

# HOJA INFORMATIVA Nº 19

Enero de 2020  
Publicación irregular  
ISSN 2545-7195

## ¿DONDE ESTÁ LA MADERA ESTRUCTURAL?

---

ESTUDIO DE CASO EN  
*Pino ponderosa*



Ministerio de Agricultura,  
Ganadería y Pesca  
Presidencia de la Nación

# ¿DONDE ESTÁ LA MADERA ESTRUCTURAL? ESTUDIO DE CASO EN *Pino ponderosa*

Gonzalo Caballé, Alejandro Martinez Meier, Juan P. Diez, Federico Letourneau  
Laboratorio de Ecología, Ecofisiología y Madera (LEEMA), INTA EEA Bariloche

Oscar Santaclara; Esther Merlo  
MADERA PLUS Calidad Forestal SL, Ourense, España

## Introducción

Dentro del sector de la construcción, la madera es el material con menor impacto ambiental entre todos los que se utilizan. Es el único material de origen natural, renovable y reciclable. Acompañado por la versatilidad que permite en el diseño y los sistemas constructivos a emplear, se observa que la construcción con este material está resurgiendo a nivel global y nacional.

La madera estructural empleada en construcción debe tener propiedades físicas y mecánicas específicas. Entre las características mecánicas, el módulo de elasticidad (MOE) que determina la rigidez de la madera o la capacidad de flexionarse antes de romperse, es una de las principales. La calidad estructural de la madera es mayor a medida que el valor del MOE aumenta. Esta variable se puede predecir a partir de métodos no destructivos, sobre árbol en pie o en trozas, lo que representa una herramienta de gran utilidad por su sencillez y versatilidad para realizar diagnósticos y monitoreos. Este método se basa en el empleo de técnicas acústicas debido a que la velocidad con que se propagan las ondas de sonido a través de la madera se relacionan con el MOE. La velocidad será mayor cuanto menos defectos generales (fendas, rajaduras o desviaciones de fibras) o puntuales (nudos o grupos de

nudos) posea la madera. Estos defectos provocan la interrupción de transmisión de la onda, y por lo tanto, retardan su llegada al receptor.

El pino ponderosa es una especie que se cultiva en la Patagonia Argentina, en el ecotono entre la estepa y el bosque andinopatagónico de las provincias de Neuquén, Río Negro y Chubut. En los últimos 50 años se han forestado unas 96.000 ha con esta especie. Sin embargo, no hay información disponible que permita conocer a nivel de rodal o de árbol individual cuales son las variables más importantes que condicionan la producción de madera de grado estructural.

El presente artículo condensa información generada en varios proyectos de investigación que pretenden establecer, a nivel de rodal y de árbol individual, variables de sencilla medición con influencia directa sobre el MOE del pino ponderosa y en consecuencia, sobre la calidad estructural de la madera.

## El caso en estudio

Se trabajó en una red de parcelas permanentes de INTA que cubren el total de la distribución geográfica de las forestaciones de pino ponderosa en Patagonia e incluyen una amplia gama de

calidades de sitios, edades y manejo silvícola. En todos los árboles de cada parcela se midió la velocidad de propagación de onda acústica ( $V$ , Foto 1b) sobre el fuste de cada árbol y se extrajo un tarugo de madera para determinar la densidad en verde de la madera ( $\rho_{\text{verde}}$ , Foto 1a).



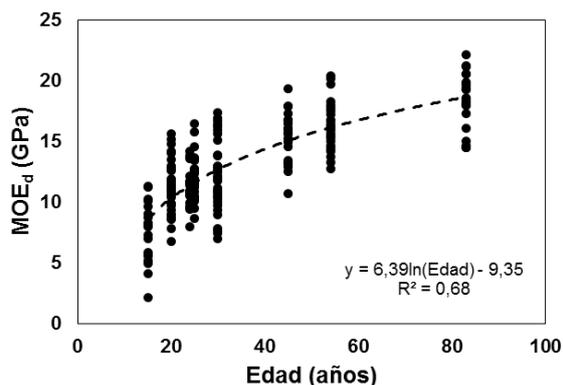
**Foto 1a. Extracción de tarugo de madera para cálculo de densidad en verde**

Con el dato de velocidad de propagación de onda y de densidad en verde, se calculó para cada árbol el MOE, en este caso denominado módulo de elasticidad dinámico ( $MOE_d = V^2 \cdot \rho_{\text{verde}}$ ). La unidad de medida del  $MOE_d$  es GPa. En cada árbol también se midió el diámetro a la altura del pecho (DAP), su altura total ( $H$ ) y se calculó su esbeltez ( $S$ ) a partir de la relación entre la altura y el diámetro ( $H/DAP$ ). A nivel de rodal, se calculó la altura dominante ( $H_{100}$ ), el índice del sitio a una edad base de 20 años ( $IS_{20}$ ) y se estableció para cada árbol un parámetro de posición sociológica que se denominó altura relativa ( $HR$ ) que surge de la relación entre la altura de cada árbol y la altura dominante del rodal ( $HR = H / H_{100}$ ).



**Foto 1b. Medición de velocidad de propagación de onda acústica sobre el fuste con equipo portátil ST300 (Fibre-Gen, NZ).**

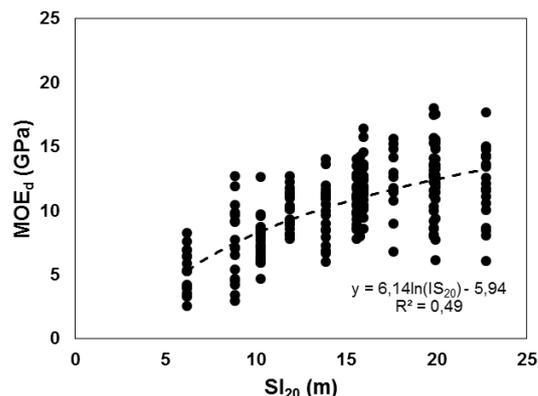
Ante el amplio rango de edades, calidades de sitio y estructuras del rodal, el  $MOE_d$  presentó una amplia variación, desde 2,13 GPa hasta 22,1 GPa, con un valor medio de 11,2 GPa. Esta variación se asoció con las variables medidas a nivel de rodal y de árbol individual. Por ejemplo, a medida que aumentó la altura total de los árboles y la altura dominante, también aumentó el  $MOE_d$ . La edad también se relacionó positivamente con el  $MOE_d$ . Al seleccionar índices de sitios intermedios ( $IS_{20} = 15-17m$ ), el valor medio del  $MOE_d$  se duplica, de 7,53 GPa a 15,32 GPa entre 15 y 45 años, alcanzando un máximo valor medio de 18,33 GPa a los 83 años (Fig. 1).



**Figura 1. Módulo de elasticidad dinámico ( $MOE_d$ ) en función de la edad a la altura del pecho (Edad) para pino ponderosa en forestaciones de la Patagonia. Las parcelas corresponden a un rango de  $IS_{20}$  entre 15 y 17m.**

Analizando los datos para edades comprendidas entre 20 y 25 años, cuando el índice de sitio ( $IS_{20}$ ) aumenta de 6 a 22 m, el valor medio del  $MOE_d$  aumenta más de dos veces, de 5,13 a 12,94 GPa (Fig.2). La esbeltez (S), expresada a partir de la relación H/DAP, mostró una correlación positiva con el  $MOE_d$ , a medida que aumenta la esbeltez de los árboles aumenta el  $MOE_d$ .

El determinante más fuerte del  $MOE_d$  fue la edad del rodal que está relacionada con la proporción de madera juvenil con baja resistencia, baja rigidez y poca estabilidad dimensional. Si bien los resultados coinciden con investigaciones previas y resaltan la importancia de la edad y el índice de sitio como determinantes clave del MOE, otras variables como la posición sociológica (HR) y la esbeltez (S) son también factores importantes que afectan y se emplean para predecir el MOE.



**Figura 2. Módulo de elasticidad dinámico ( $MOE_d$ ) en función del índice de sitio ( $IS_{20}$ , m) para pino ponderosa en forestaciones de la Patagonia con rango de edades entre 20 y 25 años.**

Los resultados indican que para la producción de madera de uso estructural deberían promoverse turnos de corta mayores a 45 años, priorizar sitios de calidad media a alta ( $IS_{20} > 15$ ) y manejar los rodales a densidades medias a altas con más de 300 árboles/ha a la edad de corta. Dentro de cada rodal, los árboles objetivo deberían ser los más esbeltos, en general, asociados a una posición sociológica co-dominante. Estos resultados sugieren ampliar los turnos de corta propuestos actualmente (36 años) y evaluar la posibilidad de promover raleo por lo alto entre los tratamientos intermedios. Estas sugerencias deberían ir acompañadas a nivel industrial, con una clasificación de trozas y tablas a partir de una clasificación visual sencilla de grados de resistencia.

Dado que el material evaluado corresponde a plantaciones realizadas con semilla introducida sin ningún grado de mejora genética, sería menester explorar la factibilidad de mejora conjunta con caracteres de forma y crecimiento.