

IMPORTANCIA DE LA FERTILIZACION EN LA CALIDAD DE LA MADERA Y LA CELULOSA

Vanilda R. de Souza Shimoyama y Luiz Ernesto G. Barrichelo*

Introducción

Al momento, la fertilización es una práctica silvicultural de rutina, y en algunas situaciones imprescindible para el éxito de la empresa forestal. El principal objetivo de esta práctica es el incremento de la producción, factor que también se verá reflejado en la calidad de la madera.

La literatura especializada registra varios trabajos que relacionan las condiciones a las cuales se ha sometido la madera durante la etapa de formación y la calidad de la madera resultante.

Las características de la madera son el resultado de la interacción entre el potencial genético del árbol y las condiciones ambientales. En lo que respecta al ambiente, se ha evaluado ampliamente la influencia de algunos factores, entre ellos la fertilización, sobre las propiedades de la madera.

Entre las principales características de la madera influenciadas por la fertilización se destacan el porcentaje de leño en las coníferas, la densidad básica, las características de las fibras, la composición química y la cantidad de madera juvenil y adulta.

Formación de la madera

El desarrollo del árbol cambia con el mejoramiento del suelo mediante fertilización, la cual constituye en un factor primordial de crecimiento. La formación de la madera y sus características dependen de la actividad del cambium y de la diferenciación de los xilemas, los mismos que a su vez son controlados por la producción de hormonas de las yemas florales. Las hormonas sintetizadas en la copa son transportadas por el cambium a través del floema, hacia sitios donde se inicia la diferenciación del xilema.

Un cambio en el estado nutricional del suelo a través del uso de fertilizantes, influencia directamente la actividad de la copa, incrementando la superficie de las hojas y consecuentemente la producción de hormonas. Esta mayor cantidad de hormonas acelera el ritmo de crecimiento de la planta y por lo tanto produce un mayor incremento del tronco.

Según varios autores, en los primeros años de la plantación, cuando la población es joven, con mayor frecuencia el incremento en diámetro es más pronunciado que el crecimiento en altura. El volumen de madera es generalmente superior en árboles fertilizados que en aquellos árboles sin fertilización.



Porcentaje de leño

El leño inicial se caracteriza por presentar fibras más cortas con paredes finas, diámetro de lumen grande, menor porcentaje de holo-celulosa y mayor de lignina. En cambio, el leño tardío presenta características contrarias a las del leño inicial. La formación diferenciada de estos leños es consecuencia de la alteración de las condiciones fisiológicas internas del árbol, como reflejo de las variaciones ambientales ocurridas en los diversos ciclos de crecimiento a los que están sometidos.

Generalmente, el leño inicial se forma durante el período de mayor crecimiento del árbol, cuando hay gran disponibilidad de hormonas sintetizadas por la copa, mientras que el leño tardío se forma durante el período de menor desarrollo del árbol.

Se pueden encontrar diferentes respuestas a la fertilización en el porcentaje de leños formados. Estos efectos dependen de las condiciones del árbol antes de la fertilización.

* Tomado de: Vanilda R. de Souza Shimoyama y Luiz Ernesto G. Barrichelo. 1994. Importancia de adubacao na qualidade da madeira e celulosa. En M.F. Eustaquio da Sá e S. Buzeti. Importancia da adubacao na qualidade dos produtos agrícolas. Sao Paulo: Icone, 1994.

Tabla 1. Proporción volumétrica de leños y volumen total de madera de *Pinus caribaea* var. *bahamensis* a diferentes niveles de DAP. Disco de 1 cm de espesor.

| Arbol | Tratamientos | | | | | |
|----------|--------------|---------|-----------------------|----------------|---------|-----------------------|
| | Fertilizado | | | Sin fertilizar | | |
| | Vi % | Vt % | Vd cm ³ | Vi % | Vt % | VD cm ³ |
| 1 | 77.2 | 22.8 | 153.4 | 75.9 | 24.1 | 95.7 |
| 2 | 80.9 | 10.1 | 132.8 | 64.0 | 36.0 | 135.5 |
| 3 | 77.5 | 22.5 | 158.8 | 72.5 | 27.5 | 149.8 |
| 4 | 77.3 | 22.7 | 155.3 | 76.0 | 24.0 | 93.8 |
| 5 | 77.4 | 22.6 | 157.2 | 71.2 | 28.8 | 94.8 |
| 6 | 77.4 | 22.6 | 161.0 | 76.0 | 24.0 | 99.0 |
| 7 | 82.4 | 17.6 | 139.8 | 62.6 | 37.6 | 138.4 |
| 8 | 77.7 | 22.3 | 162.9 | 70.3 | 29.7 | 92.1 |
| 9 | 77.5 | 22.5 | 158.9 | 63.4 | 36.6 | 131.6 |
| 10 | 77.0 | 23.0 | 166.9 | 64.6 | 35.4 | 132.9 |
| Promedio | 78.2 | 21.8 | 154.7 | 69.6 | 30.4 | 116.4 |
| C. V. | 3.8 | 3.9 | 6.8 | 8.6 | 7.3 | 19.6 |

Vi = Porcentaje volumétrico del leño inicial del disco total

Vt = Porcentaje volumétrico de leño tardío del disco total

VD = Volumen total de madera del disco (1 cm de espesor). No incluye madera del 1 año de vida del árbol

Tabla 2. Variación de los porcentajes de leño en función de la fertilización.

| Especie | Tipo de leño | Distribución del leño (%) | |
|--------------------|--------------|---------------------------|----------------|
| | | Fertilizado | No fertilizado |
| <i>P. caribaea</i> | inicial | 78.2 | 69.6 |
| <i>P. caribaea</i> | tardío | 21.8 | 30.4 |
| <i>P. resinosa</i> | tardío | 12.6 | 14.4 |
| <i>Douglas fir</i> | tardío | 31.5 | 33.0 |

En árboles con un ritmo de crecimiento muy bajo, la formación de fibras de leño tardío y el espesor de la pared pueden ser limitadas. Cuando se mejoran las condiciones de suelo se forma principalmente leño tardío, incrementando de este modo su porcentaje en relación con el leño inicial. En árboles cuya formación de leños es normal, el incrementar su ritmo de crecimiento mediante fertilización produce madera con anillos amplios y con mayor porcentaje de leño inicial. La fertilización en árboles con alto ritmo de crecimiento da como resultado una pequeña tendencia a aumentar o mantener inalterado el porcentaje de leño inicial.

En ocasiones, un árbol de medio a

alto ritmo de crecimiento muestra, como respuesta a la fertilización, un incremento en el porcentaje de leño tardío. Este incremento puede ser consecuencia de la propia tendencia genética de la planta en formar este tipo de leño.

En general, la tendencia es aumentar el contenido de leño inicial después de la fertilización, principalmente en coníferas, como se puede observar en los resultados presentados en las Tablas 1 y 2.

Densidad básica

La densidad es un parámetro cuantitativo adoptado como índice de calidad por estar directamente relacionado con las características

morfológicas, anatómicas y químicas de la madera.

Varios trabajos muestran una alta correlación entre la densidad de la madera y los porcentajes de leño tardío y leño inicial. El leño tardío se correlaciona positivamente con la densidad de la madera, lo contrario ocurre con el leño inicial. De esta forma, los árboles donde el porcentaje de leño inicial se incrementa mediante fertilización presentan reducción de la densidad de la madera, mientras que en aquellos árboles donde aumenta el contenido de leño tardío muestran un incremento en la densidad de la madera y finalmente árboles que no modifican los porcentajes de leños en función de la fertilización permanecen con la misma densidad.

En ocasiones, no se verifica ningún efecto de la fertilización sobre la densidad de la madera debido a que se realiza en poblaciones muy jóvenes. Si se aplica nitrógeno (N) cuando la copa aún se está formando, el incremento de vigor tiene poco efecto sobre la madera.

Tabla 3. Variación de la densidad en función de la fertilización.

| Especie | Edad (años) | Densidad (g/cc) | |
|---------------------|-------------|---------------------|-----------------------|
| | | Antes de fertilizar | Después de fertilizar |
| <i>P. tadea</i> | 25 | 0.479 | 0.442 |
| <i>P. tadea</i> | 25 | 0.486 | 0.475 |
| <i>P. tadea</i> | 20 | 0.534 | 0.530 |
| <i>Pinus sp</i> | -- | 0.475 | 0.451 |
| <i>P. resinosa</i> | -- | 0.350 | 0.350 |
| <i>Douglas fir</i> | -- | 0.466 | 0.424 |
| <i>Picea rubens</i> | -- | 0.395 | 0.399 |
| <i>P. caribaea</i> | 13.4 | 0.480 | 0.350 |

Solamente después de que se ha formado la copa, la aplicación de N afecta las características de las células del tronco.

En general, los árboles presentan incremento en el porcentaje de leño inicial como respuesta a la fertilización, provocando una reducción en la densidad básica como se muestra en la Tabla 3.

Características de las fibras

La dimensión de la fibra, la longitud, ancho y espesor de la pared y el diámetro del lumen representan diferentes estadios de desarrollo de la fibra que son controlados por diferentes procesos fisiológicos. Estas características varían independientemente.

La longitud de las fibras está influenciada principalmente por la tasa de divisiones transversales en el cambium y la frecuencia de las divisiones varía con la especie, factores ambientales y ritmo de crecimiento.

El incremento del ritmo de crecimiento en función de la fertilización provoca rápidas divisiones transversales de las células iniciales del cambium impidiendo el desarrollo total de las mismas en longitud. Por lo tanto, el alargamiento de las fibras disminuye como consecuencia de la fertilización.

Del mismo modo que para el caso del alargamiento de las fibras, hay reducción en la densidad de las paredes de las fibras, debido a que las rápidas divisiones no permiten el incremento en densidad de las mismas.

Sin embargo, se observan resultados muy contradictorios en la variación del largo y el diámetro del lumen de las fibras en función de la fertilización. Algunos autores verifican un aumento en el largo de la fibra y otros dicen que no se presenta alteración. Si el largo de la fibra aumenta o permanece constante, el diámetro del lumen será mayor, debido a que la densidad de la pared disminuye con la fertilización.

Composición química

La pared de las fibras está compuesta de un gran número de sustancias poliméricas, siendo las principales la celulosa, hemicelulosa y lignina. Están presentes tam-

bién otras sustancias como polifenoles, amido, pectina, etc. Algunas de esas sustancias, principalmente la lignina, están también presentes en la lamela media. No se conoce como estos compuestos están asociados a nivel molecular dentro de la pared celular, pero se sabe que la holocelulosa se forma durante el período de desarrollo de la pared celular, y que la lignina aparece en la pared después de algún grado de formación de las mismas.

Pocos estudios han evaluado el efecto de la fertilización en la composición química de la madera, pero como consecuencia del incremento en el ritmo de crecimiento debido a fertilización, hay disminución en el contenido de celulosa y de extractos y aumento en el contenido de lignina.

Uniformidad poblacional

Un efecto muy importante de la fertilización sobre la madera es la uniformización de la población, efecto de gran importancia para la industria forestal.

La uniformización ocurre porque normalmente la fertilización afecta la madera de mayor densidad y fibra. Esto permite que se reduzca la faja de variación de la densidad y del alargamiento de la fibra como se puede observar en la Tabla 4.

Tabla 4. Valores promedios de las propiedades de la madera de Douglas Fir (*Pseudotsuga menziesii*) que permiten la uniformización de tamaño de la población.

| Características | Arbol fertilizado | Arbol testigo |
|-------------------------------|-------------------|----------------|
| Densidad (g/cm ³) | 0.424 +- 0.04 | 0.466 +- 0.062 |
| Leño tardío (%) | 31.5 +- 4.0 | 33.0 +- 9.6 |
| Largo de fibra (mm) | | |
| Leño inicial | 52.6 +- 6.5 | 54.8 +- 7.2 |
| Leño tardío | 28.9 +- 2.4 | 30.8 +- 2.2 |

Madera juvenil

Un efecto indeseable de la fertilización sobre la calidad de la madera es el prolongamiento de la formación de la madera juvenil, lo que compromete en cierta forma la calidad de la celulosa. Sin embargo esta condición puede ser deseable cuando la fibra se utiliza para papel.

En general, la madera juvenil presenta menor densidad, fibras más cortas y menos espesas, mayor contenido de lignina y extractos y menor contenido de holocelulosa.

Características de la celulosa

Considerando la intensificación de las prácticas de manejo forestal, se iniciaron algunos estudios con el objeto de evaluar las relaciones entre las propiedades de la madera y la celulosa, y para establecer patrones de caracterización de la calidad de la madera.

El rendimiento de celulosa está asociado a la composición química de la madera, mientras que en la calidad de la celulosa los factores dominantes son de tipo anatómico

entre los que se destacan la longitud y la densidad de las paredes de las fibras.

En general, el leño tardío presenta un rendimiento superior de celulosa, en relación con el leño inicial, debido a la mayor densidad de las paredes de las fibras. Si la fertilización promueve un aumento en el contenido del leño inicial, se espera una disminución en el rendimiento de celulosa. Sin embargo, la mayoría de autores que estudiaron el tema coinciden indicando que el rendimiento de celulosa se incrementa un poco o permanece inalterado como respuesta a la fertilización, como muestra la Tabla 5.

Las variaciones en la resistencia del papel se deben a la morfología de las fibras y a la cohesión entre las mismas. El papel fabricado con fibras de paredes gruesas y voluminosas posee baja densidad, alta opacidad y es poco uniforme, presenta superficie rugosa y posee baja resistencia a la tracción. Estas características son típicas del papel que se ha formado de leño tardío o madera de alta densidad.

Fibras de madera de baja densidad poseen paredes finas y son fácilmente colapsables, dando una forma compacta, baja opacidad, mayor uniformidad en la formación, superficie lisa y alto contacto entre fibras lo que proporciona al papel alta resistencia a la tracción.

La mejor condición es el alargamiento del material, lo cual es un factor dominante en el control de la resistencia del papel al rasgado.

La madera que se genera después de la fertilización presenta fibras más cortas y paredes más finas, confiriendo al papel una baja opacidad, mayor uniformidad, superficie lisa, alta cohesión entre fibras y por lo tanto elevada resistencia a la tracción y menor resistencia al rasgado.

Nota del editor. Este artículo tiene una extensa bibliografía que no se incluyó por falta de espacio. Esta bibliografía está a disposición del lector mediante un pedido por correo electrónico, fax o correo normal. ♣

Tabla 5. Valores promedio de las propiedades de las pulpas de Douglas Fir (*Pseudotsuga menziesii*) en relación con la fertilización.

| Características | Arbol fertilizado | Arbol testigo |
|-------------------------------|-------------------|----------------|
| Densidad (g/cm ³) | | |
| - Sin refinación | 0.364 +- 0.020 | 0.372 +- 0.028 |
| - Refinada | 0.693 +- 0.028 | 0.688 +- 0.038 |
| Resistencia al estiramiento | | |
| - Sin refinación | 16.2 +- 3.0 | 17.0 +- 4.8 |
| - Refinada | 74.6 +- 2.4 | 74.5 +- 0.038 |
| Resistencia a la tracción | | |
| - Sin refinación | 3370 +- 400 | 3450 +- 772 |
| - Refinada | 10430 +- 700 | 10110 +- 608 |
| Resistencia al rasgado | | |
| - Sin refinación | 227 +- 6 | 226 +- 16 |
| - Refinada | 111 +- 18 | 108 +- 16 |