

## Consideraciones silvícolas para la producción de postes en plantaciones de *Pinus radiata* D. Don en Chile

### Silvicultural considerations for the production of poles in *Pinus radiata* D. Don plantations in Chile

### Considerações silvícolas para a produção de postes nas plantações de *Pinus radiata* D. no Chile

Patricio Corvalán Vera<sup>1\*</sup>



<https://orcid.org/0000-0002-9642-0629>

<sup>1</sup>Universidad de Chile, Facultad de Ciencias Forestales y de la Conservación de la Naturaleza, Departamento de Gestión Forestal y Medio Ambiente.

\*Autor para la correspondencia: pcorvalanvera@gmail.com

**Recibido:** 13 de enero de 2020.

**Aprobado:** 16 de abril de 2020.

## RESUMEN

La producción de postes en Chile se realiza escogiendo árboles especialmente seleccionados para ese objetivo, sin embargo, la silvicultura que masivamente se aplica está orientada a la producción simultánea de rollizos podados, aserrables y pulpables. La silvicultura para la producción específica de postes en Chile es un tema complejo técnicamente, no abordado hasta la fecha, cuya descripción y análisis es lo que se intenta esbozar en esta revisión. Para ello, se analizaron los requerimientos técnicos de los postes en cuanto a tamaño, forma del fuste, nudos, engrosamiento nodal, rectitud, grano en espiral y resistencia, los que se relacionaron con las variables del sitio, densidad del rodal, genotipo, poda, raleo y edad de cosecha. Del análisis de las variables se concluyó que se requiere una silvicultura de alta densidad con plantas multinodales en sitios de regular a mala calidad, pero que genere madera de alta densidad con una poda baja y un raleo de selección.

**Palabras clave:** Forma fustal; Nudos; Resistencia de la madera; silvicultura.

## ABSTRACT

The production of poles in Chile is done by choosing trees specially selected for that purpose, however, the forestry that is massively applied is oriented to the simultaneous production of pruned, sawn and pulpable logs. Silviculture for the specific production of poles in Chile is a technically complex issue, not addressed to date, whose description and analysis is what this review attempts to outline. The technical requirements of poles in terms of size, stem shape, knots, nodal thickening, straightness, spiral grain and resistance were analysed. These requirements were related to the variables site, stand density, genotype, pruning, thinning and harvest age. From the analysis of the variables it was concluded that a high-density forestry is required with multinodal plants in sites of regular too bad quality, but that generates high density wood with a low pruning and a selection thinning.



**Keywords:** Stem shape; Knots; Wood strength; Silviculture.

## RESUMO

A produção de postes no Chile é feita escolhendo árvores especialmente selecionadas para o efeito; no entanto, a silvicultura aplicada maciçamente é orientada para a produção simultânea de toros podados, serrados e em pasta. A silvicultura para a produção específica de postes no Chile é uma questão tecnicamente complexa, não abordada até à data, cuja descrição e análise é o que esta revisão tenta delinear. Para tal, foram analisados os requisitos técnicos dos postes em termos de dimensão, forma do eixo, nós, espessamento nodal, retinidade, grão em espiral e resistência, que estavam relacionados com as variáveis do local, densidade do povoamento, genótipo, poda, desbaste e idade de colheita. Da análise das variáveis, concluiu-se que a silvicultura de alta densidade com plantas multinacionais é necessária em locais de qualidade regular a fraca, mas que gera madeira de alta densidade com baixa poda e desbaste de seleção.

**Palavras-chave:** Forma do caule; nós; Resistência da madeira; Silvicultura.

## INTRODUCCIÓN

La creciente conciencia a nivel mundial sobre el impacto del cambio climático y la depredación de los recursos naturales, ocurridos en la última centuria, sobre el desarrollo futuro de la humanidad abre un desafío al sector forestal para la generación de nuevos productos de madera en reemplazo de los materiales de construcción, dado a que el balance de energía y CO<sub>2</sub> resultan ser significativamente mayores (Leskinen *et al.*, 2018; Bösch *et al.*, 2019; Tetley *et al.*, 2019).

Sathre y O'Connor (2010) determinaron que por cada tonelada de madera seca que es reemplazada por productos no madereros, se emiten adicionalmente 3,9 toneladas equivalente de CO<sub>2</sub>. Estos autores señalan que el uso de la madera es un elemento importante en una estrategia de largo plazo para la mitigación del cambio climático. Los postes que originalmente fueron hechos de madera y que en su mayoría fueron reemplazados por hormigón armado y metal, a la luz del nuevo paradigma ambiental, tienen un potencial mercado tanto nacional como internacional (Francis y Norton, 2006; Lu y Hanandeh, 2016).

La producción de postes y polines en Chile el año 2015 alcanzó a 290 000 m<sup>3</sup> con una participación del 1 % del consumo total en trozos utilizando casi exclusivamente *Pinus radiata* D. Don (pino insigne). La producción se concentró en las regiones de O'Higgins (14,2 %), Maule (42,3 %) y Biobío (21,1 %), utilizando fundamentalmente plantas con capacidad superior a 1 000 m<sup>3</sup> de producción por año. Ese año participaron 97 plantas, concentrando cuatro de ellas el 82 % de la producción total. El mercado de estos productos fue mayoritariamente interno, exportándose sólo 36 470 m<sup>3</sup>. Los principales usos fueron para agricultura alcanzando un 63,2 % y el resto, construcción y tendido eléctrico. Los productos comercializados se caracterizan por tener una gran variedad en largo, diámetro y elaboración, pudiendo ser éstos, cilíndricos o en estado natural con o sin preservantes.

Las principales características de los postes se relacionan con las propiedades para el soporte de cargas, el tamaño del rollizo y su estado sanitario. Las mayores restricciones se relacionan con el tamaño del producto, la presencia de nudos y engrosamiento nodal, la rectitud, el grano en espiral, el ahusamiento y la madurez del producto. Algunas normas que regulan la calidad de los postes son la NCh 2122



para Chile, la NZS 3605 para construcciones, la NZS 3605 y NZS 3607 para postes de cerco en Nueva Zelandia (Carpenter, 1995). Mientras que en Estados Unidos la norma es la ANSI 05.1 (Wang y Bodig, 1990), que es la más antigua y ampliamente reconocida para la clasificación de postes (Cerda y Wolfe, 2003). Aun cuando no existe una norma única, todas utilizan clasificaciones visuales del rollizo ligadas directamente con las propiedades físicas y mecánicas de la madera.

*Pinus radiata* es clasificado como una especie perecible. En condiciones naturales y expuesta al suelo es altamente susceptible de ataques fúngico. El duramen, que es la sección más resistente al biodeterioro comienza a formarse recién a partir de los 12 a 14 años e igualmente se deteriora dentro de los primeros cinco años (Chee et al., 1998), por lo que debe ser impregnado como condición básica para su uso como postes. Los preservantes utilizados para la impregnación de los rollizos de *P. radiata* en Chile se controlan bajo la norma NCh819 y la empresa certificadora es la Fundación Chile.

El abastecimiento de rollizos para la industria chilena es fundamentalmente en base a la compra de materia prima, siendo sólo un 11 % de autoabastecimiento (INFOR, 2016, p. 2006-2015). La oferta de bosque para la industria de postes y polines proviene de bosques manejados para la producción de trozos debobinables, aserrables y pulpables. Si, por otro lado, se considera el déficit de oferta de madera ocasionada por el megaincendio ocurrido el año 2017 en la principal zona oferente de materia prima y el hecho de que en Chile no se visualizan nuevas plantaciones e inversiones industriales, dado que el país ha llegado a una meseta en cuanto a la capacidad productiva de sus bosques o plantaciones; se debe concluir que esta industria debería contar con plantaciones propias para su abastecimiento.

Los requerimientos técnicos de manejo para la producción de postes de altos estándares de tamaño y calidad pueden ser en algunos casos incompatibles con los esquemas de manejo intensivos (Cown y Hutchison, 1983). Hasta el año 2019 solamente se documenta el trabajo realizado por Manley y Calderon (1982) con ideas básicas para la producción de postes en *P. radiata* en Nueva Zelandia.

Este trabajo analiza los principales factores que afectan la calidad de los rollizos para la producción de postes: la densidad, el sitio, la genética, la poda y el raleo de las plantaciones de *P. radiata*.

Por ello, se presenta una revisión de los factores técnicos determinantes a considerar para la producción de postes. En esta revisión se describen las principales características de los postes y cómo éstos se ven afectados por el sitio y la silvicultura para realizar una propuesta específica para su producción.

## DESARROLLO

### Tamaño del rollizo y ahusamiento

La condición más restrictiva para producir postes de grandes diámetros (30 cm) y largos (12 m) es conseguir árboles de gran tamaño. Si se considera, por ejemplo, como valor referencial producir un poste de 11,5 metros de largo, con 17,5 cm como mínimo en el extremo menor y 30 cm como máximo en el extremo mayor, el rodal a cosechar debe tener un diámetro medio geométrico de 27,1 cm y una altura media de 29,8 m. Estos valores se alcanzan a partir de los 26 años de edad en plantaciones no manejadas, y a los 27 años en rodales manejados para pulpa, en el secano interior



de la Región del Libertador Bernardo O'Higgins y la zona costera de la Región del Maule. Para el mismo rodal, pero con postes de 6 m de largo, con 16 cm de diámetro mínimo y 22 de diámetro máximo; las edades bajan a los 18 años en ambos casos.

El tamaño del árbol se consigue a través del manejo de la densidad de plantación, la aplicación de raleos intermedios y regulación de la edad de cosecha. Para esa misma zona los esquemas de manejo, que se utilizan en Chile para la producción de trozos podados, aserrable y pulpables, consideran dos o tres podas, un raleo a desecho y un raleo comercial con rotaciones que varían entre 16 y 23 años para pulpa y 20 a 27 años para el manejo intensivo, densidades de plantación de 1 250 árboles por hectárea y cosecha final entre 700 y 400 árboles por hectárea, respectivamente (Fundación Chile, 2005).

Para la producción de postes en Nueva Zelanda, Manley y Calderón (1982) propusieron tentativamente una plantación de 2 500 árboles por hectárea, con dos raleos a desecho, el primero cuando el rodal alcanza entre 5 y 6 m de altura dominante dejando 1 700 árboles por hectárea y el segundo cuando el rodal alcanza entre 13 y 14 m de altura dominante dejando 1 000 árboles por hectárea, con una cosecha final a los 30 años. Sin embargo, estos autores señalaron la dificultad para estimar la producción de postes, esperando producir al menos unas 500 unidades por hectárea con un porcentaje del volumen total en pie del 40 a 50 %. La densidad del rodal propuesto se fundamentaba en tener un balance entre mortalidad natural y tamaño de las ramas, en concordancia con lo propuesto por Grossman y Potter-Witter (1991) en plantaciones de *Pinus resinosa* Ald., en Estados Unidos de Norteamérica. Por su parte, Manley y Calderón (1982) señalaron que densidades muy bajas (600 árboles por hectárea) a la edad de cosecha podía significar obtener tamaños indeseablemente grandes para postes.

El manejo de la densidad también tiene un impacto en la forma fustal o ahusamiento y como consecuencia en la producción de postes. Si los postes por ejemplo son de diámetro calibrado, es decir se dimensionan perfectamente cilíndricos, convendrá mantener una alta densidad en la plantación aprovechando los árboles del dosel intermedio cuya forma fustal es menos cónica que los dominantes y también ayudará a evitar las pérdidas de madera en el proceso de calibración del cilindrado (Larson 1963; Corvalán y Bown, 2013; Jacobs *et al.*, 2020). Asimismo, los raleos deben ser preferentemente orientados para favorecer el crecimiento de los árboles de gran rectitud y buena forma de fuste. Por lo que Manley y Calderón (1982) sugieren realizar raleos por lo alto.

El manejo realizado a través del control de la densidad de plantación, raleos, podas, fertilización o la procedencia genética (Jacobs *et al.*, 2020) tiene efecto directo sobre la forma del fuste y con ello sobre la producción de postes. El raleo acentúa la conicidad del fuste al permitir el ingreso de mayor luminosidad en la posición de las ramas más bajas, acelerando su actividad fisiológica.

Cown (1974) señala que el raleo tiene mayor incidencia en el crecimiento diametral en la base del árbol y disminuye en altura. El raleo tiende a concentrar el crecimiento en la base del fuste inmediatamente después de efectuarlo y luego se redistribuye en todo el perfil fustal durante la rotación. Su efecto es evidente hasta en cinco años. También se deduce que las posiciones más bajas en el fuste a largo plazo tienen menor conicidad que las ubicadas a mayor altura. La poda genera un efecto contrario al raleo ya que la remoción de las ramas en la base del árbol disminuye la agregación de madera en esa posición y aumenta en la base de la copa activa fotosintéticamente, haciendo más cilíndrico el fuste (Lewis *et al.*, 1993; Hevia *et al.*, 2016).



Los regímenes de manejo rara vez utilizan únicamente poda o raleo, es habitual realizarlos en conjunto en secuencia temporales (Fundación Chile, 2005), por esa razón existe escasa información para su cuantificación el cambio de forma fustal en forma separada, aunque Fernández *et al.*, (2017) reportan una mayor conicidad en rodales podados y raleados que en rodales sin intervenir.

Bi y Turner (1983) dan cuenta del efecto de la fertilización aplicada entre los cuatro y cinco años sobre el cambio de forma fustal en una regeneración natural de *P. radiata* deficitaria de fósforo en Australia. Al cabo de 30 años, los autores encontraron un aumento del factor de forma cilíndrico desde 0,33 a 0,40 al fertilizar con 100 kg ha<sup>-1</sup> de fósforo. El factor de forma se explica por el aumento del diámetro fustal en el tercio inferior del árbol, efecto similar al de la poda.

Resultados similares fueron reportados, a corto plazo, por Gordon y Graham (1986) en Nueva Zelandia quienes encontraron una mejora, aunque no significativa al aplicar fósforo, en la forma fustal. Corvalán y Bown (2013) también reportaron un cambio positivo en la forma fustal en aplicación de lodos sanitarios a plantaciones de *P. radiata* juveniles en la costa de la sexta región de Chile.

El sitio tiene impacto directo en el tamaño del árbol (Kimberley *et al.*, 2005; Ojeda *et al.*, 2018; Resende *et al.*, 2018). En buenos sitios los rodales alcanzan mayor altura y diámetro, son más cilíndricos, más rectos, de menor tamaño de ramas y engrosamiento nodal que en sitios de peor calidad (Maclaren, 1993). Los sitios de menor calidad producirían menor cantidad de postes que sitios mejores; sin embargo, y debido al mayor tiempo de cultivo requerido para alcanzar el tamaño de los postes deseados, la densidad de su madera periférica es también mayor, por ello Manley y Calderón (1982) proponen para su cultivo utilizar suelos donde el índice de sitio sea menor a 27 m.

La selección del genotipo también controla la rectitud y la velocidad de crecimiento, siendo los árboles multinodales más rectos y de mayor velocidad de crecimiento inicial que los del tipo uninodal, los que compensarían sus tasas de crecimiento a edades mayores (Lavery, 1986). Pero si se proyecta la producción de postes de gran longitud este factor no sería de gran importancia.

### Nudos y engrosamiento nodal

Los nudos constituyen un defecto de mayor importancia, que reduce la resistencia de la madera debido al cambio en la orientación del grano y que también afecta el área en la vecindad del nudo (Lavery, 1986). En un ensayo sobre muestras de piezas de madera seca de *P. radiata* de 25 años provenientes de Kaingaroa Forest, en Nueva Zelandia, Cown *et al.* (1996) probaron que existe una muy significativa correlación entre la máxima resistencia a la tensión de la madera aserrada con la razón de área del nudo y con el diámetro de la rama más grande de la pieza, con valores de -0, 67 y -0, 56, respectivamente.

En otro estudio de resistencia con 52 postes de *P. radiata* de 2,44 m de largo y diámetros de 20 a 30 cm en estado verde en la Isla del Norte de Nueva Zelandia, Walford y Chapman (2010) probaron que las características físico mecánicas disminuían linealmente con el aumento de la razón del diámetro del nudo, pero con una pérdida de resistencia y rigidez no significativa y de poca envergadura, lo que atribuyeron a que no siempre la ubicación del nudo coincidía con el punto de ruptura del poste. Por el contrario, un ensayo realizado en Chile en postes de 12 m de largo



en estado verde **Cerda y Wolfe (2003)**, concluyeron que la mayor cantidad de fracturas se produjeron por la presencia de nudos o verticilos.

En Nueva Zelanda, se acepta un tamaño máximo de nudo de 10 % de la circunferencia para postes y 20 % para polines (**Carpenter, 1995**), en tanto en Chile, para postes de largo menores de 13,5 m el diámetro máximo admisible no debe sobrepasar los 51 y 102 mm para la mitad inferior y superior del poste, respectivamente (**Campos, 1987**).

El máximo tamaño de las ramas o nudos está fuertemente influido por el espacio de crecimiento disponible (**Sutton, 1968; West y Smith, 2020**). **Lavery, (1986)** usando información de un trabajo realizado por Pederick y Abbott en Melbourne señala que existe una relación lineal positiva entre el tamaño final promedio de las ramas en la porción basal del trozo, el diámetro a la altura de pecho (DAP) y el espacio de crecimiento. Similar resultado fue reportado por **Wang et al., (2018)** en plantaciones de *Betula alnoides* en el sur de China. Esta relación manifiesta una de las mayores complejidades del manejo: si se desea acrecentar el tamaño del árbol se debe dar mayor espacio de crecimiento, lo cual llevará a un aumento del tamaño de las ramas. Los regímenes silviculturales buscan un punto de equilibrio donde la disminución de la densidad del rodal no comprometa el desmedido desarrollo de las ramas y con ello, la calidad de la madera.

**Siemon et al., (1976)** evaluaron el efecto de varias intensidades de raleo sobre el tamaño de las ramas, encontrando que éste puede aumentar significativamente, especialmente en la mitad superior de la copa (entre el 50 y 80 % de la altura total) aumentando la proporción de ramas cuyo tamaño es superior a 3 cm y aumentando también al doble la sección del área media de las ramas, situación que deja de tener efecto en posiciones sobre el 80 % de la altura total. El tamaño de las ramas también es afectado por la poda como lo reportan **Lewis et al., (1993)** quienes citando un trabajo de Jacobs realizado en 1938, señalan que el área en la base de las primeras ramas ubicadas inmediatamente sobre cada levante de poda crece adicionalmente en hasta un 74 % y 66 % en el primer y segundo año después de la poda, respectivamente.

**Fernández et al., (2017)** señalan que el tamaño de las ramas en la posición superior del fuste presenta mayor diámetro que en rodales manejados que en aquellos no manejados en plantaciones de pino radiata en rodales de 18 años. En *Eucalyptus nitens* Deane et Maiden, **Pinkard (2002)** encontró que una poda al 20 % aumenta las tasas de crecimiento de las ramas entre un 48 % y 68 %, nueve meses después de efectuada la poda. La poda baja es una manera directa de controlar el tamaño de las ramas y el engrosamiento nodal en aquella posición del fuste desde donde se obtendrán los postes, sin embargo, la densidad de la plantación parece una manera más eficiente de control (**Manley y Calderón, 1982**). **Fenton y Familton (1961)** señalan que el engrosamiento nodal en *P. radiata* puede llegar a alcanzar a cinco cm de diámetro quedando completamente fuera de norma para clasificar como poste.

Otro factor importante que determina el tamaño de las ramas es su posición en altura del fuste. El tamaño final de una rama depende de su vitalidad, edad y tasa de crecimiento histórica. Las ramas de mayor tamaño son aquellas que se desarrollan y expanden cuando el árbol está creciendo a sus mayores tasas y se ubican de preferencia en la posición intermedia de altura (**Siemon et al., 1976**). En rodales podados, raleados y fertilizados, **Corvalán y Bown (2013)** encontraron un aumento del índice de rama (entendido como el diámetro promedio de las cuatro ramas de



mayor diámetro en cada cuadrante de trozas de 2,44 m) en los tratamientos de aplicación de cargas de lodos compostados respecto del testigo.

Dado que las características de ramificación de la especie se determinan en la fase de crecimiento iniciales, es decir hasta los 8 años, y que los postes por su tamaño constituyen una gran proporción del largo final del árbol, es conveniente seleccionar los árboles destinados a la cosecha final muy tempranamente (Lavery, 1986). *Pinus radiata* presenta dos alternativas cuando se selecciona los hábitos de ramificación: árboles con múltiples verticilos anuales (multinodal) o un verticilo por año (uninodal) (Lavery, 1986). Las características que se relacionan positivamente con la frecuencia de ramas son el número de conos producidos, el ángulo de las ramas, la rectitud fustal y la regularidad del ahusamiento fustal, y las características con las que se relaciona negativamente son la longitud de los internudos y el diámetro de las ramas. Estas características de alguna manera se pueden controlar o acentuar con el espacio de crecimiento.

Sin duda, el tipo multinodal parece más propicio para la producción de postes debido a su rectitud y menor tamaño de ramas, que puede alcanzar a ser menor en 1 cm de diámetro (Carson e Inglis, 1988), coincidiendo con lo señalado por Kininmonth y Whiteside (1991). La selección genética puede ser fundamental para lograr alcanzar el tamaño máximo de las ramas en la porción del árbol desde donde se obtienen trozas largas (12 m) de acuerdo a las normas exigidas. Un problema adicional que limita la producción de postes es el engrosamiento nodal (Fenton y Familton, 1961; Lewis et al., 1993) que ocurre especialmente en árboles uninodales donde las vigorosas ramas del verticilo al crecer a la misma altura del árbol pueden provocar grandes diferencias diamétricas entre el verticilo y los internudos (Maclaren, 1993). Los mayores espaciamientos también producen mayores engrosamientos nodales (Carter et al., 1986). Por ejemplo, en Nueva Zelandia este valor no debe superar los 20 mm (Carpenter, 1995).

Por su parte, Maclaren (1993), señala que los árboles que crecen en índices de sitio altos presentan menor tamaño de ramas y engrosamiento nodal que en sitios de menor índice de sitio. Esta descripción induce a pensar que los buenos sitios son adecuados a la producción de postes, sin embargo, los argumentos señalados por Manley y Calderón (1982) en cuanto a las características de densidad de la madera resultan en una propuesta contraria.

### Rectitud fustal

La rectitud fustal está condicionada por factores genéticos (Jayawickrama y Low, 1999). La heredabilidad de este caracter medida entre los 5 y 9 años varía entre 0,17 y 0,28, menor que la de la altura y diámetro (Wu et al., 2008). Ståhl et al. (1990) y Malinauskas (1999) señala que los árboles de *Pinus sylvestris* L. que crecen en espacios pequeños presentan fustes más rectos que los que crecen con mayor espaciamiento. Similares resultados reportan Carter et al. (1986) en Douglas-fir (*Pseudotsuga menziesii* [Mirb.] Franco, y Erasmus et al., (2018) en *Pinus patula*. El efecto positivo de la alta densidad sobre la rectitud del fuste puede verse contrariamente afectada por factores tales como la nieve y el viento (Malinauskas, 1999).



## Grano en espiral

El grano en espiral, entendido como el ángulo en que se desvían longitudinalmente las traqueidas respecto del eje principal del fuste es una característica que hace que la madera reduzca su resistencia, especialmente la flexión estática, la cual puede ser menor en un 50 % respecto de una madera de grano recto cuando alcanza un giro de  $9,5^\circ$  (Lavery, 1986; Cown *et al.*, 1991). Otro efecto importante es la condición de girar la madera al momento de su contracción por secado. Esta característica se presenta en la madera juvenil, alcanzando su máximo desvío de acuerdo a Bamber y Burley (1983) entre el tercer y quinto año de formación y de acuerdo a Cown *et al.*, (1991) en el décimo año, con un valor promedio de entre  $4^\circ$  y  $5^\circ$  y con extremos de  $-7^\circ$  a  $+18^\circ$ , luego del cual decae en forma persistente hasta la edad de 15 años (Cown *et al.*, 1991). La dirección del giro es normalmente es contra-reloj y parece estar relacionado con la filotaxis de las acículas fustales y el flujo de auxinas (Lavery, 1986). El grano en espiral es creciente en altura y está presente en toda la madera juvenil a lo largo del fuste y es altamente heredable (Cown *et al.*, 1991; Moore *et al.*, 2015).

Esta característica del grano en espiral acentúa la necesidad de utilizar rollizos maduros, en que la madera periférica sea lo suficientemente antigua para presentar un mínimo desvío del grano considerado como del orden de  $2^\circ$ . Para ello, es muy importante que los postes provengan de la sección basal del árbol, a fin de que el grano en espiral en su sección menor sea de mínimo impacto ya que los rollizos obtenidos de alturas superiores estarán más propensos al giro dado su menor edad y la natural tendencia al aumento del ángulo de inclinación de las traqueidas que presenta la especie en esa posición del fuste.

## Madurez de la madera

La característica más importante de un poste es su capacidad para resistir cargas (Cown y Hutchinson, 1983; Campos, 1987). La resistencia a la flexión estática está linealmente relacionada con la densidad de la madera y ésta a su vez con el módulo de elasticidad (MOE) y módulo de ruptura (MOR) (Walford y Chapman, 2010). En términos prácticos, la manera de asegurar que un poste tenga la densidad adecuada para soportar las cargas se mide a través de la cantidad de anillos de crecimiento en la sección del diámetro menor de los postes (Cown y Hutchison, 1983; Campos, 1987).

Cown y Hutchinson (1983) demuestran que tanto el módulo de ruptura como el de la elasticidad están linealmente relacionados con la densidad promedio de la madera medida en el 20 % exterior del radio de ambos extremos del poste, con coeficientes de determinación cercanos a 0.8. El porcentaje de madera tardía se correlaciona positivamente con la densidad de la madera, los módulos de elasticidad y de ruptura, y negativamente con el ancho de los anillos. La densidad de la madera varía radialmente en el fuste en función de la edad (Cown y Hutchison, 1983; Cown y McConchie, 1983).

También, la densidad de la madera es siempre mayor en la zona periférica y base del árbol (Cown, 1974; Harris y Cown, 1991). Por esa razón, la mejor ubicación para conseguir un poste con la máxima resistencia es en la base de los árboles. Nueva Zelanda, por ejemplo, exige a sus postes de cerco un mínimo de 0,7 años/cm de diámetro (Carpenter, 1995), en tanto la Norma ANSI para postes prescribe como mínimo 2 años/cm pero con una proporción de 40-60 % de madera tardía en los 5 cm periféricos (Cerdeira y Wolfe, 2003), ambos medidos en el extremo menor del poste.



La densidad de la madera puede ser controlada aumentando la edad de rotación (Cown, 1974); Harris y Cown, (1991) y también con la selección de sitios y suelo.

Cown y Hutchinson (1983) muestran como en Nueva Zelanda es posible predecir tanto la densidad media básica de la madera del 20 % del radio periférico del poste como su módulo de elasticidad y de ruptura en edades entre 10 y 30 años para los diferentes sitios de clases de densidad de la madera y con ello evaluar su aptitud de uso. Igualmente, estos autores muestran como en los sitios de alta densidad de madera se pueden alcanzar las densidades requeridas para calificar para postes antes que en los sitios de clases de densidad media y baja. Los resultados del trabajo señalan que de acuerdo a NZS 3603 solamente los sitios de alta densidad de madera pueden alcanzar el módulo de elasticidad exigido de 9,1 GPa a partir de los 25 años ya que requiere densidad de la madera básica superior a 450 kg m<sup>-3</sup>. Este estudio es coincidente con la sugerencia de Manley y Calderón (1982) en el sentido de que es preferible elegir índices de sitios inferiores a 27 m.

Otro factor que determina la densidad de la madera es el espacio de crecimiento con el cual se relaciona débil y negativamente. Watt y Trincado (2017) señalan que a medida que aumenta la relación altura/diámetro del árbol aumenta significativamente el módulo de elasticidad, situación que se ve favorecida con mayor densidad del rodal. Los raleos en plantaciones pueden producir temporalmente maderas menos densas, pero al final de la rotación, su efecto es mínimo.

Cown (1974) señala a modo de ejemplo que un rodal raleado de 25 años con un diámetro promedio de 40 cm tiene una densidad entre 8 % y 10 % menor que un rodal del mismo tamaño a los 35 años. Este mismo autor señala que las altas intensidades de raleo pueden disminuir la densidad de la madera periférica hasta los 18 m de altura (Cown, 1974).

La poda también tiene un efecto positivo al aumentar la resistencia en la zona podada, sin embargo, al final de la rotación la variación es mínima. La fertilización también tiene el efecto de disminuir la densidad de la madera en hasta un 10 % equivalente al de la densidad de sitios no deficitarios de nutrientes (Cown, 1974). Los efectos de la silvicultura se ven reflejados en cambios de la densidad del fuste que son mayores en la base de los árboles y que disminuyen hacia el ápice. Un factor importante en el control de la densidad es el origen genético. Cown (1974) señala que la densidad puede ser aumentada en hasta 15 % siguiendo la selección de fenotipos propuestos por Shelbourne, dado el alto grado de heredabilidad de esta característica.



## Resumen y análisis del efecto de acciones silvícolas sobre las variables críticas en la producción de postes

En la Tabla 1, se presentan los efectos fundamentales que tienen las acciones silvícolas sobre las características más restrictivas de los postes.

**Tabla 1.** - Interacciones entre variables silvícolas y factores limitantes para la producción de postes

Variable de control silvícola	Factor limitante para la producción de postes						
	Tamaño del rollizo	Ahusamiento	Tamaño de nudos	Engrosamiento nodal	Rectitud fustal	Grano en espiral	Madurez de la madera
<b>Espacio de crecimiento</b>	+	+	+	+	-	s/i	-
<b>Índice de sitio</b>	+	-	-	-	+	s/i	-
<b>Número de verticilos anuales</b>	+	-	-	+	+	s/i	s/i
<b>Raleo</b>	+	+	+	s/i	s/i	s/i	-
<b>Poda</b>	s/i	-	+	s/i	s/i	s/i	s/i
<b>Fertilización</b>	+	-	+	s/i	s/i	s/i	-

+ : Relaciones positivas, - : relaciones negativas, s/i: relaciones no documentadas.

La selección de árboles de tipo multinodal parece ser un factor clave para la producción de postes ya que presentan mayor velocidad de crecimiento inicial, mayor rectitud, menor conicidad, menor tamaño de ramas y engrosamiento nodal que los árboles uninodales.

El uso de espacios reducidos para crecer también permite controlar la conicidad del fuste, el tamaño de las ramas, el engrosamiento nodal y la densidad de la madera periférica, aun cuando ello signifique alargar la edad de rotación. Los índices de sitio más bajos alargan la rotación generando una madera de mayor densidad mejorando con ello las propiedades físico-mecánicas para la producción de postes.

El raleo fundamentalmente contribuye a la selección inicial de individuos para la cosecha final. El impacto sobre el tamaño de las ramas, el engrosamiento nodal, el ahusamiento, la rectitud y la densidad de la madera es de efecto pasajero, los cuales a la edad de rotación ya se han normalizado.

La poda tiene sentido solo por razones sanitarias y de accesibilidad ya que, al igual que el raleo, no tiene mayor impacto de largo plazo.

La fertilización tampoco tiene gran sentido, con excepción de sitios con deficiencias nutricionales.

El efecto del revirado de los rollizos sólo se evita alargando la rotación, evitando fundamentalmente que los postes contengan solo madera juvenil.



## CONCLUSIONES

En síntesis, los factores claves para la producción de postes en *P. radiata* son: plantaciones relativamente densas con plantas multinodales, en sitios de regular a mala calidad con producción de madera de alta densidad, acompañado de una poda baja de accesibilidad y un raleo de selección. Los esquemas de manejo para la producción de postes deben ser formulados y evaluados con estudios específicos de simulación.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BAMBER, R.K., BURLEY, J. y COMMONWEALTH AGRICULTURAL BUREAUX, 1983. The wood properties of Radiata Pine [en línea]. Slough: Commonwealth Agricultural Bureaux. ISBN 978-0-85198-516-9. Disponible en: <https://www.worldcat.org/title/wood-properties-of-radiata-pine/oclc/60087638>.
- BI, H. y TURNER, J., 1994. Long-term effects of superphosphate fertilization on stem form, taper and stem volume estimation of *Pinus radiata*. *Forest Ecology and Management* [en línea], vol. 70, no. 1, pp. 285-297. [Consulta: 26 febrero 2020]. ISSN 0378-1127. DOI 10.1016/0378-1127(94)90094-9. Disponible en: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/0378112794900949>.
- BÖSCH, M., ELSASSER, P., ROCK, J., WEIMAR, H. y DIETER, M., 2019. Extent and costs of forest-based climate change mitigation in Germany: accounting for substitution. *Carbon Management*, vol. 10, no. 2, pp. 127-134. ISSN 1758-3004. DOI 10.1080/17583004.2018.1560194. Recuperado de: <https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/17583004.2018.1560194>
- CARPENTER, P.M., 1995. Posts and Poles. *Forestry Handbook* [en línea]. New Zealand. Hammond: Institute of Forestry, Christchurch, Disponible en: [https://books.google.com.cu/books?id=YVteNzkhHYoC&pg=PA763&lpg=PA763&dq=Posts+and+Poles.+In+Forestry+Handbook&source=bl&ots=3UB\\_98Vp\\_oE&sig=ACfU3U0m4ilST-Qfl-SWYUwk5JvucTkwQ&hl=es-419&sa=X&ved=2ahUKEwjvsf-C\\_O\\_nAhUpnuAKHfVdCKQQ6AEwC3oECAgQAQ#v=onepage&q=Posts%20and%20Poles.%20In%20Forestry%20Handbook&f=](https://books.google.com.cu/books?id=YVteNzkhHYoC&pg=PA763&lpg=PA763&dq=Posts+and+Poles.+In+Forestry+Handbook&source=bl&ots=3UB_98Vp_oE&sig=ACfU3U0m4ilST-Qfl-SWYUwk5JvucTkwQ&hl=es-419&sa=X&ved=2ahUKEwjvsf-C_O_nAhUpnuAKHfVdCKQQ6AEwC3oECAgQAQ#v=onepage&q=Posts%20and%20Poles.%20In%20Forestry%20Handbook&f=)
- CARSON, M.J. y INGLIS, C.S., 1988. Genotype and location effects on internode length of *Pinus radiata* in New Zealand. *New Zealand Journal of Forestry Science*, vol. 18, no. 3, pp. 267-279. Recuperado de: <https://www.semanticscholar.org/paper/GENOTYPE-AND-LOCATION-EFFECTS-ON-INTERNODE-LENGTH-Carson-Inglis/a1244d665a6d648060a4f1f5d5280c1f7c0801bf>
- CARTER, R.E., MILLER, I.M. y KLINKA, K., 1986. Relationships Between Growth Form and Stand Density in Immature Douglas-fir. [en línea]. S.I.: The Forestry Chronicle, pp. 5. DOI 10.5558/tfc62440-5. Disponible en: <https://scite.ai/reports/relationships-between-growth-form-and-0QAKw0>.



- CERDA, G. y W. WOLFE, R.W., 2003. Bending strength of Chilean radiata pine poles. Forest Products Journal [en línea], vol. 53, no. 4, pp. 61-65. Disponible en: <https://www.semanticscholar.org/paper/Bending-strength-of-Chilean-radiata-pine-poles-Cerda-Wolfe/9313eac93276a616041695a75a434a017c39202a>.
- CHEE, A.A., FARRELL, R.L., STEWART, A. y HILL, R.A., 1998. DECAY POTENTIAL OF BASIDIOMYCETE FUNGI FROM PINUS RADIATA. Proceedings of the New Zealand Plant Protection Conference [en línea]. S.l.: New Zealand Plant Protection Society (Inc.), pp. 235-240. DOI 10.30843/nzpp.1998.51.11659. Disponible en: [https://www.researchgate.net/publication/265985513\\_Decay\\_potential\\_of\\_basidiomycete\\_fungi\\_from\\_Pinus\\_radiata](https://www.researchgate.net/publication/265985513_Decay_potential_of_basidiomycete_fungi_from_Pinus_radiata)
- CORVALÁN, P. y BOWN, H., 2013. Respuesta en crecimiento, calidad de madera y mejoramiento de suelos como consecuencia de la aplicación de biosólidos en rodales juveniles y adultos de Pino Radiata en el Centro Forestal y Experimental Tanumé, VI Región. Informe Final. Chile: Facultad de Ciencias Forestales y de Conservación de la Naturaleza. Universidad de Chile. Santiago.
- COWN, D., 1974. Comparison of the effects of two thinning regimes on some wood properties of radiata pine. New Zealand Journal of Forestry Science [en línea], vol. 4, pp. 540-51. Disponible en: [https://www.scionresearch.com/\\_\\_data/assets/pdf\\_file/0009/58689/NZJFS431974COWN540\\_551.pdf](https://www.scionresearch.com/__data/assets/pdf_file/0009/58689/NZJFS431974COWN540_551.pdf)
- COWN, D. J., 1974. Wood density of radiata pine its variation and manipulation. New Zealand journal of forestry [en línea], vol. 19, no. 1. [Consulta: 26 febrero 2020]. ISSN 0028-8284. Recovered from: <http://agris.fao.org/agris-search/search.do?recordID=US201303099792>
- COWN, D.J. y MCCONCHIE, D.F., 1983. Radiata pine wood properties survey (1977-1982) (No. Folleto 10757). 1983. S.l.: Forest Research Institute. Wellington, New Zealand. Recovered from: <https://scion.contentdm.oclc.org/digital/collection/p20044coll6/id/100/>
- COWN, D., 1983. Wood density as an indicator of the bending properties of Pinus radiata poles. New Zealand Journal of Forestry Science [en línea], vol. 13, no. 1, pp. 87 99. Disponible en: [https://www.researchgate.net/publication/257409601\\_Wood\\_density\\_as\\_an\\_indicator\\_of\\_the\\_bending\\_properties\\_of\\_Pinus\\_radiata\\_poles](https://www.researchgate.net/publication/257409601_Wood_density_as_an_indicator_of_the_bending_properties_of_Pinus_radiata_poles).
- COWN, D., 1996. Cross grain effect on tensile strength and bending stiffness of radiata pine structural lumber. New Zealand Journal of Forestry Science [en línea], vol. 25, no. 2, pp. 256- 262. Disponible en: [https://www.researchgate.net/publication/257409539\\_Cross\\_grain\\_effect\\_on\\_tensile\\_strength\\_and\\_bending\\_stiffness\\_of\\_radiata\\_pine\\_structural\\_lumber](https://www.researchgate.net/publication/257409539_Cross_grain_effect_on_tensile_strength_and_bending_stiffness_of_radiata_pine_structural_lumber).
- COWN, D.J., YOUNG, G.D. y KIMBERLEY, M.O., 1991. Spiral grain patterns in plantation-grown Pinus radiata. New Zealand Journal of Forestry Science [en línea], vol. 21, no. 2-3, pp. 206-216. [Consulta: 26 febrero 2020]. ISSN 0048-0134. Disponible en: <https://www.cabdirect.org/cabdirect/abstract/19930668108>.



- ERASMUS, J., KUNNEKE, A., DREW, D.M. y WESSELS, C., 2018. The effect of planting spacing on *Pinus patula* stem straightness, microfibril angle and wood density. *Forestry* [en línea], vol. 91, no. 3, pp. 247-258. DOI 10.1093/forestry/cpy005. Disponible en: [https://www.researchgate.net/publication/326982276\\_The\\_effect\\_of\\_planting\\_spacing\\_on\\_Pinus\\_patula\\_stem\\_straightness\\_microfibril\\_angle\\_and\\_wood\\_density](https://www.researchgate.net/publication/326982276_The_effect_of_planting_spacing_on_Pinus_patula_stem_straightness_microfibril_angle_and_wood_density).
- FENTON, R. y FAMILTON, A., 1961. TENDING PINUS RADIATA FOR OPTIMUM TIMBER-GRADE RECOVERY. *New Zealand Journal of Forestry* [en línea], vol. 83, no. 3, pp. 415-39. Disponible en: [https://www.researchgate.net/publication/265743912\\_TENDING\\_PINUS\\_RAD\\_IATA\\_FOR\\_OPTIMUM\\_TIMBER-GRADE\\_RECOVERY](https://www.researchgate.net/publication/265743912_TENDING_PINUS_RAD_IATA_FOR_OPTIMUM_TIMBER-GRADE_RECOVERY).
- FERNÁNDEZ, M.P., BASAURI, J., MADARIAGA, C., MENÉNDEZ-MIGUÉLEZ, M., OLEA, R. y ZUBIZARRETA-GERENDIAIN, A., 2017. Effects of thinning and pruning on stem and crown characteristics of radiata pine (*Pinus radiata* D. Don). *iForest - Biogeosciences and Forestry* [en línea], vol. 10, no. 2, pp. 383. [Consulta: 26 febrero 2020]. ISSN 1971-7458. DOI 10.3832/ifor2037-009. Disponible en: <https://iforest.sisef.org/contents/?id=ifor2037-009>
- FRANCIS, L. y NORTON, J., 2006. Australian Timber Pole Resources for Energy Networks. A review. Department of Primary Industries and Fisheries [en línea], Disponible en: <http://era.daf.qld.gov.au/id/eprint/3071/>.
- FUNDACIÓN CHILE, 2005. Tablas auxiliares de producción. Simulador de árbol individual para Pino radiata (*Pinus radiata* D. Don): Arquitectura de copa y calidad de madera [en línea]. 2005. S.l.: Fundación Chile. Disponible en: <https://bibliotecadigital.infor.cl/handle/20.500.12220/7848>
- GORDON, A. y GRAHAM, J.D., 1986. Changes in *Pinus radiata* stem form in response to nitrogen and phosphorus fertiliser. *New Zealand Journal of Forestry Science* [en línea], vol. 16, no. 1, pp. 41-54. Disponible en: <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/summary?doi=10.1.1.707.7934>
- GROSSMAN, G.H. y POTTER-WITTER, K., 1991. Economics of Red Pine Management for Utility Pole Timber. *Northern Journal of Applied Forestry*. 8(1):22-25. [en línea], vol. 8, no. 1, pp. 25. [Consulta: 26 febrero 2020]. Disponible en: <https://www.fs.usda.gov/treesearch/pubs/12282>
- HARRIS, J.M. y COWN, D.J., 1991. Basic Wood Properties. En: J.A. KININMONTH y L.J. WHITEHOUSE (eds.), *Properties and uses of New Zealand Radiata Pine* [en línea]. S.l.: Rotorua, N.Z.: N.Z. Ministry of Forestry, Forest Research Institute with assistance from the New Zealand Lottery Grants Board, c1991, ISBN 0-473-01181-6. Disponible en: <https://trove.nla.gov.au/work/21073937?selectedversion=NBD8483986>
- HEVIA, A., ÁLVAREZ-GONZÁLEZ, J.G. y MAJADA, J., 2016. Effects of pruning on knotty core taper and form of *Pinus radiata* and *Pinus pinaster*. *European Journal of Wood and Wood Products* [en línea], vol. 74, no. 5, pp. 741-750. [Consulta: 26 febrero 2020]. ISSN 1436-736X. DOI 10.1007/s00107-016-1019-0. Disponible en: <https://doi.org/10.1007/s00107-016-1019-0>



INSTITUTO FORESTAL (INFOR, CL), 2016. Industria Forestal Primaria en Chile Período 2006-2015 [en línea]. 2016. S.l.: (INFOR, CL). Disponible en: <https://wef.infor.cl/publicaciones/publicaciones.php>

JACOBS, M., RAIS, A., & PREUTZSCH, H. 2020. Analysis of stand density effects on the stem form of Norway spruce trees and volume miscalculation by traditional form factor equations using terrestrial laser scanning (TLS). Canadian Journal of Forest Research, [en línea] vol 50 no. 1, p. 51-64. Disponible en: [https://www.nrcresearchpress.com/doi/abs/10.1139/cjfr-2019-0121#.Xqban5IS\\_IU](https://www.nrcresearchpress.com/doi/abs/10.1139/cjfr-2019-0121#.Xqban5IS_IU)

JAYAWICKRAMA, K.J.S. y LOW, C.B., 1999. Pinus radiata selections from different regions of New Zealand differ in branch habit, form, and growth rate. New Zealand Journal of Forestry Science [en línea], vol. 29, no. 1, pp. 3-24. Disponible en: [https://www.scionresearch.com/\\_data/assets/pdf\\_file/0003/17166/NZJFS29\\_1\\_1999\\_3\\_24JAYAWICKRAMA.pdf](https://www.scionresearch.com/_data/assets/pdf_file/0003/17166/NZJFS29_1_1999_3_24JAYAWICKRAMA.pdf).

KIMBERLEY, M., WEST, G., DEAN, M.G. y KNOWLES, L.R., 2005. The 300 index - A volume productivity index for radiata pine. New Zealand Journal of Forestry [en línea], vol. 50, no. 2, pp. 13-18. Disponible en: [https://www.researchgate.net/publication/275964790\\_The\\_300\\_index\\_-\\_A\\_volume\\_productivity\\_index\\_for\\_radiata\\_pine](https://www.researchgate.net/publication/275964790_The_300_index_-_A_volume_productivity_index_for_radiata_pine)

KININMONTH, J.A. y WHITESIDE, I.D., 1991. Log Quality. En: J.A. KININMONTH y L.J. WHITEHOUSE (eds.), Properties and uses of New Zealand Radiata Pine [en línea]. New Zealand: Rotorua, N.Z.: New Zealand Ministry of Forestry, Forest Research Institute with assistance from the New Zealand Lottery Grants Board, ©199, Disponible en: <https://www.worldcat.org/title/properties-and-uses-of-new-zealand-radiata-pine/oclc/26375272>

LARSON, P. R. 1963. Stem form development of forest trees. Forest science, 9 (suppl\_2), a0001-42. Disponible en: [https://academic.oup.com/forestscience/article-abstract/9/suppl\\_2/a0001/4746569?redirectedFrom=PDF](https://academic.oup.com/forestscience/article-abstract/9/suppl_2/a0001/4746569?redirectedFrom=PDF)

LAVERY, P.B., 1986. Plantation forestry with Pinus radiata. New Zealand: School of Forestry University of Canterbury Christchurch. Review Papers N° 12.

LESKINEN, P., CARDELLINI, G., GONZÁLEZ-GARCÍA, S., HURMEKOSKI, E., SATHRE, R., SEPPÄLÄ, J., SMYTH, C., STERN, T., VERKERK, P.J. y EUROPEAN FOREST INSTITUTE, 2018. Substitution effects of wood-based products in climate change mitigation. [en línea]. From Science to Policy. S.l.: European Forest Institute. [Consulta: 26 febrero 2020]. Disponible en: <https://www.efi.int/publications-bank/substitution-effects-wood-based-products-climate-change-mitigation>

LEWIS, N.B., FERGUSON, I.S., SUTTON, W.R.J., D.G.M, D. y LISBOA, H.B., 1993. Management of radiata pine. Australia: Inkata Press Pty Ltd/Butterworth-Heinemann. Melbourne. [https://books.google.com/cu/books/about/Management\\_of\\_Radiata\\_Pine.html?id=7TJIAAAAYAAJ&redir\\_esc=y](https://books.google.com/cu/books/about/Management_of_Radiata_Pine.html?id=7TJIAAAAYAAJ&redir_esc=y)



- LU, H. R., & EL HANNANDEH, A. 2017. Environmental and economic assessment of utility poles using life cycle approach. *Clean Technologies and Environmental Policy*, [en línea] vol 19 no. 4, p. 1047-1066. Disponible en: <https://link.springer.com/article/10.1007/s10098-016-1299-4>
- MACLAREN, J.P., 1993. Radiata Pine Growers' Manual [en línea]. S.I.: New Zealand Forest Research Institute. Disponible en: <https://scion.contentdm.oclc.org/digital/collection/p20044coll6/id/9/>
- MALINAUSKAS, A., 1999. The influence of the initial density and site conditions on Scots pine growth and wood quality. *Baltic Forestry* [en línea], vol. 5, no. 2, pp. 8-19. Disponible en: [https://www.balticforestry.mi.lt/bf/PDF\\_Articles/99-5\[2\]/The%20influence%20of%20the%20initial%20density%20and%20site%20conditions%20on%20Scots%20pine%20growth%20and%20wood%20quality.pdf](https://www.balticforestry.mi.lt/bf/PDF_Articles/99-5[2]/The%20influence%20of%20the%20initial%20density%20and%20site%20conditions%20on%20Scots%20pine%20growth%20and%20wood%20quality.pdf)
- MANLEY, B. y CALDERON, S., 1982. Growing radiata pine for poles. *New Zealand Forest Service* [en línea], vol. 27, no. 2, pp. 242-253. Disponible en: [http://nzjf.org.nz/free\\_issues/NZJF27\\_2\\_1982/51351445-E8BD-4BA9-92B6-41C6072D951D.pdf](http://nzjf.org.nz/free_issues/NZJF27_2_1982/51351445-E8BD-4BA9-92B6-41C6072D951D.pdf)
- MOORE, J.R., COWN, D.J. y MCKINLEY, R.B., 2015. Modelling spiral grain angle variation in New Zealand-grown radiata pine. *New Zealand Journal of Forestry Science* [en línea], vol. 45, no. 1, pp. 15. [Consulta: 27 febrero 2020]. ISSN 1179-5395. DOI 10.1186/s40490-015-0046-7. Disponible en: <https://doi.org/10.1186/s40490-015-0046-7>
- OJEDA, H., RUBILAR, R.A., MONTES, C., CANCINO, J. y ESPINOSA, M., 2018. Leaf area and growth of Chilean radiata pine plantations after thinning across a water stress gradient. *New Zealand Journal of Forestry Science* [en línea], vol. 48, no. 1, pp. 10. [Consulta: 27 febrero 2020]. ISSN 1179-5395. DOI 10.1186/s40490-018-0116-8. Disponible en: <https://doi.org/10.1186/s40490-018-0116-8>
- PINKARD, E.A., 2002. Effects of pattern and severity of pruning on growth and branch development of pre-canopy closure *Eucalyptus nitens*. *Forest Ecology and Management*, vol. 157, no. 1, pp. 217-230. ISSN 0378-1127. DOI 10.1016/S0378-1127(00)00647-2. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0378112700006472>
- RESENDE R. T., SOARES, A. A., FORRESTER, D. I., MARCATTI, G. E., DOS SANTOS A. R., TAKAKAHASHI, E. K., ... & LEITE H. G. 2018. Environmental uniformity, site quality and tree competition interact to determine stand productivity of clonal *Eucalyptus*. *Forest ecology and management*, 410, 76-83. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0378112717315918>
- SATHRE, R. y O'CONNOR, J., 2010. Meta-analysis of greenhouse gas displacement factors of wood product substitution. *Environmental Science and Policy*, vol. 13, no. 2, pp. 104-114. ISSN 1462-9011. DOI 10.1016/j.envsci.2009.12.005. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1462901109001804>



- SIEMON, G.R., WOOD, G.B. y FORREST, W.G., 1976. Effects of thinning on crown structure in radiata pine. *New Zealand Journal of Forestry Science*, vol. 6, no. 1, pp. 57-66. Disponible en: [https://www.scionresearch.com/\\_data/assets/pdf\\_file/0004/58936/NZJFS611976SIEMON57-66.pdf](https://www.scionresearch.com/_data/assets/pdf_file/0004/58936/NZJFS611976SIEMON57-66.pdf)
- STÅHL, E.G., PERSSON, B. y PRESCHER, F., 1990. Effect of provenance and spacing on stem straightness and number of stems with spike knots in *Pinus sylvestris* L. - northern Sweden and countrywide models. En: Num Pages: 16 [en línea]. Report. Uppsala: Swedish University of Agricultural Sciences. [Consulta: 27 febrero 2020]. 184. Disponible en: <https://pub.epsilon.slu.se/4155/>.
- SUTTON, W.R.J., 1968. Initial spacing and financial return of *Pinus radiata* on coastal sands. *New Zealand Journal of Forestry*, vol. 13, no. 2, pp. 203-18. Disponible en: [http://nzjf.org.nz/free\\_issues/NZJF13\\_2\\_1968/A8FFCE6C-C2CD-4901-9672-72353EECB1FF.pdf](http://nzjf.org.nz/free_issues/NZJF13_2_1968/A8FFCE6C-C2CD-4901-9672-72353EECB1FF.pdf)
- TETTEY, U. Y. A., DODOO A., & GUSTAVSSO, L. 2019. Effect of different frame materials on the primary energy use of a multi storey residential building in a life cycle perspective. *Energy and Buildings*, 185, 259-271. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0378778818306741>
- WALFORD, G. y CHAPMAN, J.B., 2010. Evaluation of the strength of shaved steamed *Pinus radiata* poles. *New Zealand Journal of Forestry Science*, vol. 40, pp. 83-90. Disponible en: [https://www.researchgate.net/publication/297142054\\_Evaluation\\_of\\_the\\_strength\\_of\\_shaved\\_steamed\\_Pinus\\_radiata\\_poles](https://www.researchgate.net/publication/297142054_Evaluation_of_the_strength_of_shaved_steamed_Pinus_radiata_poles)
- WANG, C. S., TANG, C., HEIN, S., GUO, J. J., ZHAO, Z. G., & ZENG, J. 2018. Branch development of five-year-old *Betula alnoides* plantations in response to planting density. *Forests*, 9(1), 42. Disponible en: <https://www.mdpi.com/1999-4907/9/1/42>
- WATT, M.S. y TRINCADO, G., 2017. Modelling the influence of environment on juvenile modulus of elasticity in *Pinus radiata* grown in Chile. *Forest Ecology and Management*, vol. 400, pp. 238-245. ISSN 0378-1127. DOI 10.1016/j.foreco.2017.06.006. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0378112717305637>
- WEST, P. W., & SMITH, R. G. B. (2020). Effects of tree spacing on branch-size development during early growth of an experimental plantation of *Eucalyptus pilularis* in subtropical Australia. *Australian Forestry*, 1-7. Disponible en: <https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/00049158.2020.1715016>
- WU, H., IVKOVIÆ, M., GAPARE, W., MATHESON, A., BALTUNIS, B., POWELL, M. y MCRAE, T.A., 2008. Breeding for wood quality and profit in *Pinus radiata*: A review of genetic parameter estimates and implications for breeding and deployment. *New Zealand Journal*. Disponible en: [https://www.researchgate.net/publication/279710782\\_Breeding\\_for\\_wood\\_quality\\_and\\_profit\\_in\\_Pinus\\_radiata\\_A\\_review\\_of\\_genetic\\_parameter\\_estimates\\_and\\_implications\\_for\\_breeding\\_and\\_deployment](https://www.researchgate.net/publication/279710782_Breeding_for_wood_quality_and_profit_in_Pinus_radiata_A_review_of_genetic_parameter_estimates_and_implications_for_breeding_and_deployment)



WANG, Y., BODIG, J. (1990). Strength-grading method for wood poles. Journal of Structural Engineering 116(11): 2952-2967. Disponible en: <https://ascelibrary.org/doi/10.1061/%28ASCE%290733-9445%281990%29116%3A11%282952%29>

**Conflicto de intereses:**

Los autores declaran no tener conflictos de intereses.

**Contribución de los autores:**

Los autores han participado en la redacción del trabajo y análisis de los documentos.



Esta obra está bajo una licencia de Creative Commons Reconocimiento-  
NoComercial 4.0 Internacional.  
Copyright (c) 2020 Patricio Corvalán Vera

