones económicas.

### **Objetivo de la plantación**

El destino del producto forestal es sin duda uno de los factores más importante para la selección del espaciamiento. Así por ejemplo, si la plantación se destina a producir madera aserrada o postes, donde se requieren trozas de cierta longitud y diámetro mínimos, el espaciamiento final, después de los aclareos, debe ser grande. Si la finalidad de la plantación fuera la producción de celulosa o energía (leña o carbón), donde la dimensión de las trozas no es tan importante, se debe escoger un espaciamiento que proporcione el mayor rendimiento en volumen posible, en estos casos no se practican aclareos y sólo se realiza una corta final; si la plantación tiene como objetivo la producción de semillas, ya sea para establecer un área semillera o un huerto semillero, el espaciamiento será mayor a fin de propiciar el mayor desarrollo de las copas, sin importar el fuste y en consecuencia, aumentar el área foliar donde se producirán los frutos y semillas.

### **Espaciamiento y especie, competencia y sobrevivencia**

Durante el crecimiento inicial de la población, el principal factor de competencia es la maleza, cuyo control es realizado normalmente desde la preparación del terreno y a través de tratamientos culturales posteriores.

Al iniciarse en los años subsecuentes, la mayor competencia entre los árboles por luz, agua y nutrientes, los factores limitantes del crecimiento, comienzan a disminuir y se inicia una selección entre los individuos, los que presentan ya una cobertura con sus copas, que cubre casi totalmente el sitio, dando inicio a la dominancia de algunos individuos de la población.

La mayoría de las especies de rápido crecimiento como las de los géneros *Eucalyptus* y *Gmelina* entre otros, son intolerantes a la competencia, ocurriendo una rápida segregación del rodal en estratos (dominante, codominante y dominado).

El tiempo para la definición de los estratos será mayor o menor, dependiendo del espaciamiento, de la especie, de la calidad del sitio y de las interacciones que puedan ocurrir entre estos factores. Esta estratificación es producto de la habilidad competitiva de los árboles, cuya variación ocurre tanto entre especies como entre árboles de una misma especie.

Existen especies más tolerantes a la competencia, o sea, que poseen una tasa baja de auto eliminación, aún en rodales homogéneos, como ejemplos se pueden citar *Eucalyptus camaldulensis* y *E. maculata* (Hills y Brown, 1978 *cit. pos.* Patiño, *op. cit.*). Para las plantaciones el grado de autoeliminación o el porcentaje de árboles dominados en el rodal puede ser también producto del grado de mejoramiento en que se encuentre la especie. El sistema radicular tiene una fuerte influencia en la adopción del espaciamiento, así, las especies que poseen un sistema radicular superficial sufrirán una competencia más intensa por luz y nutrientes que las especies con sistema radicular pivotante.

En trabajos sobre espaciamiento realizados con *Tectona grandis* (Teca) a los siete años (Díaz et al. 1993)<sup>4</sup> y *Tabebuia rosea* (Maculis) a los cinco años (Díaz et al. 1986)<sup>5</sup>, *Cedrela odorata* (Cedro) a los cinco años (Bertoni, 1976)<sup>6</sup>, *Swietenia macrophylla* (Caoba) a los 5 años (Sánchez y Gómez, 1981)<sup>7</sup> y *Gmelina arborea* (Melina) a los ocho años de edad (Juárez y Ramírez, 1985)<sup>8</sup>, se probaron en todos los casos, cuatro espaciamientos comunes 2 x 2, 2.5 x 2.5, 3 x 3, y 3.5 x 3.5 m., entre hileras y plantas

---

<sup>4</sup> Díaz, M. E. R. A.; J. C. Castillo V. y J. M. Jiménez C. 1993 Informe técnico sobre el desarrollo de plantaciones forestales de *Tectona grandis* (Teca).

<sup>5</sup> Díaz, M. E. R. A., J. C. Castillo V. y J. M. Jiménez C. 1986. Informe técnico sobre el desarrollo de plantaciones forestales en C.E. Ing. Eduardo Sangri Serrano (El Tormento).

<sup>6</sup> Bertoni V., R. 1976. Informe técnico sobre crecimiento de plantaciones forestales de cedro y caoba en el C.E. Ing. Eduardo Sangri Serrano (El Tormento).

<sup>7</sup> Sánchez M., A. y Gómez T., J. 1981. Informe Técnico sobre el desarrollo de ocho especies creciendo en plantaciones forestales en el C.E. Ing. Eduardo Sangri Serrano (El Tormento).

<sup>8</sup> Juárez G., V. M. y H. Ramírez M. 1985. Crecimiento de *Gmelina arborea* L. Roxb. en cuatro espaciamientos. pp. 33-49.



de la misma hilera respectivamente. Los resultados obtenidos por los autores para la sobrevivencia, se pueden observar en el cuadro N° 1.

ESPACIAMIENTO	2.0 x 2.0 (m)	2.5 x 2.5 (m)	3.0 x 3.0 (m)	3.5 x 3.5 (m)	EDAD
ESPECIE	SOBREVIVENCIA (%)				AÑOS
<i>Tectona Grandis</i>	64	67	87	77	7
<i>Cedrela odorata</i>	74	65	71	77	5
<i>Tabebuia rosea</i>	83	89	94	98	5
<i>Swietenia macrophylla</i>	93	83	84	87	5
<i>Gmelina arborea</i>	81	84	81	80	8

**Cuadro N° 1.** Sobrevivencia de especies tropicales en diferentes espaciamientos, expresada como porcentaje de plantas vivas (C. E. Ing Eduardo Sangri Serrano, Escárcega, Campeche).

Como puede observarse no se identificaron diferencias significativas entre tratamientos, existiendo buena sobrevivencia para las especies, a la edad en que fueron analizadas. En el caso de *Tectona grandis* (Teca) se puede apreciar alguna influencia del espaciamiento para la sobrevivencia, disminuyéndose ésta en los casos en que el espacio de crecimiento es menor.

La mortalidad y el espaciamiento están altamente relacionados, como regla general se puede decir que a menor espaciamiento mayor será la mortalidad y que esta relación se ve afectada por la edad, la especie y las condiciones del sitio.

Balloni y Simoes (1980)<sup>9</sup> analizaron estudios sobre espaciamiento en *Eucalyptus grandis* y *E. saligna*, con la finalidad de relacionar el efecto del espacio de crecimiento en la sobrevivencia y comportamiento de los árboles; en el cuadro N° 2 se pueden observar los efectos detectados por los autores.

<sup>9</sup> Balloni E., A. y W. Simoes J. 1980. O espaçamento de plantio e suas implicações silviculturais. pp. 1-16.

ESPACIAMIENTO (m)	<i>E. grandis</i> fallas y muertes (%)	<i>E. grandis</i> dominados (%)	<i>E. saligna</i> fallas y muertes (%)	<i>E. saligna</i> dominados (%)
3.00 x 1.50	16	15	21	30
3.00 x 2.00	18	6	21	30
3.00 x 2.50	15	9	11	12
3.00 x 3.75	19	12	11	16

**Cuadro N° 2.** Proporción de árboles dominados, fallas y muertes en parcelas experimentales de *Eucalyptus grandis* y *Eucalyptus saligna*, a los seis años de edad en diferentes espaciamientos (Balloni y Simoes, 1980).

En el cuadro anterior se consideran como árboles dominados aquellos que tienen la mitad de la altura de los árboles dominantes de la plantación.

Como puede observarse, *Eucalyptus saligna* es más sensible a la competencia que *E. grandis*, a juzgar por el excesivo número de árboles muertos y dominados, reportados en todos los espaciamientos probados. Como conclusión, Balloni y Simoes (*op. cit.*) no recomiendan espaciamientos inferiores a 3.0 x 2.0 m para *Eucalyptus saligna*.

La exigencia de las especies por espacio para crecer, se manifiesta a través del aumento del número de individuos muertos y/o dominados en la población; cuando se usan espaciamientos más amplios las diferencias entre las especies desaparecen.

García (1989)<sup>10</sup>, estudió el efecto del espaciamiento en cuatro especies de *Pinus*, los datos reportados por el autor se pueden apreciar en el cuadro N° 3.

La sobrevivencia en las especies ensayadas no mostró ninguna tendencia de aumentar en relación directa con un mayor espaciamiento, excepto en *Pinus letophylla*, posiblemente debido a que la disminución del número de plantas se debió en su mayor parte a daños causados por tuzas, además de otras plagas, enfermedades y a otros efectos del medio, incluyendo la competencia.

<sup>10</sup> García M., J. J. 1989. Efectos del espaciamiento en el desarrollo de una plantación de cuatro especies de pino en Capacuaro, Michoacán. pp. 18-51.

ESPACIAMIENTO	2.0 x 2.0 (m)	2.5 x 2.5 (m)	3.0 x 3.0 (m)	3.5 x 3.5 (m)	4.0 x 4.0 (m)
ESPECIE	SOBREVIVENCIA (%)				
<i>Pinus douglasiana</i>	83	74	78	79	70
<i>Pinus leiophylla</i>	72	71	76	76	82
<i>Pinus montezumae</i>	82	92	81	67	53
<i>Pinus pseudostrabus</i>	63	39	49	50	57

**Cuadro N° 3.** Supervivencia en porcentaje a la edad de 5 años 8 meses, para cuatro especies de *Pinus*, creciendo en cinco espaciamientos (García, 1989).

### Espaciamiento y condiciones del sitio

Como ya se señaló, después de algunos años de crecimiento de la plantación, las plantas entran en competencia por agua, luz y nutrientes. Por lo tanto es de esperarse que los factores abióticos del sitio (climáticos, edáficos y fisiográficos) tengan influencia sobre el crecimiento de la población, por lo cual deberán considerarse para seleccionar el espaciamiento más adecuado.

En forma general se puede indicar que las localidades más secas soportarán un número menor de plantas por área que aquellos en que la disponibilidad de humedad sea mayor. lo anterior nos lleva a reflexionar sobre la capacidad máxima, en número de individuos o en área basal, que puede soportar cada sitio.

Sobre el particular Barret *et al.* (1975)<sup>11</sup> afirman que para plantaciones de *Eucalyptus* espaciamientos menores de 2 m por planta solamente serían indicados para las mejores clases de sitio. En sitios pobres, los espaciamientos deberían ser mayores a 3 m por planta. El Wattle Research Institute (1972)<sup>12</sup> recomienda que en sitios pobres las especies de *Eucalyptus* se planten en espaciamientos amplios y las de *Pinus* en espaciamientos menores.

<sup>11</sup> Barret E., A.; T. Carter D. y R. T. Seward B. 1975. *Eucalyptus grandis* in Rhodesia. pp. 1-87.

<sup>12</sup> Wattle Research Institute. 1972. Handbook on eucalypt growing.

Los resultados obtenidos por Van Laar (1961)<sup>13</sup> para *Eucalyptus saligna* confirman la necesidad de abrir los espaciamientos en sitios pobres. Afirma el autor que el problema es bastante complejo, pues el crecimiento de la población no sólo depende del consumo de agua de los árboles, sino también del agua consumida por la vegetación competidora. De esta manera, la mayor competencia de la maleza en los espaciamientos más amplios podría influir en los resultados.

La plantación en espaciamientos pequeños y en sitios de mejor calidad de estación, puede depender también de la existencia de mercado para la madera fina, que se va a producir, pues en caso contrario, las cortas de aclareo serán consideradas como operaciones culturales necesarias pero sin retorno económico. Por lo tanto, la selección del espaciamiento para la plantación, aún en sitios pobres, puede estar ligada a la existencia de mercado para el producto final de la plantación.

Dependiendo de la especie y de las características ambientales, cuanto mayor sea el número de árboles por unidad de área, dentro de ciertos límites, mayor será el volumen total de madera producida. Por otro lado, el aumento de la densidad de la población implica un aumento en los costos de plantación y de manejo, siendo necesario balancear los aumentos de producción con los incrementos del costo.

Las principales consecuencias negativas, desde el punto de vista técnico y económico, de los espaciamientos pequeños, se pueden resumir en lo siguiente: mayor consumo de plantas y fertilizantes, así como una posible dificultad de aprovechamiento, mayor número de cortas de aclareo y producción en ellas de madera de pequeñas dimensiones, entre las más importantes.

Por otro lado, además del mayor volumen total de madera producida, las plantaciones sobre espaciamientos menores exigirán menor número de deshierbes y cultivos, debido a una ocupación más rápida del terreno, impidiendo de una manera más efectiva, el crecimiento de la maleza.

Un factor que también debe ser considerado, como positivo en los espaciamientos menores, es una posibilidad mayor de tener una producción más favorable también en la segunda rotación, en el caso de regeneración por monte bajo (rebrotación). Este detalle es de importancia, sobre todo para las especies que presentan problemas de baja sobrevivencia de las cepas con rebrotación, aunque debe señalarse que la mortalidad en este caso se incrementa conforme aumenta la densidad de la población, según el Wattle Research Institute (*op. cit.*), citado por Balloni y Simoes (*op. cit.*).

---

<sup>13</sup> Van Laar, A. 1961. *Eucalyptus saligna* in South Africa. An investigation into the silviculture and Economics, pp. 1-110.

La poda natural, factor muy importante en la producción de madera para aserrio, también ocurrirá de manera más rápida en los espaciamientos menores, debido a la competencia más intensa por luz y en consecuencia una muerte más precoz de las ramas inferiores.

El rendimiento de las poblaciones forestales no sólo se influencia por la densidad de la población, sino también por la relación de la distancia entre hileras o líneas de plantación y la distancia entre plantas de la misma línea, o sea el arreglo topológico, puede influir significativamente en los rendimientos de la plantación. Teóricamente los espaciamientos rectangulares proporcionan para una misma densidad de plantas, mayores rendimientos que arreglos cuadrados.

Wyant (1973) citado por Balloni y Simoes (*op. cit.*), construyó modelos teóricos que le permitieron constatar como el arreglo de las líneas de plantación puede influir en el crecimiento. Los autores citados mencionan también que para un mismo número de árboles por área, los espaciamientos con arreglo triangular llevan cierta ventaja sobre los cuadrados, ya que los primeros utilizaron 90.7 % del espacio disponible y los últimos apenas 78.5 %.

En un trabajo con *Pinus taeda* realizado en Uruguay, en suelos arenosos y a raíz desnuda, donde el suelo fue preparado con un paso de arado y uno de rastra en toda la superficie del experimento y donde se efectuó una poda baja a los seis años de edad.

Los resultados obtenidos (Patiño, 1991)<sup>14</sup>, indican para todos los espaciamientos estudiados (2.5 x 2.5 m; 3 x 3 m; 4 x 2 m; 4 x 3 m y 4 x 4 m), una tendencia a disminuir el crecimiento en diámetro, lo que fue constatado al analizar los anillos de crecimiento, aunque debe señalarse que no se encontraron diferencias significativas para área de anillo entre los espaciamientos. Los mayores incrementos medios anuales se obtuvieron en los espaciamientos de 4 x 3 m y 4 x 4 m, con valores de 2.6 cm, siendo ligeramente menores para el resto de los espaciamientos analizados. En lo que toca a la producción en volumen se observó que el espaciamiento de 3 x 3 m fue significativamente superior a los demás con incrementos medios anuales de 22.21 y 20.28 m<sup>3</sup> por hectárea, para volumen total y comercial, respectivamente. Para la altura total, no se encontraron diferencias significativas entre los tratamientos, obteniéndose una altura media total de 11.31 m.

---

<sup>14</sup> Patiño V., F. 1991. Informe de la consultoría sobre Silvicultura de plantaciones forestales en Uruguay.

### Espaciamiento, diámetro y altura

De acuerdo con la teoría silvícola de crecimiento, el espaciamiento tiene en promedio, mayor influencia en el desarrollo en diámetro que en el crecimiento en altura de los árboles. El aumento en diámetro, en función al aumento en el espaciamiento entre los árboles, ha sido comprobado por numerosos trabajos experimentales desarrollados en las más diversas regiones del mundo. Sin embargo, existen algunas controversias con relación a los efectos del espaciamiento sobre el crecimiento en altura de los árboles. Existen casos donde la altura media aumenta proporcionalmente con el espaciamiento, otros donde el resultado es inverso y algunos donde no existen diferencias. A continuación se comentan resultados de trabajos experimentales donde se obtienen las respuestas antes señaladas.

Díaz et al (*op. cit.*), para *Tabebuia rosea*; Díaz et al (*op. cit.*), para *Tectona grandis*; Bertóni (*op. cit.*), para *Cedrela odorata*; Sánchez y Gómez (*op. cit.*), para *Swietenia macrophylla* y Juárez y Ramírez (*op. cit.*), para *Gmelina arborea*, no encontraron diferencias significativas al comparar el crecimiento en altura y diámetro para las especies estudiadas en las cuatro espaciamientos comunes a todas ellas.

Díaz et al (*op. cit.*) y Bertóni (*op. cit.*), respectivamente, para *Tabebuia rosea* y *Cedrela odorata*, indican la tendencia de que en el espaciamiento más amplio se obtuvieron los promedios más altos de altura y diámetro. Debe señalarse, sin embargo, que las diferencias en alturas y diámetros para las especies citadas son mínimos y no son significativos. Los resultados obtenidos por los autores señalados para el crecimiento en altura y diámetro en los cuatro espaciamientos se puede observar en el cuadro N° 4.

A su vez, Balloni y Simoes (*op. cit.*) verificaron una tendencia de disminución de la altura media de *Eucalyptus grandis* y *E. saligna* a medida en que el espaciamiento era menor; los autores reportan las alturas que se observan en el cuadro N° 5, para *E. saligna*.

Patiño (*op. cit.*) estudió la interacción genotipo x espaciamiento en 169 progenies de *Eucalyptus saligna*, en dos espaciamientos 3.0 x 1.0 y 3.0 x 2.0 m, respectivamente, obteniendo los resultados que pueden observarse en el cuadro N° 6.

El crecimiento en altura obtenido en las progenies presentó un mayor crecimiento en el espaciamiento menor (3.0 x 1.0 m), como puede apreciarse en el cuadro anterior. El incremento medio anual para el crecimiento en altura a la edad de 32 meses, calculado a partir de las medias ajustadas de los tratamientos, alcanzó un valor de 4.02 m para las progenies del espaciamiento de 3.0 x 1.0 m y de 3.95 m para las del espaciamiento mayor.

ESPACIAMIENTOS (m)		2.0 x 2.0		2.5 x 2.5		3.0 x 3.0		3.5 x 3.5		EDAD	
ESPECIES	Altura (m)	BAP (cm.)	Altura (m)	DAP (cm.)	Altura (m)	DAP (cm.)	Altura (m)	DAP (cm.)	Altura (m)	DAP (cm.)	años
<i>Tectona grandis</i>	4.79	5.89	5.50	7.10	6.72	8.84	5.67	7.59	5.67	7.59	7
<i>Cedrela odorata</i>	3.45	3.80	3.45	3.70	3.69	3.50	3.60	5.10	3.60	5.10	5
<i>Tabebuia rosea</i>	3.50	4.30	3.43	4.20	3.75	5.20	3.97	5.50	3.97	5.50	5
<i>Swietenia macrophylla</i>	1.91		2.00		1.51		1.65		1.65		5
<i>Gmelina arborea</i>	9.87	9.10	12.99	12.22	10.55	12.18	10.91	12.99	10.91	12.99	8

**Cuadro N° 4.** Crecimiento y diámetro de especies forestales tropicales en cuatro espaciamientos.  
(C. E. Ing. Eduardo Sangri Serrano, Escárcega, Campeche).

ESPACIAMIENTO (m)	SUPERFICIE (m <sup>2</sup> )	ALTURA (m)	COEFICIENTE DE VARIACIÓN (%)	ALTURA DOMINANTE (%)
3,00 x 1,50	4,5	16,9	32	24,6
3,00 x 2,00	6,0	18,3	31	24,3
3,00 x 2,50	7,5	19,2	23	24,8
3,00 x 3,75	11,25	19,4	26	24,7

**Cuadro N° 5.** Altura media de *Eucalyptus saligna* Smith, a los 74 mese de edad en diferentes espaciamientos (Balloni y Simoes, 1980).

CARACTERÍSTICAS	ALTURA (m)		DIÁMETRO NORMAL (cm)	
	3,0 x 1,0 (m)	3,0 x 2,0 (m)	3,0 x 1,0 (m)	3,0 x 2,0 (m)
ESPACIAMIENTO/ EDAD				
15 meses	6,98		5,43	
26 meses	10,18	9,78	6,69	7,03
32 meses	10,71	10,53	7,36	7,94

**Cuadro N° 6.** Crecimiento medio en altura y diámetro de 169 progenies de *Eucalyptus saligna* Smith, en dos espaciamientos y tres edades (Patiño, 1986).

Debe señalarse que para obtener el tratamiento del espaciamiento de 3.0 x 2.0 m. fue necesario realizar un aclareo sistemático, sin ninguna selección de los árboles dentro de las parcelas, en las parcelas originales del experimento (todas a un espaciamiento de 3.0 x 1.0 m), esta práctica pudo originar que el crecimiento en las parcelas aclaradas, tuviera un incremento mayor en diámetro que en altura. Lo anterior coincide con lo expresado por Couto (1977)<sup>15</sup>, quien señala que la altura media de los árboles es muy

<sup>15</sup> Couto, L. 1977. *Influência do espaçamento no crescimento do Eucalyptus urophylla de origem híbrida, cultivado na região de Coronel Fabriciano, Minas Gerais. Viçosa.*



sensible a cualquier tipo de aclareo o mortalidad natural, la tendencia en ese caso, se orienta hacia eliminar los árboles menores de la población. En ese caso, los árboles remanentes dispondrán de mayor espacio para crecer y en consecuencia se aumentará la tasa de crecimiento en diámetro.

El crecimiento en diámetro siguió la tendencia de presentar mayores crecimientos en el espaciamiento mayor, concordando con los reportes de varios autores (Guimaraes, 1960<sup>16</sup>; Rezende *et al.*, 1980<sup>17</sup>; Coelho *et al.*, 1970<sup>18</sup>; Simoes y Spina França, 1983<sup>19</sup>), en los que se verifica que a espaciamientos mayores corresponden diámetros medios mayores

Evert (1975)<sup>20</sup>, en un estudio donde revisa los efectos del espaciamiento en plantaciones con especies propias de clima templado frío, presenta resultados obtenidos por varios autores, donde compara la altura media obtenida a diferentes edades en especies de *Pinus* y *Pseudotsuga*, información que puede observarse en el Cuadro N° 7.

De acuerdo con la revisión realizada, (Evert, *op. cit.*), la mayoría de los experimentos realizados con *Picea abies*, especies de *Pinus* y otras coníferas mostraron que la altura media del rodal se incrementó en función directa con el aumento del espaciamiento entre árboles. Sin embargo, los mismos autores también señalan que en algunos trabajos los resultados obtenidos permiten conclusiones en sentido opuesto.

Evert (*op. cit.*) señala que el crecimiento en altura de *Pinus resinosa*, es poco afectado por el espaciamiento; sin embargo, ese reducido crecimiento en altura se produjo en sitios secos con altas densidades de población, por ejemplo en espaciamientos de 0.60 x 0.60 m.

Para el caso del estudio de espaciamientos para especies de *Pinus*, García (*op. cit.*), reporta los crecimientos en altura y diámetro que se observan en el Cuadro N° 8.

---

<sup>16</sup> Guimaraes R., F. 1960. Ensaio de espaçamentos em *Eucalyptus saligna* Smith para produção de lenha.

<sup>17</sup> Rezende G. C. *et al.* 1980. Novas técnicas de espaçamentos para *Eucalyptus* spp.

<sup>18</sup> Coelho, A. S. R.; H. A. Mello y J. W. Simoes. 1970. Comportamento de especies de eucalipto face ao espaçamento. pp. 29-55.

<sup>19</sup> Simoes, J. W. y Spina-França. 1983. Produção de madeira em florestas energéticas sob diferentes práticas silviculturais. 1-36 p.

<sup>20</sup> Evert, J. 1975. Spacing Studies a review.

**E S P A C I A M I E N T O I N I C I A L**

FUENTE	ESPECIE	ED AD	E S P A C I A M I E N T O I N I C I A L										
Autor/año	Genero/especie	Años	1.2x1.2 (m)	1.5x1.5 (m)	1.8x1.8 (m)	2.1x2.1 (m)	2.4 (m)	2.4x (m)	2.7x (m)	3.0x (m)	3.6x (m)	4.2x (m)	4.5x (m)

Baldwin, 1948	<i>Pinus resinosa</i>	12	6.0	5.73	5.76	5.4	5.28					6.18	
Berry, 1969	<i>Pinus resinosa</i>	14	6.12	6.72	6.72	6.93	6.7	6.63					
Maeglin, 1967	<i>Pinus resinosa</i>	15	4.17	4.8	5.25		4.95						
Schantz - Hansen, 1956	<i>Pinus resinosa</i>	40	10.0		11.4	11.04		10.6					
Maeglin, 1964	<i>Pinus banksiana</i>	15	6.3	7.2	6.84		6.8						
Box et al, 1964	<i>Pinus taeda</i>	11			8.1		7.8	8.1	8.1	8.1	8.4		
Harms y Collins, 1965	<i>Pinus caribaea</i>	12			10.3		11.0	11.4	11.4	11.4			11.2
Reukema, 1959	<i>Pseudotsuga menziesii</i>	32	11.4	10.8	12.6		14.4	16.8	17.4	17.4			

FUENTE: EVERT, 1975

**Cuadro N° 7.** Alturas medias alcanzadas por especies de *Pinus* y *Pseudotsuga* a diferentes edades en diversos espaciamientos (altura en metros).

ESPECIE	ESPACIAMIENTO	ALTURA	IMAA <sup>1</sup>	DIÁMETRO	MAD <sup>2</sup>
<i>Pinus douglasiana</i>	2.0 x 2.0	5.29	0.91	9.5	1.6
<i>Pinus douglasiana</i>	2.5 x 2.5	4.52	0.78	8.1	1.4
<i>Pinus douglasiana</i>	3.0 x 3.0	4.54	0.78	9.3	1.6
<i>Pinus douglasiana</i>	3.5 x 3.5	4.64	0.80	8.7	1.5
<i>Pinus douglasiana</i>	4.0 x 4.0	4.13	0.71	8.9	1.5
<i>Pinus leiophylla</i>	2.0 x 2.0	4.26	0.73	8.9	1.5
<i>Pinus leiophylla</i>	2.5 x 2.5	3.91	0.67	8.0	1.4
<i>Pinus leiophylla</i>	3.0 x 3.0	3.83	0.66	8.7	1.5
<i>Pinus leiophylla</i>	3.5 x 3.5	3.43	0.59	6.9	1.2
<i>Pinus leiophylla</i>	4.0 x 4.0	3.70	0.64	8.6	1.5
<i>Pinus montezumae</i>	2.0 x 2.0	4.30	0.74	9.1	1.5
<i>Pinus montezumae</i>	2.5 x 2.5	4.25	0.73	9.6	1.9
<i>Pinus montezumae</i>	3.0 x 3.0	3.91	0.67	9.2	1.6
<i>Pinus montezumae</i>	3.5 x 3.5	3.46	0.60	8.1	1.4
<i>Pinus montezumae</i>	4.0 x 4.0	3.62	0.62	9.5	1.6
<i>Pinus pseudostrobus</i>	2.0 x 2.0	5.84	1.01	9.3	1.6
<i>Pinus pseudostrobus</i>	2.5 x 2.5	5.29	0.91	8.7	1.5
<i>Pinus pseudostrobus</i>	3.0 x 3.0	5.09	0.88	8.6	1.5
<i>Pinus pseudostrobus</i>	3.5 x 3.5	4.70	0.81	7.3	1.2
<i>Pinus pseudostrobus</i>	4.0 x 4.0	4.52	0.78	7.5	1.3

1. Incremento medio anual en altura. 2. Incremento medio anual en diámetro.

**Cuadro N° 8.** Alturas y diámetros medios en especies de *Pinus*, creciendo en cuatro espaciamientos a la edad de 5 años 8 meses (García, 1989).

El mayor incremento anual en altura lo obtuvo *Pinus pseudostrobus* en el espaciamiento de 2.5 x 2.5 m, alcanzando un valor de 1.01 m. Por otro lado, la mayor altura media se obtuvo en el espaciamiento menor siendo el caso contrario a lo obtenido por Balloni y Simoes (*op. cit.*) para *Eucalyptus grandis* y *E. saligna* quienes verificaron una tendencia de disminución de la altura media a medida de que el espaciamiento era menor.

En relación al diámetro, no se observó ninguna tendencia de aumentar en relación directa con el mayor espaciamiento, así, *Pinus montezumae*, en los espaciamientos de 2.5 x 2.5, 3.0 x 3.0 y 4.0 x 4.0 m; *P. douglasiana*, en los de 2.0 x 2.0 y 3.0 x 3.0 m y *P. pseudostrobus* en el de 2.0 x 2.0 m., obtuvieron un incremento medio anual en diámetro (IMAD) que varió entre 1.2 y 1.6 cm.

### Espaciamiento, área basal y volumen

Aún cuando el área basal es una función del diámetro, existe una relación inversa entre ésta y el espaciamiento. Normalmente se obtiene una mayor área basal en rodales densos, (menor espaciamiento entre árboles) especialmente en sitios pobres.

Es un hecho conocido el que en poblaciones más densas se produce un mayor volumen total de madera, que en aquellos con menor número de individuos; por otro lado, es también cierto que espaciamientos mayores producen un número más elevado de árboles con mayor volumen individual. Lo anterior es importante ya que a pesar de la producción volumétrica total de madera sea más elevada en poblaciones con mayor número de individuos, el volumen útil puede no sufrir alteraciones al compararlo con el de poblaciones con menor número de individuos.

Schönau (1974)<sup>21</sup>, realizó un trabajo donde demostró lo anterior, para *E. grandis*, como puede observarse en el Cuadro N° 9.

Como puede verse, en los espaciamientos menores se produjo mayor volumen, pero de diámetros aprovechables para celulosa o como energéticos, y los diámetros que pueden ser encaminados hacia otro tipo de utilización, permanecieron casi constantes en todos los tratamientos. Es importante observar que las alturas y diámetros normales medios, no variaron significativamente entre los tratamientos.

Lo anterior sugiere que para el caso de plantaciones encaminadas a la producción de materia prima para celulosa y o aglomerados, se debe estudiar la posibilidad de reducir los espaciamientos de plantación, con la finalidad de aumentar la producción de madera de diámetros pequeños que pueden utilizarse para el objetivo señalado o para

---

<sup>21</sup> Schönau A. P., G. 1974. The effect of planting spacement and pruning on growth, yield and timber density of *Eucalyptus grandis*. pp. 16-23.

energía, sin afectar significativamente el volumen principal de madera de diámetros mayores.

ESPACIAMIENTO INICIAL (m)	ALTURA (m)	DAP (cm)	VOLUMEN (m <sup>3</sup> / Ha)		
			clases de diámetro útiles obtenidos		
			0 a 5 cm.	0 a 7.5 cm	0 a 12.5 cm
3.0 x 2.8	17.6	15.0	118	109	62
2.8 x 2.8	17.7	14.7	127	117	62
2.4 x 2.8	17.3	14.2	138	127	62
2.1 x 2.8	17.9	13.8	152	139	61

Fuente: Schönau (1974).

**Cuadro N° 9.** Crecimiento medio en diámetro, altura y volumen por clases de diámetro útil, en plantaciones de *Eucalyptus grandis*, con 10 años y 4 meses de edad, bajo diferentes espaciamientos.

Por otro lado, existen casos, para ciertas especies donde el volumen útil llega a aumentar cuando se aumenta el espaciamiento, a pesar de que el volumen total disminuya. Estos casos son más viables a medida que se exigen maderas de longitudes mayores.

Guimaraes (*op. cit.*) para *E. saligna*, Couto (*op. cit.*) para *E. urophylla* y Meskimen y Franklin (1978)<sup>22</sup> para *E. grandis*, verificaron que el área basal media y en consecuencia el volumen medio por hectárea, disminuyeron con el aumento de espaciamiento. En el Cuadro N° 10 se puede observar los parámetros obtenidos por los autores citados en segundo lugar.

En ese sentido Balloni y Simoes (*op. cit.*) afirman que las poblaciones más densas producen más volumen de madera que aquellas menos densas, y que los espaciamientos mayores producen un número más grande de árboles con mayor volumen individual. Señalan también, que aún cuando en las plantaciones con mayor número de árboles, la producción volumétrica total sea mayor, el volumen útil puede no sufrir alteraciones, y se producen mayor cantidad de árboles con troncos de poco diámetro.

De acuerdo a lo observado por Van Laar (*op. cit.*), para *E. saligna*, el volumen útil, de diámetros menores (hasta 7.6 cm.), de los árboles dominados (9 a 12 m de altura), disminuyó al aumentar el número de árboles por hectárea, mientras que el volumen útil

<sup>22</sup> Meskimen, G. y C. Franklin E. 1978. Spacing *Eucalyptus grandis* in Southern Florida, pp. 3-6.

Espaciamiento inicial	Altura media	Diámetro normal (cm.)	Volumen s/ corteza m <sup>3</sup> /ha	Altura DAP > 10.24 cm.
(m)	(m)	medio	Medio	DAP > 10.24 cm. / ha
1.2 x 2.5	11.7	8.1	90 a	54 a
2.5 x 2.5	12.0	10.2	72 a	62 a
3.6 x 2.5	11.6	10.4	53 a	45 a
4.9 x 2.5	12.6	12.7	54 a	52 a
				Arboles / ha
				828
				684
				541
				561
				%
				29
				45
				52
				72

Fuente: Meskimen y Franklin (1978).

**Cuadro N° 10.** Crecimiento medio de Diámetro a la Altura de Pecho (DAP), altura y volumen para todos los árboles con DAP mayor de 10.24 cm, en plantaciones de *Eucalyptus grandis* de 7 años y 3 meses de edad, en diferentes espaciamientos.

de las clases de árboles con 12 a 15 m de altura, no fue alterado. Reporta también que el volumen útil de los árboles dominantes (20 a 30 m de altura) aumentó con la disminución del espaciamiento de plantación, considerando los límites de los tratamientos utilizados por el autor.

Estos datos muestran que la adopción de espaciamientos no adecuados para una cierta especie puede resultar en un número excesivo de árboles dominados, los que influyen negativamente en el volumen útil y posiblemente en el volumen total obtenido en la población.

En el Cuadro N° 11 se puede observar la magnitud de la reducción del volumen útil, cuando el número de árboles dominados en la plantación es excesivamente grande, ya que el volumen de leña fina tiene mayor representación en las clases menores de diámetro (DAP). En un ensayo conducido por Guimaraes (*op. cit.*), el autor obtuvo las producciones medias de leña en función al espaciamiento.

ESPACIAMIENTO (m)	SUPERFICIE (m <sup>2</sup> )	PRODUCCIÓN DE LEÑA (m <sup>3</sup> / Ha)
1.0 x 1.0	1.00	267.50
1.0 x 1.5	1.50	261.75
1.0 x 2.0	2.00	266.00
1.5 x 1.5	2.25	243.00
1.5 x 2.0	3.00	253.25
1.0 x 3.0	3.00	229.25
1.5 x 2.5	3.75	229.50
2.0 x 2.0	4.00	246.75
1.5 x 3.0	4.50	224.75
2.0 x 2.5	5.00	213.25
2.0 x 3.0	6.00	206.00

Fuente: Guimaraes (1960).

**Cuadro N° 11.** Producción de leña en función al espaciamiento en *Eucalyptus saligna* Smith, a los 8 años de edad.

Guimaraes (*op. cit.*) señala que para el caso de *Eucalyptus saligna*, existe una tendencia de aumentar la producción de leña cuando disminuye el espaciamiento.

Patiño (*op. cit.*) señala que el volumen, que es la característica más importante para evaluar la productividad forestal, se compone de la expresión de la altura y el diámetro normal de cada individuo en la plantación, por lo que es de esperarse que los árboles de la población tenderán a presentar volúmenes proporcionales a las medias de éstas características. El autor obtuvo resultados en un experimento con 169 progenies de *Eucalyptus saligna*, cuyos crecimientos pueden observarse en el Cuadro N° 12.

CARACTERÍSTICA	ÁREA BASAL (m <sup>2</sup> / árbol)		VOLUMEN CILÍNDRICO (m <sup>3</sup> / ha)	
	3.0 x 1.0	3.0 x 2.0	3.0 x 1.0	3.0 x 2.0
ESPACIAMIENTO (m) / EDAD				
26 meses	0.00374	0.00413	135.42	72.03
32 meses	0.00458	0.00531	174.62	99.72

**Cuadro N° 12.** Crecimiento medio en área basal y volumen de 169 progenies de *Eucalyptus saligna* Smith (Patiño, 1986)

El área basal y el volumen cilíndrico se expresan como el área basal individual media y el volumen individual medio de las progenies, respectivamente. El incremento en área basal siguió la misma tendencia presentada por el diámetro, incrementándose en función directa del espaciamiento y de la edad. De esta manera, los resultados obtenidos muestran que el área basal individual media fue influenciada por el espaciamiento en las dos edades estudiadas. El área basal media por hectárea disminuyó con el aumento del espaciamiento.

Es importante señalar que aún cuando el área basal individual media sea menor en los espaciamientos más pequeños, considerando el número mayor de árboles, el área individual media será mayor en los espaciamientos más amplios. Los factores que favorecen el crecimiento en diámetro también favorecen el incremento del área basal individual de los árboles, por lo que el incremento del área basal por hectárea va a depender del incremento individual medio y del número de árboles en la plantación.

Considerando la amplitud de la producción en volumen y cuando se compara los dos espaciamientos dentro de una misma edad, se observa una mayor diferencia en el espaciamiento de 3.0 x 2.0 m, esa diferencia alcanza a la edad de 32 meses valores de



56.32 % y de 73.01 % en los espaciamientos de 3.0 x 1.0 y 3.0 x 2.0 m, respectivamente.

Los resultados obtenidos confirman lo expuesto por varios autores (Guimaraes, *op. cit.*; Couto, *op. cit.*; Meskimen y Franklin, *op. cit.*; Balloni y Simoes, *op. cit.*), quienes verificaron en general, que en espaciamientos menores y consecuentemente con mayor número de árboles por hectárea, el incremento en volumen medio por hectárea fue mayor que aquel que se produjo en espaciamientos mayores, que presentan menor número de individuos.

García (*op. cit.*) estudió cuatro especies de *Pinus*, en cinco espaciamientos, en los que reporta resultados que muestran que las poblaciones más densas producen más volumen de madera que aquellas menos densas (Cuadro N° 13).

### **Espaciamiento y forma de los árboles**

El factor de forma, o sea la razón entre el volumen del fuste y el volumen del cilindro que se obtiene con el área basal y la altura, aumenta con la densidad del rodal; en otras palabras la conicidad de los árboles disminuye en la parte baja del fuste (Hamilton y Christie, 1974, citados por Schönau y Coetzee, 1988<sup>23</sup>), estos últimos autores señalan que en un bosque demasiado denso los árboles tienen la tendencia a crecer torcidos y que en cuanto a la calidad de la madera no existen suficientes evidencias que permitan relacionarla con la densidad del rodal.

La conicidad del fuste es una característica que puede ser influenciada por el espaciamiento y que tiene repercusión en la producción real de madera. Larson (1962) citado por Patiño (*op. cit.*) indica que el tronco de los árboles tiene una forma muy compleja y que es función de la especie y de las características de la copa. En las coníferas, cuando los árboles crecen dentro de rodales densos, donde la proporción de la copa viva es relativamente pequeña, la tendencia que presentan es la de tener fustes más cilíndricos que aquellos que se desarrollan aisladamente y cuya copa, de menor tamaño, influye para que el tronco sea más cónico.

---

<sup>23</sup>Schonaü A., P. G. y Cotzee, J. 1988. Initial spacing, stand density and thin in Eucalyptus plantations. 20 p.

Montagna *et al.* (1973)<sup>24</sup> citados por Patiño (*op. cit.*), afirman que a partir de un cierto número de plantas por hectárea hay una tendencia de aumento de la conicidad, con el aumento del espaciamiento. A su vez Van Laar (*op. cit.*) encontró para *Pinus patula*

ESPECIE	ESPACIAMIENTO (m)	ÁREA BASAL m <sup>2</sup> / Ha	VOLUMEN m <sup>3</sup> / Ha	IMAV* (cm)
<i>Pinus douglasiana</i>	2.0 x 2.0	14.71	39.095	6.740
<i>Pinus douglasiana</i>	2.5 x 2.5	6.03	13.624	2.348
<i>Pinus douglasiana</i>	3.0 x 3.0	6.04	14.078	2.427
<i>Pinus douglasiana</i>	3.5 x 3.5	3.84	9.103	2.569
<i>Pinus douglasiana</i>	4.0 x 4.0	2.79	5.926	1.022
<i>Pinus leiophylla</i>	2.0 x 2.0	11.34	24.201	4.172
<i>Pinus leiophylla</i>	2.5 x 2.5	5.87	11.724	2.021
<i>Pinus leiophylla</i>	3.0 x 3.0	5.18	10.082	1.738
<i>Pinus leiophylla</i>	3.5 x 3.5	2.45	4.449	0.767
<i>Pinus leiophylla</i>	4.0 x 4.0	3.34	6.662	1.149
<i>Pinus montezumae</i>	2.0 x 2.0	13.37	28.992	4.999
<i>Pinus montezumae</i>	2.5 x 2.5	10.16	21.656	3.734
<i>Pinus montezumae</i>	3.0 x 3.0	6.16	12.293	2.119
<i>Pinus montezumae</i>	3.5 x 3.5	2.83	5.775	0.996
<i>Pinus montezumae</i>	4.0 x 4.0	3.17	5.775	0.996
<i>Pinus pseudostrobus</i>	2.0 x 2.0	10.72	31.555	5.440
<i>Pinus pseudostrobus</i>	2.5 x 2.5	3.65	9.669	1.669
<i>Pinus pseudostrobus</i>	3.0 x 3.0	3.19	8.199	1.414
<i>Pinus pseudostrobus</i>	3.5 x 3.5	1.81	4.257	0.734
<i>Pinus pseudostrobus</i>	4.0 x 4.0	1.73	3.925	0.676

\* Incremento medio anual en diámetro.

**Cuadro N° 13.** Área basal, volumen medio e incremento medio anual en volumen, en especies de *Pinus*, en cuatro espaciamientos a la edad de 5 años 8 meses (García, 1989).

<sup>24</sup>Montagna R., G. *et al.* 1973. Estudo sobre o crescimento e a densidade da madeira de *Pinus elliottii* Engelm var *elliottii* em função do espaçamento. pp. 33-52.

una disminución del factor de forma que varió de 0.477 con 902 árboles por hectárea, hasta 0.437 cuando la población sólo tenía 124 árboles por hectárea. Lo anterior se tradujo, según el autor, en una disminución de casi 10 % del volumen real de madera.

La conicidad del fuste, representada por el factor de forma, es una característica que puede ser influenciada por el espaciamiento y que tiene efecto sobre la producción real de madera en las plantaciones. Sobre el particular, Evert (*op. cit.*), señala la posibilidad de que las relaciones entre el factor de forma y el espaciamiento sean debidos solamente a un reflejo del efecto del espaciamiento sobre el diámetro normal, por lo que indican que tal vez no sea necesario estudiar el efecto residual del espaciamiento en el factor de forma. Al respecto, Balloni y Simoes (*op. cit.*) comentan que quizás este autor tenga razón, sin embargo, si las interferencias en el factor de forma son producto del reflejo del espaciamiento sobre el diámetro normal, estas alteran el volumen real final, por lo que deben ser consideradas.

### **Espaciamiento y edad de corta**

El espaciamiento y la edad de corta se encuentran estrechamente relacionados, lo anterior significa que las plantaciones establecidas con espaciamientos menores, normalmente exigen aclareos o ciclos de corta en menos tiempo, pues la competencia entre plantas ocurre más temprano, anticipando la disminución del crecimiento de la población. La edad de corta ha sido definida en función del ritmo de crecimiento, del espaciamiento, del objetivo de producción y de algunas interacciones entre los citados factores, dándosele poco énfasis a sus interacciones con la especie.

El porcentaje de árboles dominados y muertos crece conforme avanza la edad, causando consecuentemente un aumento del porcentaje de fallas, lo anterior ocurre con mayor intensidad y más temprano en los espaciamientos menores. En el cuadro N° 14, (Schönau, *op. cit.*), se muestran algunos datos sobre la evolución de la mortalidad en función de la edad, y en el Cuadro N° 15, (Balloni y Simoes, *op. cit.*), se puede observar la evolución del porcentaje de árboles dominados en función a la edad y el espaciamiento de la población.

Se puede apreciar en el cuadro anterior, que conforme la edad del arbolado es mayor y en consecuencia su altura, diámetro y cobertura son también mayores, la tasa de mortalidad se incrementa notablemente.

En el Cuadro N° 15 se puede observar un comportamiento similar y la tendencia de que conforme avanza la edad se incrementa el porcentaje de árboles dominados en la plantación, siendo más acentuados los efectos en los espaciamientos menores.

EDAD		MORTALIDAD	VOLUMEN
AÑOS	MESES	%	m <sup>3</sup> / Ha
2	3	1.9	4.4
2	9	1.9	8.1
4	4	2.6	2.7
5	5	3.6	39.9
6	6	5.6	57.2
7	6	13.4	70.1
9	1	19.6	94.7
10	4	25.0	109.8

Fuente: Schönau (1974).

**Cuadro N° 14.** Volumen de madera producida y mortalidad de *Eucalyptus grandis* en diferentes edades.

ESPACIAMIENTO	EDAD		
	(años)		
(metros)	4	6	9
3.0 x 1.50	31 %	45 %	57 %
3.0 x 2.00	31 %	37 %	43 %
3.0 x 2.50	13 %	25 %	38 %
3.0 x 3.75	21 %	25 %	35 %

Fuente: Balloni y Simoe (1980).

**Cuadro N° 15.** Porcentaje de árboles dominados de *Eucalyptus saligna* en función del espaciamiento y de la edad.

Es evidente que una mortalidad más acentuada y un mayor número de árboles dominados puede reflejarse negativamente en el volumen de madera, estabilizando y hasta reduciendo el incremento medio anual.

Los resultados obtenidos por varios autores permiten señalar que la edad de corta varía en función de la especie y del espaciamiento adoptado. De acuerdo con Balloni y

Simoes (*op. cit.*), no es deseable mantener la plantación con el crecimiento estabilizado, y para evitar ese problema se deben realizar cortas de aclareo en las primeras fases de crecimiento.

Dependiendo del espaciamiento de plantación, y consecuentemente del destino final de la madera a producir, y del ritmo de crecimiento de la especie empleada, cuando se utilizan densidades altas (espaciamientos pequeños) se hacen necesarias las cortas en fases mucho más jóvenes, lo que podría traducirse en la salida de grandes cantidades de nutrientes del suelo, disminuyendo su fertilidad y comprometiendo el éxito de futuras rotaciones, además de producir madera de calidad inferior y de requerirse mayores costos para lograrlo, por lo que, cuando se trate de producir madera para aserrío u otro destino similar, no se considera conveniente adoptar espaciamientos pequeños que obliguen a las prácticas silviculturales antes señaladas.

### **Reflexiones finales**

Como hemos podido observar a lo largo de las experiencias relatadas, el espaciamiento representa uno de los factores decisivos para el futuro de la masa e influye sobre las características de crecimiento y sobre la producción.

La mortalidad y el espaciamiento están altamente relacionados, como regla general se puede decir que a menor espaciamiento mayor será la mortalidad y que esta relación se ve afectada por la edad, la especie y las condiciones del sitio.

Los factores abióticos del sitio (climáticos, edáficos y fisiográficos) tienen influencia sobre el crecimiento de la población, por lo cuál deben considerarse para seleccionar el espaciamiento más adecuado, sobre todo aquellos ligados al suelo y al régimen de humedad.

El espaciamiento tiene mayor influencia en el desarrollo en diámetro que en el crecimiento en altura de los árboles. La influencia del diámetro ha sido comprobado por numerosos trabajos experimentales. Sin embargo, los efectos del espaciamiento sobre el crecimiento en altura de los árboles, muestran casos donde la altura media aumenta proporcionalmente con el espaciamiento, otros donde el resultado es inverso y algunos donde no existen diferencias.

Las poblaciones más densas producen mayor volumen total de madera que aquellas menos densas; los espaciamientos mayores producen un número más grande de árboles con mayor volumen individual y de mejor forma y dimensiones. El volumen útil de

madera puede ser semejante entre poblaciones con mayor y menor número de individuos.

El aumento de la densidad de la población implica un aumento en los costos de plantación y de manejo, siendo necesario balancear los aumentos de producción con los incrementos del costo.

Las principales consecuencias negativas, de los espaciamientos pequeños, se pueden resumir en un mayor consumo de plantas y fertilizantes por hectárea, así como una mayor dificultad para el control de maleza y de los aprovechamientos, mayor número de cortas de aclareo y una mayor producción de madera de pequeñas dimensiones, entre las más importantes.

El espaciamiento no debe ser rígido para cada especie o sitio, debe decidirse principalmente en función al destino final de la madera a producir y de la calidad de producto que se desea obtener y de su valor económico; para lograr lo anterior se deben analizar factores relacionados con la calidad del sitio, el hábito de crecimiento de la especie, la sobrevivencia esperada, el método de manejo de la masa en el tiempo y en el espacio, la clase de equipo a utilizar en las prácticas culturales, la forma de aprovechamiento, además de las implicaciones económicas de cada uno de los factores enumerados y del efecto de sus posibles interacciones.

## BIBLIOGRAFÍA

- Balloni, E.A. y Simoes, J.W., 1980.. O espaçamento de plantio e suas implicações silviculturais. Serie Técnica. IPEF, Piracicaba 1 (3): 1 - 16
- Barret, R.L.; Carter, D.T. y Seward, B.R.T, 1975. *Eucalyptus grandis* in Rhodesia. Rhodesia Bulletin of Forest Research, Salisbury (6): 1-87.
- Bertoni, V. R., 1976. Informe Técnico sobre crecimiento de plantaciones forestales de cedro y caoba en el C.E. Ing. Eduardo Sangri Serrano (El Tormento), en Escárcega, Campeche. (Informe Interno no publicado), 8 p.
- Coelho A., S. R., H. A. mello y J. W. Simoes. 1970. Comportamento de especies de eucalipto face ao espaçamento. IPEF. Piracicaba (1) : 29-55.

- Couto, L., 1977. Influência do espaçamento no crescimento do *Eucalyptus urophylla* de origem híbrida, cultivado na região de Coronel Fabriciano, Minas Gerais, Viçosa. UFV. 54 p. Tesis de Maestría.
- Díaz, M.E.R.A; Castillo, V.J.C y Jiménez, C.J.M., 1986. Informe Técnico sobre el desarrollo de plantaciones forestales en el C.E. Ing. Eduardo Sangri Serrano (El Tormento), en Escárcega, Campeche. (Informe Interno no publicado). 13 p.
- Díaz, M.E.R.A; Castillo, V.J.C y Jiménez, C.J.M., 1993. Informe Técnico sobre el desarrollo de plantaciones forestales de *Tectona grandis* (Teca), en el C.E. Ing. Eduardo Sangri Serrano (El Tormento), en Escárcega, Campeche. (Informe Interno no publicado). 10 p.
- Evans, J. 1992. Plantation forestry in the tropics. 2nd Edition. Clarendon Press, UK, 403 p.
- Evert, F. 1975. Spacing studies a review. Information report FMR-X-37, Canadian Forestry Service, Dept. of the Environment. Forest Management Institute. 95 p.
- García, M.J.J., 1989. Efectos del espaciamiento en el desarrollo de una plantación de cuatro especies de pino en Capacuaro, Michoacán. CIENCIA FORESTAL, INIFAP, SARH. Coyoacán. 65 (14): 18-51.
- Guimaraes, R.F., 1960. Ensaio de espaçamentos em *Eucalyptus saligna* Smith para produção de lenha. 2ª. ed. Rio Claro. CPEF. 42 p. (Boletim Nº 6).
- Guimaraes, R.F., 1965. Observações sobre diâmetros, alturas, sobrevivência e peso de madeira de *Eucalyptus saligna* em vários espaçamentos. Anuario Brasileiro de Economia Florestal, Rio de Janeiro, 17(17): 31-45.
- Hamilton y Christie, 1974 (citados por Schönau y Coetzee, 1988)
- Hillis, W.E. y Brown, A.G., 1978. *Eucalyptus* for wood production. Melbourne, CSIRO. 433 p.
- Juárez, G.V.M. y Ramírez, M.H. 1985. Crecimiento de *Gmelina arborea* L. Roxb. en cuatro espaciamientos. Ciencia Forestal. INIF - SARH. Coyoacán. 56(10): 33 - 49.

- Mello, H. do A. et al., 1976. Influencia do espaçamento e da idade de corte na produção de madeira de eucalipto em solo de cerrado. IPEF. Piracicaba, (13): 143-62.
- Meskimen, G. y Franklin, E.C., 1978. Spacing *Eucalyptus grandis* in Southern Florida. Southern Journal of applied forestry, Washington, 1(1): 3-6.
- Montagna, R.G. et al, 1973. Estudo sobre o crescimento e a densidade da madeira de *Pinus elliottii* Engelm. var *elliottii* em função do espaçamento. Silvicultura em Sao Paulo, Sao Paulo (8): 33-52.
- Patiño, V. F. 1986. Variación genética em progênes de *Eucalyptus saligna* Smith e sua interação com o espaçamento. Piracicaba. ESALQ/USP. 192 p. (Tesis de maestría).
- Patiño, V. F. 1991. Informe de la consultoría sobre Silvicultura de plantaciones forestales en Uruguay. (PROYECTO: FAO/ PNUD/URU/90/005). Roma, Italia. 110 p.
- Rezende G. C. et al. 1980. Novas técnicas de espaçamentos para *Eucalyptus* spp. Aguas Sao Pedro. Simposio IUFRO. 11 p.
- Sánchez, M.A. y Gómez, T.J., 1981. Informe Técnico sobre el desarrollo de ocho especies creciendo en plantaciones forestales en el C.E. Ing. Eduardo Sangri Serrano (El Tormento), en Escárcega, Campeche. (Informe interno no publicado), 6 p.
- Schönau A., P.G., 1974. The effect of planting spacement and pruning on growth, yield and timber density of *Eucalyptus grandis*. South African Forestry Journal, Johannesburg (88): 16 - 23.
- Schönau A., P. G. y Cotzee, J. 1988. Initial spacing, stand density and thin in *Eucalyptus* plantations. En: Actas. Simposio Manejo silvícola del género *Eucalyptus*. Viña del Mar, Chile. COFOP - Inst. For. XV. 20 p.
- Simoes J. W. y Spina-França. 1983. Produção de madeira em florestas energéticas sob diferentes práticas silviculturais. In: Simposio Energía de Biomassa Florestal. Sao Paulo, CESP. pp. 1-36.
- Smith, D:M.,1962. The practice of silviculture. 7ª Ed. New York. John Wiley. 578 p.
- Van Laar, A., 1961. *Eucalyptus saligna* in South Africa. An investigation into the silviculture and Economics. Annale Universitatet Van Stellenbosh, Stellenbosh, 36(A): 1-110.



Van Laar, A., 1978. The growth of unthinned *Pinus patula* in relation to spacing. South African Forestry Journal, Johannesburg, (107): 3-11.

Wattle Research Institute, 1972 Handbook on eucalipt growing. Pietermaritzburg. 164 p.