

Tesis: “Diseño de una metodología de clasificación visual estructural para madera de *Pinus elliottii* E. y *P. taeda* L. cultivados en Uruguay”.

Estudiante: Ing. Agr. Andrea Cardoso

Tutora: PhD Arq. Laura Moya

Co-tutora: Msc. Ing. Agr. Alejandra Borges

La clasificación visual estructural de la madera consiste en asignar a una pieza de madera una calidad visual asociada a sus propiedades físicas y mecánicas, según ciertos parámetros visuales. Los parámetros relacionados con la velocidad de crecimiento de los árboles, las nudosidades y alabeos, entre otros, influyen sobre estas propiedades de la madera. Los objetivos de este trabajo fueron: i) determinar las variables visuales con mayor influencia sobre las propiedades físicas y mecánicas a flexión de vigas de *Pinus elliottii* y *P. taeda* de plantaciones uruguayas; ii) realizar una propuesta de clasificación visual a partir de un modelado de estas variables con diferentes técnicas estadísticas; y iii) definir una calidad visual estructural para las vigas que se asocie a una clase resistente del cuerpo normativo europeo.

Se seleccionó madera de dos plantaciones, *P. taeda* de 14 años y *P. elliottii* de 27 años, provenientes de Tacuarembó y Rivera respectivamente. Sobre las piezas se midieron una serie de variables visuales (ej. tamaño y posición de nudos, tamaño y número de áreas nudosas, número de anillos de crecimiento, presencia de médula, alabeos), se estimó el módulo de elasticidad por ultrasonido (E_d), se determinaron rigidez (E_0) y resistencia (f_m) de flexión y densidad (ρ). El trabajo se planteó en dos etapas, una piloto y otra de verificación. En ambas etapas, se estimaron límites admisibles para las variables visuales mediante métodos de clasificación de árboles de regresión, bosques aleatorios y modelos generales aditivos. Para las diferentes combinaciones de límites se calcularon los valores medios y característicos de E_0 , f y ρ de acuerdo a EN 384:2010, y se definió una propuesta de clasificación visual para la asignación a una calidad visual, con una familia de propiedades estructurales que permite asociarla a las clases de resistencia de EN 338:2009.

En la etapa piloto, fue posible reducir el número inicial de variables ya que edad de corte, número de anillos de crecimiento, presencia de médula, tamaño de nudo de cara y de canto, encorvadura, y torcedura, mostraron ser las más influyentes sobre E_0 . No se observó relación entre E_0 y las variables relacionadas con tamaño, posición y número de las áreas nudosas. Otras como la orientación de los anillos y la preclasificación en húmedo, no mostraron resultados claros, por lo cual fueron mantenidos en el análisis de la etapa posterior. E_d fue la variable predictora que explicó por sí sola la mayoría de variabilidad de E_0 (91%). El análisis multivariado permitió definir los posibles límites admisibles para número de anillo de crecimiento, tamaño de nudo mayor de canto y torcedura.

En la etapa de verificación, E_d explicó otra vez, casi toda la variabilidad de E_0 (92%). Además, el análisis descriptivo mostró que las variables más relacionadas con E_0 fueron número de anillos de crecimiento ($r^2=0,56$), presencia de médula, torcedura (-0,41), encorvadura (-0,20) y tamaño de nudo mayor de cara (-0,23). A diferencia de la etapa anterior, E_0 de las piezas con orientación tangencial de los anillos fue mayor que el resto y la preclasificación en húmedo estuvo relacionada con E_0 . El análisis multivariado, a diferencia de la etapa anterior, permitió obtener una combinación de variables que incluyó un número válido de piezas estructurales de ambos muestreos (42%) y un menor porcentaje de rechazo (58%). De esta forma, la combinación de variables quedó definida por piezas con más de 0,7 anillos/cm, porcentaje de diámetro de nudo mayor de cara menor a 30%, y de canto menor a 70%, con valores de torcedura menor a 8 mm en 150 mm de ancho y encorvadura menor a 9 mm, ambos tomados en 2 m de longitud. La propuesta de clasificación visual permitió definir una calidad visual estructural con propiedades estructurales similares a la clase de resistencia C14 (EN 338:2009). Respecto a la edad de corte, en esta etapa se verificó que la madera proveniente de plantaciones de mayor edad presentó valores de propiedades físicas-mecánicas superiores y menores porcentajes de rechazo luego de ser clasificada, que la madera de menor edad. A partir de la comparación de los modelos de clasificación, se observó que la clasificación visual estructural complementada con clasificación mecánica (no destructiva) reduce un 12% en promedio el error de predicción del módulo de elasticidad para piezas de madera aserrada de pino.