

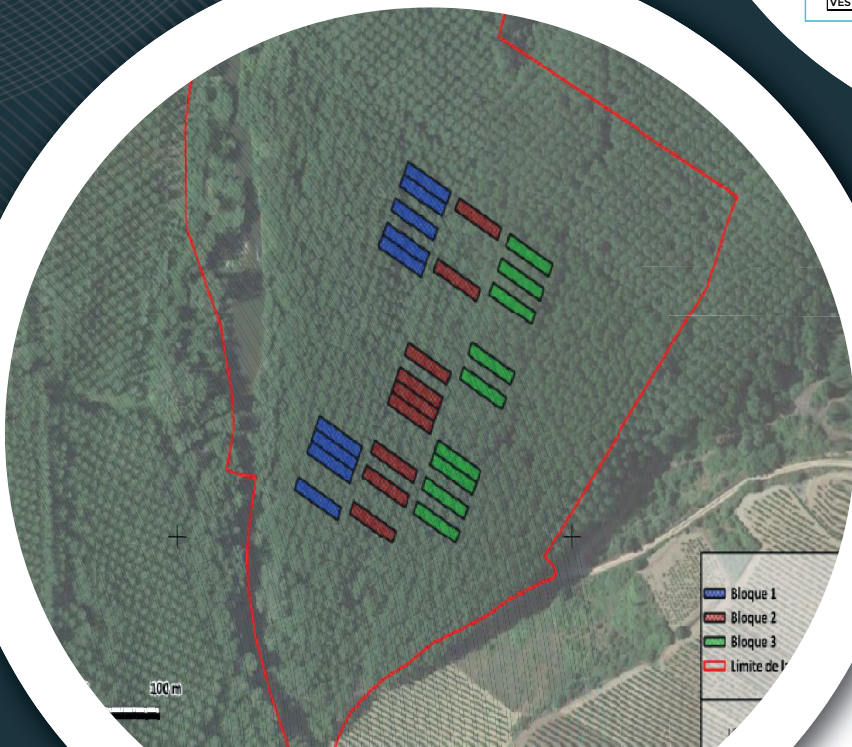
Propiedades tecnológicas de clones de chopo en función de diferentes variables.



Mediciones en árbol en pie con métodos no destructivos: velocidad acústica y densidad
 $MOE_{dinámico} = V^2 \times Db$

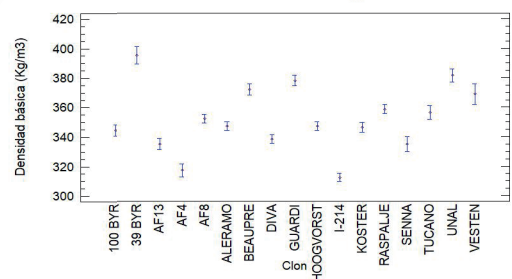
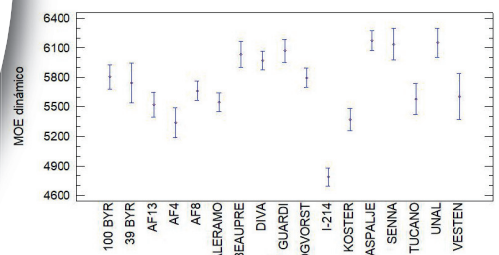
18 parcelas clonales y 17 clones

	DUERO									EBRO							
	Fresno de la Vega 2018	Valencia de Don Juan 2010	Valencia de Don Juan 2015	Valencia de Don Juan 2019	Villalfer 2018	Villamañán 2011	Villaveza del Agua 2018	Villasabariego 2012	Cuadros 2018	Santibañez 2018	Cinames del Tejar 2018	Marjalba de la Ribera 2018	Villavieja 2019	Credifes 2019	Mahave 2015	López 2019	Hornilleja 2019
CLON/EDAD	6	14	9	5	6	13	6	12	6	6	6	6	5	5	9	5	5
100BYR																	
39 BYR																	
AF13																	
AF4																	
AF8																	
ALERAMO																	
BEAUPRE																	
DIVA																	
GUARDI																	
HOOGVORST																	
I214																	
KOSTER																	
RASPALJE																	
SENN																	
TUCANO																	
UNAL																	
VESTEN																	



Parcelas de ensayos clonales con diseño.

Diferencias entre clones en propiedades tecnológicas de madera.



Esther Merlo Sánchez
Miguel Piñeiro García
Madera Plus Calidad Forestal SL

4. PROPIEDADES TECNOLÓGICAS DE CLONES DE CHOPO EN FUNCIÓN DE DIFERENTES VARIABLES.

Introducción

Las propiedades tecnológicas de la madera son fundamentales para determinar su idoneidad en diferentes usos industriales, y en el caso del género *Populus*, la integración de métodos no destructivos en el proceso de selección representa un avance clave en su caracterización. Entre estas metodologías destaca el uso de tecnología sónica, que permite evaluar la calidad mecánica de la madera a través de la propagación de ondas acústicas. Este enfoque, empleado en España desde hace más de una década para la caracterización de ensayos genéticos, ofrece una herramienta eficiente para estimar parámetros de interés tecnológico de la madera como el módulo de elasticidad dinámico.

Por otro lado, la extracción de muestras de madera mediante barrena de Presler es una técnica complementaria que permite la evaluación de la densidad de la madera de forma no destructiva. La densidad, un parámetro crítico para la resistencia mecánica y otros usos industriales, se estima a partir de pequeñas muestras sin comprometer la integridad del árbol. Estas herramientas combinadas mejoran la precisión y rapidez en la selección de

clones o genotipos superiores de *Populus*, optimizando su aprovechamiento industrial y facilitando su selección para aplicaciones industriales específicas.

Este capítulo recoge los trabajos realizados por Madera Plus en las parcelas de estudio a lo largo del proyecto. En total, se han evaluado 17 ensayos clonales y 14 parcelas productivas. Sobre dichas parcelas se han recogido datos de crecimiento, forma de fuste y propiedades tecnológicas de la madera con tecnologías no destructivas. El análisis de estos datos en las parcelas clonales permite conocer la variabilidad dentro del área de distribución para diferentes clones y edades. Por otro lado, a partir de dicha información se podrá evaluar el control genético del clon, así como su relación con los parámetros de suelo, fisiográficos y climáticos, que han sido también evaluados en otras actividades en las diferentes parcelas. En el caso de parcelas productivas, los datos obtenidos se pueden relacionar con datos remotos y seguir a lo largo de la cadena de suministro buscando relaciones con las trozas a distintas alturas y las chapas extraídas por desenrollado de dichas trozas.

Metodología

1. Propiedades evaluadas sobre árboles en pie

Las propiedades tecnológicas evaluadas han sido Módulo de elasticidad dinámico y densidad básica, ambas de gran interés para el uso de madera estructural y productos de madera sólida. Dichas propiedades y la forma de evaluarlas se definen a continuación.

Módulo de elasticidad dinámico (MOEd)

El módulo de elasticidad dinámico es un estimador indirecto de la rigidez de la madera y se obtiene a partir de la velocidad de desplazamiento de una onda

de impacto a través de la madera y de la densidad de la misma en el momento de medición según la siguiente fórmula:

$$MOEd = \rho \cdot v^2$$

donde MOEd es el módulo de elasticidad dinámico (MPa), ρ es la densidad básica de la madera (kg/m^3) y v es la velocidad de propagación de la onda acústica (m/s).

Densidad básica (DB)

La densidad es una de las propiedades que mejor caracteriza la aptitud de la madera para diferentes productos y se define como la masa por unidad de volumen de madera húmeda. Está relacionada con muchas otras propiedades



Para su evaluación se ha empleado el equipo Microsecond Timer (Fakopp), el cual mide el tiempo (en microsegundos) que tarda en desplazarse una onda de impacto entre dos transductores insertados longitudinalmente en el fuste, enfrentados entre sí a una distancia conocida y generando una onda de impacto al aplicar un golpe con un martillo ligero sobre uno de ellos. Los transductores se insertan en la madera unos 3-4 cm con una inclinación de 45° y la onda se desplaza sobre la parte externa de la madera del árbol (aproximadamente 10cm externos). Conociendo tiempo y distancia entre transductores se puede obtener la velocidad de desplazamiento y una vez estimada la densidad básica, se calcula el módulo de elasticidad dinámico mediante la ecuación indicada arriba.

Para cada individuo se extrajo una muestra de madera mediante barrena de Pressler a una altura del fuste de 1,30 m de 10cm de longitud (parte externa de la madera del fuste). Esta muestra fue identificada, etiquetada y conservada en nevera hasta su llegada a laboratorio para su posterior análisis gravimétrico. Una vez que las muestras de madera se encuentran en laboratorio, se tomaron medidas de peso en verde (sobre balanza de precisión en mg) y sus dimensiones (diámetro y longitud en mm) para determinar así su volumen y correspondiente densidad en verde. Posteriormente, para conocer la densidad básica se realiza un secado de las muestras en estufa durante 24 horas a 103 °C, y se pesan en balanza de precisión miligramétrica, obteniéndose los valores de masa en condiciones anhidro. El cociente del peso anhidro entre el volumen en verde permite calcular la densidad básica.

2. Descripción de las parcelas de estudio

Este estudio ha evaluado dos tipos de parcelas:

1) Parcelas clonales con diseño experimental y presencia de diferentes clones procedentes de distintos centros

de mejora genética europeos y con diferentes edades que van a permitir evaluar la influencia del clon en la calidad tecnológica e industrial de dichos clones en nuestra zona y la existencia de interacción genotipo ambiente.

2) Parcelas productivas de un mismo clon y a edad final de turno sobre aquellos clones que actualmente están llegando a la industria.

Parcelas clonales

Se han evaluado un total de 17 parcelas clonales donde están representados 17 clones diferentes (Imagen 1).

En cada una de las parcelas, con diseño experimental de 3 bloques, se evaluaron 3 árboles por bloque (9 árboles por parcela), tomando datos de crecimiento, forma y calidad de madera con el objetivo de caracterizar el comportamiento de cada uno de los clones en las diferentes condiciones ambientales.

Los clones están distribuidos de forma desequilibrada en las diferentes parcelas por lo que no todos los clones están representados en todos los sitios. Además, la edad de las parcelas de estudio varía entre 4 y 13 años. A continuación, se muestra la representación clonal en el global de las parcelas muestreadas.

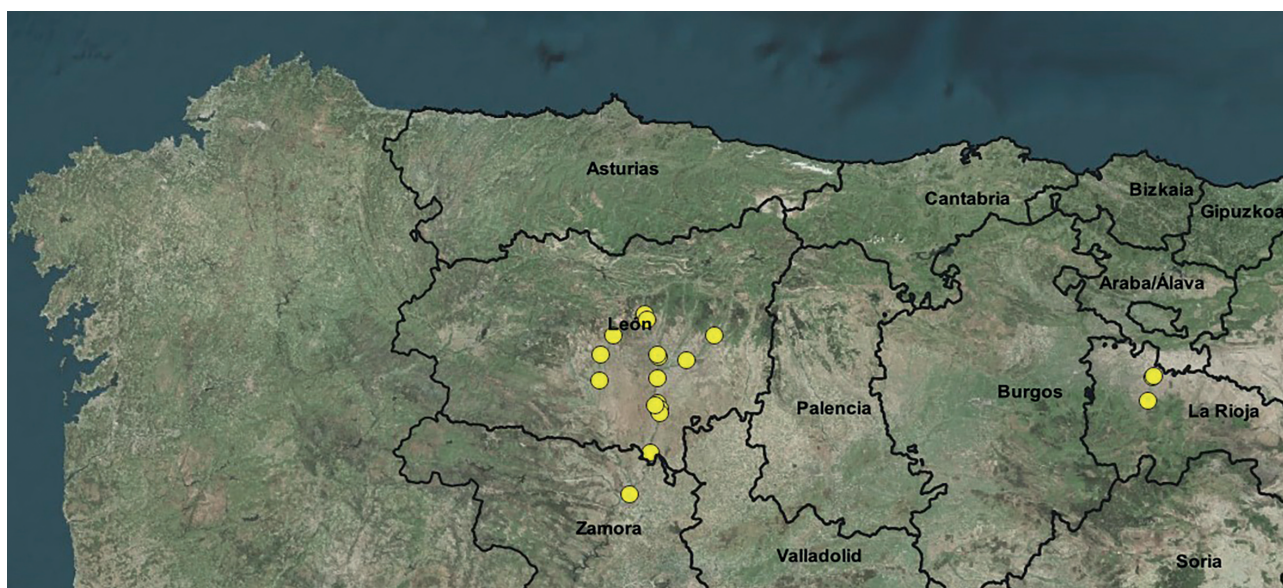


Imagen 1. Localización de parcelas clonales.

Tabla 1. Distribución de los 17 clones de chopo en las diferentes parcelas identificadas por edad y ribera a la que pertenecen, Duero o Ebro.

CLON/EDAD	DUERO												EBRO				
	Fresno de la Vega 2018	Valencia de Don Juan 2010	Valencia de Don Juan 2015	Valencia de Don Juan 2019	Villafer 2018	Villamañán 2011	Villaveza del Agua 2018	Villasabariego 2012	Cuadros 2018	Santibañez 2018	Cimanes del Tejar 2018	Marialba de la Ribera 2018	Villavidel 2019	Gradefes 2019	Mahave 2015	López 2019	Hormilleja 2019
CLON/EDAD	6	14	9	5	6	13	6	12	6	6	6	6	5	5	9	5	5
100BYR																	
39 BYR																	
AF13																	
AF4																	
AF8																	
ALERAMO																	
BEAUPRE																	
DIVA																	
GUARDI																	
HOOGVORST																	
I214																	
KOSTER																	
RASPALJE																	
SENNÁ																	
TUCANO																	
UNAL																	
VESTEN																	

El número de árboles por parcela varió, asegurando un mínimo de 9 árboles por clon. La selección de los árboles se realizó de manera sistemática asegurando la máxima representatividad del clon y reduciendo en la medida de lo posible el efecto borde.

Parcelas productivas

En total se han evaluado 14 parcelas productivas, donde están representados los clones más utilizados actualmente por la industria (Beaupré, Raspalje, MC, I-214, Unal) habiendo asegurado un mínimo de 3 parcelas por clon en los cuatro clones más importantes. De estas 14 parcelas productivas, se encuentran 10 en la Ribera de Ebro y el resto en la ribera del Duero (Imagen 2). Estas mediciones permitirán modelizar

la calidad tecnológica de la madera de las masas adultas de estos clones y comprobar la relación de las variables evaluadas sobre el árbol en pie en la parcela con las propiedades tecnológicas

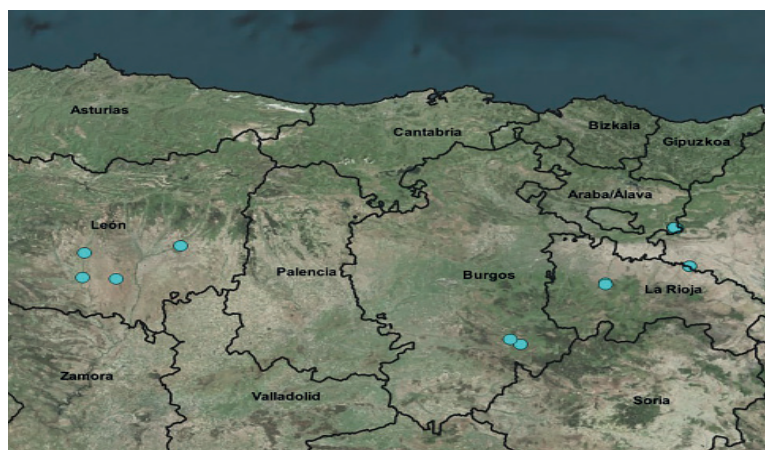


Imagen 2. Mapa de distribución de las parcelas productivas evaluadas.

finales del producto y así determinar el interés de conocer y caracterizar dichas propiedades en la cadena de suministro para obtener productos de mayor valor añadido.

Dentro de cada parcela se evalúan un total de 36 árboles midiendo diámetros de la base y diámetros normales, rectitud de fuste, altura comercial, así como la velocidad de transmisión de una onda de impacto y densidad básica, para estimación de MOE dinámico, y densidad en verde. Este muestreo consiste en elegir aleatoriamente un árbol en el interior de la masa y seguir una línea continua (recta o quebrada) o discontinua sobre la que se miden 36 árboles dominantes o codominantes que intersequen con ella evitando el efecto borde.

3. Metodología de captura de datos

Mediciones de crecimiento y forma

Se tomaron datos de diámetro normal y diámetro en la base (Imagen 3). Todos los diámetros fueron medidos en cruz mediante forcípula, y a partir de estos se estimó la conicidad de cada árbol medido empleando la siguiente relación:

$$\frac{D_b - D_n}{d}$$

Siendo: D_n el diámetro normal en cm, D_b el diámetro medido en la base del tronco en cm y d la distancia entre los dos diámetros en m.



Imagen 3. Mediciones de diámetro normal, diámetro en la base y altura.

Al menos sobre un árbol representativo por clon y parcela experimental se llevó a cabo la medición de altura total, la altura de copa mediante hipsómetro digital (Vertex IV, Haglof) y se estimó la rectitud de los primeros 5m de manera visual en campo distinguiendo entre 3 niveles de curvatura: recto, ligeramente curvada y muy curvada.

Metodología de evaluación con métodos no destructivos

Se han realizado mediciones de velocidad de desplazamiento de onda de impacto con el equipo sónico *Microsecond Timer*, tomando 8 medidas repetidas en cada árbol (Imagen 4).



Imagen 4. Detalle de la captura de velocidad de desplazamiento de onda con el equipo *Microsecond Timer* por Madera Plus.

Además, fueron extraídos testigos de madera con barrena de Pressler de 5 mm hasta la médula, y muestras de floema hasta el cambium extraídos con sacabocados de 15 mm. Ambas muestras fueron almacenados en frío para posteriormente determinar en laboratorio la densidad verde y densidad básica y evaluación con equipo de espectroscopía de infrarrojo cercano NIR, respectivamente (Imagen 5).



Imagen 5. Detalle de extracción de cores de madera y muestras de fluoema para estimar la densidad básica.

Corrección de humedad para las mediciones de velocidad obtenida sobre árbol en pie

El desplazamiento de una onda se puede ver afectado por la humedad del árbol en el momento de la medición. Esta relación está ampliamente estudiada por debajo de punto de saturación de la fibra (30% de humedad), de tal modo que una variación del 1% de humedad en este rango implica un incremento del 0,8% de la velocidad. Por encima de dicho umbral, la variación es mucho menor y la mayoría de los autores no lo consideran. Sin embargo, dada la alta variación de humedad observada sobre las muestras de madera en las parcelas de chopo, se

procedió a realizar una experiencia que no estaba inicialmente prevista de cara a poder controlarlo y en su caso corregir el efecto de la humedad en el valor de velocidad. Para ello se procedió a realizar el seguimiento en variación de humedad y de velocidad sobre árboles en pie que habían sido previamente anillados, con el objetivo de forzar dicha pérdida de humedad, y paralizando el crecimiento del árbol de cara a acotar la influencia de la humedad.



Imagen 6. Detalle en el momento de realizar el anillado de uno de los árboles incluidos en el estudio de variación de velocidad con la humedad.

Los árboles fueron evaluados durante 6 veces en semanas y meses consecutivos y en base a los resultados se desarrolló un modelo de corrección de velocidad que fue posteriormente aplicado a los valores de velocidad obtenidos en árbol de todos los árboles del estudio antes de llevar a cabo el análisis. En el mismo momento de evaluar la velocidad de desplazamiento se extrajeron muestras con barrena de Pressler para estimar la humedad a la que se encontraba el árbol. Con los datos así obtenidos se enfrentaron los valores uno a uno para cada árbol. En el proceso se eliminaron los valores atípicos, así como aquellos datos que careciesen de sentido. Se elaboró un modelo no lineal, empleando la función “nls” de rstudio, con la siguiente forma:

$$V_2 = V_1 \cdot (1 + a \cdot (Hum_1 - Hum_2))$$

Dónde: V_2 , velocidad (m/s) en el instante 2; V_1 , velocidad (m/s) en el instante 1; a , coeficiente del modelo; Hum_1 , humedad en el instante 1 (%); Hum_2 , humedad en el instante 2 (%).

El Modelo obtenido permite corregir la velocidad evaluada en árbol con un coeficiente de determinación de 0.94 y un error de 74m/s.

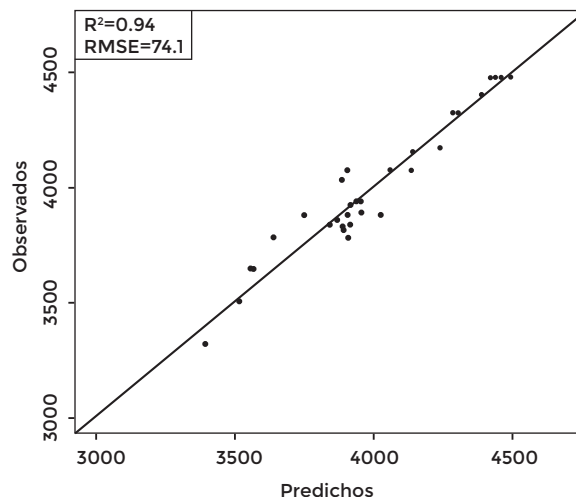


Imagen 7. Gráfico de observados vs predichos para el modelo de corrección de velocidad en función de la humedad en el árbol en pie en el momento de la medición.

4. Mapa de variación de las propiedades tecnológicas de la madera en el área de distribución del chopo

Se han analizado las relaciones de las propiedades tecnológicas medidas sobre los árboles en pie, con datos fisiográficos, climáticos y con diferentes índices extraídos de imágenes de satélite en las parcelas de estudio. El análisis estadístico ha permitido el desarrollo de algoritmos predictivos a partir de los cuales hemos elaborado un mapa de variación de módulo de elasticidad dinámico y densidad básica del chopo en su área de distribución y para los diferentes clones. Las propiedades tecnológicas modelizadas han sido: densidad básica (DB) y módulo de elasticidad dinámico (MOEdb). Además, dada la influencia del clon en dichas propiedades se desarrolló un modelo de identificación de clon a partir de imágenes de satélite que sirvió de filtro en la predicción de dichas propiedades.

Resultados

1. Propiedades tecnológicas evaluadas sobre el árbol en pie

Se ha observado una gran variación en las propiedades tecnológicas (Densidad básica, Módulo de elasticidad) evaluadas

mediante tecnología sónica y extracción de cores. Se muestra a continuación, un resumen de estadísticos descriptivos de las variables evaluadas para todas las parcelas clonales y productivas incluyendo además de las propiedades tecnológicas de la madera, las variables de crecimiento.

Tabla 2. Tabla resumen variables parcelas clonales.

Parcela	Diámetro en la base (cm)		Diámetro normal (cm)		Altura total (m)		Densidad básica (gr.cm ³)		Módulo de elasticidad dinámico (MOEd)	
	Media	CV (%)	Media	CV (%)	Media	CV (%)	Media	CV (%)	Media	CV (%)
CIM_2018	19,0	17,7	15,2	18,7	13,5	14,7	356	10,0	5145	13,4
CUAD_2018	17,1	20,3	13,9	21,4	12,9	13,8	330	8,6	4721	12,2
FRES_2018	16,5	17,0	14,1	16,6	12,3	16,9	362	9,2	6259	11,8
GRAD_2019	15,2	16,4	12,3	17,9	11,2	13,6	343	6,5	4840	11,4
HORM_2019	10,6	17,2	8,2	15,9	8,2	10,2	364	7,8	5577	15,1
LOP_2019	13,3	21,4	10,6	22,9	9,8	15,5	365	8,2	6518	12,4
MAHA_2015	21,9	20,1	18,8	22,0	16,9	16,3	365	7,2	7084	9,7
MARI_2018	19,8	17,9	17,4	18,7	14,2	17,1	335	6,4	5767	13,4
SANTI_2018	21,3	14,1	17,2	14,4	15,5	7,3	332	7,4	5015	18,8
VAL_2010	36,4	11,6	31,5	11,4	28,9	4,0	362	6,5	7092	7,6
VAL_2015	24,3	16,3	20,7	17,9	18,8	13,5	357	8,8	6557	12,6
VAL_2019	18,2	15,7	15,0	16,1	15,6	15,9	327	6,1	4971	11,5
VILLA_2018	19,6	16,6	15,6	14,9	14,2	9,5	344	5,5	5453	9,2
VILLAM_2011	31,4	17,3	27,3	16,7	25,0	16,0	356	6,6	6982	10,5
VILLAS_2012	30,4	19,8	26,0	19,9	22,5	10,5	348	7,6	6791	12,7
VILLAV_2018	16,2	20,0	14,0	21,3	12,2	12,5	350	8,7	6124	13,7
VILLAV_2019	18,0	25,1	15,1	25,7	13,3	24,1	353	8,4	5777	13,9

Dónde: *D_b*, diámetro de la base (cm); *D_m*, diámetro normal (cm); *DB*, densidad básica (kg/m³); *h*, altura total de los árboles (m); *Vel*, velocidad de propagación de la onda de impacto (m/s); *MOEd*, módulo de elasticidad dinámico (MPa); *Med*, valor medio de la variable; *CV*, coeficiente de variación de la variable (%).

Tabla 3. Tabla resumen variables parcelas productivas.

Parcela	Diámetro en la base (cm)		Diámetro normal (cm)		Altura total (m)		Densidad básica (gr.cm ³)		Módulo de elasticidad dinámico (MOEd)	
	Media	CV (%)	Media	CV (%)	Media	CV (%)	Media	CV (%)	Media	CV (%)
1_L	33,4	10,9	30,3	11,2	303	3,4	4492	1,4	6122	6,3
2_U	33,3	11,8	28,9	11,7	352	0,8	4253	5,1	6363	9,5
3_B	36,8	9,4	33,8	9,8	333	4,5	4795	1,5	7665	7,4
3_L	41,2	8,5	36,9	9,3	320	3,5	4273	2,0	5849	4,2
3_M	40,5	11,4	36,1	13,4	344	3,3	4385	1,6	6610	3,8
4_B	38,6	22,5	35,3	23,2	346	4,0	4527	2,6	7088	4,0
4_L	49,7	18,3	45,0	18,9	312	7,9	4369	4,4	5954	9,6
4_M	43,4	23,5	39,1	22,5	345	9,0	4441	2,1	6799	10,9
6_L	39,2	9,9	35,0	9,5	313	3,0	4238	2,1	5626	3,0
7_R	43,1	7,2	39,2	7,6	322	3,8	4550	0,9	6667	4,2
8_M	32,9	7,4	30,6	7,7	335	1,1	4799	1,5	7711	4,2
8_R	39,7	8,8	35,4	8,3	328	2,8	4839	1,7	7674	4,7
9_R	37,0	20,3	32,8	20,5	336	3,7	4810	2,6	7769	4,9
10_B	36,1	9,2	32,5	10,4	356	1,4	4568	2,8	7423	6,0

Dónde: *D_b*, diámetro de la base (cm); *D_m*, diámetro normal (cm); *DB*, densidad básica (kg/m³); *Vel*, velocidad de propagación de la onda de impacto (m/s); *MOEd*, módulo de elasticidad dinámico (MPa); *Med*, valor medio de la variable; *CV*, coeficiente de variación de la variable (%).

Observamos que el coeficiente de variación de las variables de crecimiento tanto en las parcelas clonales como en las productivas es muy superior al de las variables descriptivas de propiedades tecnológicas de la madera lo que implica mayor estabilidad de las propiedades de madera.

2. Porcentaje de variabilidad explicada por el clon y por la parcela

Se ha observado que en la variable densidad básica, el clon explica el 45% de la variación, mientras que la parcela sólo explica el 12%. En el caso de Módulo de elasticidad, es la parcela la que explica el 45% de la variación y el clon explica el 28%.

Esto significaría que podríamos modular la densidad básica de la madera que entra en la industria mediante selección clonal y modular el módulo de elasticidad de dicha madera seleccionando bien dónde plantar.

3. Clones de interés en cuanto a propiedades tecnológicas de la madera

De todos los clones muestreados destaca Guardi como el que manteniendo un crecimiento anual superior a la media consigue altos valores de propiedades tecnológicas (Densidad básica y Módulo

de elasticidad superior a la media). Otros clones con buenas propiedades tecnológicas como Raspalje, Beaupré, Unal y 30BYR tienen crecimientos por debajo de la media. El Clon AF8 consigue valores de propiedades tecnológicas y crecimientos anuales ligeramente por encima de la media.

Tabla 4. Tabla con valores promedio de densidad básica (Db media) por clon.

Clon	n	Db media (Kg/m ³)	ES	min	max
39 BYR	18	395,2	4,331	386,7	403,7
UNAL	34	381,6	3,192	375,3	387,8
GUARDI	52	378,1	2,53	373,1	383
BEAUPRE	44	372,1	2,776	366,6	377,5
VESTEN	14	368,9	4,963	359,2	378,6
RASPALJE	68	358,7	2,207	354,4	363,1
TUCANO	30	356,5	3,378	349,9	363,1
AF8	76	352,1	2,08	348,1	356,2
HOOGVORST	70	347,2	2,158	343	351,5
ALERAMO	79	347,2	2,026	343,2	351,2
KOSTER	55	346,3	2,457	341,5	351,2
100 BYR	46	344,5	2,68	339,3	349,8
DIVA	79	338,3	2,03	334,3	342,2
SENNA	25	334,9	3,705	327,7	342,2
AF13	43	334,8	2,768	329,4	340,2
AF4	33	317,2	3,206	310,9	323,5
I-214	85	312,4	1,955	308,6	316,2

Tabla 5. Tabla con valores promedio de módulo de elasticidad dinámico (MOEd) por clon.

Clon	n	MOEd (N/mm ²)	ES	min	max
RASPALJE	69	6172	74	6027	6317
UNAL	35	6151	106	5942	6359
SENNA	29	6136	116	5909	6363
GUARDI	55	6069	83,4	5906	6233
BEAUPRE	44	6034	93,8	5850	6218
DIVA	80	5970	68,2	5837	6104
100 BYR	47	5805	90	5628	5981
HOOGVORST	73	5795	71,3	5655	5935
39 BYR	18	5743	146	5456	6030
AF8	77	5663	69,9	5526	5800
VESTEN	14	5606	168	5277	5934
TUCANO	30	5577	114	5353	5801
ALERAMO	82	5547	67,2	5415	5678
AF13	45	5522	91,6	5343	5702
KOSTER	58	5372	81,3	5213	5532
AF4	33	5339	108	5127	5552
I-214	86	4788	65,8	4659	4917

4. Mapa de variación de las propiedades tecnológicas de la madera en el área de distribución del chopo

La densidad básica, está influenciada fundamentalmente por el clon, la altitud y la densidad de plantación. En el caso del módulo de elasticidad dinámico se aprecia una elevada relación con

la actividad fotosintética al inicio del periodo vegetativo, representada por el Índice NDVI y GNDVI. Se muestran los estadísticos de bondad de ajuste de los modelos así como los gráficos de observados predichos, y de sus validaciones cruzadas.

Tabla 6. Estadísticos de bondad de ajuste de los modelos de predicción en base a datos remoto.

Variable	R ²	R ² _{CV}	RMSE	RMSE _{CV}	SWT	BPT	DWT	n
DB	0.94	0.82	3.81	6.52	0.51	-	-	13
MOEdb	0.75	0.62	360.5	437.3	0.53	0.48	0.09	14

Dónde: R², coeficiente de determinación del modelo; R²_{CV}, coeficiente de determinación de la validación cruzada del modelo; RMSE, raíz del error medio cuadrático del modelo; RMSE_{CV}, raíz del error medio cuadrático de la validación cruzada del modelo; SWT, test de Shapiro Wilk para la comprobación de la normalidad de los residuos; n, tamaño muestral; BPT, test de Breusch Pagan para la comprobación del supuesto de homocedasticidad de los residuos del modelo; DWT, Test de Durbin Watson para la detección de autocorrelación en los residuos.

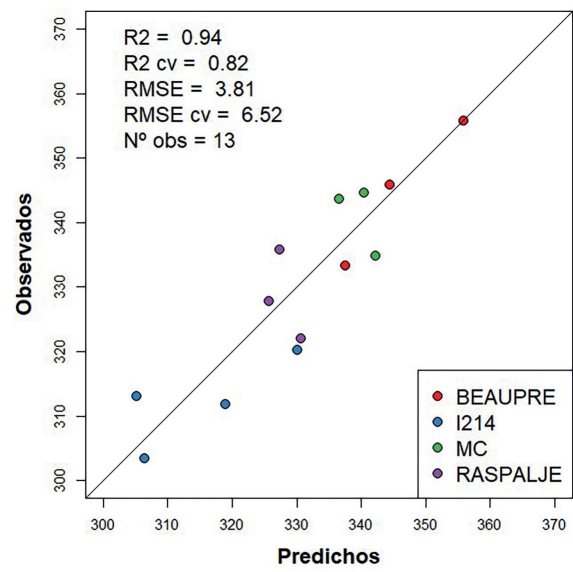
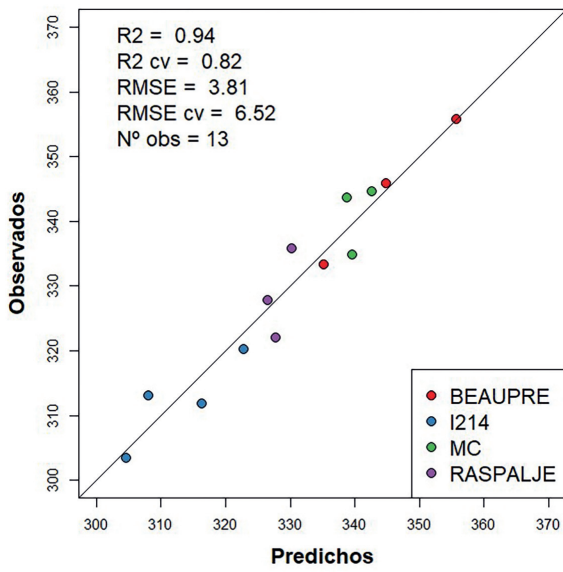
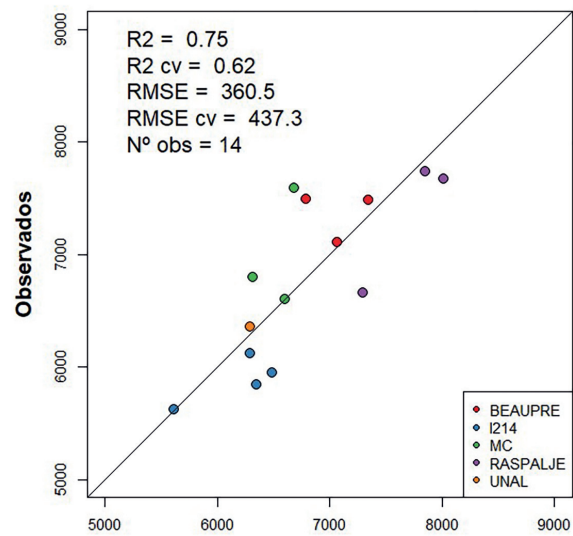
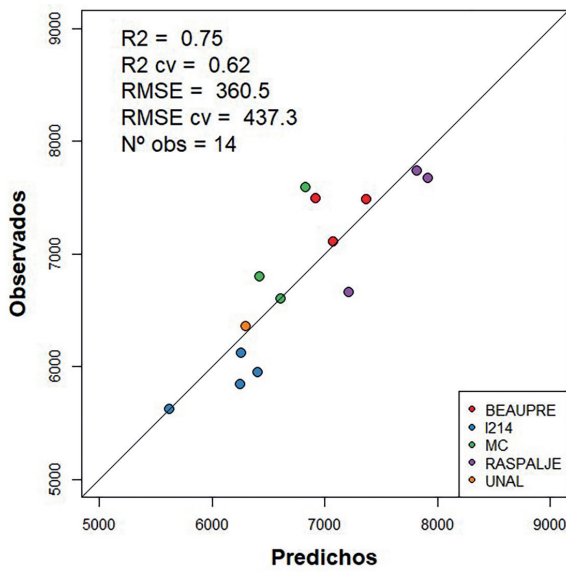


Figura 6. Gráficos de observados predichos del modelo de densidad básica (izquierda) y su validación cruzada (derecha).



En base a estos modelos, se pudo realizar una cartografía de predicción de propiedades tecnológicas basada en datos remotos. A continuación, se muestra un ejemplo de la cartografía de ambas variables (DB y MOEdb).

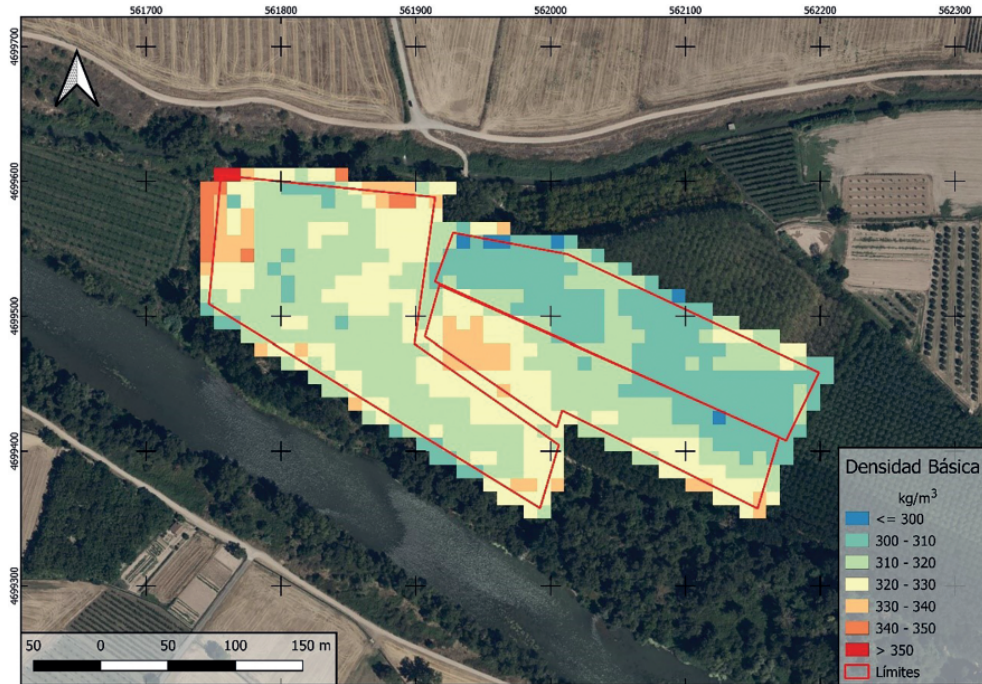


Imagen 1. Mapa de densidad básica de la madera de chopo.

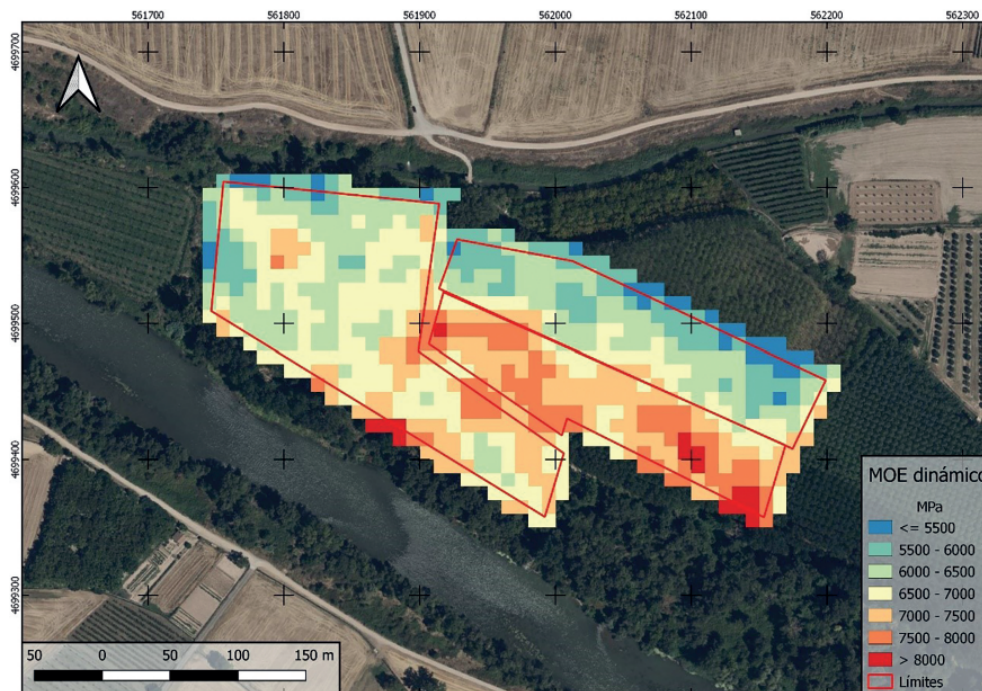


Imagen 2. Mapa de MOE dinámico de la madera de chopo.