CIS MADEIRA
CENTRO DE INNOVACIÓN E SERVIZOS TECNOLÓXICOS DA MADEIRA DE GALICIA

Parque Tecnolóxico de Galicia
Avda. de Galicia n.º 5
San Cibrao das Viñas
E - 32901 OURENSE
Tel.: + 34 988 36 81 52
Fax: + 34 988 36 81 53
E-mail: info@cismadeira.com

INFORME SOBRE LA EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DE LA MADERA MEDIANTE TECNICAS NO DESTRUCTIVAS EN LAS PLANTACIONES DE NOGAL (*Juglans Mj209xRa*) Y CEREZO (*Prunus avium*) DE BOSQUES NATURALES S.A.

1. OBJETO DEL INFORME

La empresa **BOSQUES NATURALES, S.A.**, con domicilio en Avenida de la Vega, 1, Ed.3, 28108 Alcobendas (Madrid), a través de D. Andrés Regulez Mochales, solicita al Centro de Innovación y Servicios Tecnológicos de la Madera (CIS-Madeira), un informe preliminar para caracterizar la calidad de la madera de nogal (*Juglans Mj209xRa*) y cerezo *(Prunus avium)* presentes en sus parcelas.

A tal efecto, personal del CIS-Madeira se desplaza hasta una de las parcelas que la empresa Bosques Naturales posee en la provincia de Cáceres donde se realizaron diversas mediciones sobre árboles en pie. Posteriormente se reciben en las instalaciones del CIS-Madeira un total de 46 trozas de 2m de largo de árboles de nogal y cerezo de entre 8 y 12 años de edad procedentes de diferentes parcelas.

Los objetivos iniciales de este informe son:

- Determinar las principales propiedades físico-mecánicas de la madera de nogal y cerezo producidas con selvicultura intensiva y conocer la variabilidad existente sobre la muestra de árboles analizada.
- Estimar la viabilidad de los métodos no destructivos sobre material juvenil de frondosas para predecir variables de interés en las especies muestreadas.
- Realizar una primera prospección para conocer los usos potenciales de la madera descrita.

2. ANTECEDENTES Y ESTADO DEL ARTE

Las plantaciones de frondosas de elevado valor gestionadas con selvicultura intensiva son relativamente recientes en nuestro país siendo muy limitada la información disponible sobre la calidad de la madera producida. En el caso particular de especies como el nogal y el cerezo, el mercado más cotizado es la producción de madera para chapa lo que conlleva un nivel de exigencia muy elevado en cuanto a la calidad de la madera producida y sus características estéticas. Asimismo, la posibilidad de emplear la madera en otras aplicaciones de carpintería está vinculada, entre otros factores, al tipo y tamaño de las singularidades existentes (nudos, fendas, desviación de la fibra etc) en la madera

El material empleado en el presente informe procede en su mayoría de una plantación de 13 años de edad situada en la provincia de Cáceres y, en menor medida, de otras dos plantaciones existentes en las provincias de Gerona y Navarra con edades de 8 y 7 años respectivamente. En las plantaciones de Cáceres y Gerona los árboles han sido plantados con un marco de plantación amplio y han sido sometidos a un régimen de selvicultura intensiva en cuanto a riego y podas. En el caso de Cáceres la muestra evaluada recoge distintas situaciones en cuanto a necesidades de riego o actuaciones de poda dentro de la parcela. Los árboles de Navarra no han estado sometido a ningún tipo de cuidado cultural y han crecido bajo regímenes de inundación temporal y con una densidad muy elevada, con el marco inicial establecido para el aviveramiento de la planta (50-70cm).

Los métodos de ensayo no destructivos (NDT Non Destructive Testing) se pueden definir como técnicas que permiten examinar los materiales sin que se vean afectadas sus propiedades, su integridad y su utilidad final. En

los últimos años se está realizando un esfuerzo significativo para desarrollar tecnologías robustas de métodos no destructivos (NDT) capaces de predecir las características intrínsecas de madera en árboles en pie. En Norteamérica, la investigación inicial sobre el aumento de calidad del árbol se centró en probar los conceptos fundamentales de teoría de NDT y desarrollar las herramientas portátiles de fácil uso (Wang y otros 2007). La investigación reciente ha demostrado que una amplia gama de características de la madera y de la fibra se puede predecir con una medida acústica simple en los árboles en pie (Wang y otros 2007). Esto facilitará el uso de la tecnología acústica en un número de etapas en la cadena de valores operacional, de bosques maderables a través del proceso.

Numerosos estudios relacionan aspectos de la anatomía de la madera con las propiedades acústicas en general (ROCABOY & BUCUR, 1990). La disminución de la velocidad de una onda de sonido dentro del fuste depende esencialmente de las características de la pared celular: microestructura (RODRÍGUEZ LIÑÁN y RUBIO DE HITA, 2000), inclinación de las fibras respecto a la dirección de medida, (BUCUR, 1984; KABIR, 2001), humedad (BUCUR, 2006; SIMPSON & WANG, 2001) y singularidades o defectos en la madera (SANDOZ, 1989; KARSULOVIC, 2000). BUCUR (2006) muestra el impacto de las dimensiones de las paredes celulares y la presencia de elevados porcentajes de extractos en la velocidad de desplazamiento de una onda sónica.
La inclusion de parámetros de calidad de madera en los programas de selección y mejora es considerada fundamental por numerosos autores (eg. ROZENBERG et al., 2001; HAJNALA et al, 2007; MARTINSSON, 2001) con el fin de producir una madera susceptible de aplicaciones más cotizadas. Entre los principales atributos de calidad de la madera para chapa está la ausencia de nudos, la uniformidad del color, homogeneidad del ancho de los anillos, porcentaje de duramen, médula centrada (CASSENS, 1992).

El modelo de selvicultura intensiva también puede afectar a los atributos de calidad de madera aunque no necesariamente de forma negativa. Woeste (2002) demostró que los árboles de crecimiento rápido tienen más porcentaje de duramen, indicando que la tasa de formación y la cantidad de duramen están estrechamente vinculadas al crecimiento en diámetro. El aporte de elementos afecta al color de la madera durante procesos secundarios en la formación de duramen, así como a la división y diferenciación celular (e.g. WARDROP 1981; WESTERMARK 1982; HILLIS 1987; EKLUND AND ELIASSON 1990; GLAVAC et al. 1990; DUNISCH and BAUCH 1994; BAUER et al. 1997). Fe, Mn y otros iones metálicos actúan como co-factores o activadores de enzimas implicadas en la biosíntesis de compuestos fenólicos (GREGOR 1976; FORKMANN et al. 1980; SPRIBILLE and FORKMANN 1984).

Debido a lo anterior, la posibilidad de realizar una estimación de la calidad de la madera de los árboles en pie mediante el empleo de métodos sónicos abre un gran abanico de posibilidades tanto para incorporar los parámetros de calidad de la madera en los proceso de selección clonal como para contribuir a definir la gestión selvícola más apropiada en cada caso.

3. MATERIAL Y MÉTODOS.

3.1 Evaluación con metodología no destructiva sobre el árbol en pie

Se analizaron un total de 36 árboles (18 por especie) sobre una de las plantaciones más antiguas de Bosques Naturales localizada en la provincia de Cáceres con una edad aproximada de 12 años. Dicha plantación ha sido gestionada de manera intensiva con fertirrigación, buscando principalmente un incremento de volumen. El material muestreado es procedente de semilla y los árboles para el estudio fueron seleccionados en tres sectores distintos dentro de la plantación intentando representar toda la variabilidad de terreno existente. Para cada especie, se seleccionaron 6 árboles por sector, lo más dispersos posibles dentro del mismo asegurándose la máxima representatividad de la zona muestreada.

Los árboles seleccionados en los sectores 1 y 2 de Dehesa del Gamo dos, DGII S1 y DGII S2, se dejaron de fertirrigar y de podar en 2006, e históricamente se regaron mucho menos que el resto. Dehesa del gamo uno, DG 1 sector 3 y 4, es una estación en la que las necesidades de riego son mucho menores y sólo se riega con fertirrigación (en el resto unas veces se riega y otras se fertirriga) y el sector 4 está rodeado de unos chopos y alisos de gran tamaño que sombrean gran parte del día a los nogales.

Figura 1: Detalle del equipo de medición de la velocidad de onda

Se tomaron datos de crecimiento (diámetro normal y altura total), de forma (altura de copa, número de ramas por metro lineal, diámetro medio de las ramas, rectitud, inclinación, índice subjetivo de forma) y se evaluó la velocidad de transmisión de una onda de impacto sobre una zona del fuste centrada a 1,30 de altura y entre dos puntos separados de 80 a 100cm. La longitud de separación dependía, en cada árbol, de la ausencia de grandes nudos en la zona de inserción de los emisores y receptores de la onda. Se tomaron 4 medidas por árbol en 4 orientaciones prefijadas. Posteriormente los árboles fueron apeados y se extrajo una troza de aproximadamente 2m, centrada a 1,30 de altura, que incluía el tramo en el que se evaluó la velocidad de la onda sobre el árbol en pie.

Figura 2: Detalle de emisor y transductor piezoeléctrico receptor

3.2 Evaluación con metodología no destructiva sobre troza cortada

En este caso se evaluaron un total de 46 trozas (20 de cerezo y 24 de nogal) procedentes de tres parcelas con una longitud aproximada de 2m. La muestra está representada principalmente por árboles de la parcela de Cáceres (18 de cerezo y 18 de nogal), existiendo también algunos árboles obtenidos de otras parcelas como Gerona (2 cerezos y 4 nogales) y Navarra (2 nogales). Las trozas procedentes de Cáceres, procedían de los árboles anteriormente evaluados en pie, e incluían el tramo en el que se evaluó la velocidad de la onda sobre el árbol.

Figura 3: Trozas de nogal y cerezo procedentes de los árboles de la parcela de Cáceres evaluados en pie

Como parámetros de caracterización visual se evaluó el grado de curvatura o flecha máxima en mm, se cuantificó el número de nudos por metro lineal en la troza, el diámetro máximo de cicatrización de nudo podado y el porcentaje de troza limpia (corteza lisa sin defectos externos). Como parámetro de caracterización sónica se determinó la velocidad de transmisión de onda de testa a testa.

Las trozas fueron aserradas y se obtuvo un tablón central de 6 cm de espesor, conteniendo a la médula y cuya anchura abarcaba todo el diámetro. Algunas trozas fueron destinadas a la elaboración de chapa para apreciar mejor la calidad final del producto y determinar las principales singularidades de interés (Figura 4).

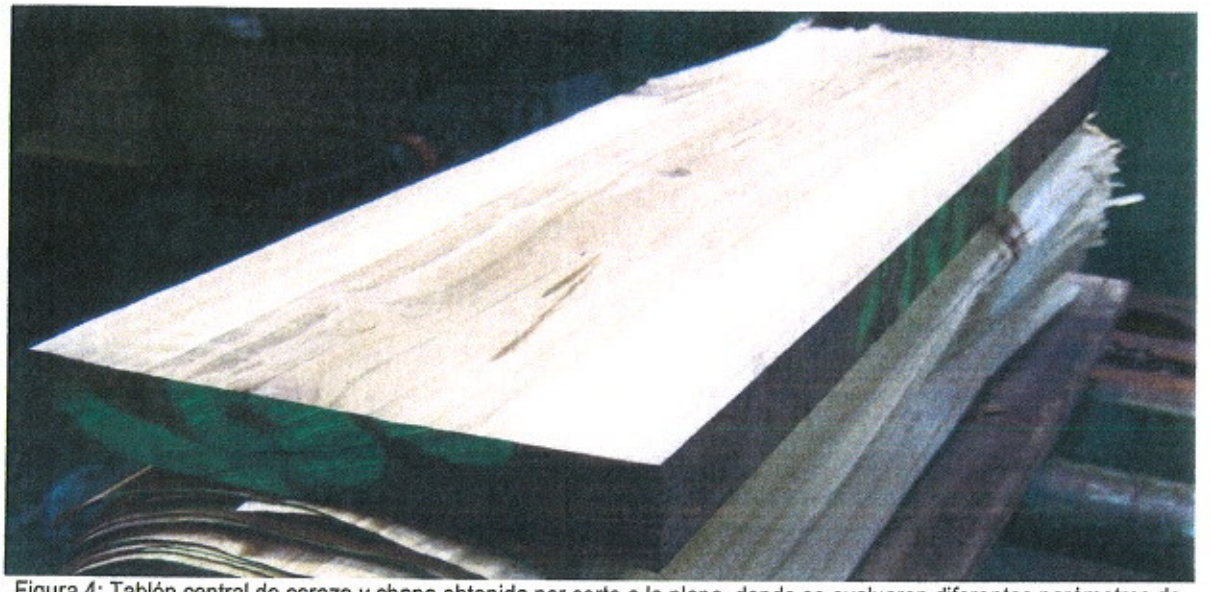


Figura 4: Tablón central de cerezo y chapa obtenida por corte a la plana, donde se evaluaron diferentes parámetros de calidad estética y donde se obtuvieron las probetas para evaluación de propiedades físico-mecánicas.

3.3 Caracteres estéticos y primera prospección para conocer los usos potenciales de la madera

Para llevar a acabo este objetivo se procedió a evaluar los defectos existentes en los tablones centrales y en la chapa. Se contactó con dos de las principales empresas gallegas dedicadas a la obtención de chapa de frondosa (ASERPAL) y a la producción de tablero alistonado para carpintería (EXFOPINO). Dichas empresas llevaron a cabo el proceso de obtención del material a partir de las muestras enviadas y se les convocó a una reunión con representantes de Bosques Naturales S.A. para valorar la apariencia estética de la madera y el valor potencial de la misma en el mercado.

Sobre las tablas se evaluó el número y el diámetro de los nudos, la anchura y homogeneidad de los anillos de crecimiento, los porcentajes de albura y duramen y la homogeneidad de color. En el caso del cerezo se tuvo en cuenta otros aspectos como la presencia de gomosis o el número y anchura de bandas de vena verde. Además se cuantificó el rendimiento obtenible de la pieza aserrada para uso en carpintería, como el porcentaje de tabla limpia (libre de nudos) en unas dimensiones mínimas de al menos 7,62 cm de ancho y 61cm de largo, siguiendo la regla de la National Hardwood Lumber Association (NHLA).

En cuanto a la variación de color denominada vena verde, se realizó un informe adicional sobre el tema, incluida en el anexo, y se contactó con Ingo Mayer, investigador de prestigio internacional responsable del estudio de dichas manchas en *Prunus serotina,* con quien se mantendrá colaboración dentro de un posible proyecto CDTI presentado por la empresa Bosques Naturales.

3.4 Evaluación de propiedades físico-mecánicas de la madera

Las propiedades se analizaron a partir de probetas pequeñas y libres de defectos obtenidas de las tablas centrales de los distintos árboles evaluados, siguiendo la normativa existente, y diferenciando las probetas obtenidas de zonas cercanas o alejadas de la médula dentro de la tabla para tener en cuenta la variación radial dentro del árbol.

Se realizaron ensayos para caracterizar las siguientes propiedades: peso específico; contracciones tangencial, radial y volumétrica; dureza; flexión estática. En la tabla 2 se recogen las dimensiones de las probetas y la normativa asociada a cada ensayo realizado.

-Peso específico	-20x20x25	UNE56-531-77
-Contracción (vol, tang, radial)	-20x20x40	UNE56-533-77
-Dureza	-20x20x30	UNE56-534-77
-Flexión estática	-20x20x300	UNE56-537-77

Para cada propiedad se analizó un total de 80 probetas de cerezo y 90 probetas de nogal. Cada árbol se representó con 4 muestras: 2 obtenidas en los anillos cercanos a la médula (anillos 1 a 6) y dos de los más alejados (anillos 6 a 12), salvo en algunos casos que sólo fue posible obtener muestra de los anillos más cercanos a la médula por tratarse de árboles de menor edad.

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 Características de la madera evaluada

Los árboles muestreados tienen un crecimiento que supera los 15mm de incremento diametral al año. Los crecimientos en altura (casi 1 m al año) son muy similares a los observados en otras plantaciones de nogal híbrido (ALETÀ y VILANOVA, 2006). No se ha observado correlación negativa significativa entre los parámetros de crecimiento y los caracteres estéticos, ni propiedades físico-mecánicas observadas en la madera, lo que hace posible una ganancia conjunta en crecimiento y calidad de madera utilizando un índice de selección coordinado. La posibilidad de obtener una mejora en las propiedades de mayor interés está directamente relacionada con el coeficiente de variación así como por el grado de heredabilidad del carácter. En la tabla 1 se presenta el coeficiente de variación de las principales variables medidas en árbol y tabla.

Tabla 1: Medias y coeficientes de variación de las variables analizadas en árbol y en tabla sobre el total de la muestra evaluada

Variables		Media	CV%	Media	CV%
Árbol	V onda en fuste	2605.00	10.65	2591.98	8.41
	Altura (m)	9.92	21.88	11.86	24.28
	Diámetro normal (mm)	175.40	14.02	180.94	18.31
Tabla	% tabla libre defectos	53.82	51.77	50	55.08
	Diámetro max nudos (mm)	29.17	49.78	49.11	33.09
	Nº nudos /m	6.17	62.56	6.83	54.47
	Porcentaje de duramen	0.54	20.37		
	Ancho 5 anillos (mm)	48.50	20.54	44.66	28.10
	Ancho max vena verde (mm)	23.18	54.44		

En el caso de las variables de nudosidad, tanto en número como en diámetro, el coeficiente de variación alcanza valores que oscilan entre el 33 y el 62% augurando unos altos niveles de ganancia por selección en base a estos caracteres que se realizarían utilizando tanto la ausencia de defectos externos en la corteza, como la velocidad de la onda sónica para nogal. La posibilidad de ganancia por selección también es muy elevada para el porcentaje de duramen (CV%=20.3) existiendo árboles de cerezo donde el duramen abarca más del 75% del

diámetro. El resumen estadístico de todas las variables observadas queda reflejado en la publicación presentada al congreso nacional en el anexo 2.

4.1.1 Nogal 8Juglans Mj209xRa)

Nudosidad El número y el tamaño de los nudos son determinantes en la rentabilidad final de la madera de nogal de estas plantaciones. Se han observado grandes y numerosos nudos, en la mayoría de los casos con inclusiones de corteza y asociados casi siempre a una misma zona de cicatrización de poda, como fruto de sucesivas emisiones de brotes nuevos (Figura 1). Esto devalúa la madera siendo actualmente inaceptable para su uso en la obtención de chapa. El uso potencial en carpintería dependerá del porcentaje de tabla limpia que está negativamente correlacionada tanto con el número de nudos (r=-0.73) como con el diámetro de nudos (r=-0.67). Estos parámetros determinarán su valor económico para carpintería, con mayor precio en aquellas tablas más limpias. En este caso el porcentaje medio de tabla limpia en Cáceres apenas llega al 50% lo que implica un alto porcentaje de desperdicio en la tabla que hace difícil la venta para su uso en carpintería.

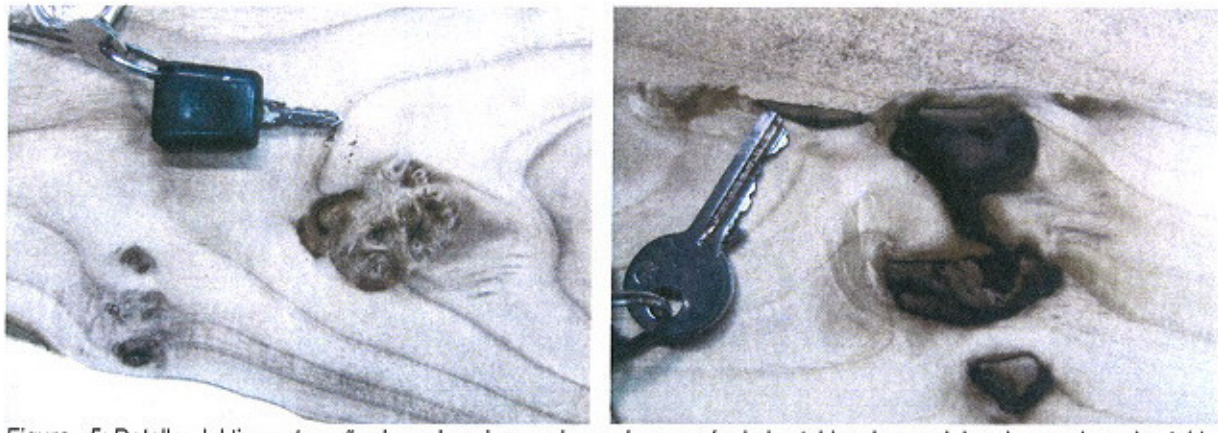


Figura 5: Detalle del tipo y tamaño de nudos observados en la mayoría de las tablas de nogal. Lo observado en las tablas coincide con grandes callos de cicatrización sobre las trozas y principalmente en la cara orientada al sur, posiblemente vinculado a un efecto de insolación potenciador de la emisión de brotes.

Existen diferencias significativas entre parcelas diferenciándose las trozas procedentes de Gerona y Navarra con casi un 80% de tabla limpia frente a un 50% en las tablas de árboles de Cáceres. Es destacable la menor presencia de nudos en las trozas procedente de Navarra, al haberse obtenido de árboles cultivados a muy alta densidad. Asimismo se ha observado una gran heterogeneidad entre los árboles muestreados dentro de cada parcela existiendo siempre árboles con un reducido número de nudos y de pequeño diámetro, incluso dentro de la parcela de peor calidad (Figura 6).

Tonalidad de color en la madera El color varía, entre árboles, de gris a marrón grisáceo, pero se mantiene bastante homogéneo dentro de cada árbol con apenas una pequeña variación radial de la médula a la corteza. Esta uniformidad del color en chapa de nogal es un factor extremadamente importante en la determinación del valor de la madera (Cassens, 2004).

Duramen Algunos autores hablan de albura no claramente demarcada en *Juglans nigra* (Gerard *et al*, 2009), y otros demuestran que los factores que contribuyen al crecimiento en volumen también incrementan el porcentaje de duramen (Woeste, 2002). En la muestra estudiada no existen indicios de la formación de duramen y tanto los ensayos de tinción, como los valores de PH indican una homogeneidad de la médula a la corteza.

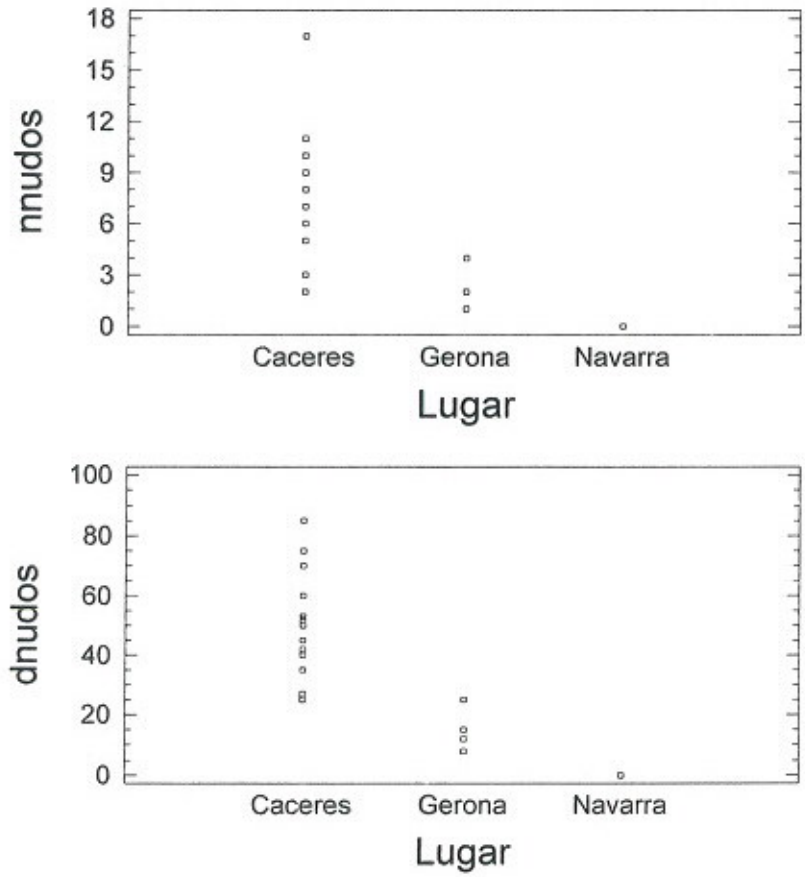


Figura 6: Distribución de valores de número y diámetro de nudos (nnudos y dnudos) de los árboles muestreados en las distintas parcelas

En algunos casos la madera de crecimiento rápido tiene una mayor variación en el patrón de grano que la de crecimiento lento, lo que confiere una mejor apariencia de la madera como se ha observado en híbridos de *Juglans nigra* (http://hybridwalnut.com/). En opinión de la empresa de fabricación de chapa consultada, la apariencia, tonalidad y dibujo de las muestras examinadas podrían satisfacer la calidad necesaria para obtener este producto. La ausencia de homogeneidad de los anillos (que en principio se consideraba importante para obtención de chapa) no ha sido considerada como relevante por los fabricantes de chapa.

5.1.2. Cerezo

En el caso del cerezo, los caracteres determinantes de la rentabilidad final para su uso en chapa o carpinteria son la presencia de nudos, la proporción de duramen y anchura de las bandas de vena verde

Nudosidad En este caso el número de nudos es la caracteristica que determina el porcentaje de tabla limpia (r=-0.79) con una reducida influencia del diámetro de nudos (r=-0.2) cuyas dimensiones son significativamente

menores que en nogal. Existe gran variabilidad entre los árboles muestreados con altas posibilidades de mejora por selección de estos parámetros

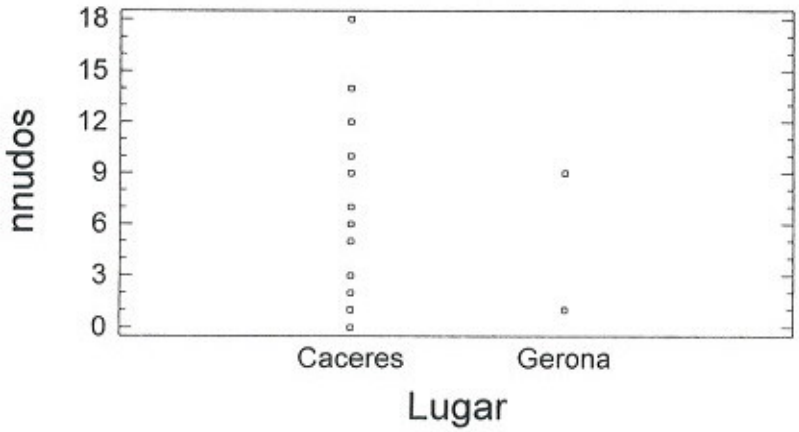


Figura 7: Distribución de valores de nudosidad en los árboles de cerezo muestreados

Al igual que para el nogal se ha observado una elevada correlación entre la ausencia de defectos externos en la corteza del árbol y el rendimiento de tabla limpia (r=0.53). Con diámetro de los nudos muy grandes (>60mm) se observa una mayor presencia de gomosis. Atendiendo a la bibliografía se deben evitar los árboles inclinados o curvados pues están frecuentemente ligados a la existencia de madera de tensión lo que puede provocar la aparición de ondulaciones e irregularidades en la chapa durante el proceso de secado. Asimismo los árboles que no tienen centrada la médula pueden empeorar la apariencia de la chapa al afectar al patrón de distribución del grano dentro de la madera (Cassens, 2006).

Duramen El color del duramen y el porcentaje del mismo, son de los caracteres más valorados en la obtención de chapa de cerezo, donde la zona de albura se desprecia. En los mercados internacionales, se prefiere un tono rosado del duramen frente a un rojo oscuro o marrón rojizo (Wiedenbeck et al, 2004) aunque es una tendencia que puede variar según modas. Entre los árboles muestreados se ha observado variación tanto en la tonalidad del duramen, como en el porcentaje del mismo con alta variabilidad entre árboles (CV%=20.3) llegando en algunos casos hasta el 75% del diámetro.

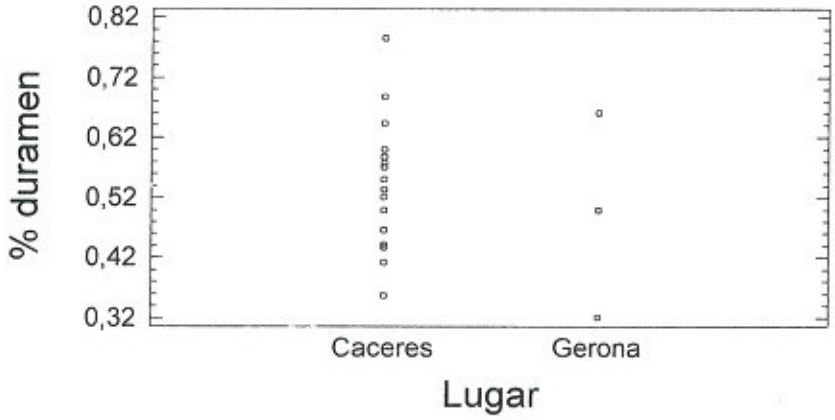


Figura 8: Distribución de valores de % de duramen en los árboles de cerezo muestreados

Vena verde Es una de las principales características que penaliza el valor de esta madera, dado la anchura de las bandas coloreadas. La causa exacta se desconoce (anexo) y hasta el momento no se ha encontrado una forma de evaluarlo sin apear el árbol (Wiedenbeck, et al, 2004). En nuestro caso, árboles de crecimiento rápido y anillo ancho, esta característica se ve de alguna forma agravada, existiendo correlación moderada entre el diámetro del árbol y la anchura de las bandas que pueden llegar a medir hasta 12mm. Las manchas aparecen a lo largo de toda la zona de duramen sin afectar a la albura (Figura 10). El control genético demostrado en los programas de mejora de esta especie en otros países augura posibilidades de mejora por selección. Sobre la muestra estudiada existe gran variabilidad.

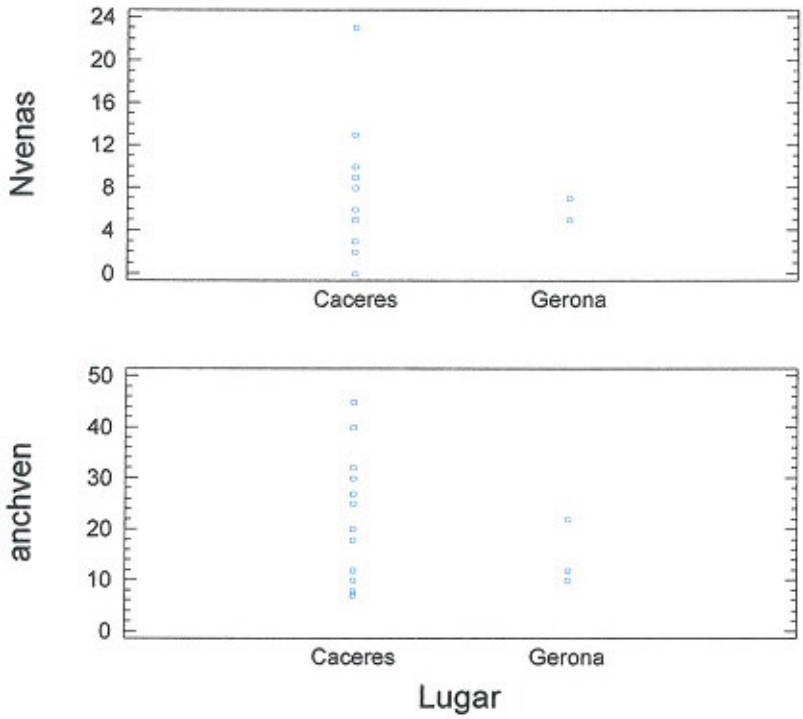


Figura 9: Distribución de valores de vena verde (numero y anchura de bandas) en los árboles de cerezo muestreados

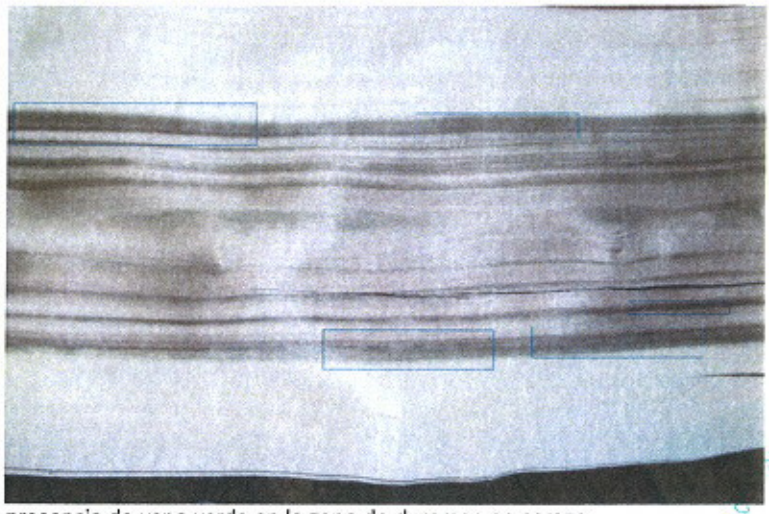


Figura 10: Detalle de la presencia de vena verde en la zona de duramen en cerezo.

4.2 Propiedades físico mecánicas

Las propiedades físico-mecánicas de la madera ensayada se han comparado con los valores descritos para estas especies en la bibliografía. Lógicamente, los resultados obtenidos proceden de una reducida muestra de árboles jóvenes por lo que es de esperar que existan variaciones respecto a las propiedades de los árboles adultos.

En el caso de Nogal al no existir datos de la calidad de madera de los híbridos establecidos en las parcelas de Bosques Naturales los datos se han comparado con los valores descritos para *Juglans nigra*.

La madera de nogal híbrido de las probetas evaluadas presenta una densidad mas elevada y una mayor dureza que los valores descritos para *Juglans nigra* y *Prunus avium* en la bibliografía con muestras probablemente procedente de masas naturales con crecimiento lento. Por otro lado los valores obtenidos en las muestras de nogal sí coinciden con la densidad encontrada en una evaluación preliminar realizada sobre madera de las plantaciones clonales de crecimento rápido de *Juglans nigra* de la empresa "Cultivos agroforestales EccoWood S.A. (Cartelle, 2009).

Referente a la obtención de chapa, el rango habitual de densidad de las especies comúnmente empleadas suele oscilar entre 400 y 750 kg/m3 aunque normalmente se prefieren densidades intermedias puesto que las densidades elevadas suelen estar relacionadas con un mayor consumo energético en el proceso de corte y con mayores valores de contracción de la madera que pueden afectar al proceso de secado de la chapa.

Tabla 2: Valores medios max, min y coeficientes de variación de las propiedades físico-mecánicas evaluadas

	Cerezo				Nogal			
	Media	Min	Max	CV%	Media	Min	Max	CV%
Densidad (Kg/m3)	634.01	458	828	10.19	764	670	829	5.17
Contracción tangencial (de saturado a seco)	7.5%	2.78%	10.88%	19.70	7.94%	2.64%	12.13%	22.00
Contracción volumétrica (de saturado a seco)	13.37%	10.94%	18.59%	14.50	15.69%	7.62%	20.97%	18.10
Dureza (N/mm)	3.19	1.8	7.8	35.11	4.9	3.2	7.5	17.75
Flexión estática (N/mm2)	97.44	59	112	13.71	97.44	74	120	11.11

En las muestras de nogal el valor de contracción tangencial es similar al descrito para la especie *Juglans nigra*. En cuanto a la contracción volumétrica el valor es superior a los descritos para la especie *Juglans nigra*, pero inferior que la contracción observada en madera juvenil de clones de dicha especie, de la empresa EccoWood (Cartelle, 2009), cultivados bajo selvicultura intensiva.
Respecto a la correlación con la densidad, se observa una correlación positiva sólo con la contracción tangencial (0.26) pero no con la contracción volumétrica. En principio, en las muestras de chapa obtenidas, no se han observado problemas ni de fendas ni de ondulaciones.

En general se observa un elevado coeficiente de variación en todas las propiedades evaluadas salvo en el caso de la densidad que sólo alcanza en cerezo el 10% deseable para describir la variación de calidad , sin embargo apenas llega al 5% en la madera de nogal. Cuanto mayor sea el coeficiente de variación, mayor será la posibilidad de encontrar un genotipo con valores óptimos en las diferentes propiedades y conseguir por tanto una mejora al incluir el estudio de las propiedades en el proceso de selección.

Diferencia entre parcelas

En la madera de nogal existen diferencias significativas en algunas de las propiedades mecánicas entre los árboles muestreados en Cáceres y en Gerona (sin poder considerar los datos de Navarra como representativos por el escaso número de muestras). Las propiedades con diferencia significativas son la densidad y la resistencia a la flexión estática. Los valores de la dureza y la contracción volumétrica son similares en todas las parcelas. Un resultado Llama la atención que los valores de densidad sean mayores en en Gerona que en Cáceres y al revés en flexión estática. En cerezo, todas las propiedades evaluadas son mayores en Cáceres que en Gerona.

Diferencia entre árboles

Existen diferencias significativas entre los árboles muestreados para todas las propiedades estimadas en cerezo y para todas las estimadas en nogal, salvo la resistencia a flexión (tabla 3 y tabla 4). En cerezo, la densidad muestra diferencias significativas en función de su distancia a la médula siendo en general mayor la densidad del duramen que la de la albura aunque existen algunos árboles donde ocurre a la inversa. Esto podría deberse al hecho de haber iniciado o no el proceso de duraminización como se comprobó mediante tinción.

Tabla 3: Valores del ANOVA para las distintas propiedades evaluadas en Nogal

NOGAL	Contracción volumétrica		Dureza N		Densidad		Resistencia	
	MS	P<0.05	MS	P<0.05	MS	P<0.05	MS	P<0.05
Árbol	0.0493	*	2.19	**	3422.76	**	163.62	Ns
Distancia a la médula	0.0149	**	0.02	Ns	3648.23	*	0.44	Ns
Interacción		ns		**		**		--
error	0.32		19.45		99990.7		5325.09	

Los asteriscos representan el nivel de significación (*: P<0.01; **: P<0.001). ns: relación no significativa)

Tabla 4: Valores del ANOVA para las distintas propiedades evaluadas en Nogal

CEREZO	Contracción volumétrica		Dureza N		Densidad		Resistencia	
	MS	P<0.05	MS	P<0.05	MS	P<0.05	MS	P<0.05
Árbol	0.15	**	69.79	**	266270.0	**	4620.59	*
Distancia a la médula	0.0075	ns	0.24	ns	7646.3	**	105.62	ns
Interacción	0.11	*	27.07	**	48470.8	**		--
error	0.12		3.2		7341.45		5487.48	

Los asteriscos representan el nivel de significación (*: P<0.01; **: P<0.001). ns: relación no significativa)

En las muestras evaluadas de nogal híbrido se ha comprobado un patrón de variación radial contrario al de cerezo, mayor en la médula que en el exterior, significativo para todas las propiedades evaluadas salvo para la dureza y la resistencia. En este caso una densidad menor en el interior puede estar probablemente asociado a la condición de madera juvenil en los primeros anillos y al hecho de no haber empezado el proceso de duraminización. La división hecha a priori de zonas (anillos 1 a 6 y anillos de 6 a 12) ha mostrado valores de densidad significativamente más altos en la zona de 6-12. Así podríamos pensar que en estos nogales híbridos de crecimiento rápido la producción de madera adulta se inicia muy pronto.

Correlaciones entre propiedades

En cerezo y en nogal la contracción volumétrica está significativamente con la contracción tangencial. En cerezo, existe relación directa entre la densidad y la dureza y entre la densidad y la resistencia a flexión.

Tabla 5: Correlaciones de Pearson entre propiedades en cerezo.

Cerezo	CLT	N	MOR	Densidad
%CV	ns	ns	ns	Ns
%CT		0.26*	0.24*	Ns
N			0.46**	0.45**
MOR				0.38**

El número representa el valor del coeficiente de correlación de Pearson y los asteriscos el nivel de significación (*: P<0.01; **: P<0.001). ns: relación no significativa

En nogal, la densidad se ve positivamente correlacionada con la contracción tangencial, y con la dureza sin observarse relación con otras propiedades mecánicas.

Tabla 6: Correlaciones de Pearson entre propiedades en nogal.

Nogal	CLT	N	MOR	Densidad
Cv	0.42**	ns	ns	ns
CLT		0.30*	ns	0.26
N			ns	0.38**
MOR				ns

El número representa el valor del coeficiente de correlación de Pearson y los asteriscos el nivel de significación (*: P<0.01; **: P<0.001). ns: relación no significativa

Efectividad de métodos sónicos

Las correlaciones encontradas entre la velocidad de transmisión de onda y los caracteres de interés son diferentes para cada una de estas especies. Esto corrobora la importancia de la puesta a punto de la tecnología para cada especie particular. Asimismo la efectividad de los dos métodos comparados no ha sido la misma en ambas especies.

De las dos herramientas sónicas comparadas, el Fakoop parece más adaptado para el cerezo, tanto para predecir los parámetros de caracterización estética como con las propiedades físico-mecánicas. El IML se muestra más adaptado para predecir propiedades físico-mecánicas del nogal, mientras que en propiedades estéticas la efectividad de ambas técnicas es similar.

Tabla 7: Correlación entre los principales parámetros de caracterización estética y los valores de velocidad obtenidos sobre el árbol en pie con los dos martillos sónicos contrastados

		% tabla limpia	Nº de nudos	Diámetro nudos	Anchura vena verde
Cerezo	Fack	ns	0.50**	Ns	0.63**
	IML	ns	ns	ns	0.30*
Nogal	Fack	r=0.24 P=0.08	-0.33**	-0.41**	
	IML	ns	-0.30*	-0.51**	

Tabla 8: Correlación entre las propiedades físico-mecánicas de la madera y los valores de velocidad obtenidos sobre el árbol en pie con los dos martillos sónicos contrastados

		Densidad	Dureza	Resist Flexión
Cerezo	Fack	-0.47**	ns	ns
	IML	-0.34*	ns	ns
Nogal	Fack	-0.35*	-0.42**	ns
	IML	-0.50**	-0.56**	0.29*

Además de la efectividad de la velocidad de transmisión de una onda para predecir la nudosidad, los métodos sónicos han mostrado resultados interesantes relacionados con la tonalidad del color de la madera, el porcentaje de duramen y la anchura de bandas de vena verde, que deberá ser estudiado con más detalle.

En cerezo una mayor velocidad está ligada con un color más oscuro del duramen, mayor cantidad de albura y mayor anchura de las bandas de vena verde. En nogal ocurre a la inversa y una menor velocidad está ligada a una tonalidad más oscura de la madera. Este comportamiento diverso en ambas especies probablemente esté relacionado por los distintos agentes causantes del color en ambas especies y, en ambos casos, deberá ser confirmado en un muestra mayor.

Hay que destacar la regresión observada entre la anchura de bandas de vena verde y la velocidad del fuste (R^2=0.32). En el modelo de regresión se ha llegado a valores de R^2 de 0.40 incluyendo el diámetro del árbol junto con la velocidad de desplazamiento. La relación lineal positiva obtenida en cerezo entre la velocidad de desplazamiento de onda en fuste y la anchura máxima que alcanza la vena verde dentro de la tabla, podría estar relacionado con las observaciones de POLGE (1986) quien asocia la presencia de vena verde con la existencia de fibras más largas y con más celulosa y hemicelulosa lo que confiere a la vez una mayor velocidad del sonido. Otros autores relacionan la variación con variaciones en la concentración de flavonoides y con procesos de oxidación producidos tras el apeo (MAYER et al, 2006). La causa de las variaciones de color observadas en la madera de cerezo muestreada está actualmente en estudio.
La posibilidad de ganancia por selección en la característica de vena verde, es factible por la gran variabilidad observada y por el control genético que para dicha característica se ha demostrado en los programas de mejora llevados a cabo en Italia para esta especie, con gran diferencias entre clones (SIGNORINI, 2006). Además de esta diferencia entre genotipos también las condiciones ambientales parecen jugar un papel importante (DUCCI et al, 2006).

A pesar de tratarse de datos preliminares, obtenidos en un número muy reducido de árboles, la utilización de métodos sónicos podría constituir una opción inexplorada de detección sobre árbol en pie de uno de los principales defectos en chapa para esta especie.

5. CONCLUSIONES

Las conclusiones de este informe preliminar muestran que la madera limpia (libre de defectos) obtenida de las plantaciones de nogal híbrido y cerezo europeo de Bosques Naturales, con elevados crecimientos, tiene unas características físico-mecánicas próximas a las descritas para especies de crecimiento lento.

Otros caracteres esenciales para obtener madera de calidad como la nudosidad, deberán ser optimizados con una correcta selección genética y cuidados culturales apropiados.

Los métodos sónicos han mostrado, a priori, resultados interesantes relacionados con la tonalidad de la madera, el porcentaje de duramen y la anchura de bandas de vena verde, que deberá ser estudiado con más detalle y en una muestra mayor.

Las muestras de madera obtenidas para realizar este informe proceden de árboles jóvenes, sin seleccionar y sometidos a una selvicultura en la que ha primado la producción en volumen frente a la calidad de la madera (en cuanto a nudosidad fundamentalmente). En todo caso, la variabilidad observada en los distintos caracteres que definen esta calidad, unido a la posibilidad de detectar características internas de la madera sobre árboles en pie, p ueden ser considerados en los procesos de selección genética y en la optimización de las labores selvícolas intensivas en las que se cultivan estas dos especies.

A la vista de los resultados obtenidos en este informe, se propone incidir en las siguientes líneas de acción futuras:

Incluir la calidad de madera en el proceso de caracterización clonal y selección de nuevos genotipos. Se considera esencial conocer en profundidad las propiedades de la madera de los clones actualmente utilizados en las plantaciones, así como incluir parámetros de calidad de madera (tanto visuales, como sónicos) en los procesos de selección. Los resultados preliminares muestran una amplia variabilidad entre árboles en todas las variables evaluadas, muchas de las cuales son susceptibles de mejora genética.

Posibilidad de aprovechamiento de la madera de pequeño diámetro. Es importante buscar o crear un mercado potencial tanto para la madera de pequeña dimensión proveniente de claras, como para la madera procedente de árboles con una elevada nudosidad.

Profundizar en la causa de la vena verde, su control genético, influencia ambiental y las posibilidades de mejora. La vena verde aparece como una de las características con una mayor incidencia en la producción de madera para chapa de cerezo, debiendo ser motivo de una atención especial. Durante la elaboración de este informe, se ha contactado con Ingo Mayer, autor de los trabajos más destacados sobre vena verde en *Prunus serótina* y con la responsable del programa de mejora de cerezo en el INRA Francia, para futuras colaboraciones.

Optimizar los tratamientos silvícolas. Es importante proseguir las medidas iniciadas por la empresa sobre las parcelas ya existentes y cuyos árboles tienen grandes heridas de cicatrización y alta emisión de brotes sobre la troza basal ya podada. En función de los años necesarios para cubrir los "muñones de cicatrización", actualmente existentes en los árboles, puede contemplarse un alargamiento del turno inicialmente considerado, sabiendo que la chapa de mayor calidad en nogal procede de la troza basal y que sólo un 7% de la producción de chapa, procede de la segunda troza (Wiedenbeck, et al 2004). La densidad de plantación, indicador de la competencia entre árboles, debe optimizar y homogeneizar tanto el crecimiento diametral como la emisión de ramas y su poda posterior. Se debería intentar conseguir que un 60-70% del diámetro aprovechable en la troza basal, pueda destinarse a la elaboración de chapa.

Este informe consta de 16 páginas y 4 anexos con gráficos y otra documentación bibliográfica de interés, así como un prototipo de 2 tableros alistonados de cerezo y nogal respectivamente.

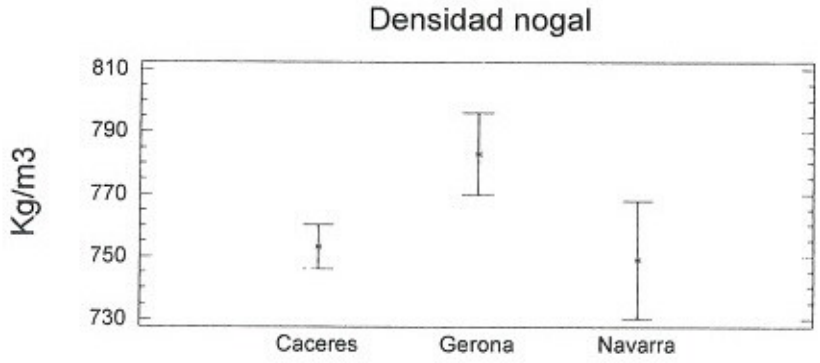
Ourense 30 de diciembre de 2009

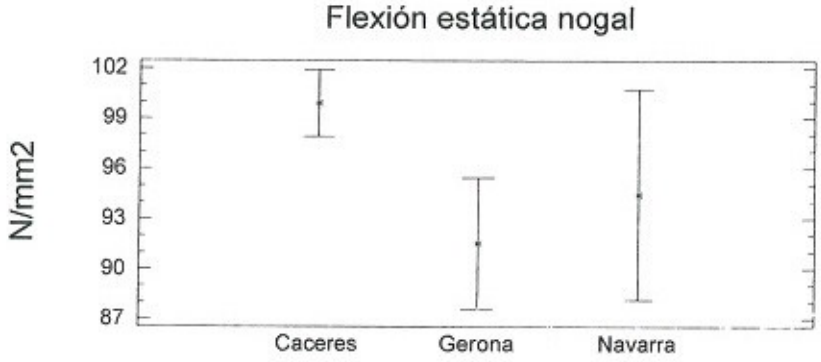
Fdo: Esther Merlo Sánchez
Investigador Posdoctoral
Área de Innovación y Tecnología

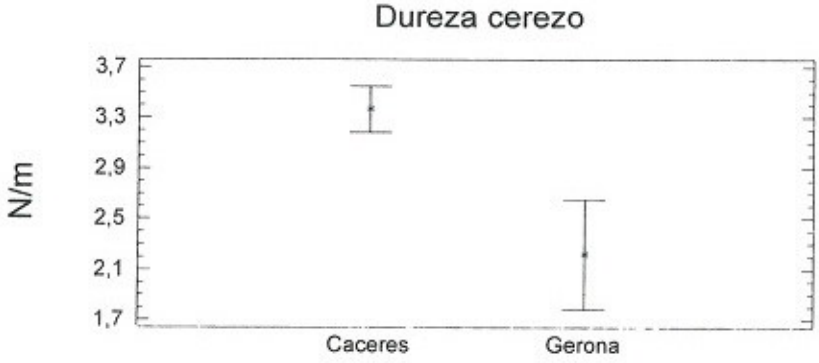
V.B. Manuel C. Touza Vázquez
Jefe del Área de Innovación y Tecnología

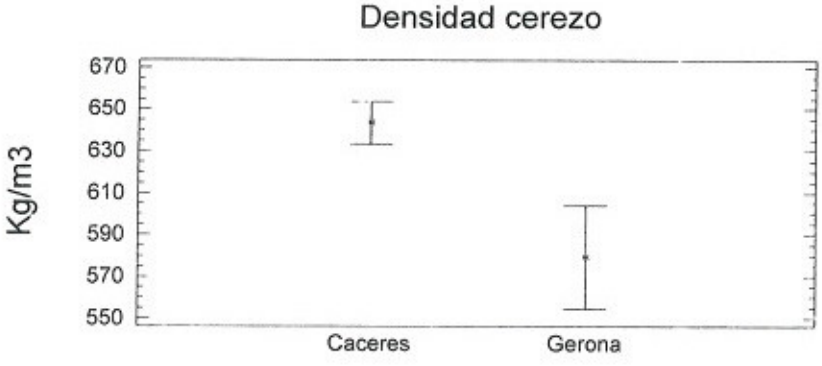
ANEXO 1: GRAFICOS DE COMPARACIÓN DE MEDIAS

Comparación de medias entre parcelas

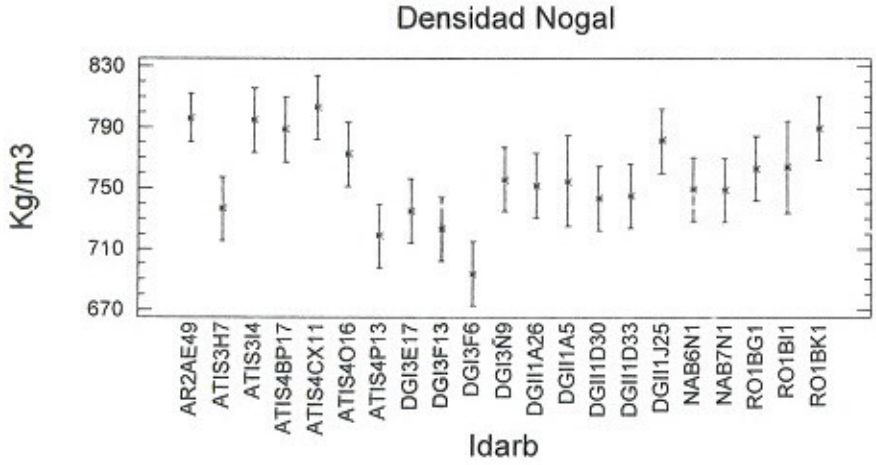


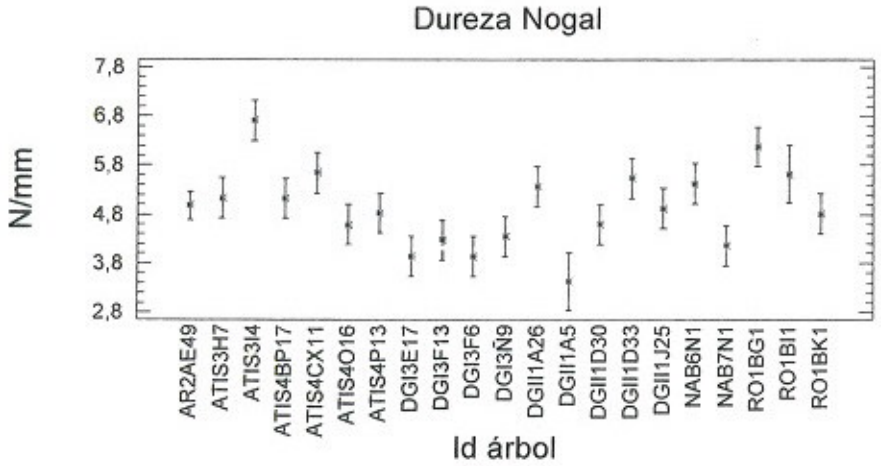


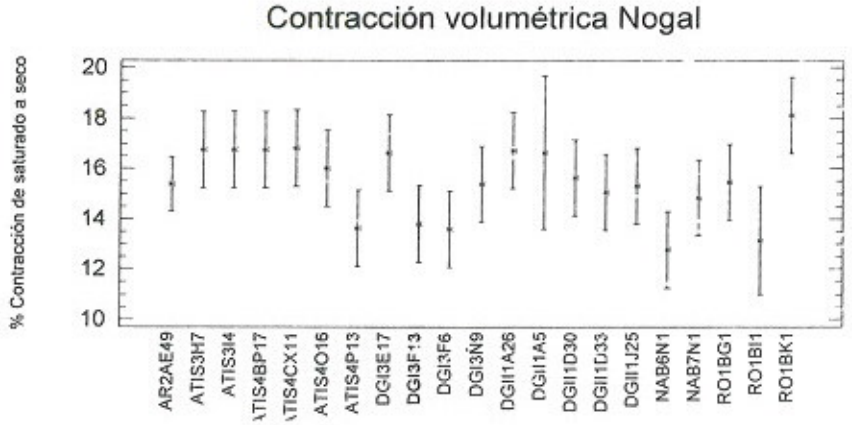


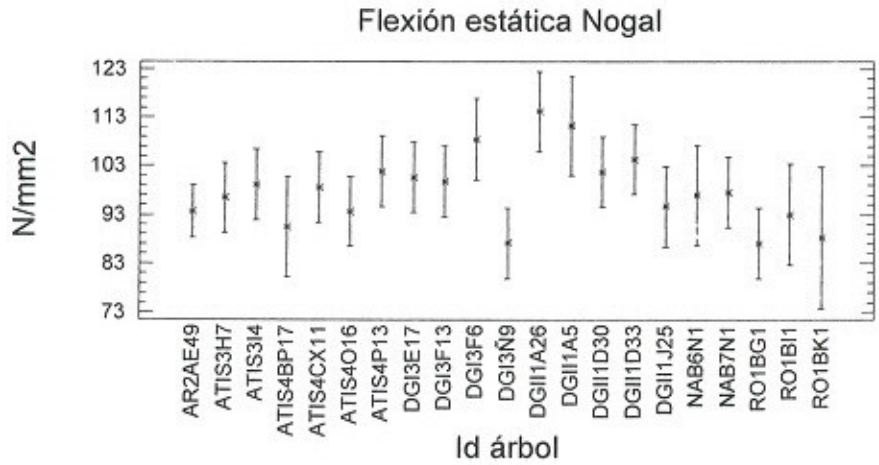


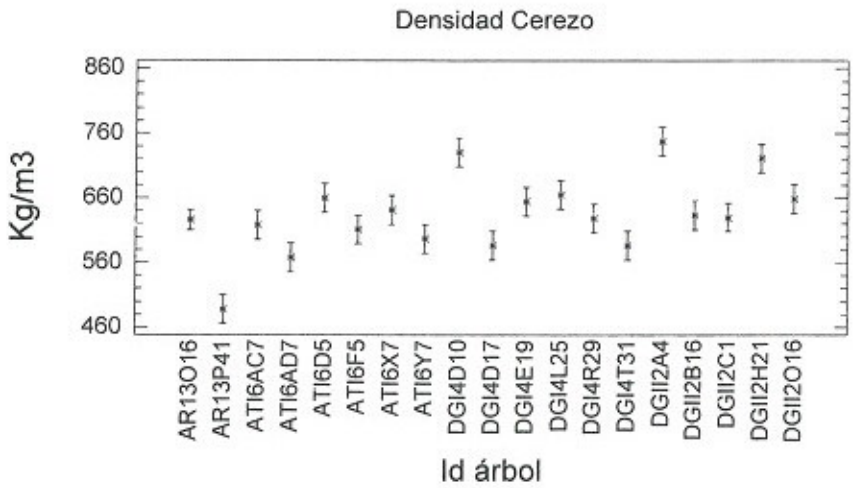
Comparación de medias entre árboles

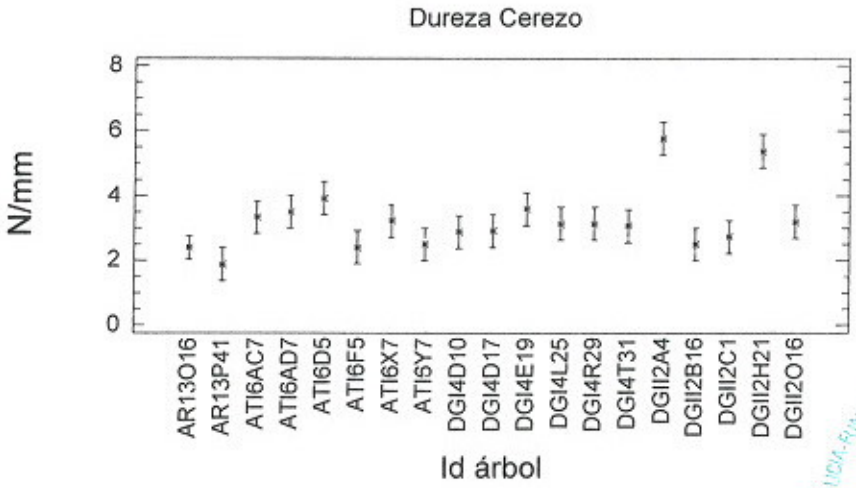


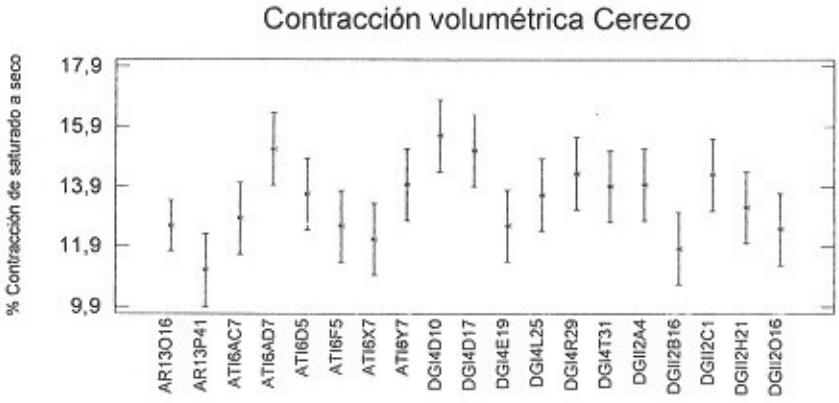


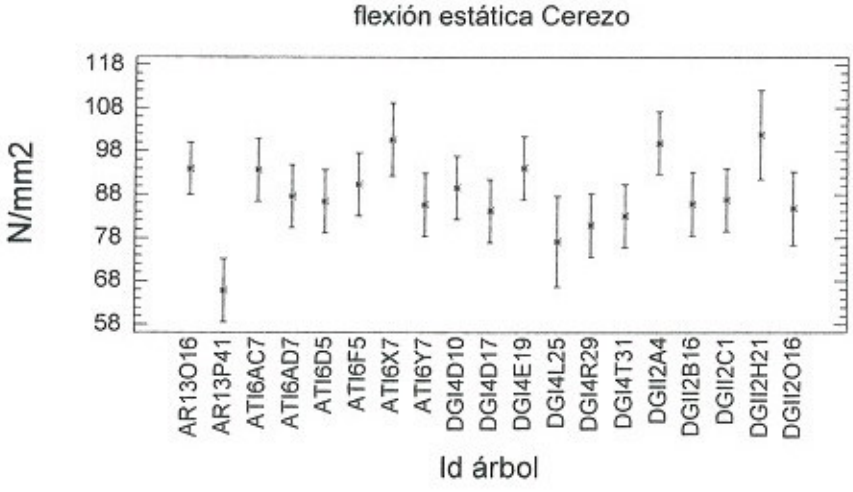



Flexión estática Nogal
N/mm2
123
113
103
93
83
73
AR2AE49
ATIS3H7
ATIS3I4
ATIS4BP17
ATIS4CX11
ATIS4O16
ATIS4P13
DGI3E17
DGI3F13
DGI3F6
DGI3Ñ9
DGII1A26
DGII1A5
DGII1D30
DGII1D33
DGII1J25
NAB6N1
NAB7N1
RO1BG1
RO1BI1
RO1BK1
Id árbol

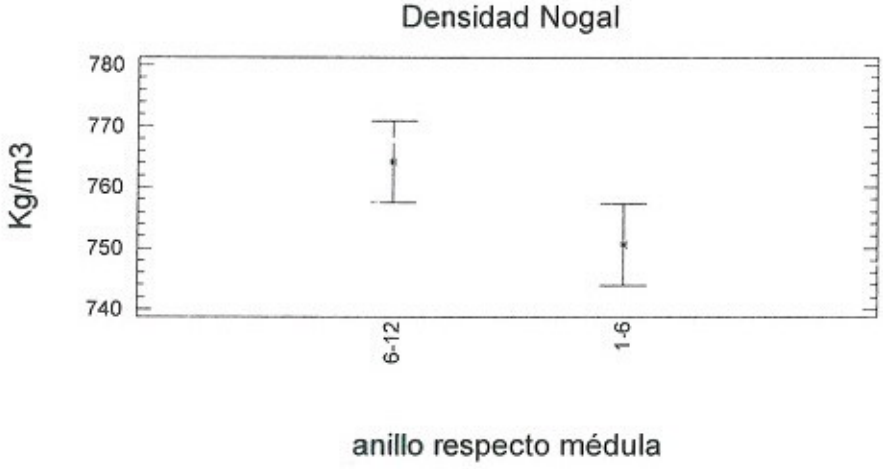

Densidad Cerezo
Kg/m3
860
760
660
560
460
AR13O16
AR13P41
ATI6AC7
ATI6AD7
ATI6D5
ATI6F5
ATI6X7
ATI6Y7
DGI4D10
DGI4D17
DGI4E19
DGI4L25
DGI4R29
DGI4T31
DGII2A4
DGII2B16
DGII2C1
DGII2H21
DGII2O16
Id árbol

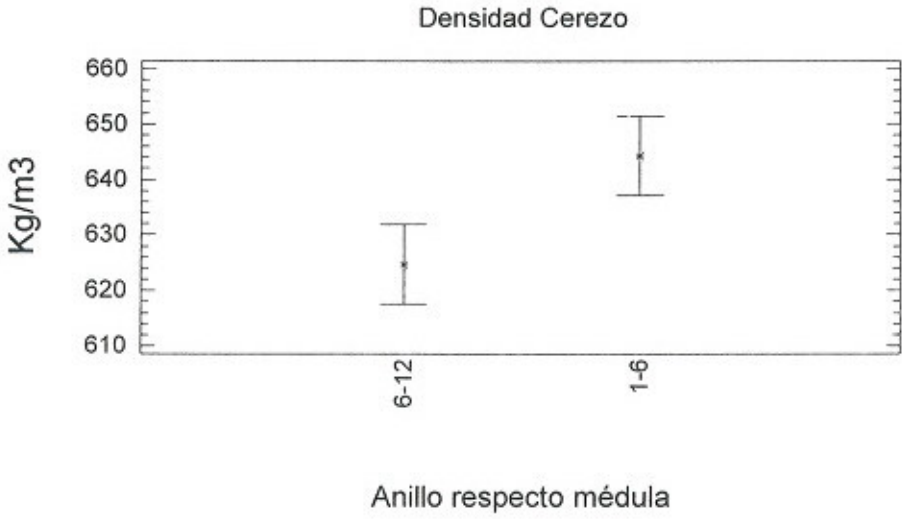

Dureza Cerezo
N/mm
8
6
4
2
0
AR13O16
AR13P41
ATI6AC7
ATI6AD7
ATI6D5
ATI6F5
ATI6X7
ATI6Y7
DGI4D10
DGI4D17
DGI4E19
DGI4L25
DGI4R29
DGI4T31
DGII2A4
DGII2B16
DGII2C1
DGII2H21
DGII2O16
Id árbol





Comparación de medias dentro del árbol




Densidad Cerezo
Kg/m3
660
650
640
630
620
610
6-12
1-6
Anillo respecto médula