



8º CONGRESO FORESTAL ESPAÑOL

La **Ciencia forestal** y su contribución a
los **Objetivos de Desarrollo Sostenible**



8CFE

Edita: Sociedad Española de Ciencias Forestales

Cataluña | Catalunya - 27 junio | juny - 1 julio | juliol 2022

ISBN 978-84-941695-6-4

© Sociedad Española de Ciencias Forestales

Organiza



Propiedades estructurales de la madera de *Pinus canariensis* C. Sm. ex DC. procedente de repoblaciones en la isla de Tenerife

GARCIA FERNANDEZ, F.¹, GARCIA ESTEBAN, L.¹, DE PALACIOS DE PALACIOS, P.¹, GARCIA IRUELA, A.¹, DEL POZO UCLES, J.C.¹, PÉREZ BORREGO, V.², AGULLÓ PÉREZ, J.², PADRON CEDRES, E.² y ARRIAGA MARTITEGUI, F.³

¹ Departamento de Sistemas y Recursos Naturales; Escuela Técnica Superior de Ingeniería de Montes, Forestal y del Medio Natural; Universidad Politécnica de Madrid.

² Servicio Técnico de Planificación y Proyectos Forestales, Área de Sostenibilidad, Medio Ambiente y Seguridad; Cabildo Insular de Tenerife.

³ Departamento de Ingeniería Forestal; Escuela Técnica Superior de Ingeniería de Montes, Forestal y del Medio Natural; Universidad Politécnica de Madrid.

Resumen

El pino canario (*Pinus canariensis* C. Sm. ex DC.) es una especie endémica que forma masas naturales en las Islas del Archipiélago Canario ocupando una superficie total de 66700ha. Su entreamiento, es decir, la presencia extraordinaria de resina en su madera de duramen, confiere a su madera un carácter imputrescible y muy apta para la carpintería de exterior. Sin embargo, su utilización como material estructural es prácticamente nula y no se ha realizado hasta la fecha ningún estudio sobre su capacidad portante.

En el presente trabajo se realizó una caracterización de la madera aserrada de pino canario procedente de repoblaciones del término municipal de La Orotava, realizando los ensayos según la norma UNE EN 408 y calculando sus valores característicos según la norma UNE EN 384.

Paralelamente, las piezas fueron clasificadas visualmente de acuerdo a la norma UNE 56544 en las clases ME-1 y ME-2. Los valores obtenidos permitieron asignar una clase resistente de las establecidas en la norma UNE EN 338. Fueron evaluadas un total de 872 probetas de sección 35x120mm, siendo asignada una clase resistente C24 a la clase visual ME-1 y una clase resistente C14 a la clase visual ME-2.

Palabras clave

Pino canario, madera enteada, resistencia característica, clasificación visual.

1. Introducción

Pinus canariensis C.Sm. ex DC se distribuye naturalmente por las islas del archipiélago canario (Gran Canaria, Tenerife, La Gomera, El Hierro y La Palma), salvo en Lanzarote y Fuerteventura. La mayor superficie de pinar con 41.210 ha se encuentra en la isla de Tenerife (Figura 1), incluidas las plantaciones del siglo XX, seguida por la isla de La Palma con 23.000 ha, 11.000 ha en Gran Canaria y 2.700 ha en El Hierro (ESTEBAN et al., 2005; ESTEBAN, 2019, GARCIA ESTEBAN et al., 2020).

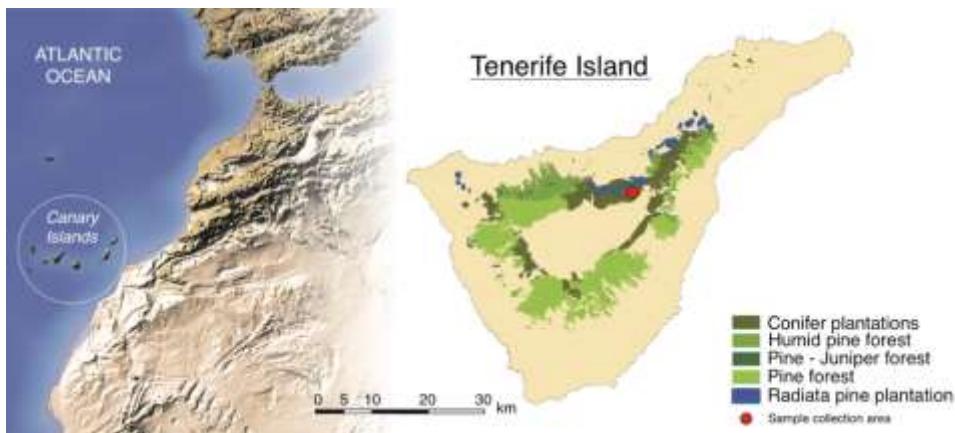


Figura 1. Distribución de las masas de pinar en la isla de Tenerife. Basado en mapa del Área de Sostenibilidad, Medio Ambiente, Aguas y Seguridad del Cabildo de Tenerife.

Las principales formaciones forestales de la isla de Tenerife están incluidas en su mayor parte dentro de la Red Natura 2000 y constituyen hábitats de interés comunitario que albergan un gran número de especies catalogadas bajo diversas figuras de protección. En muchos casos son endemismos de Macaronesia, de las Islas Canarias o incluso de la propia isla. Sin embargo, dentro de los espacios naturales protegidos hay más de 10.000 hectáreas de pino canario procedente de repoblación cuya persistencia y estabilidad no está garantizada. Además, Canarias no tiene aprobada una Ley de Montes Autonómica, lo que supone un serio obstáculo para la gestión de su patrimonio natural y forestal, siendo por el momento la Ley de Montes la garante de la gestión de dicho patrimonio.

Dentro de los retos que se presentan en la gestión forestal sostenible se incluye la puesta en valor de los productos forestales resultantes de la aplicación de los necesarios tratamientos selvícolas para su mejora y conservación. Esto permitirá integrar los aspectos ambientales, económicos, sociales y culturales con la gestión sostenible, con la finalidad de conservar el medio natural al tiempo que generar empleo y ejecutar el uso múltiple del monte. Uno de los posibles usos de la madera que inciden positivamente en su puesta en valor es su utilización estructural.

Actualmente, la madera de pino canario sólo ha sido caracterizada mecánicamente con probetas pequeñas y libres de defectos de madera procedente de su área natural (GUTIÉRREZ OLIVA y PLAZA PULGAR, 1967) o de plantaciones fuera de las islas Canarias (RODRÍGUEZ y VERGARA, 2008). Su entreamiento, es decir, la presencia masiva de resina en su madera de duramen, le confiere un carácter imputrescible y muy apta para carpintería exterior (GUINDEO et al., 1997).

Esta madera ha sido utilizada desde el siglo XVI para leña, construcción civil y naval, carpintería exterior e interior (Figura 2), fabricación de brea para el calafateado de los barcos, mobiliario, suelos, tonelería para envejecer el vino y utensilios agrícolas y domésticos, entre otros. Todavía hoy muchos troncos muestran las cicatrices de las calas que hacían los pegueros para saber si el árbol suministraría resina en cantidad. Por otro lado, los ingenios azucareros también necesitaron grandes cantidades de combustible para producir la melaza, arrasando así una buena parte de los bosques del archipiélago. Originariamente los pinares ocupaban aproximadamente un 25% del territorio insular, pero tras siglos de ataques, a finales de siglo XIX sus dominios quedaron reducidos a tan sólo un 12% de la superficie. Siglos de explotación desordenada lograron acabar con bosques centenarios. Las fotografías de lugares como el valle de la Orotava y otras zonas alrededor del Teide muestran el lamentable estado del monte a principios del siglo XX. Afortunadamente, esa situación se ha conseguido revertir, fruto de un largo proceso de repoblación iniciado en la segunda mitad del siglo XX. Entre 1946 y 1970 Patrimonio Forestal del Estado repobló unas 11.600 hectáreas,

fundamentalmente concentradas en la Isla de Tenerife. Tras más de 60 años desde su plantación, se están realizando claras para dejar los mejores ejemplares (ESTEBAN, 2019, GARCIA ESTEBAN et al., 2020).



Figura 2. Carpintería exterior y balconada de madera.

Los árboles procedentes de estas claras permitirán que vuelva a utilizarse la madera de pino canario, especialmente en construcción, y cumplir así los citados retos que se presentan en la gestión forestal sostenible. Precisamente, a partir de este material se ha podido caracterizar estructuralmente la madera de pino canario, hasta el momento uno de los pinos españoles que quedaba sin caracterizar y que en consecuencia no se encuentra incluido en la normativa correspondiente.

2. Objetivos

Los objetivos de este estudio han sido: 1.- determinar los valores característicos de resistencia a flexión, módulo de elasticidad y densidad de la madera de pino canario. 2.- propuesta de un criterio de clasificación visual basado en la norma UNE 56544 (AENOR, 2011). 3.- asignación de las clases visuales a una clase de resistencia de acuerdo con la norma UNE EN 338 (AENOR, 2016a) y 4.- influencia de la densidad, número de anillos de crecimiento y presencia de madera enteada en la resistencia a flexión y módulo de elasticidad.

3. Metodología

3.1. Toma de muestras

La toma de muestras se realizó en el Monte de Utilidad Pública MUPc 22 Mamio, Leres y Monteverde, del término municipal de La Orotava en la isla de Tenerife (Figura 1).

La selección de los árboles, procedentes de claras programadas (Figura 3), se llevó a cabo sobre ejemplares representativos de la masa, de hasta 40 cm de diámetro, y que no estuvieran

afectados por efecto de borde. Se obtuvieron 263 trozas que arrojaron un volumen de corta de 50,53 m³, 122 se corresponden con primeras trozas y 141 con segundas trozas. Las muestras fueron marcadas en monte con los números 1 y 2 en función de que fueran primera o segunda troza respectivamente, manteniéndose dicho código hasta el despiece final.



Figura 3. Zona de toma de muestras. Pinar de *Pinus canariensis* en la vertiente norte.

El material fue trasladado en barco hasta el puerto de Vigo, desde donde se transportó por carretera hasta el aserradero de Maderas Siero en El Berrón, Asturias. El despiece de las trozas se realizó sobre costero en espesores de 40 mm. Una vez aserradas, las piezas se orearon durante un mes para disminuir el porcentaje de humedad. Posteriormente, se secaron en un secadero de temperatura media hasta en torno al 12%. A continuación, ya en laboratorio, las muestras se regresaron hasta un espesor de 35 mm y se mantuvieron en cámara de acondicionado a 20±2°C y 65%±5% de humedad relativa hasta la realización de los ensayos, con el objetivo de mantener las piezas en torno al 12% de contenido de humedad.

3.2. Clasificación visual

Para la clasificación visual de las probetas se han utilizado los criterios de clasificación recogidos en la norma UNE 56544 (AENOR 2011) (Tabla 1) la cual es de aplicación a las principales coníferas españolas para uso estructural. Esta norma agrupa la madera estructural de anchura igual o inferior a 70 mm en dos clases (ME-1, ME-2) en función de los defectos (nudos, fendas, acebolladuras, bolsas de resina, etc). En este estudio se han considerado rechazo aquellas piezas que no pertenecían a ninguna de las dos clases.

Tabla 1. Especificaciones de clasificación visual para madera aserrada de coníferas de sección rectangular y anchura $b \leq 70$ mm según UNE 56544 (AENOR 2011).

CRITERIOS DE CALIDAD	ME-1	ME-2
DIÁMETRO DE LOS NUDOS SOBRE LA CARA (h)	$d \leq 1/5$ de "h"	$d \leq 1/2$ de "h"
DIÁMETRO DE LOS NUDOS SOBRE	$d \leq 1/2$ de "b" y $d \leq 30$ mm	$d \leq 2/3$ de "b"

EL CANTO (b)			
ANCHURA MÁXIMA DEL ANILLO DE CRECIMIENTO ⁽¹⁾			
- Pino silvestre - Pino laricio - Pino gallego y pinaster - Pino insignie (radiata)	$\leq 4 \text{ mm}$ $\leq 5 \text{ mm}$ $\leq 8 \text{ mm}$ $\leq 10 \text{ mm}$	Sin limitación Sin limitación Sin limitación Sin limitación	
FENDAS	$f \leq 2/5$	$f \leq 3/5$	
	De secado ⁽²⁾⁽³⁾ Las fendas de secado sólo se consideran si su longitud es mayor que la menor de las dimensiones siguientes: 1/4 de la longitud de la pieza y 1m		
- Rayo - Heladura - Abatimiento	No permitidas		
ACEBOLLADURAS	No permitidas		
BOLSAS DE RESINA Y ENTRECASCO	Se admiten si su longitud es menor o igual que 1.5·"h"		
MADERA DE COMPRESIÓN	Admisible en 1/5 de la sección o de la superficie externa de la pieza	Admisible en 2/5 de la sección o de la superficie externa de la pieza	
DESVIACIÓN DE LA FIBRA	$1:10$ (10%)	$1:6$ (16,7%)	
GEMAS	$\leq 1/4$ de "L" $g \leq 1/4$	$\leq 1/3$ de "L" $g \leq 1/3$	
MÉDULA ⁽¹⁾	Admitida No admitida si se clasifica en húmedo	Admitida	
ALTERACIONES BIOLOGICAS	<ul style="list-style-type: none"> - Muérdago (<i>V. album</i>) - Azulado - Pudrición - Galerías de insectos xilófagos <ul style="list-style-type: none"> - No se admite - Se admite - No se admite - No se admiten 		
DEFORMACIONES MÁXIMAS ⁽²⁾⁽³⁾⁽⁴⁾	10 mm (para una longitud de 2 m) 8 mm (para una longitud de 2 m) 1 mm (por cada 25 mm de "h") (para una longitud de 2 m) Sin limitación	20 mm (para una longitud de 2 m) 12 mm (para una longitud de 2 m) 2 mm (por cada 25 mm de "h") (para una longitud de 2 m) Sin limitación	
(1) Estos criterios sólo se consideran cuando se comercializa en húmedo (2) Estos criterios no se consideran cuando la clasificación se efectúa en húmedo (3) Referidas a un 20% de contenido de humedad (4) Pueden aceptarse deformaciones mayores siempre que no afecten a la estabilidad de la construcción (porque puedan corregirse durante la fase del montaje) y exista acuerdo expreso al respecto entre el suministrador y el cliente			

Las medidas de las piezas se han realizado según norma UNE EN 1309-1 (AENOR 1997) y las singularidades de la madera incluidas en la Tabla 1 de la norma UNE 56544 (AENOR 2011) fueron medidas según la norma UNE EN 1309-3 (AENOR 2018). En total se han clasificado 1.529 piezas de (2.600x120x35) mm (l x h x b).

3.3. Propiedades físico-mecánicas

La resistencia a flexión y el módulo de elasticidad global se han calculado según la norma UNE EN 408 Apartados 10 y 19 (2012a). Se ha utilizado una máquina universal de ensayos Microtest con célula de carga de 40 kN y clase 1. La medida de la deformación durante el ensayo se realizó con un LVDT externo de 0.001 mm de división de escala (Figura 4).

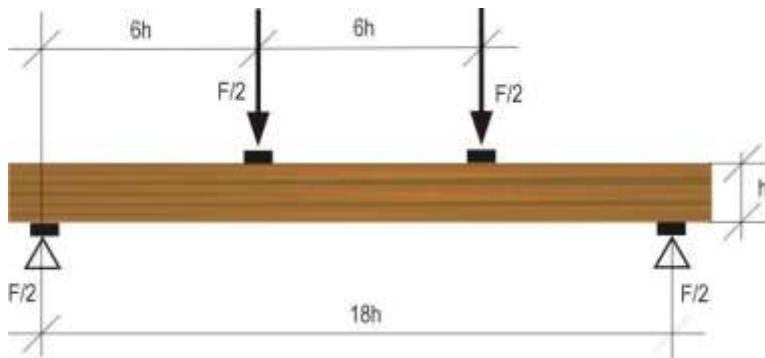


Figura 4. Esquema del ensayo de flexión y módulo de elasticidad UNE EN 408 (2012a) para la obtención del módulo de elasticidad (F : Carga aplicada, h : altura de la probeta, w : deformación)

De cada pieza se ha determinado el contenido de humedad según la norma EN 13183-1 (AENOR 2002) y la densidad según la norma EN 408 (AENOR 2012a) inmediatamente después de la rotura, obteniendo para ello una rebanada libre de nudos y bolsas de resina de la sección completa de la pieza lo más próxima posible a la zona de rotura y lo más alejada posible de las testas. Para la determinación del contenido de humedad y de la densidad se han utilizado una balanza Cobos CB-600 de rango 0-600 g y 0,01 g de división de escala, una estufa Memmert D06836 de rango 0-250°C y 0,1°C de división de escala y un calibre digital Mitutoyo Digimatic de 0-300 mm de rango y 0,01 mm de división de escala.

3.4. Condiciones de referencia y factores de corrección

Aunque todas las muestras fueron acondicionadas a $20\pm2^\circ\text{C}$ y $65\%\pm5\%$, una vez ensayadas se ajustaron los resultados a las condiciones de referencia de contenido de humedad del 12% en función del contenido de humedad en el momento del ensayo según la norma UNE EN 384 Apartados 5.3 y 5.4 (AENOR 2019).

Así mismo, los resultados de resistencia a flexión se han ajustado a un canto de referencia de 150 mm, ya que la norma UNE EN 384 Apartado 5.3 (AENOR 2019) especifica que para cantos inferiores a 150 mm y densidades iguales o menores de 700 kg/m^3 las resistencias a flexión deben dividirse por el factor de corrección K_h .

Debido a que se obtuvo el módulo de elasticidad global, se realizó el ajuste indicado en la norma UNE EN 384 Apartado. 5.4.4. (AENOR 2019) para obtener el módulo de elasticidad paralelo a la fibra.

3.5. Valores característicos

Para cada subgrupo clasificado visualmente se obtuvo el valor del percentil del 5% de la resistencia a flexión $f_{05,i}$ y el valor del percentil del 5% de la densidad $\rho_{05,i}$ de acuerdo a la norma UNE

EN 14358 (AENOR 2016b). Así mismo, el valor medio del módulo de elasticidad, \bar{E}_i , se obtuvo utilizando esta misma norma. Los valores característicos de resistencia, módulo de elasticidad y densidad se obtuvieron según la norma UNE EN 384 Apartado 5.5.2.2. (AENOR 2019).

3.6. Análisis de datos

El estudio de las influencias significativas de las diferentes variables en la resistencia a la flexión (MOR) y el módulo de elasticidad (MOE) se ha realizado mediante análisis de varianza. En el caso de las variables continuas, como la densidad o la anchura de los anillos de crecimiento, el análisis de varianza se ha completado con un ajuste de regresión para estudiar la relación entre dichas variables y el MOR o MOE. Para el número de anillos de crecimiento y presencia/ausencia de madera enteada, se ha realizado un análisis LSD, que muestra la influencia de dichas variables en MOR y MOE.

Para el análisis de datos y los gráficos generados se ha utilizado el programa Statgraphics Centurion Ver. 18.1.06

4. Resultados

4.1. Clasificación visual y valores característicos

De las 1.529 piezas analizadas 48 se clasificaron en la clase ME-1, 824 en la ME-2 y 657 fueron consideradas rechazo. La elevada tasa de rechazos, en torno al 75%, obedece a que la madera procede claras y no de árboles al final de su turno.

En las Tablas 2 y 3 se muestran los resultados de la caracterización mecánica agrupados en dos clases en función de los resultados de la clasificación visual.

Tabla 2. Resultados de las propiedades correspondientes a la clase ME-1. fm: Resistencia a flexión. ρ: Densidad. E₀: Módulo de elasticidad en flexión paralela a la fibra.

ME-1	Nº datos	48	
	Humedad (%)	12,1	
	f _m (N/mm ²)	ρ (kg/m ³)	E ₀ (N/mm ²)
Media	70,6	627,1	15138,1
Desvest	20,3	51,4	3947,6
Máx	121,9	723,2	21657,6
Min	20,1	506,9	1843,8
CV(%)	28,8	8,2	26,1
5º Percentil	37,7	544,1	-
Valor característico	26,4	478,8	14022,7

Tabla 3. Resultados de las propiedades correspondientes a la clase ME-2. fm: Resistencia a flexión. ρ: Densidad. E₀: Módulo de elasticidad en flexión paralela a la fibra.

ME-2	Nº datos	824	
	Humedad (%)	12,0	
	f _m (N/mm ²)	ρ (kg/m ³)	E ₀ (N/mm ²)
Media	47,3	588,5	12172,5
Desvest	19,1	53,1	3480,1

Máx	108,4	919,5	23588,5
Min	11,9	245,8	1517,1
CV(%)	40,3	9,0	28,6
5º Percentil	20,2	514,5	-
Valor característico	14,1	452,8	11275,6

4.2. Densidad, anillos de crecimiento (número y anchura) y presencia de madera enteada

En la Tabla 4 se incluyen los valores de densidad, número y anchura de los anillos de crecimiento y número de piezas enteadas por clase visual.

Tabla 4. Densidad, número y anchura de los anillos de crecimiento y piezas enteadas por clases visuales.

		ME-1	ME-2
Densidad (kg/m^3)	Media	627,1	588,5
	Desvest	51,4	53,1
	Max.	723,2	919,5
	Min.	506,9	245,8
Número de anillos de crecimiento por testa	Media	12	10
	Desvest	2,8	3,1
	Máx.	19	26
	Min.	7	5
Anchura de los anillos de crecimiento (mm)	Media	3,70	4,41
	Desvest	0,77	1,23
	Máx.	5,13	7,91
	Min.	1,08	1,72
Madera enteada	Presencia	-	160
	Ausencia	48	664

4.3. Influencia de las distintas variables en el MOR y MOE

Tabla 5. Análisis de varianza y correlación entre densidad, número de anillos de crecimiento, anchura de los anillos de crecimiento y presencia de madera enteada; y las propiedades de MOR y MOE.

Propiedad	Variable	p-valor	Ecuación	R	R ²
MOR	Densidad	$6,40 \cdot 10^{-6}$	$MOR = -11,43 + 0,1 \cdot \rho$	0,27	0,07
	Número de anillos de crecimiento	$2,98 \cdot 10^{-24}$	-	-	-
	Anchura de los anillos de crecimiento	$2,58 \cdot 10^{-4}$	$MOR = 74,39 - 5,85 \cdot \text{espesor}$	-0,37	0,14
	Presencia de madera enteada	$1,83 \cdot 10^{-6}$	-	-	-
MOE	Densidad	$5,53 \cdot 10^{-27}$	$MOE = -1.087,15 + 22,62 \cdot \rho$	0,34	0,12
	Número de anillos de crecimiento	$6,25 \cdot 10^{-13}$	-	-	-
	Anchura de los anillos de crecimiento	$7,80 \cdot 10^{-5}$	$MOR = 18.691,6 - 1.439,94 \cdot \text{espesor}$	-0,51	0,26

Presencia de
madera enteada $9,23 \cdot 10^{-15}$

Los p-valores obtenidos en los correspondientes ANOVAs, todos ellos inferiores a 0,05, indican que cada una de las variables consideradas (densidad, número y anchura de los anillos de crecimiento y presencia de madera enteada) tienen influencia significativa tanto en el MOR como en el MOE para un nivel de confianza del 95%.

En la densidad, pese al bajo coeficiente de correlación obtenido, existe una correlación directa ($R>0$) entre la densidad y el MOR y la densidad y el MOE (Figuras 5 y 6). Para el caso del MOR, el modelo propuesto es capaz de explicar el 7% de la variabilidad de los datos y para el caso de MOE el 12% (Tabla 5).

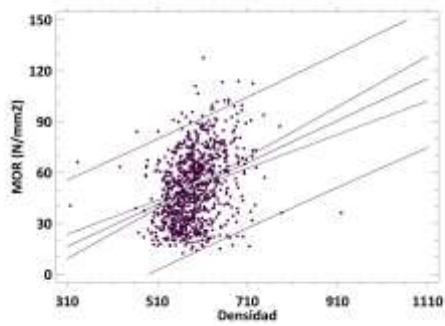


Figura 5. Evolución del MOR en función de la densidad.

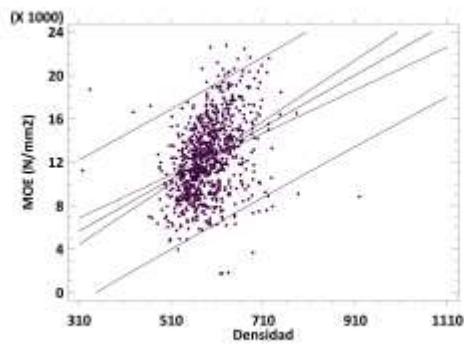


Figura 6. Evolución del MOE en función de la densidad.

En el caso de la anchura de los anillos de crecimiento, existe una relación inversa ($R<0$) entre la anchura de los anillos de crecimiento y el MOR o el MOE (Figuras 7 y 8). Los modelos obtenidos son capaces de explicar el 14% y 26% de la variabilidad de los datos de MOR y MOE, respectivamente (Tabla 5).

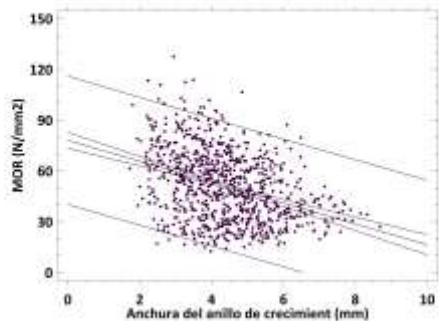


Figura 7. Evolución del MOR en función de la anchura de los anillos de crecimiento.

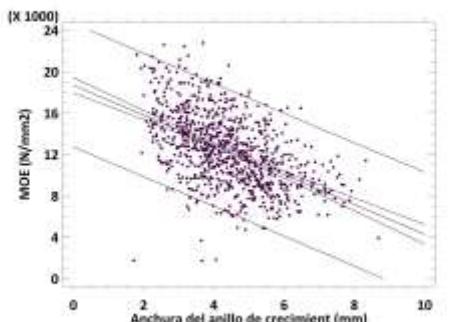


Figura 8. Evolución del MOE en función de la anchura de los anillos de crecimiento.

El número de anillos de crecimiento tiene una influencia estadísticamente significativa, tanto en el MOR como en el MOE (Figuras 9 a 12) en ambas clases visuales (ME-1 y ME-2). El bajo número de muestras de la clase ME-1 ocasiona, sin duda, que la influencia no sea tan claramente apreciable en el gráfico.

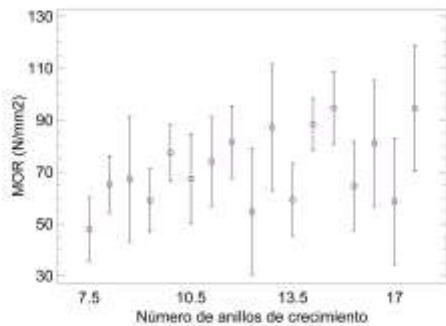


Figura 9. Evolución del MOR en función del número de anillos de crecimiento para la clase ME-1.

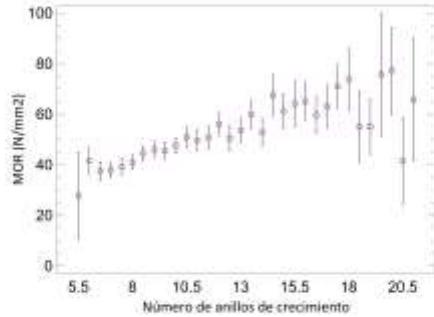


Figura 10. Evolución del MOR en función del número de anillos de crecimiento para la clase ME-2.

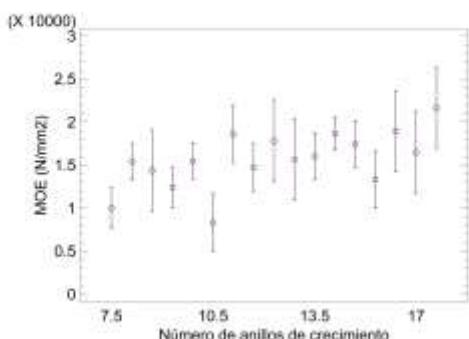


Figura 11. Evolución del MOE en función del número de anillos de crecimiento para la clase ME-1.

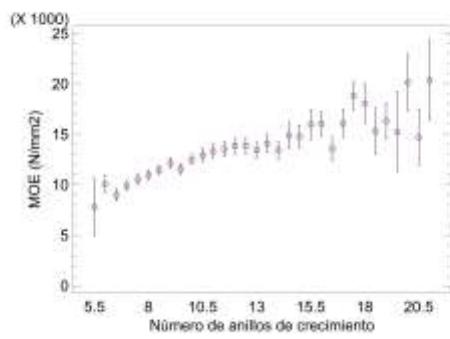


Figura 12. Evolución del MOE en función del número de anillos de crecimiento para la clase ME-2.

En cuanto a la influencia de la presencia de madera enteada en el MOR, se ha suprimido la clase ME-1 ya que ninguna de las piezas de dicha clase contenía madera enteada. El análisis de datos para la clase visual ME-2 muestra dos grupos homogéneos claramente diferenciados tanto para MOR como para MOE (Figuras 12 y 13).

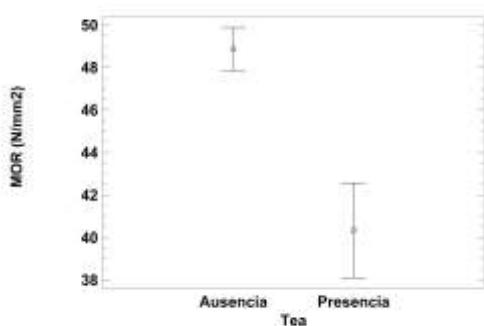


Figura 12. Influencia de la presencia/ausencia de madera enteada en el MOR (Clase ME-2)

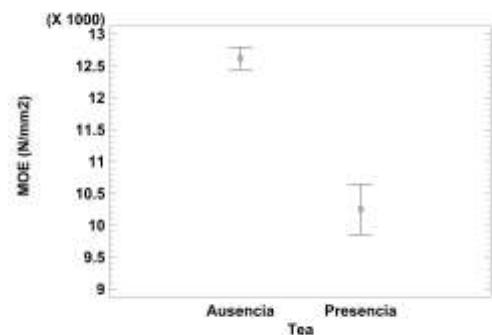


Figura 13. Influencia de la presencia/ausencia de madera enteada en el MOE (Clase ME-2)

5. Discusión

Los valores característicos obtenidos para las propiedades de resistencia a flexión, densidad y módulo de elasticidad (Tablas 2 y 3) permiten clasificar la madera de pino canario, según la norma UNE EN 338 (AENOR 2016a), como clase estructural C24 para la clase ME-1 y como C14 para la clase ME-2. Dicha norma específica que la clase C14 se corresponde con una resistencia a flexión de 14 N/mm², una densidad de 290 kg/m³ y un módulo de elasticidad de 7,0 kN/mm² y la clase C24 con una resistencia a flexión de 24 N/mm², una densidad de 350 kg/m³ y un módulo de elasticidad de 11 kN/mm².

Aunque los valores característicos obtenidos para densidad (478,8 kg/m³ y 452,8 kg/m³) y módulo de elasticidad (14.022,7 N/mm² y 11.275,6 N/mm²) también superan los requerimientos de la clase C27, no sucede así con los valores de resistencia a la flexión (26,4 N/mm² y 14,1 N/mm²) los cuales no superan las especificaciones de la clase C27. (Tablas 2 y 3).

La gran diferencia entre los valores característicos (26,4 N/mm² y 478,8 kg/m³) y los del 5º percentil (37,7 N/mm² y 544,1 kg/m³) de la clasificación visual ME-1 (Tabla 2) y los valores característicos (14,1 N/mm² y 452,8 kg/m³) y los del 5º percentil (20,2 N/mm² y 514,5 kg/m³) de la clasificación visual ME-2 (Tabla 3) se debe a la penalización impuesta por la norma UNE EN 384 (AENOR 2019) para el caso de utilizar un solo subgrupo. Dicha norma penaliza con un coeficiente de seguridad k_n de 0,88 la densidad y de 0,70 la resistencia a flexión. Como consecuencia la madera de la clase visual ME-1 no se puede clasificar más allá de C24 y la clase ME-2 más allá de C14.

Esta clasificación resistente se asemeja al resto de pinos españoles para el caso de la clase ME-1, los cuales varían entre C24 y C30. Sin embargo, es ligeramente inferior al resto de los pinos españoles para el caso de la clase ME-2 los cuales se corresponden con una clase C18 (Tabla 6). Seguramente, futuros estudios, en los que se consiga obtener un mayor número de piezas clasificadas como ME-1 y ME-2 y de diferentes procedencias, permitirán disminuir el factor de penalización obteniendo una clase estructural muy superior.

Tabla 6. Clasificación de los pinos españoles UNE EN 1912 (AENOR 2012b; AENOR 2013)

Clase	P. canario	P. laricio	P. silvestre	P. radiata	P. pinaster
ME-1	C24	C30	C27	C24	C24
ME-2	C14			C18	

La influencia de la densidad en las propiedades mecánicas es ampliamente conocida (ZHANG, 1994; ZHANG, 1997; FPL, 1999; KIAEI, 2011, ZHOU et al., 2012, MIYOSHI et al., 2018;

PAMERLEAU-COUTURE et al., 2019) y ha sido utilizada como parámetro clasificador de las propiedades estructurales (FERNÁNDEZ-GOLFÍN y DÍEZ, 1994).

En este estudio también se pone de manifiesto la influencia de la densidad en las propiedades mecánicas, aunque la proporcionalidad lineal directa no ha podido ser plenamente verificada debido a los bajos coeficientes de determinación.

La anchura de los anillos de crecimiento muestra una mayor variabilidad dentro de la clase ME-2 frente a la clase ME-1 (Tabla 4). Esto se ve reflejado en su mayor desviación típica, 1,23 mm para la clase ME-2 y 0,77 mm para la clase ME-1, y en su rango, 6,19 mm de la clase ME-2 frente a 4,05 mm de la clase ME-1. El valor máximo de la anchura de los anillos de crecimiento (5,13 mm) es ligeramente superior al especificado en la norma UNE 56544 (2011) (Tabla 1) para la clase ME-1 de pino laricio (5 mm) e inferior al especificado para la misma clase de pino pinaster (8 mm).

Por esta razón se propone un límite de 6 mm, como el máximo de anchura de los anillos de crecimiento para la clase ME-1 de pino canario, un valor intermedio entre pino laricio y pinaster. Este límite es ligeramente conservador, ya que el máximo registrado es de 5,13 mm. No obstante, es una primera propuesta y posteriores investigaciones con un número de muestras mayor podrían modificarlo. Para la clase ME-2 no se propone ningún límite de anchura de los anillos de crecimiento, al igual que sucede con las otras cuatro especies de pinos incluidos en la norma UNE 56544 (AENOR 2011).

La anchura de los anillos de crecimiento tiene una influencia estadísticamente significativa en el MOR y MOE para un nivel de confianza del 95% aunque la proporcionalidad inversa no ha podido ser plenamente verificada debido a los bajos coeficientes de determinación. Esta relación también fue puesta de manifiesto por GONÇALEZ et al. (2018) en *Pinus caribaea* incluyendo además la densidad en dicha relación. Otros trabajos también han relacionado conjuntamente la influencia de la densidad y los anillos de crecimiento, por ejemplo, en *Pinus sylvestris* y *Picea abies* (HAUTAMAKI et al., 2013; 2014) con resultados positivos tanto en el módulo de elasticidad como en la resistencia a flexión. De hecho, HANHIJARVI et al. (2005; 2008) encontraron muy buenos coeficientes de correlación al utilizar la combinación de la densidad y la anchura de los anillos de crecimiento para predecir el MOE.

Esta variable también fue estudiada, junto con la densidad, por FERNÁNDEZ-GOLFÍN y DÍEZ (1994) llegando a la conclusión de que, aunque la anchura de los anillos de crecimiento tiene influencia en las propiedades mecánicas, esta es mucho menor que la influencia de la densidad.

El número de anillos de crecimiento tiene una influencia estadísticamente significativa en el MOR y MOE para un nivel de confianza del 95%. Esta influencia también se puede deducir a partir de la densidad, ya que anillos de crecimiento grandes en madera de coníferas indican una menor proporción de madera tardía y, por tanto, menor densidad (PAMERLEAU-COUTURE et al., 2019). Esta relación también ha sido observada en *Pinus taeda* donde el MOR y el MOE aumentan según aumenta el número de anillos de crecimiento (JEONG, 2013).

En cuanto a la madera enteada, es una característica propia de esta especie. Aunque su estructura anatómica presenta gran abundancia de canales resiníferos, mayor que en otros pinos, no parece ser suficiente para explicar el alto contenido en resina de esta madera. La ruta metabólica de las células de parénquima radial a través de las punteaduras de los campos de cruce parece ser el mecanismo que complementa el aporte de resina de los canales (ESTEBAN et al., 2005). La presencia de madera enteada en este pino ha influido de manera significativamente negativa en las propiedades mecánicas de MOR y MOE, a pesar de ser más densa la madera enteada. Aunque puede parecer que contradice la relación directa entre propiedades mecánicas y

densidad, hay que tener en cuenta que la madera enteada obedece más a un material no poroso que poroso, presentando un comportamiento diferente.

Son casi inexistentes los estudios que han comparado las propiedades mecánicas de la madera enteada con la no enteada de una misma especie. GARCÍA-IRUELA et al. (2016) estudiaron la influencia del enteado en la madera de *Pinus pinaster* procedente de resinación. Al contrario que en el presente estudio, los autores encontraron que el proceso de enteamiento mejoraba las propiedades mecánicas. Sin embargo, esta discrepancia puede deberse a dos diferencias fundamentales entre ambos trabajos. Por un lado, el enteado los árboles estudiados por GARCÍA-IRUELA et al. (2016) había sido provocado artificialmente debido a la obtención de resina, mientras que en este estudio el enteamiento ha sido producido de forma natural y, por otro lado, GARCÍA-IRUELA et al. (2016) utilizaron en su estudio probetas de madera de pequeñas dimensiones, orientadas y libres de defectos, a diferencia de este estudio que se han utilizado probetas grandes, sin orientar y con defectos.

Este trabajo supone un primer estudio para el avance de la caracterización de la madera de *Pinus canariensis*, nuevos estudios con otras escuadrías mayores, pondrán, sin duda, en valor otros productos de la industria de primera y segunda transformación, haciendo que las claras derivadas de una gestión sostenible de los pinares de repoblación de la isla de Tenerife supongan un vector de entrada de empleo e industria para la zona.

6. Conclusiones

La clasificación estructural sitúa a la madera de pino canario clasificada visualmente en este estudio como ME-2 en la clase C14, valores ligeramente inferiores que la clasificación visual ME-2 de los pinos peninsulares, y en la clase C24 la ME-1, valores similares a *Pinus radiata* y *Pinus pinaster*.

Se propone para la normalización de la clasificación visual de la madera de pino canario un límite de la anchura de los anillos de crecimiento para la clase ME-1 de 6 mm y ningún límite para la clase ME-2.

La densidad, el número y la anchura de los anillos de crecimiento y la presencia de madera enteada influyen significativamente, para un nivel de confianza del 95% en las propiedades mecánicas de MOR y MOE.

Los tratamientos selvícolas para la mejora y conservación de los pinares de repoblación de la isla de Tenerife permiten poner en valor la utilización de su madera al tiempo que generar empleo y nueva industria, manteniendo una gestión forestal sostenible.

7. Agradecimientos

Esta investigación ha sido financiada por el Servicio Técnico de Planificación y Proyectos Forestales perteneciente al Área de Sostenibilidad, Medio Ambiente, Aguas y Seguridad del Cabildo Insular de Tenerife.

8. Bibliografía

ASOCIACIÓN ESPAÑOLA DE NORMALIZACIÓN (AENOR). 1997. Madera aserrada y madera en rollo. Método de medida de las dimensiones. Parte 1: Madera aserrada. UNE-EN 1309-1. Madrid, España.

ASOCIACIÓN ESPAÑOLA DE NORMALIZACIÓN (AENOR). 2002. Contenido de humedad de una pieza de madera aserrada. Parte 1: Determinación por el método de secado en estufa. UNE-EN 13183-1. Madrid, España.

ASOCIACIÓN ESPAÑOLA DE NORMALIZACIÓN (AENOR). 2011. Clasificación visual de la madera aserrada para uso estructural. Madera de coníferas. UNE 56544. Madrid, España.

ASOCIACIÓN ESPAÑOLA DE NORMALIZACIÓN (AENOR). 2012a. Estructuras de madera. Madera aserrada y madera laminada encolada para uso estructural. Determinación de algunas propiedades físicas y mecánicas. UNE-EN 408+A1. Madrid, España.

ASOCIACIÓN ESPAÑOLA DE NORMALIZACIÓN (AENOR). 2012b. Madera estructural. Clases resistentes. Asignación de calidades visuales y especies. UNE-EN 1912. Madrid, España.

ASOCIACIÓN ESPAÑOLA DE NORMALIZACIÓN (AENOR). 2013. Madera estructural. Clases resistentes. Asignación de calidades visuales y especies. UNE-EN 1912/AC. Madrid, España.

ASOCIACIÓN ESPAÑOLA DE NORMALIZACIÓN (AENOR). 2016a. (Versión corregida en fecha 2017-02-15). Madera estructural. Clases resistentes. UNE-EN 338. Madrid, España.

ASOCIACIÓN ESPAÑOLA DE NORMALIZACIÓN (AENOR). 2016b. Estructuras de madera. Determinación y verificación de los valores característicos. UNE-EN 14358. Madrid, España.

ASOCIACIÓN ESPAÑOLA DE NORMALIZACIÓN (AENOR). 2018. Madera aserrada y madera en rollo. Métodos de medida. Parte 3: Singularidades y alteraciones biológicas. UNE-EN 1309-3. Madrid, España.

ASOCIACIÓN ESPAÑOLA DE NORMALIZACIÓN (AENOR). 2019. Madera estructural. Determinación de los valores característicos de las propiedades mecánicas y la densidad. UNE-EN 384+A1. Madrid, España.

ESTEBAN, L.G.; GASSON, P.; CLIMENT, J.M., DE PALACIOS, P.; GUINDEO, A. 2005. The wood of *Pinus canariensis* and its resinous heartwood. Iawa journal 26(1): 69-77.

ESTEBAN, L.G. 2019. <https://www.rtve.es/alacarta/videos/el-bosque-protector/>

FERNÁNDEZ-GOLFÍN, J.I.; DÍEZ, M.R. 1994. Influencia de la anchura del anillo de crecimiento en la densidad y otras propiedades físico-mecánicas de la madera estructural de diversas especies. Invest. Agrar. Sist. Recur. For. 3(2)211-219.

GARCIA ESTEBA, L.; DE PALACIOS, P.; GARCÍA FERNANDEZ, F.; GARCÍA IRUELA, A.; DEL POZO, J.C.; PÉREZ BORREGO, V.; AGULLÓ PÉREZ, J.; PADRÓN CEDRÉS, E.; ARRIAGA, F. 2020. Characterisation of *Pinus canariensis* C.Sm. ex DC. Sawn Timber from Reforested Trees on the Island of Tenerife, Spain. Forests. 11 (769): 1-12

GARCIA-IRUELA, A.; ESTEBAN, L.G.; DE PALACIOS, P.; GARCÍA-FERNÁNDEZ, F.; TORRES, A.D.; IRIARTE, E.V.; SIMÓN, C. 2016. Resinous wood of *Pinus pinaster* Ait.: Physico.mechanical Properties. Bioresources 11(2):5230-5241.

GONÇALEZ, J.C.; SANTOS, N.; GOMES DA SILVA JUNIOR, F.; SANTOS SOUZA, R.; HERMIDA DE PAULA, M. 2018. Growth ring width of *Pinus Caribaea* and its relationship with wood properties. *Sci. For.* 46(120): 670-678.

GUINDEO CASASÚS, A.; GARCÍA ESTEBAN; PERAZA SÁNCHEZ, F.; ARRIAGA MARTITEGUI, F.; KASNER CAMACHO, C.; MEDINA GALLEGOS, G.; DE PALACIOS DE PALACIOS, P. TOUZA VÁZQUEZ, M. 1997. Especies de madera para carpintería, construcción y mobiliario. AITIM. 767 pp. Madrid.

GUTIÉRREZ OLIVA, A. 1967 Características físico-mecánicas de las maderas españolas Ed. IFIE. 103 pp. Madrid,

HANHIJARVI, A., RANTA-MAUNUS, A. AND TURK, G. 2005. Potential of strength grading of timber with combined measurement techniques. Report of the Combigrade - project - Phase 1. VTT Publications 568, VTT, Espoo, 81 pp + App. 6 pp. [Acceso: 2021/12/15]. Disponible: <http://www.vtt.fi/inf/pdf/publications/2005/P568.pdf>

HANHIJARVI, A. AND RANTA-MAUNUS A. 2008. Development of strength grading of timber using combined measurement techniques. Report of the Combigrade - project - Phase 2. VTT Publications 686, VTT, Espoo, 55 pp. [Acceso: 2021/12/15]. Disponible: <http://www.vtt.fi/inf/pdf/publications/2008/P686.pdf>

HAUTAMAKI, S.; KILPELAINEN, H.; VERKASALO, E. 2013. Factors and models for the bending properties of sawn timber from Finland and North-Western Russia. Part I: Norway Spruce. *Baltic For.* 19 (1):106-119.

HAUTAMAKI, S.; KILPELAINEN, H.; VERKASALO, E. 2014. Factors and models for the bending properties of sawn timber from Finland and North-Western Russia. Part I: Scots Pine. *Baltic For.* 20 (1):142-156.

JEONG, G.Y. 2013. Relationship between Anatomical and Mechanical Properties of Loblolly Pine (*Pinus taeda*). *For. Prod. J.* 63:47-53.

KIAEI, M. 2011. Anatomical, physical and mechanical properties of eldar pine (*Pinus eldarica* Medw.) grown in the Kelardasht region. *Turk J Agric For* 3: 31-42.

MIYOSHI, Y.; KOJIRO, K.; FURUTA, Y. 2018. Effects of density and anatomical feature on mechanical properties of various wood species in lateral tension. *J. Wood Sci.* 64:509-514.

PAMERLEAU-COUTURE, E.; ROSSI, S.; POTIER, D.; KRAUSE, C. 2019. Wood properties of black spruce (*Picea mariana* (Mill.) BSP) in relation to ring width and tree height in even- and uneven-aged boreal stands. *Ann. For. Sci.* 76 (43): 1-13.

RODRÍGUEZ, C. Y VERGARA, E. 2008. Propiedades físicas y mecánicas de la madera de *Pinus canariensis* crecido en el secano de la Región del Maule, Chile. *Bosque.* 29(3): 192-196.

USDA, 1999. Wood Handbook. Wood as an Engineering Material. United States Department of Agriculture. Forest Product Service. General Technical Report FPL-GTR-113. 463pp. Madison.

ZHANG, S. 1997. Wood Specific gravity-mechanical property relationship at species level. *Wood Sci. Technol.* 31:181-191.

ZHANG, S. 1994. Mechanical Properties In Relation To Specific Gravity In 342 Chinese Woods. *Wood Fiber Sci.* 26(4):512-526.

ZHOU, C.; CHIU, Y.H.; GONG, M. 2012. Within-stem variation in wood properties of red pine (*Pinus resinosa* Ait.). *Wood Fiber Sci.* 44(4): 412-421.