




Un método de muestreo para predecir la edad de ramas de primer orden

A sampling method for predicting the age of first-order branches

Patricio Corvalán¹ , Guillermo Trincado² y Catalina Izquierdo³

Corvalán, P., Trincado, G. y Izquierdo, C. (2019). Un método de muestreo para predecir la edad de ramas de primer orden. *Colombia Forestal*, 22(1), 27-36.

DOI: <http://dx.doi.org/10.14483/2256201X.13227>

Recepción: 10 de abril de 2018

Aprobación: 29 de octubre de 2018

Resumen

Se describe un método de muestreo de tipo destructivo para estimar la edad de ramas de primer orden con aplicación en cualquier especie que presente verdaderos anillos anuales de crecimiento en árboles vivos. Su implementación requiere estimar el desarrollo de altura total de los árboles, utilizando técnicas de análisis de tallo y de la medición de la altura y ángulo de inserción para una muestra de ramas de primer orden. El procedimiento permite estimar la edad y año de formación de las ramas, el período de mantención de ramas vivas y de persistencia de ramas muertas en la copa de los árboles. Es un método alternativo al de disección de ramas. La implementación de algoritmos requeridos se ilustra detalladamente para un individuo de *Nothofagus obliqua* (Mirb.) Oerst. (Fagales: Nothofagaceae) de 48 años de edad.

Palabras clave: dinámica de ramas, persistencia de ramas, vitalidad.

Abstract

A destructive sampling method to estimate the age of first-order branches is presented. The proposed method can be applied only to living tree species showing annual growth rings. The implementation requires an estimate of total tree height development applying stem analysis techniques and the measurement of stem height and insertion angle for a sample of first-order branches. The developed procedure allows estimating the age and year of branch formation, and the maintenance of branches within the death and live crown. It can be considered an alternative to branch dissection methods. The algorithms' implementation is illustrated for a 48-year old *Nothofagus obliqua* (Mirb.) Oerst. tree.

Key words: branch dynamics, branch persistence, vitality.

1 Universidad de Chile, Facultad de Ciencias Forestales y de la Conservación de la Naturaleza, Departamento de Gestión Forestal y su Medio Ambiente, Santiago, Chile. pcorvalanvera@gmail.com. Autor para correspondencia.

2 Universidad Austral de Chile, Facultad de Ciencias Forestales y Recursos Naturales, Instituto de Bosques y Sociedad, Valdivia, Chile

3 Universidad de Chile, Facultad de Ciencias Forestales y de la Conservación de la Naturaleza. Santiago, Chile.

INTRODUCCIÓN

La evaluación de prescripciones silvícolas para especies de alto valor comercial destinadas a uso estructural requiere conocer atributos de ramas como su posición, tamaño, longevidad, mantención y persistencia a lo largo del fuste. Las ramas incluidas en el fuste se convierten en nudos que desde una perspectiva de calidad de madera se consideran como defectos internos (Trincado y Burkhart, 2008; Osborne y Maguire, 2015). Decisiones silvícolas tales como: densidad inicial de plantación y espaciamiento (Amateis, Radtke y Hansen, 2004), raleo (Baldwin *et al.*, 2000), poda (Clark, Saucier, Baldwin y Bower, 1994) y fertilización (Yu, Chambers, Tang y Barnett, 2003) tienen un efecto en el tamaño de las ramas y consecuentemente en la dimensión de los nudos. A su vez, el estudio de la persistencia o tiempo de permanencia de ramas muertas en el fuste resulta fundamental en la producción de madera de alta calidad para decidir si podar artificialmente o dejar que ésta se produzca en forma natural. Las ramas que persisten mucho tiempo muertas antes de caer generan una pérdida de volumen de alta calidad importante en la troza basal, ya sea porque el pedúnculo de la rama es muy largo o muy grueso (Maguire y Hann, 1987; Mäkinen, 2002; Hein, 2008). Por lo tanto, para el desarrollo de una silvicultura orientada a la producción de madera de alta calidad es fundamental disponer de técnicas eficientes de medición de longevidad y persistencia de ramas que permitan la construcción de modelos de formación, desarrollo y recesión de copa (Weiskittel, Seymour, Hofmeyer y Kershaw, 2010; Wang *et al.*, 2015).

El problema fundamental es que la medición de la dinámica de formación y crecimiento de las ramas, que está bajo fuerte control genético y es modificado por la competencia y el sitio, es difícil y costosa de realizar, especialmente a medida que los árboles aumentan su tamaño. Esto limita el estudio de la dinámica y estructura de la copa de los árboles. Para estimar la edad de las ramas se ha aplicado el método de disección de ramas

y conteo de anillos de crecimiento descritos por Maguire y Hann (1987), sin embargo, no ha mostrado tener una alta exactitud. Uno de los mayores problemas de esta técnica es la pérdida de anillos anuales de crecimiento de las ramas cuando éstas empiezan a morir. Reukema (1959) comparó el número de anillos en la base de ramas vivas y en el fuste en su punto de inserción y encontró diferencias de 9 a 10 años en la medición de la edad de ramas en *Pseudotsuga menziesii* (Mirb.) Franco, atribuyéndolo a que las ramas no necesariamente forman anillos anuales en su base, siendo aún vitales. Este autor señala que probablemente se deba a la cercanía de la muerte de la rama, aun cuando su follaje era abundante y aparentemente sano. Coincidentemente, Kershaw, Maguire y Hann (1990) encontraron, en la misma especie que los anillos anuales de ramas perdidos en promedio fueron de 8 años, con un rango entre 0 y 49 años y que en términos de la longevidad de la rama resulta en promedio 34% con un rango entre 0% y 93%. Sprugel, Hinckley y Schaap (1991) señalan que en general las ramas más bajas resultan neutrales en el balance de carbono del árbol, fijan lo que necesitan para sus requerimientos, pero sin agregar nuevos tejidos. Este fenómeno de falta de formación de anillos anuales en las ramas ocurre con mayor intensidad en la zona baja del árbol, donde precisamente se encuentra el volumen comercial más interesante y que es hacia donde se dirigen los esfuerzos de la silvicultura, como lo señalan Andrews y Gill (1939). Reukema (1959) señala que la falla en la formación de anillos anuales de crecimiento en las ramas se debe a que la formación de células cesa en los últimos años de vida o a que la actividad cambial es tan débil que sólo forma una o dos corridas de células indiferenciadas entre primavera y verano. Estos antecedentes motivan a desarrollar un método alternativo que combine técnicas de análisis de tallo y estimación del punto de inserción en altura de la rama en el fuste para estimar la edad y año de formación de las ramas y el período de permanencia de ramas en la copa viva y muerta de los árboles. Se espera que

el método propuesto facilite la medición y modelación de la dinámica de formación de las ramas vivas y muertas. Siendo un método de estimación de la edad de las ramas alternativo a la técnica de disección que evite la omisión de conteo de anillos anuales de crecimiento.

Protocolo de muestreo

Antes de proceder al volteo y extracción de discos para el conteo de años, debe verificar que el árbol presente anillos anuales de crecimiento. Esto se puede corroborar extrayendo un tarugo del fuste

y observando la diferenciación de anillos. Tiene que considerar que no todas las especies ni climas donde crecen los árboles forman anillos anuales de crecimiento, lo cual es de amplio conocimiento en la dendrocronología. Para cada uno de los árboles seleccionados se debe realizar la medición y marcación del diámetro normal (DAP). Posteriormente, se debe ejecutar el apeo de los árboles y medir la altura de tocón (T) y el largo fustal (L) desde la base hasta el ápice del árbol. La medición de ramas y extracciones de rodajas o discos requeridas para el análisis de tallo debe seguir la secuencia de actividades de la [figura 1](#).

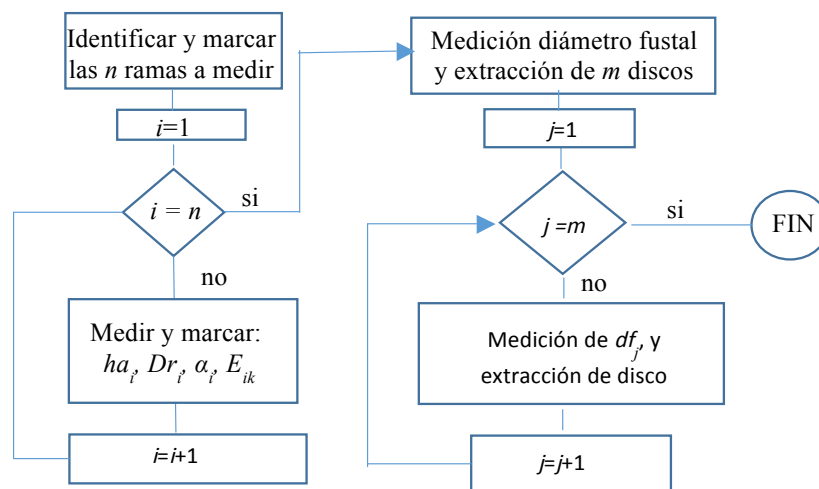


Figura 1. Protocolo utilizado para la medición de ramas y extracción de discos a lo largo del fuste.

Donde:

- i rama número $i=1, \dots, n$
- j rodaja número $j=1, \dots, m$
- ha_i altura de emergencia de la rama i en el fuste (m)
- Dr_i diámetro de la rama i (mm)
- α_i ángulo de inserción superior de la rama i (grados)
- E_i estado de la rama i (viva o muerta)
- df_j diámetro fustal de la rodaja j

Para cada árbol muestra se debe identificar y marcar a lo largo del fuste una submuestra de n ramas a las cuales se les medirá su altura de emergencia en el fuste, diámetro fustal, ángulo de

inserción superior y estado de la rama. Finalmente, se procederá a la extracción de una submuestra de m rodajas a lo largo del fuste y se medirá en cada posición el diámetro fustal df_j (cm). La secuencia de cortes idealmente deberá generar una diferencia constante de años entre rodajas sucesivas a fin de mantener errores de interpolación de baja magnitud, para lo cual se debe disponer curvas de índice de sitio (Corvalán, Araya, Blanco y Cox, 1987). El trozado del árbol para la obtención de discos fustales deberá considerar adicionalmente la ubicación de las ramas que han sido medidas de tal manera que la interpolación de la altura de formación de la rama en el fuste sea realizada en un

intervalo de altura breve, para disminuir errores propios de interpolación.

Algoritmos de estimación

El método requiere reconstruir para cada edad la altura total del árbol seleccionado. Esto se realiza aplicando técnicas de análisis de tallo que requieren del conteo y medición de los anillos contenidos en cada una de las secciones transversales obtenidas a lo largo del fuste (Cancino, Acuña y Espinosa, 2012).

Estimación del año de formación de las ramas

Para estimar la edad de formación de la rama es necesario estimar previamente la altura de origen de la rama h_o (m) en el fuste. Esta se estima corrigiendo la altura de emergencia o aparición de la rama h_a en el fuste (m) por el ángulo de inserción superior α (grados) y el diámetro fustal a la altura de aparición de la rama df_a (m) al aplicar la siguiente fórmula (figura 2):

$$h_o \approx h_a - \frac{1}{2} \cotg(\alpha) \cdot df_a \quad [1]$$

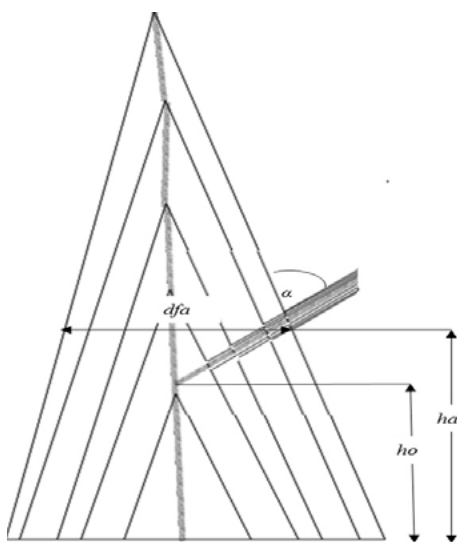


Figura 2. Representación esquemática de formación de ramas de primer orden en el fuste.

El procedimiento asume que no existe excentricidad de los anillos de crecimiento en la sección transversal del fuste, lo cual puede ser observado en las rodajas. Para determinar la edad de formación de la rama se compara la altura de origen de la rama con la altura total del árbol reconstruida para las distintas edades (h_e). La rama medida tendrá la edad de formación e_f cuando $h_{e-1} < h_o < h_e$. Por lo tanto, el año de formación (a_f) se obtendrá restando del año de la medición (a_m) la edad de formación estimada de la rama (e_f).

Estimación de la edad de las ramas

Una vez estimado el año de formación de la rama se requiere clasificar la condición de la rama. Si la rama está viva entonces la diferencia entre el año de medición (a_m) y el año de formación (a_f) de la rama corresponderá a la edad actual de la rama (E_f). En caso contrario, si la rama está muerta, solo se podrá determinar la edad y año cuando se produjo su formación. Determinar la edad de la rama importa solamente si ella está viva o muerta. Otros estados de vitalidad no afectan su edad.

Estimación del período de mantención de la copa viva

El período de tiempo de mantención de la copa viva puede ser estimado como la diferencia entre el año de medición del árbol y el año de formación de la rama viva más baja en altura en la base de la copa viva.

Estimación del período de persistencia de las ramas muertas

La persistencia de ramas muertas corresponde al máximo número de años estimado en que las ramas inferiores de la copa permanecen muertas sin caer. Esto se puede estimar como la diferencia entre el año de formación de la rama más baja de la copa muerta (AF_{rm}) y la rama viva más baja de la copa viva (AF_{rv}).

Aplicación del método propuesto

El método propuesto se sustenta en que el mejor estimador de la fecha de nacimiento de las ramas axiales queda registrada con el conteo de anillos anuales de crecimiento del fuste en su punto de inserción en altura, como ha sido señalado anteriormente, por lo cual el método propuesto no necesita ser validado. Con el único objetivo de ilustrar numéricamente la aplicación del método propuesto, se utilizan las mediciones realizadas en el caso de un individuo de roble (*Nothofagus obliqua*) medido destructivamente el año 2014. El árbol seleccionado presenta diámetro a la altura de pecho (DAP) de 26.6 cm, altura total de 15.8 m, altura de comienzo de copa muerta de 2.4 m y una altura de comienzo de copa viva de 7.7 m. De acuerdo a estas mediciones el largo de la copa viva es de 8.8 m y el largo de la copa muerta de 5.3 m. Las mediciones fueron hechas con forcípula y huincha de distancia.

Medición de ramas a lo largo del fuste

El fuste del árbol fue dividido en 10 secciones relativas (deciles). En cada sección se seleccionaron las ramas de mayor diámetro siguiendo los protocolos de medición descritos en Corvalán (2015). En este caso, 7 de las 10 secciones relativas tenían presencia de ramas vivas o muertas (tabla 1). Este procedimiento de reconstrucción no considera la selección de ramas de origen epicórmico que se pudieran presentar a lo largo del fuste. Las variables medidas en cada rama seleccionada fueron: estado de la rama (viva o muerta), diámetro de la rama D_r en mm, altura de emergencia de la rama en el fuste h_a en m, ángulo de inserción superior de la rama α en grados y diámetro fustal a la altura de emergencia de la rama df_a en cm. El ángulo de la rama y su diámetro fueron medidos con transportador y pie de metro, respectivamente.

Tabla 1. Variables de estado de ramas medidas a distintos rangos de alturas relativas (HR) y reconstrucción de altura de origen, edad y año de formación y edad estimada de cada rama.

RH (%)	Estado	D_r (mm)	h_a (m)	α (°)	df_a (cm)	Variables estimadas			
						h_o (m)	e_f (años)	a_f (año)	E_r (años)
10-20	Muerta	10	2.45	88	24.7	2.44	1	1966	-
20-30	Muerta	19	3.42	76	23.5	3.39	2	1967	-
40-50	Viva	160	7.83	30	17.8	7.68	13	1978	36
60-70	Viva	30	10.06	50	12.1	10.00	21	1986	28
70-80	Viva	84	11.45	33	8.2	11.39	29	1994	20
80-90	Viva	33	12.78	60	4.8	12.77	36	2001	13
90-100	Viva	15	14.22	60	2.2	14.21	43	2008	6

Donde:

- Dr diámetro de la rama (mm)
- ha altura de emergencia de la rama (m)
- α ángulo de inserción superior de la rama (grados)
- df_a diámetro fustal a la altura de emergencia de la rama (cm)
- ho altura de origen de la rama (m)
- e_f edad del árbol a la que se formó la rama (años)
- a_f año de formación de la rama
- E_r años de vida de la rama

Análisis de tallo completo

El procedimiento utilizado para estimar la altura total correspondiente a cada año de edad del árbol fue el propuesto por Kariuki (2002). Este procedimiento asume proporcionalidad entre el crecimiento primario y el crecimiento secundario del eje principal. La utilización de otros algoritmos para interpolar las alturas escondidas en el análisis de tallo y con ello usar otros supuestos de

proporcionalidad de crecimiento han sido ampliamente discutidos por [Cancino et al. \(2012\)](#), quienes demuestran que cuando los discos se extraen en breves intervalos de altura los resultados son similares. Para el análisis de tallo se extrajeron 16 rodajas a las alturas fustales de 0.35 m, 1.30 m, y, posteriormente, cada metro (2.30, 3.30, etc.) hasta alcanzar los 15.3 m de altura total. A partir de las mediciones de anillos de la rodaja basal se estimó una edad de 48 años, lo cual permite inferir que el individuo se estableció el año 1966.

Reconstrucción de ramas

Aplicando la fórmula [1] es posible estimar la altura de origen h_o (m) de cada una de las ramas en el fuste ([tabla 1](#)). Posteriormente, para estimar la edad de formación e_f se debe comparar la altura estimada de origen h_o con la altura del árbol a las distintas edades h_e . La [figura 3](#) presenta el desarrollo en altura del árbol para las distintas edades con la intersección de las alturas de origen estimadas para cada una de las ramas.

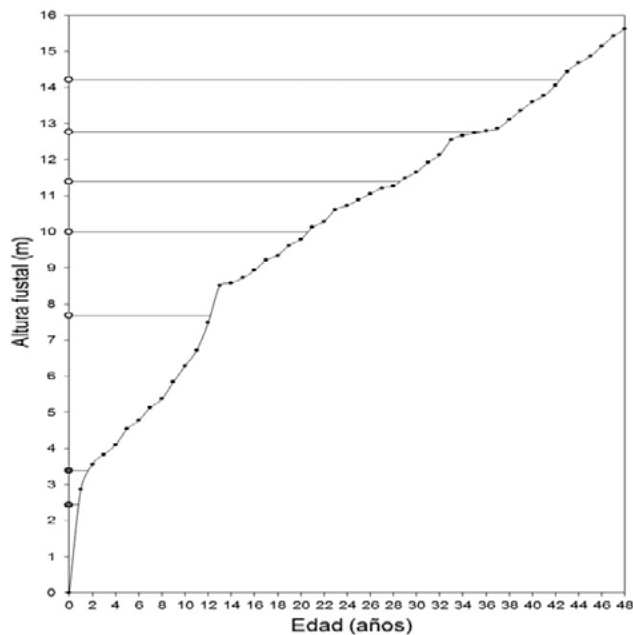


Figura 3. Desarrollo en altura total con la intersección de la altura de origen de las ramas muertas (●) y vivas (○).

Los datos señalados en la [tabla 1](#) permiten determinar que el período de permanencia de ramas en la copa viva alcanza 36 años, esto corresponde a la rama viva medida en la parte más baja de la copa a los 7.83 m. Finalmente, el período de persistencia de ramas muertas se podría estimar como la diferencia entre el año de formación de la rama medida más baja de la copa viva (1978) y el año de formación de la rama muerta más baja de la copa muerta (1966) siendo en este caso de 12 años.

DISCUSIÓN

La aplicación del método permite estimar el año de formación de ramas, edad de las ramas, período de mantención de ramas dentro de la copa viva y período de persistencia de ramas muertas alrededor del fuste. Un claro limitante del método es que puede ser aplicable únicamente a especies forestales en las cuales se puedan diferenciar verdaderos anillos anuales de crecimiento y no presenten excentricidad exagerada.

La aplicación del método asume que las ramas muestreadas tienen un origen axial y no corresponden a brotes epicórnicos originados en el fuste [Shigo, 1986; Weiskittel et al., 2010; Lowell et al. \(2014\); Ishii y Wilson \(2001\)](#) describen las principales características que diferencian las ramas epicórnicas de las originales: textura de la corteza más suave y blanquecina, ángulo de inserción tangencial al fuste, vecindad de alguna rama original muerta o moribunda, crecer en grupo en forma de abanico y diámetro más pequeño. Sin duda, estas características observadas en conjunto difícilmente confundirán a un observador experimentado, incluso cuando la única forma de saber con certeza es muestreando destructivamente la unión de las médulas [Kozłowski, 1971](#).

Otro supuesto involucrado en el cálculo de la altura de inserción de la rama es la invariabilidad de su ángulo de inserción desde la médula hasta el punto de emergencia en el fuste. De acuerdo con [Rautiainen y Stenberg \(2005\)](#), este supuesto resulta

bastante razonable, al menos en ramas juveniles. Para ramas adultas es probable que el ángulo de inserción aumente como lo señalan [Colin y Houllier \(1992\)](#), [Lemieux, Samson y Usenius \(1997\)](#), [Vestøl y Høibø \(2001\)](#), [Trincado y Burkhart \(2008\)](#) y [Osborne y Maguire \(2015\)](#). El tamaño y peso de las ramas modifica el ángulo de inserción como se deduce de los estudios de [Shigo \(1986\)](#) y [Lemieux et al. \(1997\)](#). Consecuentemente, el error de sobreestimación de la altura de inserción de la rama conduciría a una probable subestimación de la edad de la rama. Sin embargo, la magnitud del error resulta despreciable comparado con el incremento en altura que se produce de año en año.

Otra limitante de la aplicación del método propuesto y difícil de verificar, es asumir que la médula del fuste del árbol se encuentre exactamente en su centro geométrico. [Knapic et al. \(2014\)](#) al estudiar la excentricidad de la médula en Pino marítimo establecieron que esta es homogénea y baja para el fuste con un valor promedio de 20%, aun cuando señalan que para el duramen alcanza un 50%. [Vestøl y Høibø \(2000\)](#) indican que la excentricidad del fuste en *Picea abies* ocurre en sitios con altas pendientes debido a la madera de reacción que se forma en esas condiciones. [Kellogg y Barber \(1981\)](#) encontraron alta excentricidad del fuste en árboles de segundo crecimiento de *Tsuga heterophylla*, mas no encontraron correlaciones con el diámetro normal, edad y altura total, algo que dificulta de esta manera su predicción. Para el método propuesto, es recomendable realizar las lecturas de anillos en el análisis de tallo sobre el radio geométrico de las rodajas. Ya que esto minimiza el error de localización del punto de nacimiento de la rama sin afectar la estimación de su edad, dado que la edad registrada en las rodajas no depende de la excentricidad del árbol.

La estimación del año de formación de la rama estará determinada por la exactitud en la estimación de altura del árbol para las distintas edades. En este aspecto, una posible causa de error se deberá a la longitud de los cortes transversales para la obtención de rodajas para realizar el análisis de

tallo. Se recomienda realizar los cortes al menos cada 2 m ([Anuchin, 1970](#); [Trincado, Kiviste y von Gadow, 2002](#)). Otra fuente de variabilidad podría deberse al algoritmo utilizado para la estimación de alturas totales ([Kariuki, 2002](#); [Cancino et al., 2012](#)). A futuro sería recomendable poder realizar estudios comparativos que determinen el efecto de utilizar diversos algoritmos de interpolación de alturas sobre la posición del origen de las ramas y hacer comparaciones con el método de disección de ramas.

En los últimos años se está utilizando con mayor frecuencia tomografía computacional de rayos X (CT) en la medición detallada de nudos en la madera. CT es la técnica de medición no destructiva más promisoría para la medición de la edad de las ramas, sin embargo, su uso es de alto costo por lo que no será discutida aquí ([Hailey y Morris, 1987](#); [Chang, 1992](#); [Schad, Schmoldt y Ross, 1996](#)).

A pesar de las limitantes y supuestos del método propuesto, no parece existir una alternativa más eficiente y exenta de errores para la estimación de la edad de formación y persistencia de las ramas vivas en la copa del árbol. Ello permite estudiar la caracterización de la estructura de las ramas y la dinámica de persistencia tanto de la copa viva como la copa muerta ([Corvalán, 2017](#)). Este método es utilizable en estudios de dinámica de la copa en especies que presenten anillos anuales de crecimiento.

CONCLUSIONES

La metodología combinada de análisis de tallo con medición del diámetro fustal, estado y ángulo de inserción a la altura de emergencia de las ramas permite extraer valiosa información sobre la dinámica de desarrollo, muerte y caída de ramas de primer orden en el perfil fustal. Puede constituirse en una herramienta alternativa al método de disección para el estudio de la dinámica de la copa, como se muestra en el caso de un árbol de roble.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen al Fondo de Investigación del Bosque Nativo de la Corporación Nacional Forestal (Conaf) por el financiamiento de esta investigación obtenido a través del proyecto "Diagramas de manejo de densidad para el control del tamaño de ramas en bosques septentrionales alto andinos dominados por Roble en la Región del Maule" (046/2013).

CONFLICTO DE INTERESES

Los autores declaran no tener conflicto de intereses.

CONTRIBUCIÓN POR AUTOR

Los autores son los únicos responsables de la obra en todos los aspectos que condujeron a la elaboración de su publicación.

REFERENCIAS

- Anuchin, N. P.** (1970). Forest mensuration (Lesnaya Tak-sasiya). *Israel Program, Forest Scientific Translation, Jerusalem*.
- Amateis, R. L., Radtke, P. J. y Hansen, G. D.** (2004). The effect of spacing rectangularity on stem quality in loblolly pine plantations. *Canadian Journal of Forest Research*, 34, 498-501. DOI: <https://doi.org/10.1139/x03-210>
- Andrews, S. R. y Gill, L. S.** (1939). Determining the time branches on living trees have been dead. *Journal of Forestry*, 37(12), 930-935.
- Baldwin, V. C. Jr., Peterson, K. D., Clark, A. III., Ferguson, R. B., Strub, M. R. y Bower, D. R.** (2000). The effects of spacing and thinning on stand and tree characteristics of 38-year-old loblolly pine. *Forest Ecology and Management*, 137, 91-102. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0378-1127\(99\)00340-0](https://doi.org/10.1016/S0378-1127(99)00340-0)
- Cancino, J., Acuña, E. y Espinosa, M.** (2012). Combining Ring Counting and Ring Width for Estimating Height in Stem Analysis. *Forest Science*, 59(6), 599-609. DOI: <https://doi.org/10.5849/forsci.12-028>
- Chang, S.** (1992). *External and internal defect detection to optimize cutting of hardwood logs and lumber*. Technologies for Industry No. 3 U.S. Beltsville, EE. UU.: Department of Agriculture, National Agriculture Library.
- Clark, A. III., Saucier, J. R., Baldwin, V. C. y Bower D. R.** (1994). Effect of initial spacing and thinning on lumber grade, yield, and strength of loblolly pine. *Forest Products Journal*, 44(11-12), 14-20.
- Colin, F. y Houllier F.** (1992). Branchiness of Norway spruce in northeastern France: predicting the main crown characteristics from usual tree measurements. *Annales des Sciences Forestières*, 49(5), 511-538. EDP Sciences. DOI: <https://doi.org/10.1051/forest:19920506>
- Corvalán, P., Araya, L., Blanco, S. y Cox, F.** (1987). *El canelo: una alternativa de desarrollo para la Décima Región*. Volumen III Metodología. Universidad de Chile, Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales, Departamento de Manejo de Recursos Forestales.
- Corvalán, P.** (2015). *Diagramas de manejo de la densidad de rodal para el control del tamaño de ramas basales en bosques septentrionales altoandinos dominados por roble en la Región del Maule*. Serie biomasa. Facultad de Ciencias Forestales y de la Conservación de la Naturaleza.
- Corvalán, P.** (2017). Caracterización del diámetro, ángulo de inserción y longevidad de ramas vivas axiales de *Nothofagus obliqua*. *Revista Cubana de Ciencias Forestales*, 5(2), 127-139.
- Hailey, J. R. y Morris, P. I.** (1987). *Application of scanning and imaging techniques to assess decay and wood quality in logs and standing trees*. Joint publication of Forestry Canada and the Alberta Forest Service.
- Hein, S.** (2008). Knot attributes and occlusion of naturally pruned branches of *Fagus sylvatica*. *Forest Ecology and Management*, 256(12), 2046-2057. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2008.07.033>

- Ishii, H. y Wilson, M. E.** (2001). Crown structure of old-growth Douglas-fir in the western Cascade Range, Washington. *Canadian Journal of Forest Research*, 31(7), 1250-1261. DOI: <https://doi.org/10.1139/x01-058>
- Kariuki, M.** (2002). Height estimation in complete stem analysis using annual radial growth measurements. *Forestry*, 75(1), 63-74. DOI: <https://doi.org/10.1093/forestry/75.1.63>
- Kellogg, R. M. y Barber, F. J.** (1981). Stem eccentricity in coastal western hemlock. *Canadian Journal of Forest Research*, 11(3), 715-718. DOI: <https://doi.org/10.1139/x81-099>
- Kershaw Jr, J. A., Maguire, D. A. y Hann, D. W.** (1990). Longevity and duration of radial growth in Douglas-fir branches. *Canadian Journal of Forest Research*, 20(11), 1690-1695. DOI: <https://doi.org/10.1139/x90-225>
- Knapic, S., Oliveira, V., Makkonen, M., Pinto-Seppä, I. y Pereira, H.** (2014). Circumferential variation of heartwood and stem quality in maritime pine stems. *European journal of forest research*, 133(6), 1007-1014. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10342-014-0818-2>
- Kozłowski, T. T.** (1971). *Growth and development of trees*. Nueva York: Academic Press.
- Lemieux, H., Samson, M. y Usenius, A.** (1997). Shape and distribution of knots in a sample of *Picea abies* logs. *Scandinavian Journal of Forest Research*, 12(1), 50-56. DOI: <https://doi.org/10.1080/02827589709355383>
- Lowell, E. C., Maguire, D. A., Briggs, D. G., Turnblom, E. C., Jayawickrama, K. J. y Bryce, J.** (2014). Effects of silviculture and genetics on branch/knot attributes of coastal pacific northwest douglas-fir and implications for wood quality—A Synthesis. *Forests*, 5(7), 1717-1736. DOI: <https://doi.org/10.3390/f5071717>
- Maguire, D. A. y Hann, D. W.** (1987). A stem dissection technique for dating branch mortality and reconstructing past crown recession. *Forest Science*, 33(4), 858-871.
- Mäkinen, H.** (2002). Effect of stand density on the branch development of silver birch (*Betula pendula* Roth) in central Finland. *Trees*, 16(4-5), 346-353.
- Moya, R., Araya, L. y Vilchez, B.** (2008). Variation in the pith parameter of *Gmelina arborea* trees from fast growth plantations in Costa Rica. *Annals of Forest Science*, 65(6), 1. DOI: <https://doi.org/10.1051/forest:2008045>
- Osborne, N. L. y Maguire, D. A.** (2015). Modeling knot geometry from branch angles in Douglas-fir (*Pseudotsuga menziesii*). *Canadian Journal of Forest Research*, 46(2), 215-224. DOI: <https://doi.org/10.1139/cjfr-2015-0145>
- Rautiainen, M. y Stenberg, P.** (2005). Simplified tree crown model using standard forest mensuration data for Scots pine. *Agricultural and Forest Meteorology*, 128(1), 123-129. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2004.09.002>
- Reukema, D. L.** (1959). Missing Annual Rings in Branches of Young-Growth Douglas-Fir. *Ecology*, 40(3), 480-482. DOI: <https://doi.org/10.2307/1929767>
- Schad, K. C., Schmoldt, D. L. y Ross, R. J.** (1996). *Non-destructive methods for detecting defects in softwood logs*. Research Paper FPL-RP-546, Forest Products Laboratory, Forest Service. United States Department of Agriculture. DOI: <https://doi.org/10.2737/FPL-RP-546>
- Shigo, A.L.** (1986). *A new tree biology: facts, photos, and philosophies on trees and their problems and proper care*. Durham, New Hampshire, EE. UU.: Shigo and Trees.
- Sprugel, D. G., Hinckley, T. M. y Schaap, W.** (1991). The theory and practice of branch autonomy. *Annual Review of Ecology and Systematics*, 22(1), 309-334. DOI: <https://doi.org/10.1146/annurev.es.22.110191.001521>
- Trincado, G., Kiviste, A. y von Gadow, K.** (2002). Preliminary site index models for native Roble (*Nothofagus obliqua*) and Rauli (*N. alpina*) in Chile. *New Zealand Journal of Forestry Science*, 32(3), 322-333.
- Trincado, G. y Burkhart, H. E.** (2008). A framework for modeling the dynamics of first-order branches and spatial distribution of knots in loblolly pine trees. *Canadian Journal of Forest Research*, 39(3), 566-579. DOI: <https://doi.org/10.1139/X08-189>

- Vestøl, G. I. y Høibø, O. A.** (2000). Internal distribution of sound and dead knots in *Picea abies* (L.) Karst. *Holz als Roh-und Werkstoff*, 58(1-2), 107-114. DOI: <https://doi.org/10.1007/s001070050395>
- Vestøl, G. I. y Høibø, O. A.** (2001). Prediction of knot diameter in *Picea abies* (L.) Karst. *Holz als Roh-und Werkstoff*, 59(1-2), 129-136. DOI: <https://doi.org/10.1007/s001070050484>
- Wang, C., Zhao, Z., Hein, S., Zeng, J., Schuler, J., Guo, J., Guo, W. y Zeng, J.** (2015). Effect of Planting Density on Knot Attributes and Branch Occlusion of *Betula alnoides* under Natural Pruning in Southern China. *Forests*, 6(4), 1343-1361. DOI: <https://doi.org/10.3390/f6041343>
- Weiskittel, A. R., Seymour, R. S., Hofmeyer, P. V. y Kershaw, J. A.** (2010). Modelling primary branch frequency and size for five conifer species in Maine, USA. *Forest Ecology and Management*, 259(10), 1912-1921. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2010.01.052>
- Yu, S., Chambers, J.L., Tang, Z. y Barnett, J.P.** (2003). Crown characteristics of juvenile loblolly pine 6 yr after application of thinning and fertilization. *Forest Ecology and Management*, 180, 345-352. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0378-1127\(02\)00582-0](https://doi.org/10.1016/S0378-1127(02)00582-0)

