Proyecto de Innovación: Puesta en valor del haya a partir de la innovación y la mejora de la competitividad de su cadena de valor monte-industria

MANUAL

RESULTADOS FINALES DEL PROYECTO

GRUPO OPERATIVO FAGUS

GO FAGUS

GRUPO OPERATIVO FAGUS

www.gofagus.es

El Grupo Operativo Fagus ha recibido para su proyecto de innovación una subvención de **562.446,82 €**. El importe del proyecto es cofinanciado al 80% por el **Fondo Europeo Agrícola de Desarrollo Rural (FEADER)** Y AL 20% por fondos de la **Administración General del Estado (AGE)**. La **Dirección General de Desarrollo Rural, Innovación y Formación Agroalimentaria (DGDRIFA)**, es la autoridad de gestión encargada de la aplicación de la ayuda del FEADER y nacional correspondiente. El Grupo Operativo Fagus es el organismo responsable del contenido.

Más información: **agriculture.ec.europa.eu/common-agricultural-policy/rural-development_es**
Comisión Europea. **https://agriculture.ec.europa.eu/common-agricultural-policy/rural-development_es** • Programa Nacional de Desarrollo Rural: **PNDR**

Edición: 1ª, marzo 2023

Tirada: 200 ejemplares

© Grupo Operativo FAGUS

Portada e imágenes de hayedos generadas mediante el programa
Wombo Dream de inteligencia artificial (https://dream.ai/)

Fotos: Elaboración propia

Proyecto de Innovación: Puesta en valor del haya a partir de la innovación y la mejora de la competitividad de su cadena de valor monte-industria

MANUAL

RESULTADOS FINALES DEL PROYECTO

GRUPO OPERATIVO FAGUS

GO FAGUS

Índice

1. SITUACIÓN ACTUAL DEL HAYA EN ESPAÑA Y SU MERCADO Y PERSPECTIVAS DE FUTURO 7
Introducción 7
Existencias y distribución. 8
Potencialidad de los hayedos en España y en Europa 13
Industria del haya en España y sus productos 15
Tendencias en la industria y corazón rojo 18
Importaciones y exportaciones de haya 19
Datos de cortas 23
Perspectivas generales y particularidades de cada territorio 28
Oportunidades y puntos fuertes del haya 31
Puntos débiles, cuellos de botella, necesidades y riesgos 33
Resumen del diagnóstico en modo DAFO 35
Conclusiones y propuestas de acción 36
Estudios previos relevantes 39

2. HERRAMIENTAS DE CÁLCULO Y CLASIFICACIÓN DE VOLÚMENES DE MADERA DE HAYA EN FUNCIÓN DE LAS CARACTERÍSTICAS MORFOLÓGICAS DEL ÁRBOL EN PIE, BASADAS EN EL USO DEL LIDAR AEROTRANSPORTADO, TERRESTRE Y FOTOGRAMETRÍA... 43
1.- Introducción y contexto. 43
2.- Alcance del Resultado. 43
3.- Metodología. 44
4.- Principales hitos alcanzados: 50
5.- Conclusiones. 62
6.- ANEXOS 63

3. LA CARTOGRAFÍA DE PROPIEDADES TECNOLÓGICAS DE LA MADERA DE HAYA. UNA REALIDAD A OPTIMIZAR, AL SERVICIO DEL SECTOR FORESTAL Y DE LA MADERA. 87
Introduccción 87
Tipología de parcelas sobre las que se realiza el ensayo 88
Evaluación en campo de MOE dinámico y densidad básica de haya 90
Modelos de predicción de MOE dinámico y densidad básica de las masas forestales de haya 91
Integración de resultados en herramienta GIS 93
Verificación eficacia de la herramienta GIS y validación con los datos reales 95
Validación con datos reales 97
Validación de clasificación por Módulo de elasticidad y densidad básica en base a datos reales obtenidos en tabla procesada en laboratorio tras ensayo a flexion 102
Conclusión 103

4. ACOMPAÑAMIENTO EN LA TRANSFORMACIÓN DIGITAL DE LOS REMATANTES DE HAYA MEDIANTE ADAPTACIÓN DE HERRAMIENTA DE TRAZABILIDAD, PARA MEJORAR EL SEGUIMIENTO Y RENDIMIENTO DE SUS APROVECHAMIENTOS.....105
Resumen 105
Situación de partida y estrategia de acompañamiento 105
La vía directa: aplicación de trazabilidad adaptada a rematantes 106
La vía indirecta: aplicación de seguimiento de pilas de madera en aprovechamientos 109

5. ESTÁNDARES DE CLASIFICACIÓN VISUAL Y TECNOLÓGICA DE MADERA EN ROLLO OBTENIDOS SEGÚN DESTINOS Y ANÁLISIS ECONÓMICO POR RENDIMIENTOS 115
Introducción 115
Metodología 115
Resultados 118
Calidades de madera 120
Conclusiones..... 125

6. CARACTERIZACIÓN ESTRUCTURAL (*FAGUS SYLVATICA*) 127
Material y metodología 127
Resultados 130

7. CLASIFICACIÓN VISUAL DE MADERA EN PIE. FAGUS SYLVATICA.....133
Tabla estandarizada para la clasificación visual de madera de haya en pie 133
Guía práctica para la clasificación visual de calidad de madera de haya en pie. 135

8. MODELOS PREDICTIVOS DE LA MADERA DE CALIDAD DE FAGUS SYLVATICA A PARTIR DE INFORMACIÓN LIDAR Y SIMULACIONES ECONÓMICAS DE ITINERARIOS SELVÍCOLAS 155
1. Introducción..... 155
2. Material y métodos 156
3. Resultados 160
4. Simulaciones y los balances económicos para los itinerarios selvícolas propuestos. 167

9. EVALUACIÓN DE PRODUCTOS QUE MÁS APORTAN A LA VALORIZACIÓN DEL HAYA Y A LA BIOECONOMÍA CIRCULAR Y DEFINIR EL MARCO DE GESTIÓN FORESTAL ORIENTADA A ELLOS.....209
Introducción 209
Bioeconomía circular 210
El haya -bosques y madera- en la bioeconomía circular 212
Productos de madera de haya..... 214
Productos de haya y su influencia en la bioeconomía circular 219
Recomendaciones selvícolas orientadas a los productos que más valor aportan a la Bioeconomía circular 224
Conclusiones 232

10. PASOS DE FABRICACIÓN DE LVL 235
Origen y transformación de la materia prima 235
Proceso de fabricación..... 237
Fase de ensayos..... 240
Resultados 241
Discusión de resultados 242
Conclusiones 243

1. SITUACIÓN ACTUAL DEL HAYA EN ESPAÑA Y SU MERCADO Y PERSPECTIVAS DE FUTURO

Autores
David Lasala Sánchez. Agresta S. COOP.
David García Castillo. Agresta S. COOP.

Colaboradores
Jose Luís Villanueva. CESEFOR
Alberto León Pérez. CESEFOR

INTRODUCCIÓN

Este documento se ha elaborado en el marco del proyecto del Grupo Operativo "GOFAGUS" con el objetivo de contar con una referencia documental sobre la situación del haya (*Fagus sylvatica* L.) en España y sus perspectivas de futuro. El Grupo Operativo "GOFAGUS" trabaja para revalorizar económicamente los hayedos a través de herramientas optimizadas, la gestión, clasificación y el desarrollo de nuevos productos. Se trata de un proyecto de innovación cofinanciado por el Fondo Europeo Agrícola de Desarrollo Rural (FEADER) y los fondos de la Administración General del Estado (AGE) y cuenta con la participación de entidades con conocimiento y actividad en toda la cadena de valor, desde la gestión de los hayedos hasta el aprovechamiento forestal y su transformación en productos.

Durante la gestación de este proyecto se ha constatado la ausencia de una publicación de referencia o monografía sobre esta especie a nivel nacional a pesar de su relevancia histórica y forestal en muchas regiones de nuestro país. Se cuenta con información dispersa, entre las que destaca datos de IFN, portal web "Distrito forestal", estadística forestal del MITECO, datos provenientes de agencia tributaria en referencia a aduanas, y con los conocimientos de las entidades socias y colaboradoras de este proyecto. Se ha visto por tanto la necesidad de crear una referencia documental que además de servir de apoyo para este proyecto, como fuente común y sintetizada de información, ayude a cubrir este hueco sobre el haya en España en el contexto actual, considerando toda la cadena de valor y desde una perspectiva que contemple también la escala europea.

La utilidad de este documento es contar con una recopilación y síntesis de lo existente, a partir de fuentes publicadas, desde la perspectiva de la gestión y revalorización del haya. Se ha llevado a cabo un importante trabajo de revisión bibliográfica y documental.

Se ha completado la información con las aportaciones de actores clave de la cadena de valor en diferentes regiones, que dan una visión a partir de su experiencia práctica y como actores implicados o con responsabilidades en algún punto de la cadena de valor del haya, desde la gestión hasta la transformación industrial. Esta información se ha extraído a partir de conversaciones, entrevistas y ponencias organizadas a lo largo del proyecto, así como textos que se han solicitado sobre la cuestión a determinadas personas de referencia.

Por último se recogen los retos, oportunidades, barreras junto con un DAFO y unas conclusiones finales que pretenden dar luz para la toma de decisiones y aportarán nuevas palancas de acción.

Este documento se integra dentro de los objetivos y resultados del proyecto GOFAGUS cuyo fin es la "Revalorización del haya a partir de la innovación y la mejora de la competitividad de su cadena de valor monte-industria".

Redactado con la esperanza que mueva conciencias y mueva a la sensibilización y a la acción en todos los eslabones del sector del haya en España.

EXISTENCIAS Y DISTRIBUCIÓN.

1. En España

La distribución del haya en España se sintetiza muy bien en las regiones de procedencia pueden consultarse en Agúndez et al. (1995) y en Alía et al. (2009):

Distribución de *Fagus sylvatica* y Regiones de Procedencia de sus materiales de reproducción. 1.- Galicia y Sierra Ancares. 2.- Cordillera Cantábrica Occidental. 3.- Cordillera Cantábrica Meridional. 4.- Litoral Astur-Cantábrico. 5.- Cordillera Cantábrica Oriental. 6.- Cuenca del Alto Ebro. 7.- Litoral Vasco-Navarro. 8.- Aralar, Urbasa-Entzia. 9.- Pirineo Occidental. 10.- Sierras Exteriores de Navarra. 11.- Valle de Arán. 12.- Pirineo Central. 13.- Pirineo Oriental. 14.- Cordillera Litoral Catalana. 15.- Puertos de Beceite. 16.- Moncayo. 17.- Sistema Ibérico. 18.- Sierra de Ayllón. (Alía *et al.*, 2009).

Según el Informe de 2014 sobre el estado del Patrimonio Natural y de la Biodiversidad en España (Ministerio de Agricultura y Medio Ambiente)[1] los hayedos **en España** ocupan una superficie de **387.775 hectáreas**, equivalente al **2,12% de la superficie forestal arbolada**.

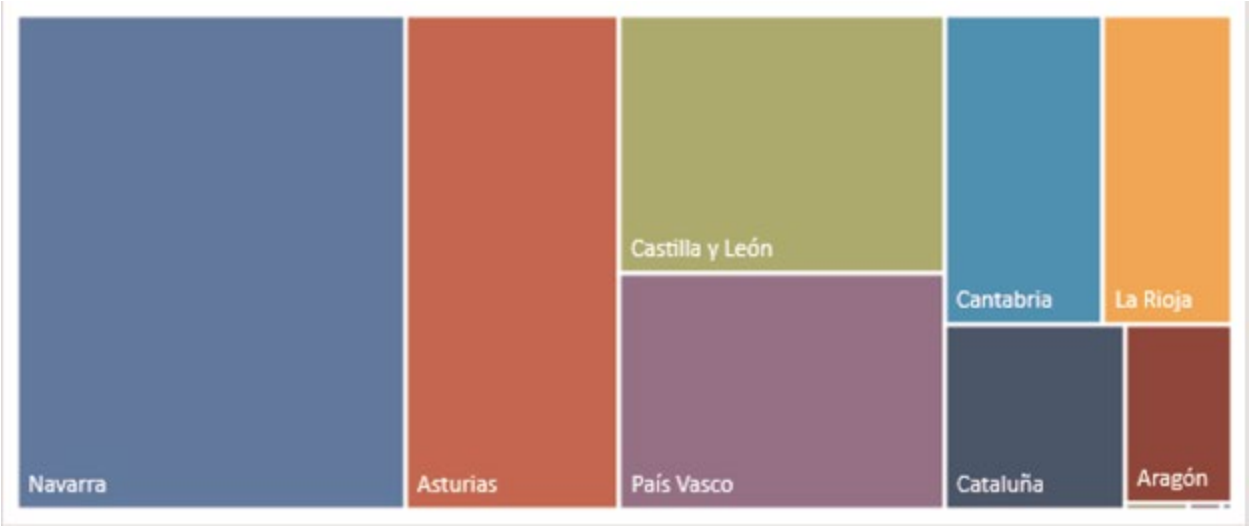
Según el último informe del IFN[2] los hayedos presentan un dato global de las existencias de: 164 m^3/ha de media y **63.556.486 m^3** totales.

El 50% de la superficie se concentra entre Navarra y Asturias.

1 Informe 2014 sobre el estado del Patrimonio Natural y de la Biodiversidad en España. Ministerio de Agricultura y Medio Ambiente.

2 https://www.miteco.gob.es/es/biodiversidad/temas/inventarios-nacionales/hayedos_tcm30-153850.pdf

Peso de las CAA con respecto a la superficie de los hayedos de España



Elaboración propia.
Fuente: https://www.miteco.gob.es/es/biodiversidad/temas/inventarios-nacionales/hayedos_tcm30-153850.pdf

Tabla. Superficie de hayedo por CC.AA

CC.AA.	superficie (ha)	superficie con respecto al total (%)
Navarra	124.195	32%
Asturias	68290	18%
Castilla y León	54.178	14%
País Vasco	49.641	13%
Cantabria	31.759	8%
La Rioja	25.555	7%
Cataluña	21.533	6%
Aragón	12.201	3%
Castilla La Mancha	256	0,07%
Galicia	133	0,03%
Madrid	35	0,01%
TOTAL	387.776	100%

Fuente: https://www.miteco.gob.es/es/biodiversidad/temas/inventarios-nacionales/hayedos_tcm30-153850.pdf

Para tener una idea general de lo complicado que puede ser gestionar en una provincia u otra, se han analizado dos factores que los redactores consideramos importantes: las pendientes y la inclusión o no en Espacios Naturales Protegidos (ENP):

Como se observa en la siguiente tabla donde se ha cruzada la información de superficie de hayedo con la de ENP, para las provincias que más hayedos tienen o más haya cortan, **cerca del 50% de la superficie de los hayedos están incluido en algún ENP. Destacan la Rioja y León.**

En la misma tabla se muestra la relación de superficie de hayedo según rangos de pendiente del terreno, para las provincias que más hayedos tienen o más haya cortan. **El 50% de los principales hayedos están en pendientes menores del 45%.** El 25% de los hayedos tiene pendientes que permiten una explotabilidad, a priori (sin tener en cuenta accesos y red viaria), fácil.

Destaca Álava por su alto porcentaje en pendientes menores del 30%.

Asturias claramente es la provincia que más difícil lo tiene por pendientes.

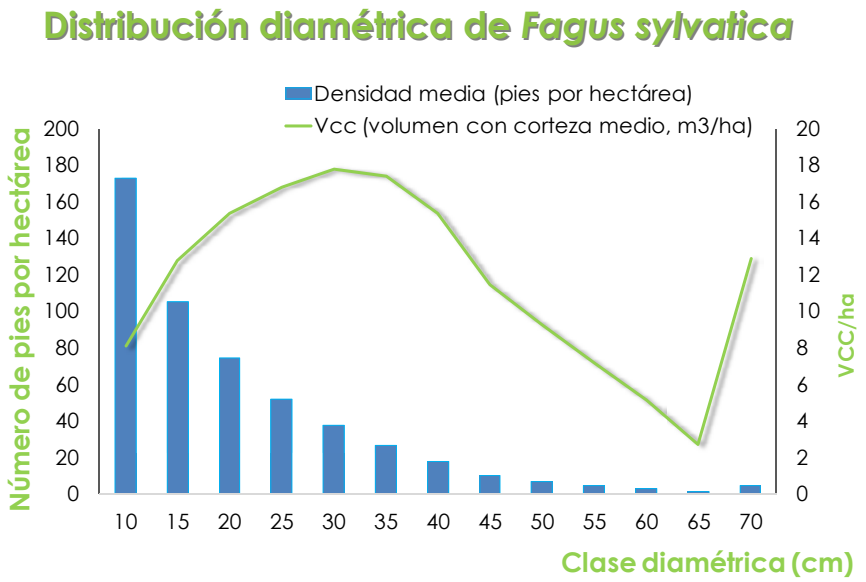
Tabla. Porcentaje con respecto a la superficie de las principales provincias con hayedos que tienen hayedos dentro o fuera de algún Espacio Natural Protegido (ENP) y distribución de la superficie por rangos de pendientes:

	pendientes (%)			ENP		
Provincia	<30%	30-45%	> 45%	dentro de ENP	fuera de ENP	
Álava	55%	25%	20%	25%	75%	menos condicionantes
Asturias	8%	19%	73%	67%	33%	más condicionantes
Burgos	36%	27%	37%	15%	85%	menos condicionantes
Girona	16%	26%	58%	71%	29%	más condicionantes
Gipuzkoa	18%	29%	53%	60%	40%	
La Rioja	22%	32%	46%	86%	14%	
León	15%	30%	55%	88%	12%	más condicionantes
Navarra	38%	28%	34%	14%	86%	menos condicionantes
PROMEDIO PROVINCIAS MÁS IMPORTANTES	26%	27%	47%	53%	47%	

Fuente: Elaboración propia. Pendientes: Cruce de cartografía MFE25[3] con haya como especie principal, con cartografía MDT25m del IGN. ENP: Cruce de cartografía MFE25[4] con haya como especie principal, con cartografía ENP_2019. Fondo verde representa: bajos condicionantes. Fondo azul representa altos condicionantes.

Analizando ENP y pendientes a la vez, se interpreta que, a priori y generalizando mucho, Asturias, Girona y León son las tres provincias más condicionantes tienen a la hora de gestionar los hayedos. En cambio, Álava, Burgos y Navarra tendrían menos condicionantes.

Según el Informe de 2014 sobre el estado del Patrimonio Natural y de la Biodiversidad en España (Ministerio de Agricultura y Medio Ambiente)[5] indica que la distribución diamétrica de las masas de haya en España es la siguiente:



Fuente: https://www.miteco.gob.es/es/biodiversidad/temas/inventarios-nacionales/hayedos_tcm30-153850.pdf

3 https://www.miteco.gob.es/es/cartografia-y-sig/ide/descargas/biodiversidad/mfe.aspx

4 https://www.miteco.gob.es/es/cartografia-y-sig/ide/descargas/biodiversidad/mfe.aspx

5 Informe 2014 sobre el estado del Patrimonio Natural y de la Biodiversidad en España. Ministerio de Agricultura y Medio Ambiente.

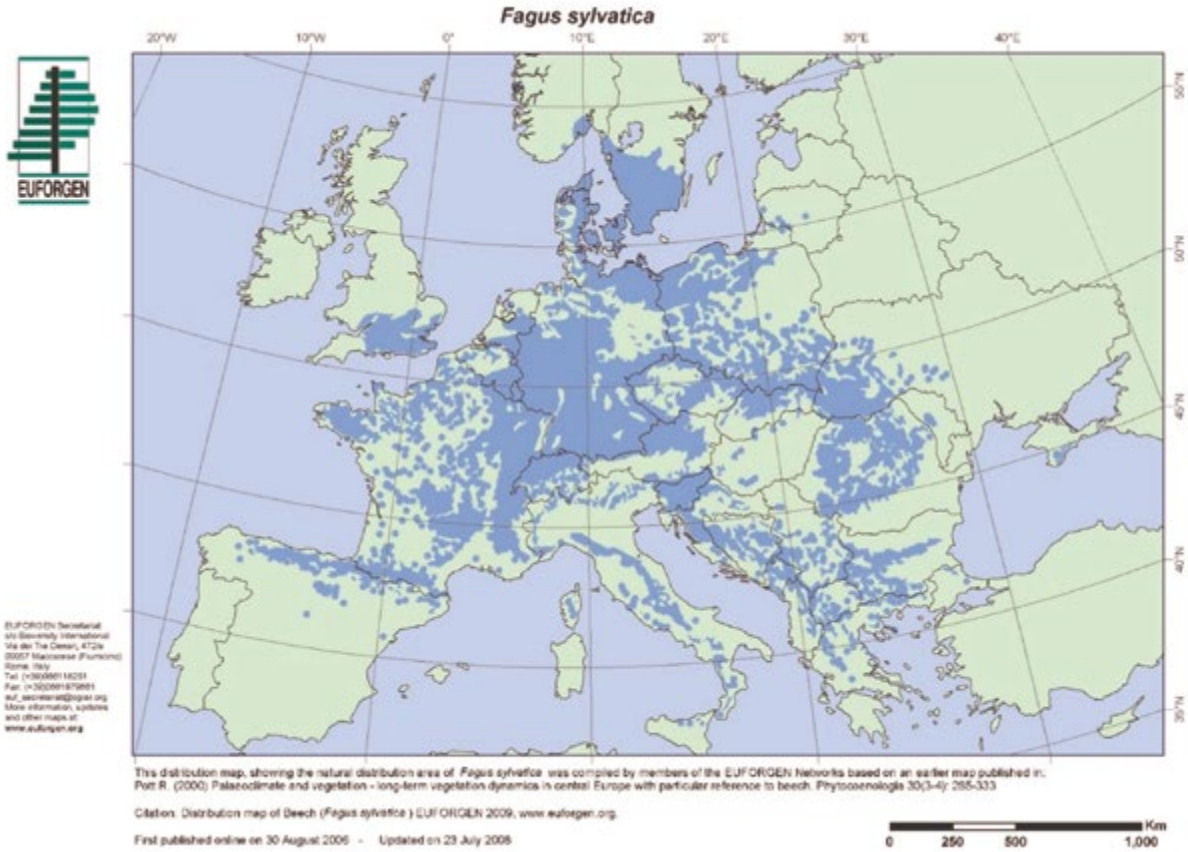
Analizando esta gráfica interpretamos que **en España hay pocos árboles con pies mayores de 30 cm,** que son los pies potenciales (requisito básico) para poder obtener de ellas trozas para ser aserradas.

El **crecimiento medio de los hayedos según el IFN es de 4 m³/ha-año**. Según el compendio de selvicultura aplicada en España, el rango de crecimientos está entre 2 y 6 m³/ha-año.

Según análisis de los datos de "superficie forestal por estrato y propiedad" del IFN2, el régimen de propiedad de los hayedos a nivel nacional es aproximadamente **4% del estado o de CCAA, 76% son de Utilidad pública y un 20% particular**.

2. En Europa y análisis comparativos hayedos Europa vs hayedos España

La distribución de haya en Europa se aprecia bastante bien en el siguiente croquis elaborado por EUFORGEN (European Forest Genetic Resources Programme)[6]:



De similar manera, puede que más preciso, en el informe "Fagus sylvatica in Europe: distribution, habitat, usage and threats"[7] viene recogido a nivel europeo la distribución, hábitat y ecología, importancia y usos, amenazas y enfermedades del haya en Europa. En el siguiente mapa se puede apreciar la distribución del haya en Europa con el grado de probabilidad relativa de presencia:

El haya común (*Fagus sylvatica* L.) ocupa un gran territorio en Europa[8] con 12 millones de hectáreas (Armand, 2002), dato posiblemente desactualizado que en la actualidad es mayor[9]. El haya en Alemania es la

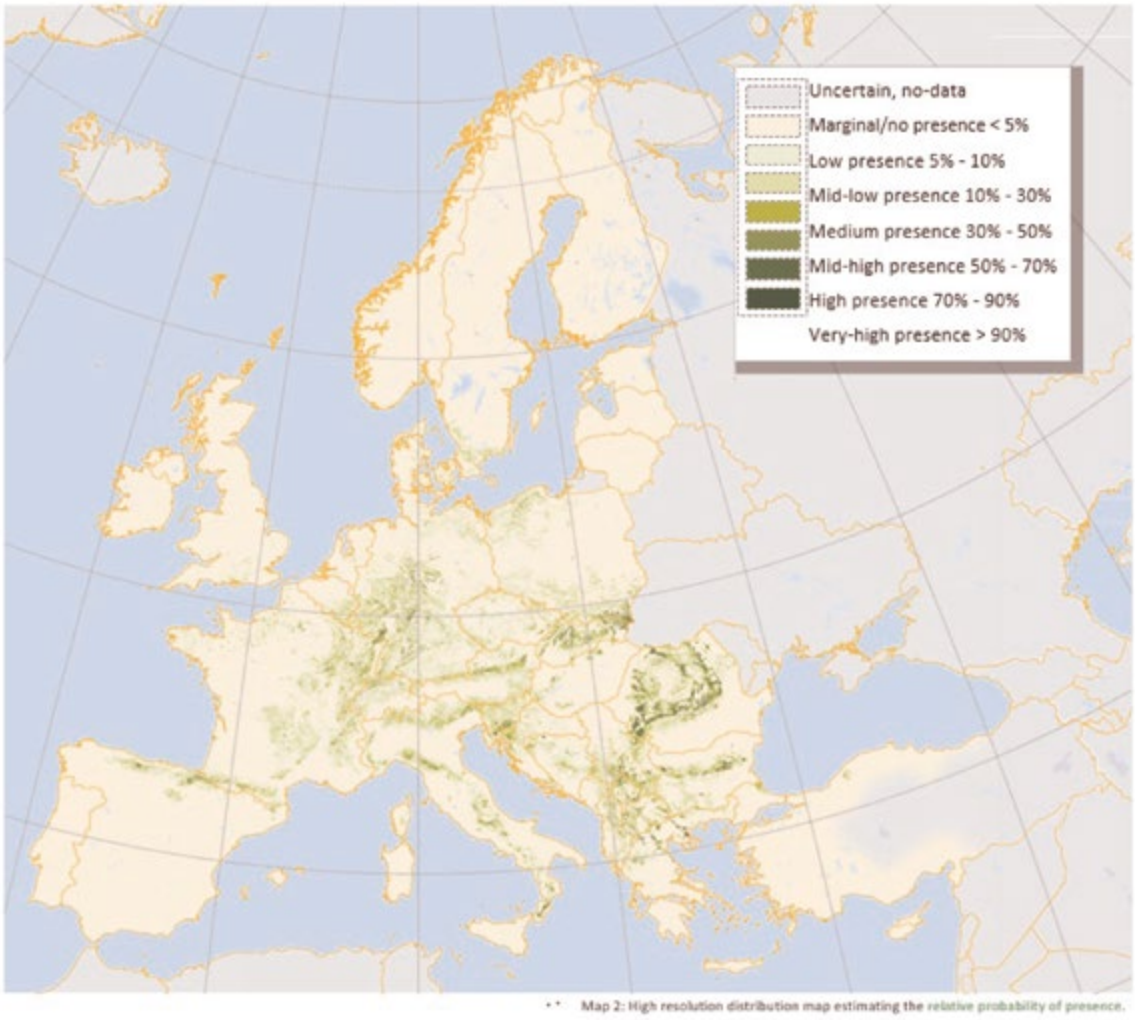
6 Technical guidelines for genetic conservation and use Fagus sylvatica. European beech. Georg von Wühlisch. Federal Research Institute for Rural Areas, Forestry and Fisheries, Institute for Forest Genetics, Germany. Publicación EUFORGEN http://www.euforgen.org/fileadmin//templates/euforgen.org/upload/Publications/Technical_guidelines/Technical_guidelines_Fagus_sylvatica.pdf

7 Houston Durrant, T., de Rigo, D., Caudullo, G., 2016. Fagus sylvatica and other beeches in Europe: distribution, habitat, usage and threats. In: San-Miguel-Ayanz, J., de Rigo, D., Caudullo, G., Houston Durrant, T., Mauri, A. (Eds.), European Atlas of Forest Tree Species. Publ. Off. EU, Luxembourg, pp. e012b90

8 DUPLAT P., ROMAN-AMAT B., 1996. Sylviculture du hêtre. ONF. Bulletin Technique nº 31, 29-33

9 No se ha conseguido el dato actualizado de superficie ocupada por haya en Europa.

Figura: Mapa de distribución de alta resolución que estima la probabilidad relativa de presencia (High resolution distribution map estimating the relative probability of presence)



Fuente: Houston Durrant, T., de Rigo, D., Caudullo, G., 2016. Fagus sylvatica and other beeches in Europe: distribution, habitat, usage and threats. In: San-Miguel-Ayanz, J., de Rigo, D., Caudullo, G., Houston Durrant, T., Mauri, A. (Eds.), European Atlas of Forest Tree Species. Publ. Off. EU, Luxembourg, pp. e012b90

especie principal: representa el 17% del volumen de madera en pie y 15% en superficie. (Becker et al., 2005). En Francia, es la segunda especie principal con 1,3 millones de hectáreas o el 9% de la superficie forestal francesa (Armand, 2002, p. 16)10. En Croacia, Rumania y Eslovenia el haya es económicamente la especie arbórea más importante, representando el 36%, 31,5% y 31% de la composición de especies arbóreas, respectivamente. En Eslovaquia ocupa el 30% de la superficie forestal. En Austria, Chequia y Polonia, el porcentaje de esa especie arbórea es menor, 10%, 7% y 5,5%, respectivamente. (Kożuch, A.; Banaś, J. The Dynamics of Beech Roundwood Prices in Selected Central European Markets. *Forests* 2020, *11*, 902. https://doi.org/10.3390/f11090902).

Según los datos de FOREST EUROPE, 2020: State of Europe's Forests 2020[11] el haya ocupa el cuarto lugar en cuanto a existencias europeas, con un peso del 11,9%, es decir, hay aproximadamente 4.163 millones de m^3 [12] de haya en Europa[13].

Frente a los 63.556.486 m^3 que indica el IFN para España, **los hayedos españoles representan el 1,5% de las existencias de hayedo en Europa**[14].

10 Téngase en cuenta que los datos de Francia, Alemania o Europa citados son del 2002 y los datos de IFN4 son de al menos 2008 en adelante.

11 FOREST EUROPE, 2020: State of Europe's Forests 2020

12 Habiendo en Europa, según mismo informe, unas existencias en madera (entre todas las especies) de 34.983 millones de m^3 totales.

13 Cuando hablamos de Europa, hablamos de Europa-continente, no Europa-27.

14 Esta cifra puede parecer muy baja. De todas formas hay que considerar que según el mismo informe de "Forest Europe 2020" las existencias totales de los países "sur-oeste" (España, Italia y Portugal) solo aportan el 3% de las existencias totales de Europa.

Tabla comparativa existencias (en m³) de los hayedos en países europeos

País	m³ de haya	% de existencias europeas de haya por país	% de existencias españolas de haya en comparación con la existencias de cada país
Alemania	635.000.000	15,3%	10%
Francia	288.000.000	6,9%	22%
Polonia	166.000.000	4,0%	38%
Eslovaquia	139.000.000	3,3%	46%
Eslovenia	105.000.000	2,5%	61%
Austria	100.000.000	2,4%	64%
España	**63.556.486**	**1,5%**	
Chequia	41.000.000	1,0%	
Europa	4.162.977.000		

Fuente: Elaboración propia

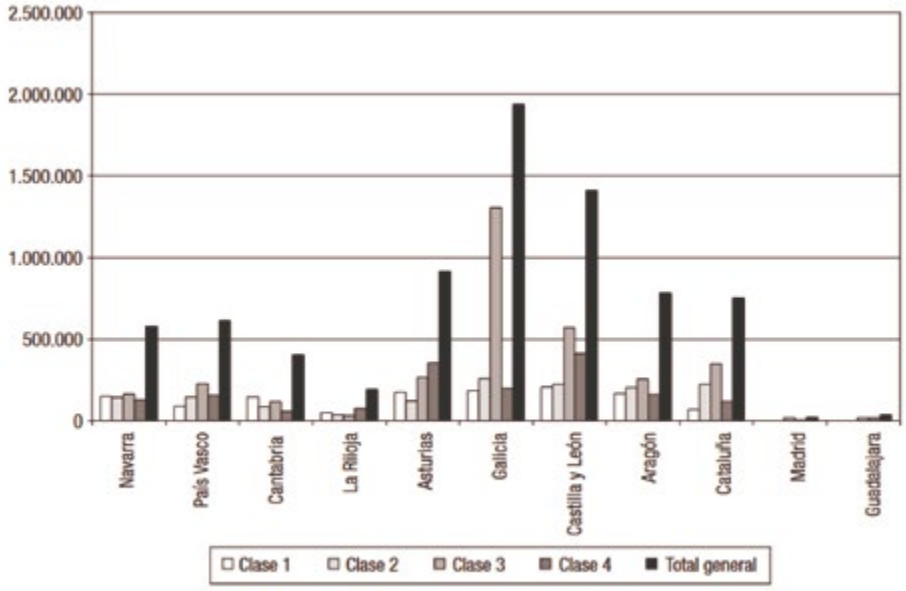
Estos datos arrojan información de que las existencias de España de haya, son una décima parte de lo que hay en Alemania o una quinta parte de las francesas.

Frente a las 387.776 hectáreas de España según indica el IFN, **los hayedos españoles representan el 3% de la superficie de hayedos de Europa, o equivalen al 30% de los hayedos franceses.**

Si España tiene un peso en los hayedos europeos, en volumen del 1,5% y en superficie del 3%, esto indica que los hayedos españoles tienen la mitad de existencias que los hayedos europeos.

POTENCIALIDAD DE LOS HAYEDOS EN ESPAÑA Y EN EUROPA

Según "las estaciones ecológicas de los hayedos españoles" de Gandullo et al. 2004[15], Galicia que apenas tiene hayedos podría tener una superficie potencialmente adecuada de 2 millones de hectáreas (recordemos que la superficie actual española no supera las 400 mil hectáreas), Castilla y León cerca de 1,4 millones. O en Cantabria, donde más de la mitad de la superficie potencial (aunque fuera la cuarta CCAA con menos extensión) tendría valores de potencialidad óptima y alta.



Reparto del hábitat potencial del haya por comunidades autónomas.

Fuente: Gandullo JM, Blanco A, Sánchez Palomares O et al. 2004. Las estaciones ecológicas de los hayedos españoles. Monografías Serie Forestal 8, INIA, Madrid.

15 Gandullo JM, Blanco A, Sánchez Palomares O et al. 2004. Las estaciones ecológicas de los hayedos españoles. Monografías Serie Forestal 8, INIA, Madrid.

Mucha bibliografía apunta al haya como especie dinámica con clara expansión en superficie:

La superficie y las existencias de los hayedos en Europa central han ido en aumento en los últimos años. Los estudios han revelado una expansión en el volumen a nivel de rodal. También informes de Eslovaquia, Alemania, Austria y Polonia han indicado incrementos cuantitativos y de volumen para el haya, así como altos niveles de regeneración en los rodales de haya.

La comparativa entre IFN indica lo mismo en España. Los gestores españoles y los propietarios privados con superficie de hayedo son conscientes y acreditan (en conversaciones y jornadas hechas en el proyecto GOFAGUS) como el haya se instala tanto en terrenos abandonados como bajo otras especies.

En cambio, literatura concreta (y de los últimos años) sobre cambio climático avisa del riesgo de pérdida de hábitat potencial del haya en los próximos años. Como ejemplo, bastante visual, el estudio francés "Modelización del área de distribución actual de haya (izquierda) y extrapolación del área distribución de haya en 2100 (derecha)" Según Landmann et al., 2008, recogido en "Sylviculture du hêtre commun (Fagus sylvatica L.) en réponse à la demande des transformateurs primaires dans un contexte dechangement climatique". Jéremy Cours, 2017.

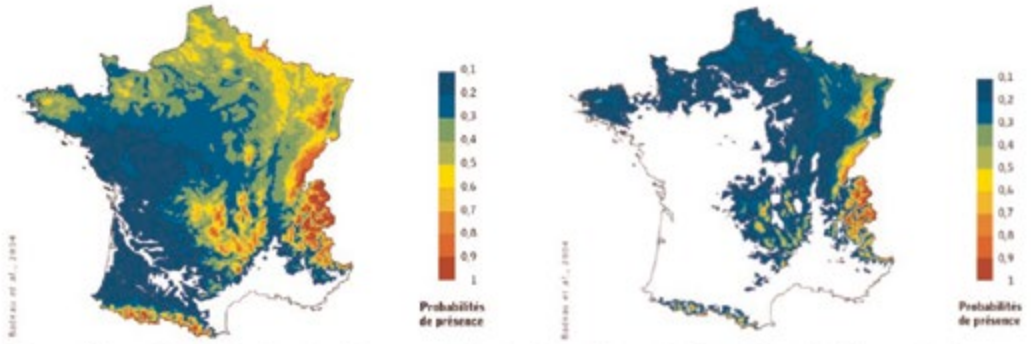


Figure 19 : « Modélisation de l'aire actuelle de répartition du hêtre (Aurelhy) (gauche) et extrapolation de l'aire de répartition du hêtre en 2100 (Arpège) (droite) » D'après Landmann et al., 2008.

Fuente : Landmann et al., 2008. Extraído de "Sylviculture du hêtre commun (Fagus sylvatica L.) en réponse à la demande des transformateurs primaires dans un contexte dechangement climatique". Jéremy Cours, 2017.

Teniendo en cuenta el cambio climático, cabe señalar que las temperaturas altas y los niveles de precipitación más bajos favorecerán una mayor expansión del haya en Europa central, probablemente extendiendo sus rangos horizontales y altitudinales. Por otro lado, según algunos escenarios climáticos, en el sur de Europa y en la región sur de Europa central (como el que muestran las figuras anteriores), es probable que el crecimiento de los hayedos se ralentice y que algunos rodales de hayas retrocedan debido a su susceptibilidad a las sequías al comienzo de la temporada vegetativa[16].

Además, parece que el cambio climático no solo afectará a su potencial de distribución si no también, y a pesar de aplicar una silvicultura dinámica, a una disminución del crecimiento y de la calidad de la madera, pues según (Bouriaud et al., 2004)[17] un hayedo presente en una estación que soporta déficits hídricos en junio-julio y con una temporada tardía de lluvia, será muy difícil proporcionar madera de calidad, no muy densa.

Dicho todo esto, los redactores nos quedamos con la incertidumbre de qué va a pasar, en el norte de la península ibérica, con los hayedos en los próximas décadas.

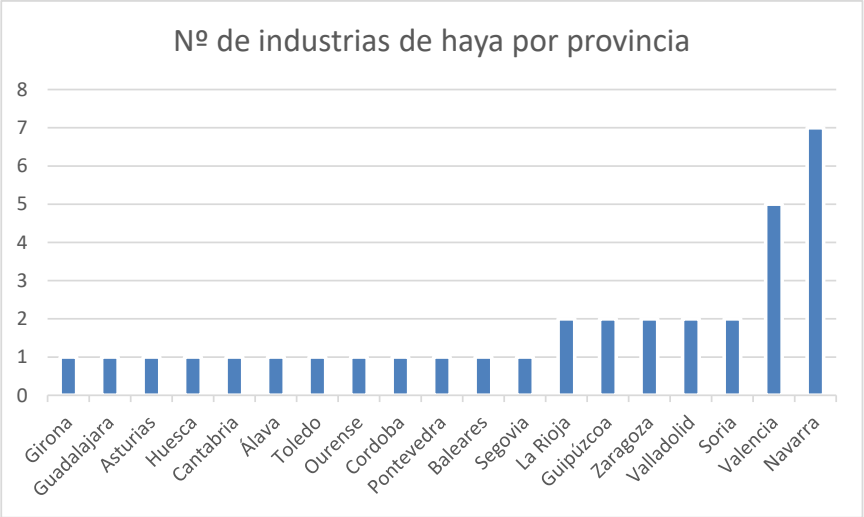
16 Kożuch, A.; Banaś, J. The Dynamics of Beech Roundwood Prices in Selected Central European Markets. Forests 2020, 11, 902. https://doi.org/10.3390/f11090902

17 Bouriaud, Olivier & Breda, Nadia & Moguedec, Gilles & Nepveu, Gérard. (2004). Modelling variability of wood density in beech as affected by ring age, radial growth and climate. Trees - Structure and Function. 18. 264-276. 10.1007/s00468-003-0303-x.

INDUSTRIA DEL HAYA EN ESPAÑA Y SUS PRODUCTOS

1. Industria asociada a la madera de haya en España

Según fuentes de registro de empresas en maderea.es las industrias de transformación o venta más relevantes en relación a la madera de haya en España son 34 empresas y se distribuyen por el territorio nacional de la siguiente manera:



Fuente: Elaboración propia

Destacan las provincias de Navarra y Valencia.

En Navarra hay 8 industrias de primera transformación y 10 rematantes de haya. Desde Navarra también se lleva madera transformada a Levante y Andalucía.

Tabla: Industrias relacionadas con la madera de haya en España según maderea.es

NOMBRE	ACTIVIDAD RELACIONADA CON EL HAYA	LOCALIZACIÓN
ELABORADOS Y FABRICADOS GÁMIZ S.A.	Aserrada-nacional, Suelo de tarima, Tablero alistonado, Autoclave, Vigas laminadas...	Álava
SIERO LAM S.A.	Aserrada-nacional, Aserrada-importación. Suelo de tarima, Suelo de exterior, Tablero de partículas...	Asturias
MADERAS PLANELLS	Aserrada-nacional, Aserrada-importación	Baleares
EL SITIO DEL CARPINTERO	Estructuras de madera, Mobiliario a medida	Cantabria
REPRESENTACIONES DE MADERA PEREZ FERNANDEZ SL	Puertas blindadas, Puertas de interior. Aserrada-nacional, Aserrada-importación, Suelo de tarima...	Córdoba
MADEGESA	Aserrada-nacional, Suelo de tarima, Estructuras de madera, Vigas laminadas	Girona
MH PARQUETS	Suelo de parquet, Suelo de exterior, Revestimientos de madera...	Guadalajara
EKMADE EGURRAK SL	Aserrada-nacional, Madera en rollo-nacional	Guipúzcoa
SERRERIA GOIKOETXEAUNDIA SL	Aserrada-nacional, Madera estructural	Guipúzcoa
INDUSTRIA DE LA MADERA PESQUER SL	Fabricación de escaleras, barandillas y revestimientos de madera a medida. Venta de productos de fabricación propia tales como pasamanos y otros torneados	Huesca

NOMBRE	ACTIVIDAD RELACIONADA CON EL HAYA	LOCALIZACIÓN
MADERAS DOMINGO RUIZ	Compra-venta de madera y leña.	La Rioja
IREGUA CHAPA Y TABLEROS S.A.	Chapas y Tableros, lamas y largueros para somieres, tableros de madera contrachapada de pino, chopo y haya de origen certificado.	La Rioja
MADERAS USARBARRENA SL	Especializados en madera de HAYA, aserradero del tronco en tablón de todas las calidades y grosores y piecerío de todas las medidas, destinados a la industria del mueble y del embalaje.	Navarra
NISA MANUFACTURAS NICOLÁS SL	Aserrada-nacional, Tablero alistonado...	Navarra
MADERAS LEGARDA	Aserrada-nacional, Leña	Navarra
BARBIUR SL	Aserrada-nacional, Madera en rollo-nacional, Aprovechamientos forestal	Navarra
MADERAS EDERRA SL	aserrado del tronco en tablón de todas las calidades y grosores y piecerío de todas las medidas, destinado todo ello a la industria del mueble	Navarra
MADERAS MARTINEZ JURIO HNOS	Aserrada-nacional, Aserrada-importación, Suelo de tarima	Navarra
MADERGIA	Madera estructural, Estructuras de madera	Navarra
MADERAS SAN MARTÍN	Aserrada-nacional, Aserrada-importación,	Ourense
MADERAS J.REDONDO, SL	Aserrada-importación	Pontevedra
JUSTO HERRERO GONZALEZ SA	Aserrada-importación	Segovia
TRANSPORTES DIEGO Y MARTA SL	Madera en rollo-nacional, Aprovechamientos forestal	Soria
SABINA Y MADERAS DE SORIA S.L	Madera en rollo-nacional	Soria
TARIMAS TOLEDO S.L.	Fabricantes de Tarimas y Parquets macizos.	Toledo
MADERAS TROPICALES COMAT S.C.V.	Aserrada-importación, Madera en rollo-importación, Embalaje industrial, Pallets estándar, Pallets especiales…	Valencia
MADERAS Y CHAPAS BLANQUER	Almacén de maderas y chapas naturales. Aserradero de madera propio	Valencia
LIENZONE VALENCIA IMPORTACIÓN MADERA EUROPEA	Venta de chapa de desenrollo de haya	Valencia
MAJOFESA MADERAS	Aserrada-importación	Valencia
CHAPAS NOBLES, S.L.	Chapa-importación	Valencia
MADERAS FERNÁNDEZ GARRIDO, S.A	Aserrada-nacional, Aserrada-importación, Suelo de tarima, Tablero de fibras...	Valladolid
MADERAS FERNÁNDEZ GARRIDO, S.A	Aserrada-nacional, Aserrada-importación	Valladolid
MADERAS LITORSA	Aserrada-nacional	Zaragoza
GASPER PAVIMENTOS SL	Suelo multicapa	Zaragoza

Fuente: elaboración propia

2. La madera de haya.

I. Características, usos y productos.

Las características tecnológicas de la madera de haya, según varias fuentes[18] son:

a) Densidad (kg/m^3): 692-710-750
b) Dureza (Chaláis-Meudon) 4,0: madera semidura[19]
c) Densidad aparente al 12% de humedad 730 kg/m^3: madera pesada.
d) Resistencia a flexión estática 1100 kg/cm^2
e) Módulo de elasticidad 145.000 kg/cm^2
f) Resistencia a la compresión 580 kg/cm^2
g) Resistencia a la tracción paralela 1200 kg/cm^2
h) Flexión dinámica (J/cm^2): 4,4-8,8-12,0.
i) Coeficiente de contracción volumétrico 0,51 %: madera nerviosa.
j) Relación entre contracciones 2,05%: con tendencia a deformarse.

La madera de haya es dura, pesada y de tonalidades claras.

Tiene una textura uniforme, y la finura de su grano permite un pulido muy delicado. Además, la elegancia de sus anillos formando dibujos irregulares hace que sea una madera de gran belleza y distinción.

Tiene buenas aptitudes para obtener chapa por desenrollo mediante corte a la plana. Tiene también buenas aptitudes de escopleado, mortajado y taladrados visibles en el mecanizado, tallado, curvado y torneado. En cuanto a la mecanización: el aserrado es fácil aunque con riesgo de deformaciones; el secado es difícil y lento con riesgo de fendas. El cepillado, encolado clavado y atornillado es fácil.

Además tiene buenas aptitudes para la impregnación: gracias a ella, se puede destinar a usos en construcción (se estropearía si no admitiese los tratamientos adecuados).

Tiene alto poder calorífico y arde rápido, por eso también es apreciada como leña.

No tiene casi olor y es apreciada para todo tipo de útiles de cocina.

Tiene un color característico crema pálido, si bien puede variar del tono blanquecino al marrón. Con el tiempo la madera de haya natural adquiere cierta tonalidad rojiza, aunque sigue conservando su esencia blanquecina.

Es muy frecuente someterla a un proceso de vaporizado - exponer la madera al vapor de agua a una temperatura de vaporizado de 90º – 100º durante uno o dos días- que la oscurece alcanzando tonos rojizos anaranjados. Es lo que se conoce como madera de **haya vaporizada**, y es curioso que son muchas las personas que piensan que este es el color natural del haya. Este tratamiento previo al secado libera parcialmente las tensiones internas (disminuye su carácter nervioso), disminuye el módulo de elasticidad, reducen los riesgos de deformación de la madera -uno de sus grandes inconvenientes- y no influye en la duración total del secado.

En el secado presenta una tendencia fuerte a torcerse y a abrirse apareciendo fendas. El tiempo del secado de la madera de haya varía dependiendo del grosor, donde podemos encontrar variaciones de tiempo de entre cuatro a doce meses.

Un defecto significativo es el falso corazón rojo debido a ataque cromógeno (del que hablamos más adelante).

La madera de haya es apreciada en trabajo de construcción, pero no en exteriores salvo pretratamiento con barnices protectores.

En definitiva, es una madera que permite que se use tanto para elementos estructurales como para trabajos finos y delicados.

18 Se han utilizado varias fuentes para describir las propiedades de la madera del haya: a) Compendio de Selvicultura aplicada en España. Fagus sylvatica L." (de Rafael Serrada, Gregorio Montero y José A. Reque, 2008, INIA; maderea https://www.maderea.es/madera-de-haya-propiedades-y-caracteristicas/; Gabarró https://www.gabarro.com/es/enciclopedia-madera/haya2; Gamiz https://www.grupogamiz.com/maderas/haya/ Maderame: https://maderame.com/enciclopedia-madera/haya/

19 Su dureza es tal que antiguamente se utilizaba en minería para confeccionar raíles antes de que se introdujera el hierro fundido. Fuente: Gamiz https://www.grupogamiz.com/maderas/haya/

En términos generales, según bibliografía consultada, el haya europea tiene mejores propiedades que el haya española: es algo menos densa, sin embargo, más resistente y con mejores propiedades elásticas y mecánicas. Es también ligeramente más oscura.

II. Usos pasados, actuales e innovadores

La madera de haya se ha utilizado para carpintería interior, molduras, mobiliario y ebanistería, muebles curvados (silla y mesas especialmente), chapas, mangos de herramientas, hormas de zapatos, pequeños utensilios, juguetes, instrumentos musicales, clavijas. Se ha utilizado con frecuencia para las traviesas de ferrocarril (previa imprimación) pero no como apeas de mina debido a su capacidad de torsión. En el norte de España se ha utilizado para carretería. Con sus cenizas ricas en potasa se empleaban como "lejías" (en la montaña cantábrica). También se producía brea o creosota de haya procedente de la destilación de la madera. También el fruto o el tanino, aceite de hayuco, incluso se usaban brotes tiernos como verdura. En centro y este de Europa el serrín remojado y tostado lo mezclaban con harina para hacer pan. También han servido de alimentación al ganado porcino (Oria, 2003). Destacaba en la elaboración de yugos, para arados y distintas herramientas agrícolas, o para cubetas o barriles de madera de haya para leche (Kaiku) o para guardar la harina, el vinagre y las salazones. También destacaba su uso en construcción naval: desde fabricar quillas de grandes barcos de madera, remos[20]. Evidentemente también ha tenido grandísimo uso para leña y hacer carbón.

Para más información sobre usos tradicionales del haya se recomienda consultar la ficha de Fagus sylvativa elaborada por Menendez Baceta, Gorka, Manuel J. Macía, Ramón Morales, Javier Tardío y Manuel Pardo de Santayana, para el Inventario Español de los Conocimientos Tradicionales relativos a la Biodiversidad.
https://www.miteco.gob.es/es/biodiversidad/temas/inventarios nacionales/iect_fagus_sylvatica_tcm30-164145.pdf

Actualmente se emplea[21] para mobiliario interior, contrachapados y todo tipo de piezas de ebanisterías y carpintería, en parqués, tarimas, puertas, revestimientos, en fabricación de mangos de herramientas, fabricación de instrumentos musicales (desde elementos básicos de percusión como claves o baquetas y en ocasiones clavijeros de piano), palas, remos, poleas, hormas de zapatos, perchas, tableros de ajedrez, peonzas, juguetes de todo tipo, zuecos o almadreñas, chapa para recubrimientos decorativos, utensilios de cocina, artículos deportivos (como bates de béisbol o remos), para fabricar pasta de papel, tableros de fibras y partículas, tableros alistonados y elementos estructurales (LVL[22], perfiles o vigas laminadas).

La leña de haya es excelente. Se estima su carbón.

Entre las aplicaciones más características de la madera de haya se encuentran las hélices de avión y llantas para coches.

Aún está en fase de innovación, implantación en España y en cualquier caso es poco conocido, pero la madera de haya puede ser utilizada con éxito en materiales estructurales (con tecnología aplicada) como la madera laminada estructural, madera microlaminada (LVL) y madera contralaminada (CLT). Por ejemplo, según la empresa francesa Lineazen, especializada en la fabricación de paneles de CLT (la cual ha patentado el sistema constructivo xEN-x que se apoya en la tecnología CLT-C (Cross Laminated Timber Composite)) el haya, en este producto, es un 20 % más resistente que el abeto (especie habitual en la CLT).

De carácter innovador resulta sugestivo comentar el uso de la madera de haya, en forma microlaminada, en la estructura de los cuadros de las bicis[23] por una empresa guipuzcoana (TXIRBIL, Zerian).

TENDENCIAS EN LA INDUSTRIA Y CORAZÓN ROJO

Como se ha visto se está innovando en el uso del haya en madera laminada para usos estructurales. Nuevos diseños en interiorismo y construcción con madera de haya son los escenarios que más podrían crecer y más madera absorber.

20 ELABORACION DE REMOS DE MAR Y EXTRACCION DE MADERA PARA NAVIOS REALES EN LOS MONTES DE GORBEA (ALAVA), PAIS VASCO. DOCUMENTOS VARIOS. (S.XVII-XVIII). José Iturrate. KOBIE (Serie Antropología Cultural). Bilbao Bizkaiko Foru Aldundia-Diputación Foral de Bizkaia. N.º X, pp. 117-128, 2001/2/3. ISSN 0214-7971

21 En algunos casos en bajas proporciones bajas o en mezcla con otras especies.

22 Madera microlaminada o LVL (Laminated Veneer Lumber)

23 https://madera-sostenible.com/madera/txirbil-sorprende-al-mercado-con-sus-bicicletas-de-madera/

La tendencia en la industria[24] es hacia el haya ligera vaporizada, de color rosado pálido con tonalidades más uniformes demandadas por la industria.

Según el proyecto de innovación FOR BEECH: "Soluciones innovadoras para un mejor procesamiento de la madera de haya con duramen rojo (2004-2007)"[25] el corazón rojo del haya es un obstáculo para la competitividad, debido a que casi todas las madereras y los consumidores asocian la madera de haya con su color tradicional, el blanco. Por eso la madera de haya pierde valor en el mercado cuando tiene duramen rojo, sobre todo por motivos estéticos.

Este equipo se propuso aumentar la cantidad de madera blanca extraíble de hayas con duramen rojo, crear un proceso para minimizar el desteñimiento y ampliar el mercado para productos con duramen rojo.

Para optimizar la extracción de madera de haya blanca, los investigadores desarrollaron un módulo de software que detecta automáticamente el duramen rojo empleando un prototipo de sistema optoelectrónico que es capaz además de detectar defectos en la madera. La combinación de este módulo con un proceso óptimo de serrado podría mejorar en alto grado la cantidad y la calidad de la madera blanca de haya aprovechable.

El consorcio también desarrolló tratamientos optimizados de evaporación, secado e iluminación ultravioleta para homogeneizar más el color de la madera sin afectar su calidad.

Finamente, los científicos evaluaron el uso del duramen rojo en diversos productos de alto valor añadido, incluyendo vigas «glulam» (pegadas y laminadas), las cuales se usan con frecuencia en casas y otros edificios para soportar el techo sin estar escondidas, y «termomaderas» (maderas térmicamente modificadas) que frecuentemente se usan para recubrimientos exteriores, terrazas y muebles expuestos a la intemperie.

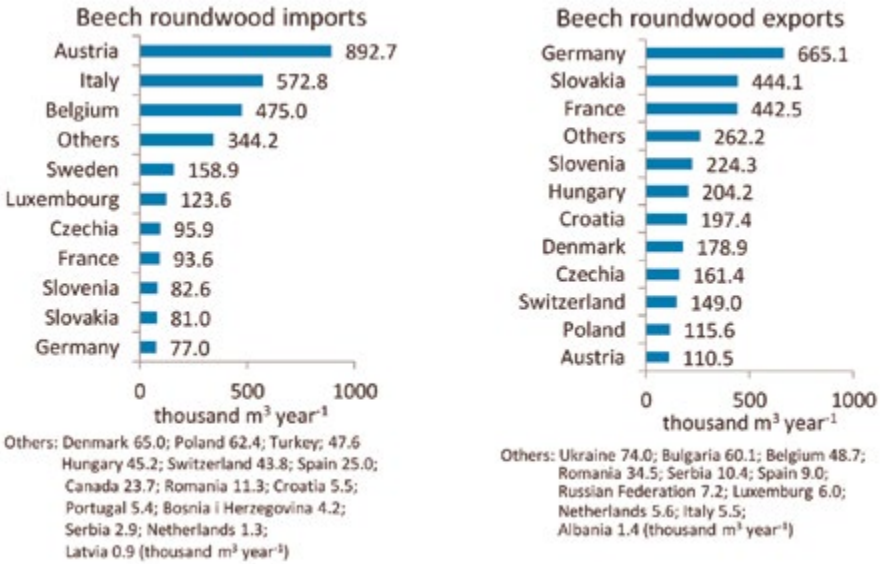
Además concluyeron que los bajo costes y el diseño moderno son dos factores de motivación claves para lograr que la industria y los consumidores superen su reticencia a esta madera.

Para más información sobre el corazón rojo del haya se recomienda consultar Holger Wernsdörfer. Analysing red heartwood in Beech (*Fagus sylvatica* L.) related to external tree characteristics - towards the modelling of its occurrence and shape at the individual tree level. Life Sciences [q-bio]. ENGREF (AgroParisTech), 2006. English.

IMPORTACIONES Y EXPORTACIONES DE HAYA

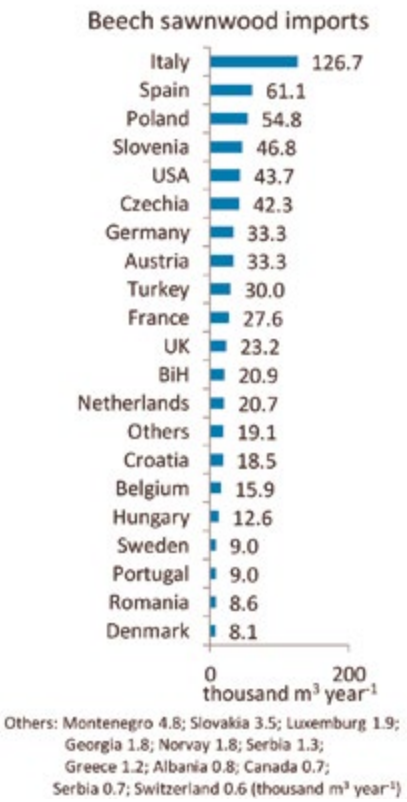
Las siguientes graficas muestran la situación del mercado de la madera de haya en Europa, donde se ve la importación y exportación tanto de madera aserrada como de madera en rollo. Como se observa, en España se importa un gran **volumen de madera aserrada de haya, unos 61.100 m³ al año. En contraste, la madera aserrada exportada son unos 2.400 m³ al año. En cuanto a madera en rollo de haya, se importa 25.000 m³ al año y es exportada 9.000 m³/año:**

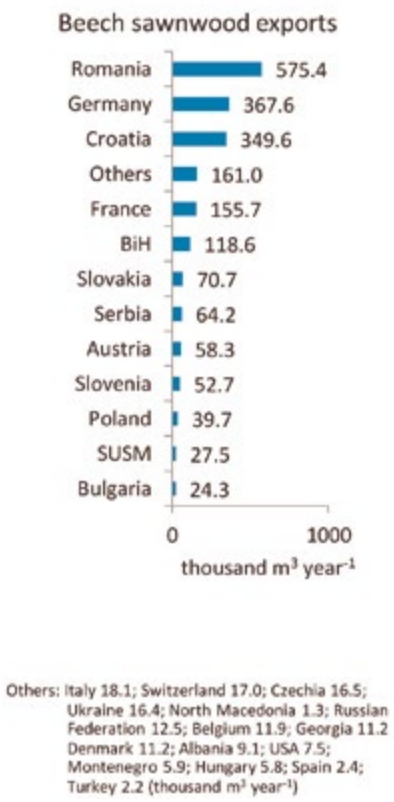
Figura: Volumen de exportaciones e importaciones de haya de madera en rollo y madera aserrada por país en los años 2001-2018 https://www.mdpi.com/1999-4907/11/9/902/htm



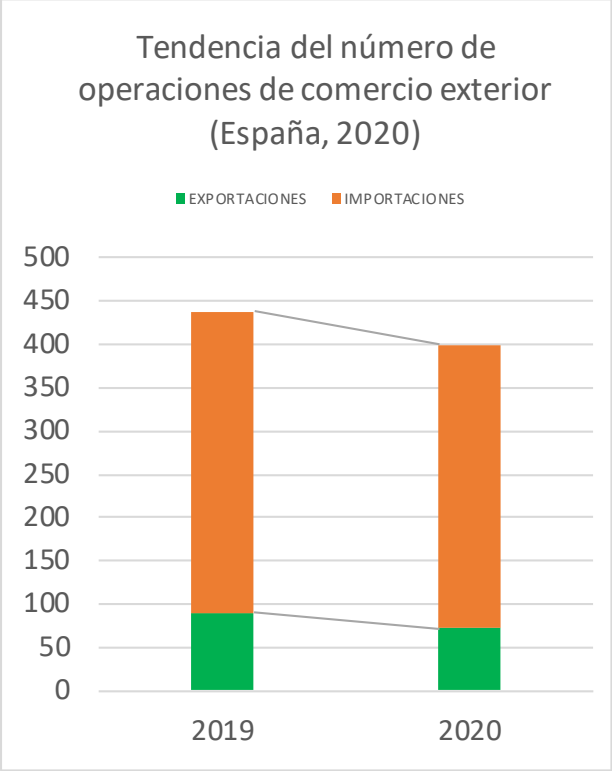
24 de la madera del haya

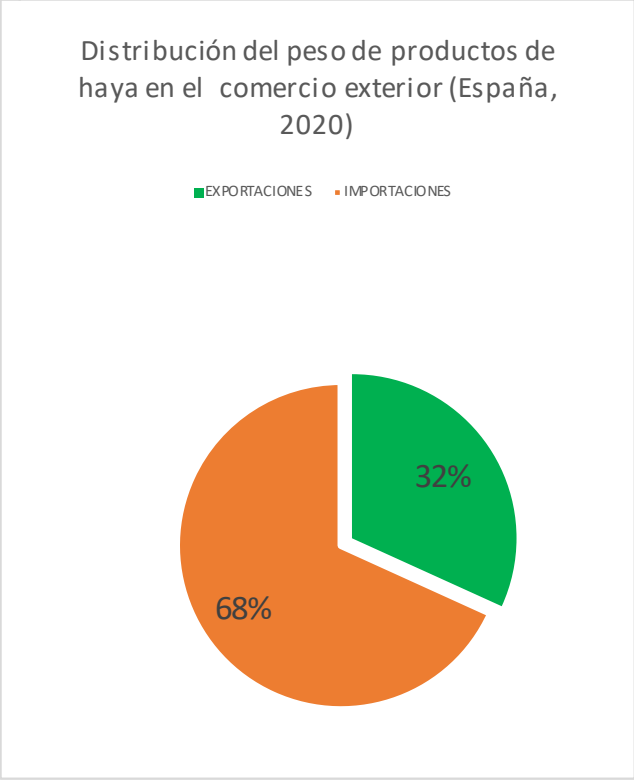
25 https://cordis.europa.eu/article/id/89139-enhancing-the-position-of-the-european-beech-industry/es

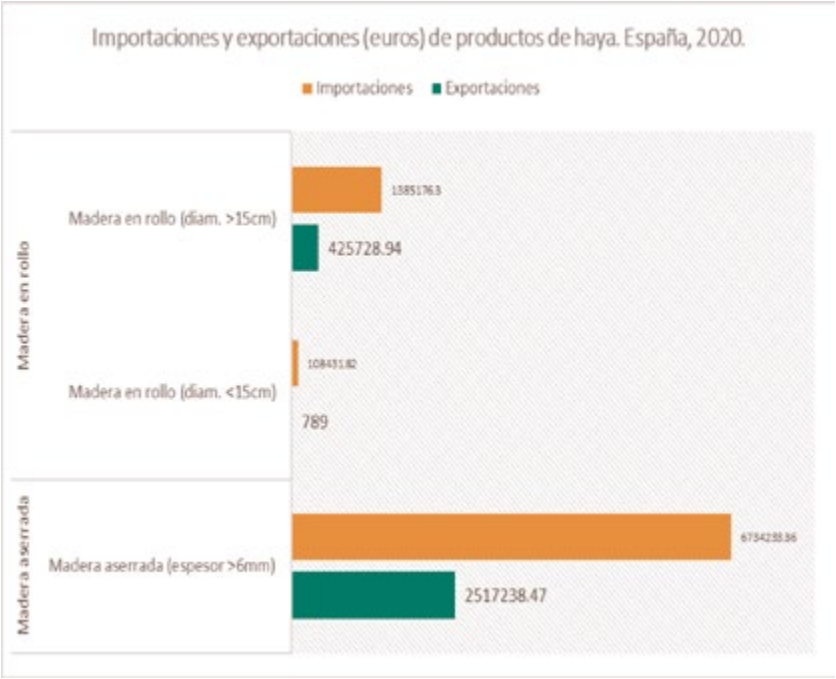




Con datos más recientes, del año 2020 en concreto, según datos obtenidos de agencia tributaria en referencia a aduanas sabemos qué operaciones de exportación e importación de haya se realizan en España, en relación con Europa, en cuanto a madera aserrada, madera en rollo con diámetro mayor a 15cm y con diámetro menor a 15cm.



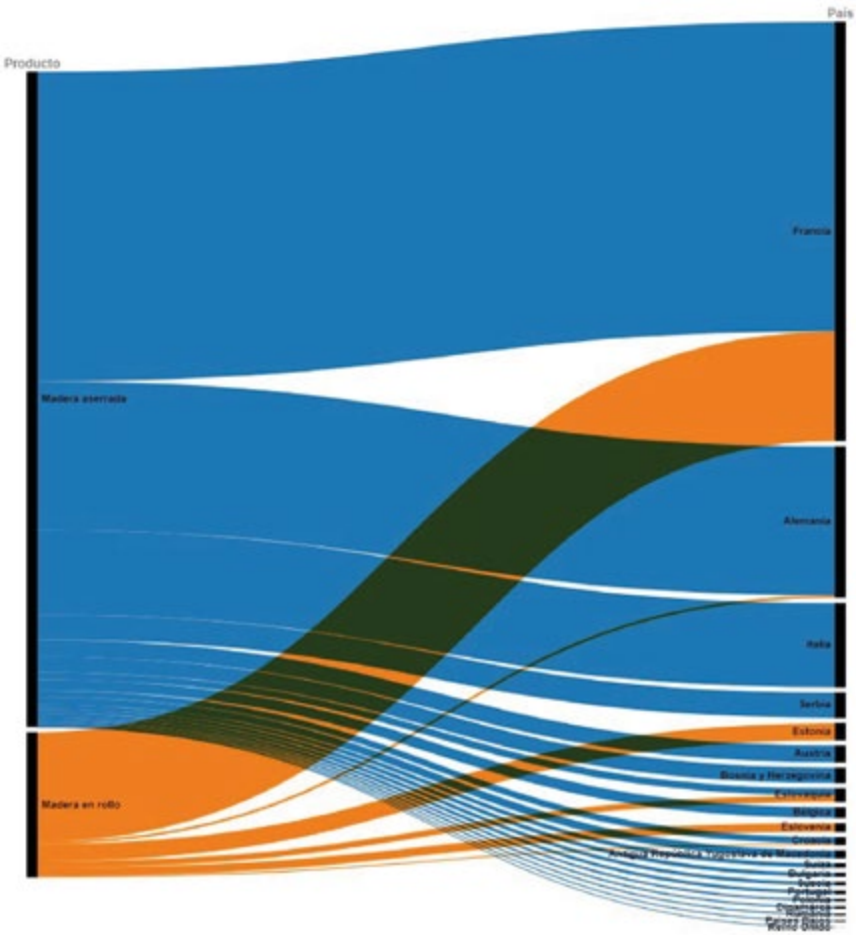




De media, en los dos últimos años (2019 y 2020) **en España se realizan más de 400 transacciones al año de madera de haya, por un valor medio en importaciones de casi 8,9 millones de euros al año y en exportaciones 3,2 millones de euros al año .**

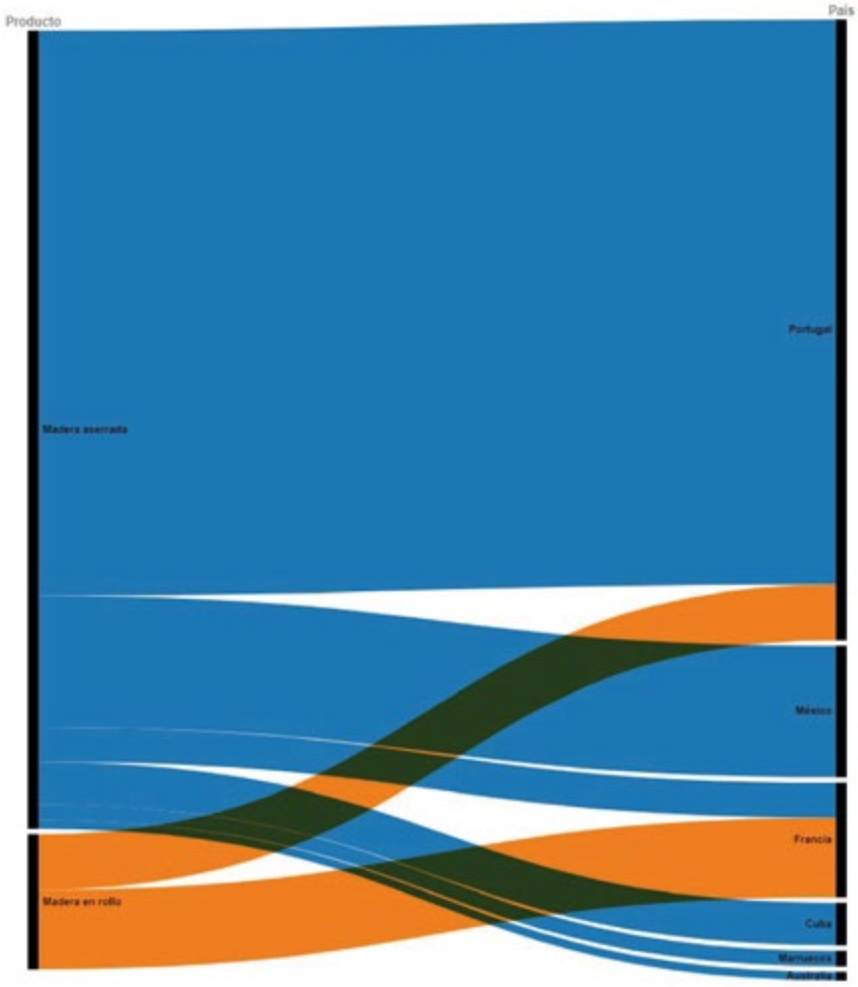
En el año 2020, **los países de los que más importamos madera de haya son Francia (cerca del 50%), seguidas de Alemania e Italia** (19% y 11% respectivamente). La gran mayoría -el 81%- (en valor monetario) fue madera aserrada:

Figura: Valor monetario de las importaciones de madera de haya, España, 2020.



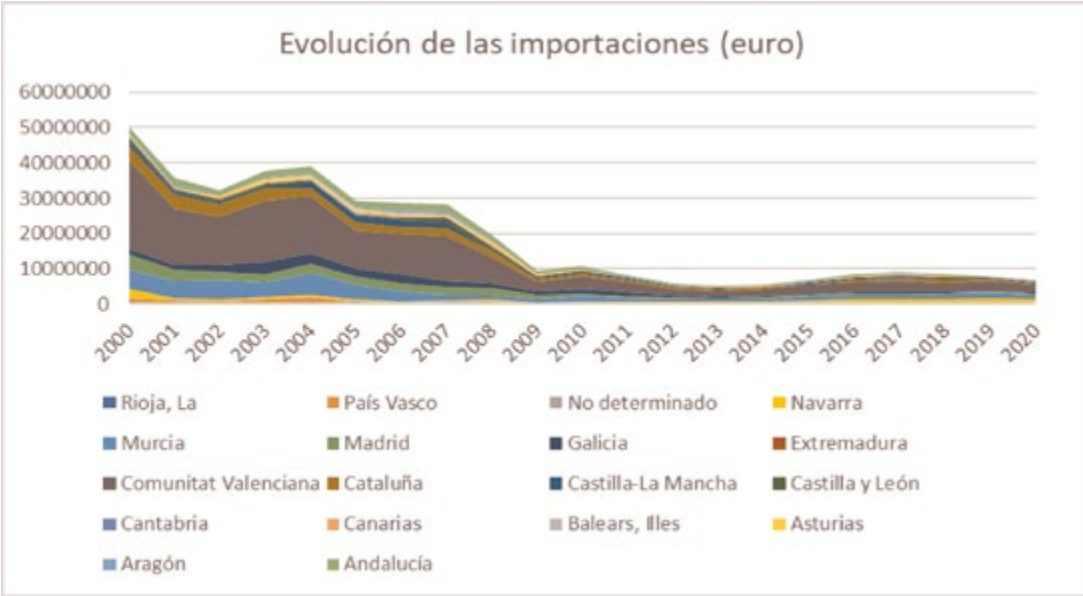
En 2020, los países a los que más exportamos madera de haya desde España fueron a **Portugal (cerca del 60%), seguidas de México y Francia** (14% y 12% respectivamente), donde la gran mayoría -el 86%- (en valor monetario) fue madera aserrada:

Figura: Valor monetario de las exportaciones de madera de haya, España, 2020.



A través del análisis de información proporcionada por agencia tributaria en referencia a aduanas se han obtenido datos de la evolución de las importaciones y exportaciones de madera de haya por comunidades autónomas:

Figuras: Evolución de importaciones y exportaciones (en valor monetario, €) por CCAA entre los años 2000 y 2020



Se observa un nivel de importaciones muy alto hasta el año 2007, pero en dos año pega un bajonazo, para no volver a recuperarse en los 10 últimos años. Se intuye que las importaciones sufren tal caída posiblemente provocado por "la crisis económica española del 2008"26 y la consecuente bajada de la actividad industrial española. **Estos datos pueden indicar que aún la industria del haya no se ha recuperado o que se ha destruido sin encontrar reemplazo.**

En cuanto a las exportaciones han fluctuado aunque se observa una tendencia positiva en los últimos 10 años. Destaca con un número importante de exportaciones la comunidad autónoma de **Navarra como mayor exportador en España**, pero según épocas también destacan La Rioja, País Vasco y Cataluña. Curiosamente entre 2013-2019 Asturias tuvo cierto peso en la exportación de haya.

Llevado a un ejemplo a nivel provincial de principios de los años 90, para la CCAA que más hayedo hay y más se corta, según el Plan Forestal de Navarra, las importaciones frente a la producción de haya en Navarra fue:

Tabla: Importaciones a Navarra de madera de haya 1900-1994.

Año	Haya	
	Producción (m^3)	Importación (Tn)
1990	54.148	96.237
1991	59.164	62.652
1992	65.899	53.575
1993	88.541	36.265
1994	92.479	48.897

Fuente: Plan Forestal de Navarra

Según ADEMAN[27] y la Adm. Forestal Navarra, la mayoría de las importaciones a Navarra provienen de la región noroeste de Francia- suroeste de Alemania (región Alsacia) y del pirineo francés.

DATOS DE CORTAS

1. Análisis cortas en hayedos

Según el informe de "Anuario estadística forestal 2019" del Ministerio para la Transición Ecológica y el reto demográfico"[28] para el año 2019, en España -sumando todas las especies y todas las clases de

26 https://es.wikipedia.org/wiki/Crisis_econ%C3%B3mica_espa%C3%B1ola_(2008-2014)

27 ADEMAN: Asociación de Empresarios de la Madera de Navarra

28 Estadística anual de Cortas de madera del Ministerio para la Transición Ecológica y el reto demográfico. https://www.miteco.gob.es/es/biodiversidad/estadisticas/aef2019_08_cortas_tcm30-529160.pdf (pdf cortas de madera y leñas 2019).

cortas- calculamos que se cortó cerca de 19.397.103 m³ [29], de los cuales el 1% fue haya. De frondosa se cortó cerca de 9.073.900 m³ [30] de los cuales el 2% fue haya.

Según el mismo informe para el mismo año, para madera que no tenía destino leña/bioenergía el 95% de la madera de haya se cortó en propiedad pública y el 5% en propiedad privada; y para madera con destino leña/bioenergía el 88% de la madera de haya se cortó en propiedad pública y el 12% en propiedad privada.

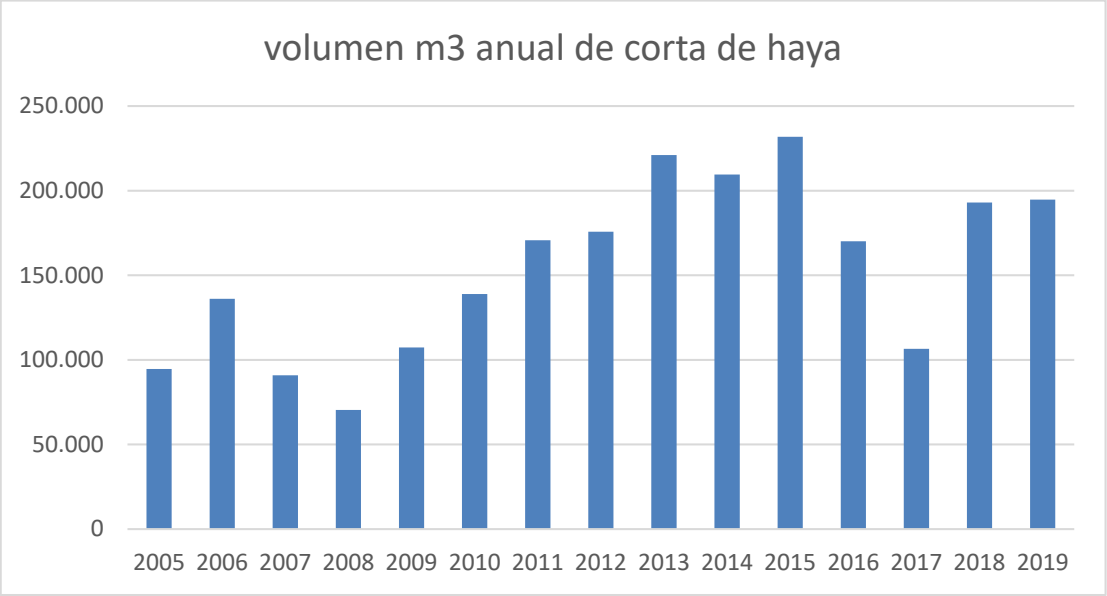
Según MADEREA, en 2017 fue de 17,09 euros/m³, siendo uno de los precios más bajos de frondosa, por debajo del castaño (20,7 euros) o de roble (22 euros) y menos de la mitad de lo que se paga por el chopo (43,18 euros). En el caso de madera de haya para leña el precio por tonelada en pie fue de 13,29 euros/T (fuente MERLO SÁNCHEZ, E et al[31]).

Según informe de ADEMAN del 2020[32], en prácticamente el 50% del volumen de los aprovechamientos de haya (sola y en mezcla con otras especies) se produjeron incrementos sobre el precio de partida.

Este mismo informe del año 2019, estima que el 46% de la madera de haya tiene destino "sierra" (tabla 8.5 del citado informe), luego el 64% sería leña/bioenergía. Como el dato de leña está infravalorado según el mismo informe, los redactores de este documento pensamos[33] que podemos dar como dato de referencia, y para el ejemplo del año 2019**, que más del 70% de las cortas de haya se destinaron a leña.**

Utilizando la información de los anuarios de Estadística Forestal del Ministerio para la Transición Ecológica y el reto demográfico[34], el promedio de **volumen cortado de haya en los últimos 15 años (2005-2019) es de 154.122 m³/año[35]** (sin llegar nunca a superar los 225.000 m³ ningún año):

Figura. Cortas anuales de haya en m³cc entre los años 2005 y 2019.



Elaboración propia. Datos procedentes de los Anuarios de Estadística Forestal del Ministerio para la Transición Ecológica y el reto demográfico.

29 Suma de "cortas" y "leñas" del anuario estadístico forestal 2019 (17.986.742m³ 1.410.361m³ respectivamente). Para convertir el dato original de leñas en toneladas a m³ se ha usado el factor de conversión de 0,83 Tn/m³ (fuente para el factor de conversión AFIB-CTFC from SIBosc (CREAF-DMAH, 2011) and CPF (2004), usando humedad del 30%).

30 Calculado de la misma forma que el dato total para España.

31 Metodologías para optimizar inventario, selvicultura y aprovechamiento de Fagus sylvatica L. hacia productos de mayor valor añadido. 8º congreso forestal.

32 https://www.ademan.org/informe-con-los-datos-de-movilizacion-de-madera-procedente-de-montes-de-navarra-en-2020/

33 también dudamos de que todas las cortas de leñas vecinales se contabilicen adecuadamente.

34 https://www.miteco.gob.es/es/biodiversidad/estadisticas/forestal_estad_anual_cortas_madera.aspx Tablas resumen 2005-2019 (150 KB)

35 Utilizando los anuarios forestales anuales (recopilando datos año a año) no el resumen proporcionado por MITECO, La cantidad anual es la suma de "cortas" y "leñas" del anuario estadístico forestal 2019. Para convertir el dato original de leñas en toneladas a m³ se ha usado el factor de conversión de 0,83 Tn/m³ (fuente para el factor de conversión AFIB-CTFC from SIBosc (CREAF-DMAH, 2011) and CPF (2004), usando humedad del 30%).

Como en España (según IFN) hay 387.776 hectáreas de haya, los 154.122 m³/año cortados de media en los últimos 15 años, si se hubieran repartido por igual en todos los hayedos, habría supuesto **cortar el 0,4 m³/ha*año. El crecimiento medio (de los hayedos) es de 4 m³/ha*año.**

Si comparamos la media anual de corta con la posibilidad[36] teórica anual -bajo la suposición que todo el hayedo es productivo-, estimamos que **solo se corta el 12% de la posibilidad de todos los hayedos.**

Incluso imaginando un escenario (muy pesimista) en el que el 75% de los hayedos fuera improductivo, actualmente se estaría cortando el 47% de la posibilidad anual.

Según el IFN los aprovechamientos a principios de los 90 (hace 30 años) eran de 200.000 m³/año.

Cruzando ambas fuentes puede decirse que **hace 30 años se cortaba el ¼ más, si bien en los años recientes se corta parecido.**

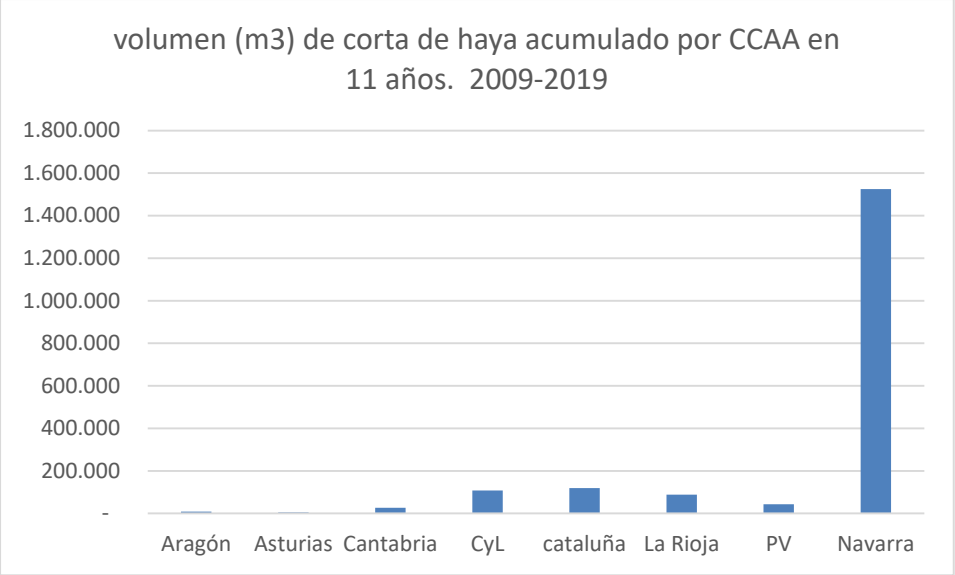
De la misma fuente[37], pero usando los anuarios anuales, para los años 2009 al 2019 -11 años-, el volumen de cortas (m³) acumulados de los 10 últimos años, de haya por provincia y CCAA fueron:

Tabla. Volumen acumulado durante 11 años de cortas de madera de haya en m³cc por provincia entre 2009 y 2019 ambos incluidos.

	Aragón			Castilla y León				Cataluña				País Vasco			
	Huesca	Asturias	Cantabria	Burgos	León	Palencia	Soria	Barcelona	Gerona	Lérida	La Rioja	Álava	Vizcaya	Guipúzcoa	Navarra
Total cortas (m³ c.c.) desde 2009-2019	8.691	4.485	26.477	25.311	74.905	1	7.565	52.886	64.829	1.201	88.660	17.224	2.238	24.078	1.524.747
	0,5%	0,2%	1,4%	1,3%	3,9%	0,01%	0,4%	2,7%	3,4%	0,1%	4,6%	0,9%	0,1%	1,3%	79,3%
				107.782				**118.916**				**43.541**			

Elaboración propia. Fuente: Anuarios estadísticos forestal. MITECO. Conversión de t a m³ (0,83 t/m³)

Figura. Volumen acumulado durante 11 años de cortas de madera de haya en m³cc por CCAA, entre 2009 y 2019 ambos incluidos.



Elaboración propia. Fuente: Anuarios estadísticos forestal. MITECO.

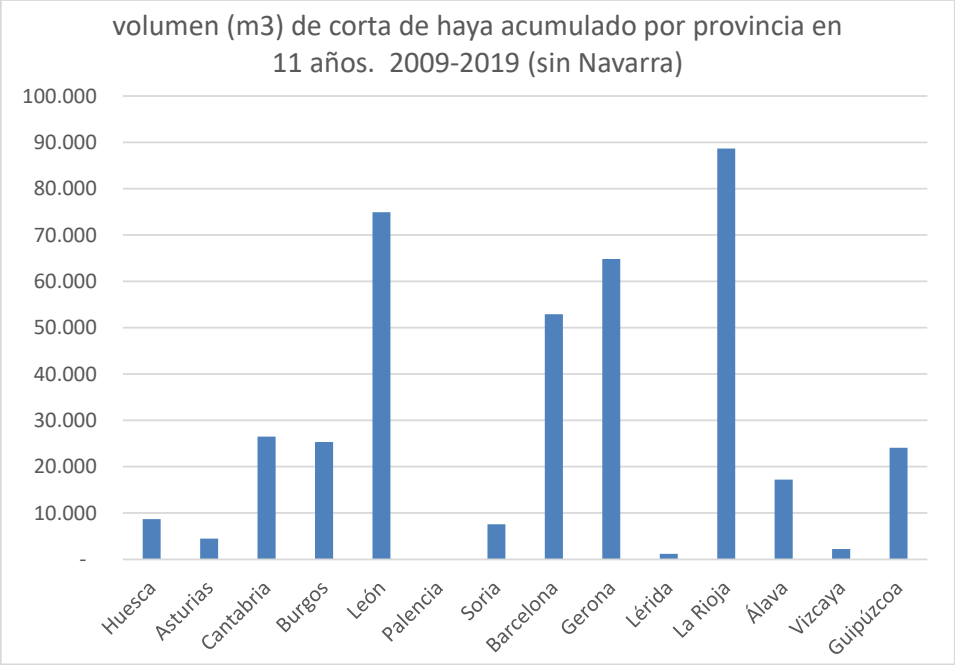
36 Suponiendo un turno de 120 años y usando un crecimiento medio de 4 m³/ha*año, partiendo que según el IFN hay 63.556.486 m³ totales. Posibilidad total (m³/año)= (63.556.486 / 120) + ((4*387.776)/2) = 1.305.189 m³/año.

37 https://www.miteco.gob.es/es/biodiversidad/estadisticas/forestal_anuarios_todos.aspx. Nota: se encuentran discrepancias entre datos de los anuarios estadísticos anuales y el resumen de cortas 2005-2009.

Los datos obtenidos muestran la diferencia de **Navarra, provincia con más producción de madera de haya,** respecto a las demás provincias o CCAA**. Las cortas en Navarra suponen el 79% de las cortas nacionales**.

Como Navarra tiene tanto peso en el volumen cortado de haya, en la siguiente figura se puede analizar mejor el resto de provincias y su aportación al volumen de corta (al excluir Navarra del gráfico).

Figura. Volumen acumulado durante 11 años de cortas de madera de haya en m³cc por PROVINCIAS, entre 2009 y 2019 ambos incluidos, excluyendo Navarra



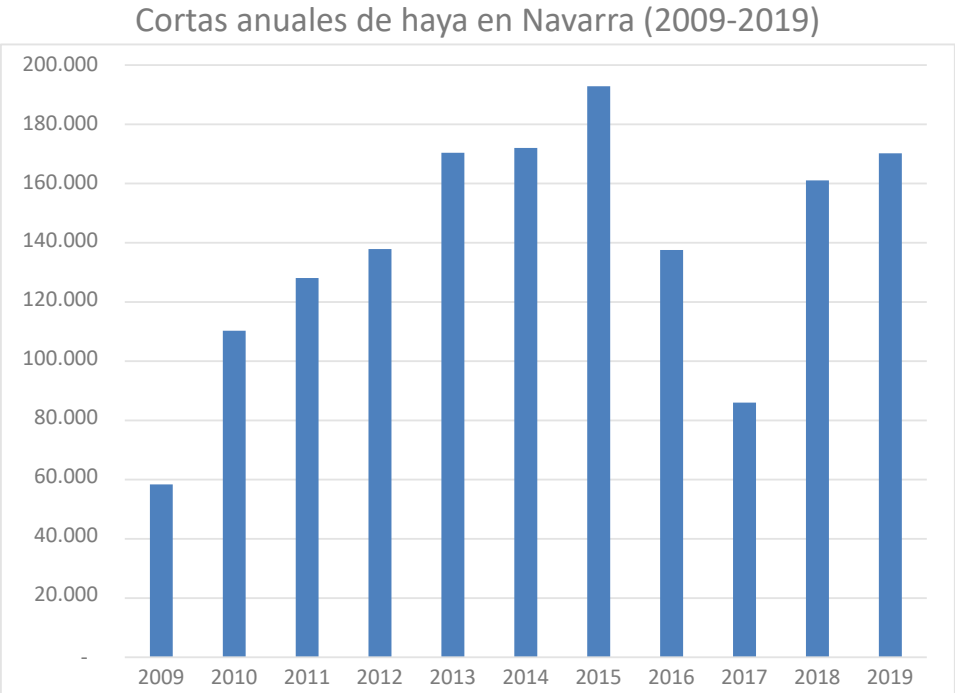
Elaboración propia. Fuente: Anuarios estadísticos forestal. MITECO.

Después de Navarra destacan La Rioja y León, pero también llama la atención Barcelona y Girona.

En la figura se puede analizar la variabilidad de las cortas por año y provincia.

Primero para Navarra:

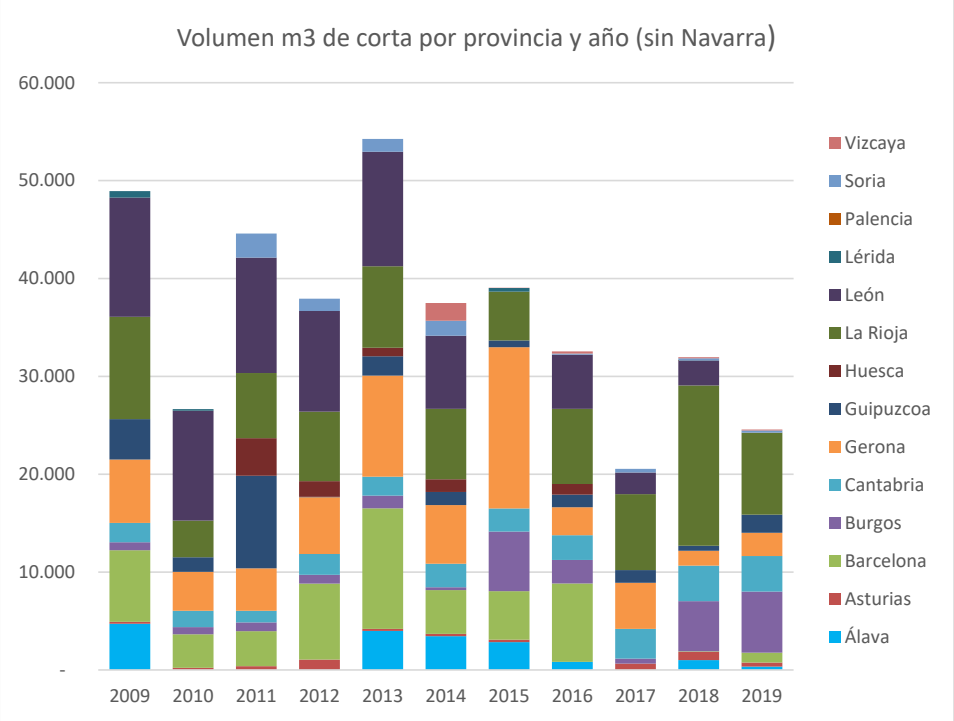
Figura. Volumen acumulado durante 11 años de cortas de madera de haya en m3cc para Navarra, entre 2009 y 2019 ambos incluidos.



Elaboración propia. Fuente: Anuarios estadísticos forestal. MITECO.

Segundo, para el resto de provincias:

Figura. Volumen acumulado durante 11 años de cortas de madera de haya en m³cc por PROVINCIAS, entre 2009 y 2019 ambos incluidos, excluyendo Navarra



Elaboración propia. Fuente: Anuarios estadísticos forestal. MITECO.

La Rioja es bastante contaste. León tuvo mayor aportación hasta el año 2014. Burgos empieza a coger fuerza. Barcelona tuvo mayor aportación hasta el año 2016.

Comparando la superficie de hayedo con el promedio de cortas de cada CCAA, podemos ver que **Navarra, y también Cataluña y La Rioja tienen, en proporción a la superficie de hayedos, tasas de corta mucho más altas que el resto de CCAA**:

Tabla. Relación superficie hayedo -volumen de corta, por CCAA

	Superficie hayedo (ha)	volumen cortado en 11 años. m³ totales	Volumen promedio anual. m³/año	Volumen promedio cortado m³/ha
Navarra	124.195	1.524.747	138.613	**1,12**
Cataluña	21.533	118.916	10.811	**0,50**
La Rioja	25.555	88.660	8.060	**0,32**
País Vasco	49.641	43.541	3.958	**0,08**
Castilla y León	54.178	107.782	9.798	**0,18**
Asturias	68.290	4.485	408	**0,01**
Cantabria	31.759	26.477	2.407	**0,08**
Aragón	12.201	8.691	790	**0,06**

Elaboración propia: Fuente: ficha IFN4 *Fagus sylvatica* y Anuarios estadísticos forestal. MITECO

Las cortas en Cataluña, en relación a su superficie de hayedo, son destacables.

Aun así estos volúmenes promedio de corta parecen muy lejos de una buena gestión de los hayedos (cuando el crecimiento medio de los hayedos es 4 m³/ha*año).

Según el "Informe 2020 Subastas y Movilización de Madera de Navarra" elaborado por ADEMAN, **en el año 2020 en Navarra, el 56% de los hayas cortadas eran tronquillo** (trozas de entre 20 y 30 cm relativamente rectas).

Sabiendo que Navarra supone casi el 80% de las cortas de haya de España, **el tronquillo supone un al menos del 50% de la oferta de madera de haya (en España). Si se consiguiera destinar gran parte de la madera de tronquillo a otros usos que no fueran la leña, sería un salto enorme en la valorización de la madera de haya.**

Para más información sobre cortas de haya en Navarra se recomienda consultar el "Informe 2020 Subastas y Movilización de Madera de Navarra" elaborado por ADEMAN. https://www.ademan.org/informe-con-los-datos-de-movilizacion-de-madera-procedente-de-montes-de-navarra-en-2020/

2. Cortas vs importaciones/exportaciones de haya

Utilizando los datos de los apartados anteriores de importaciones y exportaciones y comparándolos con los datos de corta que acabamos de ver, en el hipotético escenario de querer ser autosuficientes en madera de haya con los destinos actuales, a groso modo y para los últimos años, se podría sacar como conclusión que en España:

		Promedio m^3/año	
a	se cortan:	154.122	
b	y se exportan en rollo:	9.000	
c	quedan (a-b)	145.122	
d	pero se importan en rollo:	25.000	
e	luego hay para trabajar en rollo (c+d):	170.122	
f	además:		
g	se importan, descontado lo exportado, en tabla aserrada:	58.700	m^3 aserrado
h	estos m^3 aserrados equivalen en madera en rollo a: (conversión: de 100m^3 en rollo salen 60-65 m^3 de aserrado, de media)	93.920	36% de la demanda
i	luego,		
j	en España habría una **DEMANDA** en rollo de (e+h):	264.042	
k	y esto comparado con las cortas que se hacen en España **(OFERTA)** (=a)	154.122	
l	nos indica un **DEFICIT EN LA OFERTA** de (j-k):	109.920	

En números gordos (y teniendo en cuenta que estas cifras son de referencia):

- Habría una demanda (habría que cortar) de casi 265.000 m^3/año de madera en rollo de haya,
- con los cerca de los 150.000 m^3/año que se cortan, solo se estaría ofertando el 58% de la demanda.
- Habría que cortar, por lo menos, otros 115.000 m^3 en rollo para satisfacer la demanda.
- Y de esos 265 mil m^3/año, casi la mitad, unos 130.000 m^3 deberían ser aptos para aserrado.

Es decir, a groso modo y para la situación actual, para "organizar la producción" -y por ende ver qué política, selvicultura se debería lleva r a cabo- en un escenario de mínimos habría que cortar un 70% más de lo que se ha cortado en los últimos 15 años y de los 265.000 que habría que cortar cerca de la mitad debería ser con calidad para ser aserrado.

PERSPECTIVAS GENERALES Y PARTICULARIDADES DE CADA TERRITORIO

Este apartado se ha redactado a partir de entrevistas y recopilación de notas de ponentes en jornadas celebradas en torno a la gestión y situación del haya, como la celebrada el día 5 de noviembre "primera jornada sobre la revalorización de los hayedos" donde asistieron ponentes como Fermín Olabe, Froilan Sevilla, Juan Pedro Majada Guijo, Ignacio Tejedor de la Asunción, Bixente Dorronsoro, Eduardo Montero Eseverri, Iván Bermejo Barbier y Jose Luis Villanueva.

Contexto general:

a) Se podría generalizar, pero especialmente en La Rioja como en Burgos y también en el País Vasco, **que el número de empresas** (ya sean rematantes o equipos de aprovechamientos de industrias de transformación) **dedicadas a cortas y tratamientos en hayedos es muy bajo**.

No quieren o no pueden especializarse en el haya y tampoco son capaces de tener o mantener personal cualificado; les falta personal.

Según varias administraciones forestales no podrían cortar más hayedos de lo que están en oferta, porque no hay rematantes suficientes, y las subastas quedarían desiertas. **Problema muy grande** que no permite aplicar más selvicultura. Según varias adm. forestales el avance en la mecanización es fundamental.

b) En general, se habla de hayedos sobreexplotados en el pasado con una etapa de "abandono". La sobreexplotación fue causada por el auge de ferrerías, la calefacción de hogares, la ganadería extensiva y el desarrollo industrial. siendo el carboneo un exponente de sobrexplotación de los hayedos.

Los pueblos que tenían hayedos eran pueblos "ricos" donde las cortas de haya valían mucho en su momento, pero a partir de los años 60 los precios bajaron[38] y como consecuencia el volumen de cortas descendió a mínimos históricos, que en los últimos 10 años parece despegar.

c) Aproximadamente la mitad de los hayedos están incluidos en alguna figura de Espacio Natural Protegido (ENP), y según bastantes gestores, ciertas directrices de gestión en estos ENP suponen una limitación a los aprovechamientos forestales y por ende una limitación a una gestión activa.

d) También hay un aumento de la oposición a las cortas (y por ende a la gestión) por el desconocimiento general de la sociedad de los beneficios que la gestión forestal aporta (y por errores cometidos), siendo un obstáculo importante. Por ello se entiende que es esencial trasmitir lo positivo de la gestión del haya a la sociedad y la oportunidad que esta aporta considerando el cambio climático.

e) Se defiende el enfoque de una gestión ecológica donde no se distinga si un hayedo está en una figura de protección especial o no, porque la gestión, delicada, comprometida y respetuosa, es (o debería serlo) igual para todos los hayedos. A través de la llamada en pro de la actuación y de la selvicultura se consigue "producir conservando" y generar unos bienes y una retribución ambiental.

f) El haya ha aumentado tanto en existencias como en superficie, tanto en monte privado como público, y todo parece indicar que son varios factores tales como reducción de la presión ganadera, reducción de la presión de carbón, leñas y madera, disminución del precio de la madera desde los años 60, el abandono de tierras de labor por ser poco productivas para la agricultura moderna. Unido a que a los fitófagos prefieren otras especies y el haya rebrota bien, tiene fácil regeneración y su tolerancia a la sombra.

g) Cada vez más gestores llaman la atención sobre eventos de derribos, muchas veces puntuales pero en ocasiones importantes, y sobre todo advierten que el riesgo (por excesiva esbeltez y alta densidad) es cada vez más alto y se acumula peligrosamente. Además inciden en que una vez ocurridos los derribos suponen altos riesgos laborales, precios bajos, e impactos negativos por crear red de saca mal planificada.

h) Las leñas vecinales de haya, en la gran mayoría de los territorios, tienen un importancia, sobre todo social. Pero en realidad, la demanda de leñas para consumo local en los pueblos es escasa.

i) La certificación es clave para la administración y para la industria.

j) Se ve una tendencia hacia una selvicultura de selección de árboles de porvenir. Donde el objetivo no es irregularizar la masa porque sí, si no ir seleccionando positivamente las mejores hayas e ir cortando el resto. Lo cual a veces y sobre todo en las primeras etapas se regulariza la masa a corto plazo pero con una tendencia a la irregularidad a largo plazo.

Todo apunta a que la mayoría de las claras y de la selvicultura que se aplica actualmente y la de los próximos años, está enfocada a mejorar masas cuya calidad y estado de desarrollo es tal que la producción de tronquillo va a ser la predominante, incluso mayor que la actual.

k) La gestión del haya en masas mixtas, principalmente con robles y pinos, no es sencilla pero es importante implementarla y hacerlo bien. Es destacable la función que el haya puede desempeñar de cara a ayudar a conseguir árboles de buena calidad tecnológica en rebollares y pinares, pero exige una gestión dinámica.

38 La inclusión en la unión europea no fue hasta 1986.

l) Claramente los actores del sector del haya coinciden en que conseguir dar una mejor salida, con más valor, a gran parte de la madera que se destina actualmente a leña sería un gran beneficio para toda la cadena.

Contextos regionales:

a) Por ejemplo, en Navarra, se detecta como problema importante la **lentitud en la adjudicación de lotes de aprovechamiento**, que hacen que se alarguen mucho los plazos y el ritmo de cortas, y por lo tanto, la tasa de corta sea más baja del que estaba previsto en las planificaciones. Procesos de adjudicación que está en manos de las entidades locales y al parecer no tienen los medios o recursos para ser más rápidos.

b) En Burgos por ejemplo, los datos históricos muestran como **desde 1965 fue bajando las cortas (y los precios) de haya** y no ha sido hasta esto últimos 5-10 que se está remontando el volumen de cortas.

c) De forma similar en La Rioja, el auge y la decadencia de los aprovechamientos y de la industria del haya también tuvo su culmen en los años 60-70, con volúmenes y precios altos, pero que fueron descendiendo hasta la actualidad. **Mientras que en 1998 había 38 industrias relacionadas con el haya en La Rioja hoy en día no queda ninguna**.

d) El tamaño de los lotes tiene sus repercusiones: como recoge el Plan Forestal Navarra, cuando se centra en el haya, **el hecho de que cada vez haya menos lotes pequeños en venta ha reducido el número de empresas navarras** (especialmente las más pequeñas) mientras que han aumentado compras por empresas de otra regiones (como La Rioja).

e) Contextos como Asturias son muy distintos, porque aun siendo la 2ª provincia en superficie de hayedo la gestión activa y las cortas son anecdóticas. Los hayedos en Asturias están asociados a uso social en las últimas décadas. Influye la importancia para el recreo y paisajístico que tienen hoy en día los hayedos para la sociedad y para la política asturiana. También las figuras de protección especial así como los programas de exclusión oso y urogallo tienen mucho peso.

   Las directrices y planes de gestión establecen condicionantes muy altos en el caso de aprovechamientos, donde por ejemplo destacan no abrir sacas nuevas o en el caso de extraer más de 50 m^3/ha conlleva realizar un impacto ambiental e informes de Patrimonio favorables.

f) En el caso de La Rioja, tienen problemas intrínsecos a los hayedos riojanos como son que casi la mitad de los hayedos se sitúan en pendientes mayores del 45% y por otro lado que solo el 20% tienen acceso por pista. A esto además se le está sumando las graves dificultades de gestión consecuencia de la desaparición de los métodos de explotación tradicional, la falta de personal y escasez de remantes que quieran aprovechar las subastas de haya.

   En Navarra, en cambio, influye mucho los cambios normativos o en las condiciones de venta, sobre todo del vecino, Francia, a los cuales se ven obligados a intentar adaptarse.

g) En Gipuzkoa, que ha pasado de tener un cultura y hábitos muy vinculada a la madera del haya, habiendo pasado por momentos en lo que incluso industrias se hicieron con montes de hayas para la producción de carbón, a que actualmente ayuntamientos y políticas que no quieren intervenir en los hayedos.

   En cambio el sector forestal del haya ve un gran potencial en los hayedos guipuzcoanos para "producir conservando", generando bienes y réditos ambientales. Sería posible una producción-consumo local o km 0, la compatibilidad de la ganadería extensiva con hayedos trasmochos, la conversión de montes bajos a monte alto para mejorar el vigor y el potencial maderero de la provincia.

h) En el caso de los montes de propiedad privada, parece ser que los problemas comunes en los montes de utilidad pública, son más intensos en la propiedad privada. Principalmente debido a la fragmentación y tamaño de la propiedad pero también porque se ha hecho un uso del monte más intensivo. Cambios de uso de suelo forestal por actividad agrícola, rozas y uso ganadero, en muchas ocasiones provocaron que los hayedos quedaran relegados a zonas de vaguada, zonas de pendiente, con mal acceso o suelos pobres; o modificando mucho la FCC dejando zonas abiertas de trasmochos.

   A su vez el abandono, su situación marginal o poco uso del hayedo privado sin aplicar casi selvicultura, ha tenido como resultado un densificación muy fuerte del hayedo.

   Todo esto unido a que muchos propietarios no consideran al haya una especie productiva, hace difícil que en la actualidad la gestión sea fácil ni rentable en muchos hayedos privados españoles y mucho menos que haya calidades altas de madera de haya.

   Esto evidentemente es una generalización, pues hay hayedos en propiedad privada todo lo contrario, pero parece ser los menos casos.

i) Hay esperanza que en Asturias en hayedos con mejores calidades y más accesibles, se pueda suavizar los requisitos y condicionantes vigentes para poder hacer viables aprovechamientos con un sistema de claras.

j) En Navarra, la creación de un "fondo climático" y simplificar los pliegos de aprovechamientos, son unas medidas que se están contemplando.

k) Se destacan los hayedos trasmochos como sistema inteligente de adaptación, donde bosques "artificializados" conseguían preservar el árbol y sus derivados como leña y maderas especiales para usos singulares en la época (como el naval) mientras que permitían la montanera y el pastoreo. Podrían ser fuente de inspiración para retos actuales.

l) En Burgos se ve necesario realizar una selvicultura mejor, no tanto con objetivos cuantitativos sino cualitativos.

m) En Asturias se están utilizando nuevos conceptos como bosques maduros, dejando reservas y creando experiencias de apertura de claros para dejarlos evolucionar. El uso del LIDAR también ha tomado un rol importante para evaluar los recursos y la evolución.

n) En Navarra, a nivel financiero y de PIB, tiene mucha relevancia la actividad local y rural, y en ese sentido, se considera fundamental mantener una tónica de aprovechamientos de haya constante.

o) Las oportunidades actuales en los hayedos privados pasan por hacer cortas a coste cero o subastarlos muy baratos, que disminuyan la densidad y permitan crecer los pies de más porvenir sin coste para el propietario, generando leña y biomasa, donde hay demanda. De nuevo, y también para los montes privados, el reto es conseguir nuevos usos de la madera de haya sobre todo para trozas rectas de 20-30 cm de diámetro.

Perspectiva industrial:

La industria relacionada con el haya, tiene un perfil de empresa familiar de + 50 años con una resiliencia y adaptación en momentos difíciles. Dado que la madera de haya requiere mucho conocimiento de cómo se comporta la madera y cómo trabajarla, implica un alto grado de especialización. Por eso se ubica mucha industria y rematantes Navarra, territorio donde más haya se moviliza.

A la industria le afecta la falta de personal (y en varios casos el relevo generacional), tanto en el monte como en la industria.

La poca oferta de calidades mínimas en España y precios más competitivos en Europa supone que la industria de transformación tenga o prefiera importar madera, principalmente ya aserrada, de Europa.

Cabe mencionar cómo las mejoras tecnológicas en el uso de biomasa como fuente de energía ha posibilitado la reutilización de los residuos de las industrias de madera para su propio uso.

Necesitan y demandan formación técnica para trabajadores de rematantes, inversiones en industrias existentes y una coordinación entre las carteras públicas de educación medio ambiente e industria.

OPORTUNIDADES Y PUNTOS FUERTES DEL HAYA

Innovación y nuevos productos

El haya tiene muy buenas propiedades estructurales[39] que permiten el uso de esta madera para un nuevo nicho de mercado hasta ahora casi nada explotado para esta especie como es la madera estructural, y en concreto madera técnica LVL[40] y CLT[41], donde lo que priman son las propiedades tecnológicas y no tanto las dimensiones. Podría ser una opción de uso interesante para madera en rollo de haya de calidad media y baja calidad que actualmente se dedica a leñas.

El proyecto GOFAGUS ha dado un paso en la dirección haciendo pruebas de resistencia y encolados con LVL.

39 Ver apartado "estudios previos relevante", subapartado "Literatura LVL de haya y adhesivos estructurales madera de frondosas".

40 Madera microlaminada o LVL (Laminated Veneer Lumber)

41 Madera laminada cruzada o CLT (Cross Laminated Timber)

Estos nuevos productos también van a permitir usar el corazón rojo[42] del haya (usados en partes del producto no visibles) que hasta ahora se desechaban. Esto implica mucho menos rechazos en industria y valorar mucho mejor la madera de haya.

A su vez, proyectos de innovación como el de "FOR BEECH Soluciones innovadoras para un mejor procesamiento de la madera de haya con duramen rojo"[43] pueden generan procesos o softwares que ayudan a la industria a mejorar rendimientos en aserrado, como el de detección automática del duramen rojo.

Bioeconomía y transición ecológica

Nos encontramos en la actualidad en un momento clave en nuestro país, propicio para el desarrollo y promoción del mercado de la madera de productos tecnológicos, destinados principalmente al sector de la construcción y edificación (vigas, machones, tableros contrachapados, madera laminada, madera contralaminada, KVH[44], paneles de madera, etc.) derivado de una necesidad creciente de construir con materiales ecológicos y de baja emisión de CO_2, renovables y sostenibles, que presenten una alternativa a los costosos y altamente contaminantes procesos de tratamiento y producción de materiales como el hormigón o el acero. Nos encontramos, por lo tanto, ante un momento idóneo y estratégico para redirigir la gestión forestal -de los hayedos- hacia la producción de productos de calidad industrial con madera local.

Por otro lado, el sector forestal es de los pocos sectores cuya actividad reduce la concentración de carbono en la atmosfera. Crecer en este sector supone aumentar el PIB fijando más carbono. Si además aumentara el consumo local/regional de madera en detrimento del consumo procedente de otros países, implicaría disminuir las emisiones por transporte y por tanto menor huella de carbono.

Si conseguimos aumentar la cantidad de madera de calidad de haya, estamos definitivamente haciendo bioeconomía circular: con la madera de calidad de haya que consigamos haremos edificios o muebles, que pasados muchos años y se estropeen, podrán reutilizarse o destinarse a leña o trituración, para generar calor o ligninas o productos químicos derivados de la madera, y cuando esta materia sea consumida podrá usarse para generar turba, fertilizantes y compost que se podrá usar para plantar y mejorar el suelo. Estaremos sin duda influyendo en la mitigación del sector forestal para el cambio climático (según apuntan algunos autores Eriksson et al. 2007; Nabuurs et al. 2007).

Si consiguiéramos saber cómo aumentar la madera de calidad de haya para otros usos distintos a la leña, no solo conseguiremos seguir suministrando suficiente leña para sustituir combustibles fósiles y materia prima para elaboración de papel y cartón para sustituir plásticos, sino que también conseguiremos poner en el mercado material para construcción, mueble, decoración. Además, si conseguimos la optimización de rendimientos en primera transformación y la diversificación de productos para un aprovechamiento óptimo de la madera extraída (chapa para LVL, madera estructural, madera de carpintería de diversas calidades, leñas, etc.) se conseguiría minimizar residuos.

El proyecto GOFAGUS ha dado un paso en conocer mejor cómo aportan los hayedos a la bioeconomía circular.

Precios y demanda

El aumento de los precios de la leña y de la madera de haya en los últimos años está permitiendo realizar intervenciones selvícolas que antes se hacían pagando (o a coste cero) o que no se podían hacer por falta de presupuesto.

Podrá haber dientes de sierra tanto en precio como en demanda como es habitual, pero las previsiones es que haya una tendencia al alza en la demanda por las políticas de impulso de uso de materias primas renovables. Esta circunstancia permite llevar a cabo más intervenciones selvícolas, y mejor hechas, que generen ingresos.

Por otro lado, esta circunstancia permite dar estabilidad al trabajo de los rematantes de haya y valorar adecuadamente, económicamente, su trabajo.

42 Decoloración sí, no pudrición.

43 https://cordis.europa.eu/article/id/89139-enhancing-the-position-of-the-european-beech-industry/es

44 La madera KVH® recibe su nombre del alemán Konstruktionsvollholz, que significa madera de construcción. Más info en: https://www.maderea.es/madera-kvh/

Momento selvícola propicio

En España contamos con masas bastante capitalizadas con margen para hacer intervenciones selvícolas y para producir de manera sostenible una cantidad y calidad de madera superior a la actual, tanto leñas como madera de sierra: es el momento de los forestales.

La certificación forestal, según administración forestal e industria es clave.

PUNTOS DÉBILES, CUELLOS DE BOTELLA, NECESIDADES Y RIESGOS

Escasez de conocimiento de la calidad de madera en los datos

A día de hoy no se dispone de ninguna herramienta o dato general de la calidad tecnológica de los hayedos españoles. Se tiene información gracias al IFN de las existencias, pero no se ha abordado la tarea de saber qué productos ofrecen hoy en día los hayedos y mucho menos qué potencial -en cuanto a calidad de madera- tienen. *El proyecto GOFAGUS ha dado un paso para romper esta barrera con la implementación de tecnología LiDAR aerotransportada y LiDAR terrestre.*

Se detecta una ausencia de mecanismos de trazabilidad que permitan rastrear la información relevante obtenida en cada eslabón. Esta información es útil tanto para la mejora de rendimientos a nivel industrial como para la mejora del conocimiento de los gestores que están en el monte. *También en este cuello de botella el proyecto GOFAGUS ha dado un paso para en esta dirección con la creación de aplicaciones de trazabilidad y digitalización de rematantes.*

Las ecuaciones de cubicación del IFN para el haya en España están desfasadas, como consecuencia del alargamiento de sus turnos y del aumento del número de pies en los hayedos. La mejora de las ecuaciones de cubicación y funciones de perfil son necesarias y *el proyecto GOFAGUS ha dado un paso en esa dirección.*

Hace falta conocer mejor las características tecnológicas de los hayedos españoles. *El proyecto GOFAGUS ha dado un paso en esa dirección realizando extracción de cores, utilizando metodologías sónicas, técnicas resistográficas.*

Falta de estandarización

A día de hoy no hay un lenguaje común y claro entre los actores del sector del haya. Falta estandarización en la clasificación de calidad de madera en pie, en el señalamiento de los hayedos. Además, no hay sistemas normativos de clasificación mecánica del haya ni de asignación de clase resistente para madera aserrada para España .

El proyecto GOFAGUS ha dado pasos para todas estas partes de estandarización desde el monte hasta los productos.

Cambio climático y bagaje histórico

Hay un incertidumbre de cómo el cambio climático y la historia que hemos dado a nuestros hayedos nacionales van a colisionar. Podemos hablar tal vez de un riesgo de adaptación.

Los hayedos son susceptibles de sufrir las consecuencias del cambio climático debido a sus efectos en áreas de montaña, a causa de la higrofilia ambiental de esta especie y su ubicación expuesta a perturbaciones climáticas (nevadas, vendavales, sequías, olas de calor).

Adoptar nuevos enfoques aportaría a nuestros hayedos más resiliencia frente un escenario de incertidumbre. Podemos aprovechar para hacer una selvicultura que reduzca la densidad o la competencia o tal vez podemos apoyar la expansión del haya en zonas que interesen.

Necesidad de gestión cuidadosa

Gran parte de los hayedos se sitúan en cabeceras de ríos, por lo que juegan un papel crucial en el control hidrológico y en la generación de agua de calidad para consumo y abastecimiento. Bien gestionados, sin estar abandonados y sabiendo maximizar producción con conservación pueden evitar grandes problemas en cuanto a calidad de las aguas y en el grado de abastecimiento, tanto de la población como en la agricultura y ganadería. Evidentemente una mala gestión puede generar problemas inasumibles hoy en día en España.

Falta de accesos y una red viaria forestal bien diseñada y planificada.

Hace falta diseñar y planificar una red viaria forestal a nivel comarcal y salir de la escala ordenación-monte.

Tendría que ponerse sobre la mesa el beneficio ambiental de una red de pistas bien hechas frente a una explotación del monte en el momento.

Falta de capacidad administrativa en la movilización y en la adjudicación de aprovechamientos

La lentitud en la adjudicación de aprovechamientos es un problema. Por un lado es una tarea y responsabilidad de las propiedades que en la gran mayoría no tiene los recursos humanos necesarios para afrontarlos. Por otro lado, impide hacer una selvicultura eficaz de rotaciones cortas 6-8 años, que sería lo ideal. Y por último, dificulta mucho organizar la producción y desmonta las previsiones de abastecimiento. Es un cuello de botella muy grave.

Falta de rematantes

El número de empresas (ya sean rematantes o equipos de aprovechamientos de industrias de transformación) dedicadas a cortas y tratamientos en hayedos es muy bajo.

Cada vez menos personal y empresas rematantes capacitadas para explotar el haya. No quieren o no pueden especializarse en el haya y tampoco son capaces de tener o mantener personal cualificado; les falta personal.

Trabajo duro, fuertes limitaciones temporales que impiden trabajar con estabilidad a lo largo del año. Con aprovechamientos muy conservadores: poca extracción de madera por hectárea o lotes de escasa superficie. Aumento de las dificultades de saca y de seguridad y salud.

No poder hacer gestión o cortar más hayedos porque no hay rematantes suficientes y las subastas quedarían desiertas es un problema muy grande.

El avance en la mecanización es fundamental, pero también el reconocimiento económico de su trabajo y de su responsabilidad.

Oposición social a las cortas de frondosas.

Hay un aumento de la oposición a las cortas (y por ende a la gestión) por el desconocimiento general de la sociedad de los beneficios que la gestión forestal aporta (y por errores cometidos), siendo un obstáculo importante. Por ello se entiende que es esencial trasmitir lo positivo de la gestión del haya a la sociedad y la oportunidad que esta aporta considerando el cambio climático o la bioeconomía circular.

Hay profesionales forestales que explican la gestión forestal pero son pocas las iniciativas troncales de puesta en marcha de auténticos planes de comunicación y divulgación forestal.

En el caso del haya en concreto además se puede hacer un trabajo de divulgación importante para trasmitir al consumir (a la sociedad), a diseñadores de muebles y a fabricantes, el hecho de que depreciar la madera de haya por tonalidades rojas -cuando tiene duramen rojo-, supone rechazar y desechar gran cantidad de madera de haya, solo por motivos estéticos.

Falta de dialogo y coordinación interregional

Falta de coordinación en la cadena de valor a escala interregional, disgregación de actores y actuaciones, sin un plan de movilización ni estrategia como sector.

Falta de normas de clasificación estructural y falta de estudio de costes de procesado para maderas delgadas y adaptación de la tecnología de aserrado.

Es fundamental desarrollar normas españolas para poder usar madera de haya en estructuras, casas de madera, etc.

Se intuye que el estudio de costes de procesado de madera delgada de haya junto con una adaptación del sistema de aserrado y otras técnicas relacionadas con el mejor aprovechamiento de maderas con corazón rojo, sería la pata que falta para terminar de valorizar la madera de haya.

RESUMEN DEL DIAGNÓSTICO EN MODO DAFO

Debilidades	Amenazas
Masas muy esbeltas con mucha densidad. Riesgo de derribo. Menos crecimiento del que podrían tener. Poca diversidad en el hayedo. Falta de capacidad administrativa para sacar adelante aprovechamientos. Faltan rematantes de haya (especialmente en comarcas con niveles muy bajos de corta o con muchos condicionamientos). Hayedos en zonas rurales con riesgo de despoblación y con problemas de dinamismo económico. Industrias con cierto déficit de inversión e innovación en producto. Predomina orientación a producto convencional. Riesgo de falta de relevo generacional. Hayedos en difíciles condiciones de explotación. Falta de accesos bien diseñados y planificados. Masas forestales importantes para la regulación hidrológica. Muchas masas de origen monte bajo, con madera de mala calidad y predominancia de leñas. Abunda la madera delgada. Escasez de conocimientos sobre la calidad de la madera de los hayedos. Escasez de técnicos, expertos y de experiencia en las regiones y comarcas en las que se ha ido perdiendo el hábito de intervenir en los hayedos, con capacidad para llevar a cabo una selvicultura decidida del haya a pie de monte (señalamientos incluidos) y para promover aprovechamientos y mejoras.	Cada vez menos personal y empresas rematantes capacitadas para explotar el haya. Trabajo duro, fuertes limitaciones temporales que impiden trabajar con estabilidad a lo largo del año. Con aprovechamientos muy conservadoras: poca extracción de madera por hectárea o lotes de escasa superficie. Aumento de las dificultades de saca y de seguridad y salud. Gestores con miedo o reticencias a actuar en frondosas. Con limitaciones temporales cada vez más fuertes. Con lotes cada vez más pequeños y para sacar menos m^3/ha. Con más criterios de conservación (bien) pero sin tener en cuenta las consecuencias en la explotación (mal). Oposición social a las cortas de frondosas, escasa cultura y conocimiento forestal de la sociedad. Falta de coordinación en la cadena de valor a escala interregional, disgregación de actores y actuaciones, sin un plan de movilización ni estrategia como sector. Incertidumbre de cómo el cambio climático, que está aquí ya, va a afectar a los hayedos de la península ibérica. Una falta de estandarización en clasificaciones, tanto en monte como en industria, lo que dificulta tener un lenguaje común en el sector: Falta de entendimiento y fluidez. Falta de normas de clasificación estructural y falta de estudio de costes de procesado para maderas delgadas y adaptación de la tecnología de aserrado.

Fortalezas	Oportunidades
Especie resistente que ha tenido una gran capitalización en superficie y en existencias, en estas últimas décadas. El hayedo responde muy bien a las actuaciones selvícolas: permite una mejora continua. Facilidad de expansión, al menos actualmente y en las últimas décadas. Selvicultura y regeneración relativamente fácil (con respecto a otras frondosas) mediante una selvicultura activa.	La innovación en métodos de producción y herramientas y datos de calidad, permitirán poner en valor trozas de tamaño y calidad intermedia actualmente muy abundantes en los hayedos españoles. Masas bastante capitalizadas con margen para hacer intervenciones selvícolas y para producir de manera sostenible una cantidad y calidad de madera superior a la actual, tanto leñas como madera de sierra: es el momento de los forestales. Aumento de los precios y de la demanda, que permiten hacer más selvicultura, tener ingresos y dar estabilidad a rematantes e industria. Bioeconomía y nuevos productos: futuro prometedor para la madera, necesidad de productos con huella de carbono negativa, gran oportunidad para la construcción, carpintería interior y mobiliario gracias a madera técnica, laminada, microlaminada y otras tecnologías. Nuevas políticas y nuevos inversores dispuestos a innovar y apostar por el haya. Las industrias están asentadas en zonas rurales: fijan empleo rural y al mismo tiempo son frágiles por falta de personal y logística. Es un fortaleza desde el punto de vista de desarrollo rural, pero como proyecto empresarial tienes sus riesgos (fortaleza y amenaza). Uso de madera decolorada por corazón rojo en nuevos productos. La certificación forestal.

CONCLUSIONES Y PROPUESTAS DE ACCIÓN

El proyecto del grupo operativo GOFAGUS se ha puesto en marcha para revalorizar el haya a partir de la innovación y la mejora de la competitividad de su cadena de valor monte-industria. Se han llevado a cabo acciones enfocadas a este objetivo a lo largo de 3 años de proyecto entre 2021 y marzo de 2023 (**ver documentos, acciones y resultados en www.gofagus.es**) Las acciones que se han llevado a cabo permiten dar un impulso a la revalorización de esta especie, si bien se necesita dar continuidad y ampliar el campo de acción más allá del perímetro del proyecto para conseguir que este impulso prenda en el conjunto del sector y ayude a alcanzar resultados duraderos y de mayor envergadura.

Partimos de las siguientes **premisas y principios**:

a) Apuesta decidida por una selvicultura del haya más activa (dinámica, continua, cuidadosa y holística) para asegurar la conservación, mejora y fomento del haya en la dirección deseada.
   Una selvicultura menos teórica y a la vez más cuidadosa con la diversidad, con el suelo, con los rematantes, con la industrias, con la oferta y la demanda, con los habitantes en zonas rurales. Una selvicultura consciente de la incertidumbre que trae el cambio climático y de la bioeconomía circular.

b) Necesidad de coordinar y planificar -acciones y medidas- a una escala interregional, mediante la intensificación de la colaboración y el diálogo sectorial entre toda la cadena de valor.

c) La no intervención -en zonas sin limitaciones de sitio- roza el abandono de este tipo de masas forestales, lo que supone una pérdida de oportunidad para el mundo rural y un riesgo más que una ventaja para la conservación de esta especie en muchas zonas de nuestro país.

d) Necesidad de pasar de una gestión (y selvicultura) del haya de cantidad a una de calidad (de madera).

e) Priorización de las zonas donde se actúa. Para eso hace falta tener información de una determinada manera, contar con una planificación y un sistema de seguimiento. Y donde se actúe ser dinámico y hacer intervenciones/rotaciones continuas. Esto es mejor que intervenir y no volver a entrar en varias décadas.

Y de las **siguientes conclusiones**, corroboradas a lo largo del proyecto GOFAGUS:

- Hay un amplio margen para multiplicar las cortas de haya actual. Contamos con masas capitalizadas con un gran déficit en selvicultura, en las que sería necesario reiniciar una dinámica de actuaciones:
  Si solo nos fijamos en el crecimiento, se podría cortar hasta 10 veces más que en la actualidad.
  Si imaginamos que solo la mitad de los hayedos es productiva, podríamos cortar un 75% más de m^3 de los que se cortan ahora según la fórmula de la masa cortable.
  Si nos fijamos solo en el flujo de la demanda, se tendría que cortar algo más de 100 mil m^3/año.
- El haya da y genera empleo rural: la mayor parte de las industrias de primera transformación de haya se encuentran en zonas rurales y son una pieza clave para las economías y el empleo de pequeñas localidades de montaña, muchas de ellas en riesgo de despoblación.
- Si bien muchas industrias de 1ª transformación del haya están en un estado de inversión pequeño en innovación e infraestructuras se vislumbra un interés por determinadas industrias por invertir en la transformación del haya con productos de mayor valor añadido. Están empezando a surgir nuevos inversores y grupos industriales dispuestos a innovar y apostar por la madera de frondosas y por el haya.
- Existe un grave problema de falta de mano de obra para aprovechar la madera: la capacidad de los rematantes es limitada ante la dificultad del trabajo, la dureza del trabajo y los numerosos condicionantes existentes para la explotación de haya. El riesgo de desaparición de esto tipo de actores a medio plazo es elevado si no se ponen medidas que faciliten su trabajo y la incorporación de personal cualificado dispuesto a hacer este tipo de intervenciones.
- De lo que se corta el 70% se destina a leña. El tronquillo supone al menos el 50% de lo que se corta. Hay demanda de madera de calidad como demuestran los datos de importación.
- Muchos hayedos se encuentran en zonas de difícil explotación y/o sin accesos, pero muchos otros son fáciles de explotar (aproximadamente la mitad) y no se está haciendo una selvicultura activa en ellos.
- Existen reticencias de gestores y oposición social a la corta de haya en muchas comarcas. Se atribuye a una falta de conocimiento forestal y a un fracaso e inacción en la divulgación de lo que es verdaderamente la gestión forestal.
- El precio de las leñas y sobre todo la demanda de madera de haya va a seguir en tendencia global al alza, aunque como es habitual pueda sufrir altibajos.
- La innovación en métodos de producción y en productos derivados del haya permitirán poner en valor trozas de tamaño y calidad intermedia actualmente muy abundantes en los hayedos españoles.
- Los bosques estancados sin aprovechamientos, como sucede con parte de las superficies de hayedo en España, contribuyen poco a la fijación de CO2, a la creación de riqueza local o a la generación de servicios ecosistémicos.
- Las políticas europeas, la bioeconomía circular y la transición ecológica son favorables para el impulso para la generación de nuevos productos de madera de haya.
- Se vislumbra una necesidad de aumento de diálogo sectorial e interregional para fomentar el intercambio de conocimiento e información relevante, la concertación de acciones y la movilización de madera de haya para cumplir con objetivos fundamentales a escala local y europea:
  - Revertir la despoblación de zonas rurales
  - Aumento de captación de carbono y otros servicios ecosistémicos
  - Utilización de recursos locales y renovables, con una lógica de circularidad y sobriedad energética.
  - Mejora de las condiciones laborales y económicas en el sector forestal,

Por lo que **PROPONEMOS** las siguientes acciones y medidas, que limitamos al ámbito de actuación y margen de maniobra de los actores forestales, es decir, a lo que está en nuestra mano y es perfectamente alcanzable con un mínimo de voluntad:

Dar continuidad a la mesa interregional del haya, iniciativa que se ha lanzado desde el GOFAGUS y se ha compartido con actores clave de la cadena de valor del haya. Se centrará inicialmente en un encuentro anual entre actores clave del sector para dialogar y poner en común información y coordinar iniciativas. En estas reuniones se evaluará el año considerando, los hitos clave que han tenido lugar en cuestiones de mercado, gestión y movilización del haya y se expondrán necesidades y propuestas de cara al año entrante.

Aumentar la concertación entre actores para el fomento de la inversión: conviene abordar de manera transversal problemáticas de funcionamiento de la cadena de valor para favorecer las inversiones y los planes de empleo tanto de las entidades propietarias y gestoras de los montes como de las empresas rematantes e industrias. La concertación, la planificación a medio plazo y la comunicación entre actores aportan visión de futuro y objetivos compartidos. Se trata de un paso importante para aportar garantías ligadas a la movilización y suministro de madera y dar respaldo a la inversión y a la contratación de personal especializado, tanto para la gestión forestal como para la transformación industrial, la explotación y el transporte.

Desbloquear la barreras que frenan la selvicultura en hayedos:

- Facilitando el trabajo administrativo y la dinamización forestal a los pequeños municipios, ya sea a través de los servicios forestales públicos o mediante el fomento de apoyo técnico de gabinetes y expertos forestales privados.
- Sensibilizando al público y a los municipios sobre los beneficios de la selvicultura, con acciones de divulgación y extensión forestal, con un plan de comunicación y personal especializado que apoye a los forestales en la pedagogía que debe acompañar su trabajo como gestores.
- Aumentando de las capacidades, la formación y la inversión en señalamientos en hayedos.
- Aumentando el conocimiento y el intercambio de experiencias de gestión entre las comarcas donde se moviliza más haya: multiplicando el hábito de las visitas técnicas, los grupos de trabajo y las estancias de gestores forestales de comarcas y regiones en las que se ha ido perdiendo la práctica de la selvicultura del haya con las de gestores en las que se mantiene muy activa.
- Haciendo extensible al resto de regiones, lo que en Navarra se está contemplando aplicar: la creación de un “fondo climático” y simplificar los pliegos de aprovechamientos. Lo mismo con la certificación forestal.

Facilitar y hacer más atractivo el trabajo de los rematantes forestales:

- Eliminado la limitación de hacer aprovechamientos fuera del periodo no vegetativo como ya se hace en Navarra.
- Fomentando y favoreciendo la formación técnica de operarios y rematantes.
- Aumentando la cantidad de madera extraíble por hectárea siempre que se pueda y/o aumentando la superficie de aprovechamiento. Esta medida evitaría daños en arbolado remanente por falta de espacio de caída, mejoraría las condiciones de seguridad y salud (si se hacen claras poco intensas el riesgo de rebote e impacto de ramas por rotura aumenta), aumentaría la rentabilidad y la atracción a esta actividad económica, y aceleraría el proceso de mejora de calidad de las masas remanentes.
- Haciendo más cortas de regeneración, algo que además ayudaría a renovar muchos montes provenientes de cepa y la calidad de madera.
- Permitiendo la apertura de red viaria bien diseñada y planificada, de bajo impacto, allá donde ahora mismo no existen.
- Facilitando (probando, haciendo un mayor control del aprovechamiento, perdiendo el miedo a) el uso de maquinaria adaptada a las condiciones de confort, seguridad y salud exigidas por los estándares de trabajo actuales.

Aumentar el conocimiento de los recursos para facilitar la toma de decisiones

- Haciendo un plan de movilización regional para el haya con una perspectiva global que vaya más allá de los proyectos de ordenación o secciones territoriales, en colaboración con las entidades lo-

cales propietarias, los rematantes, las industrias y equipos técnicos, públicos o privados, de apoyo a la gestión (organizando de la producción del haya).

- Mejorando y estandarizando los datos de las estadísticas y cartografías, tanto de las masas forestales como de los datos de mercado. Poniendo especial atención y esfuerzos para tener estadísticas sobre la calidad de la madera (la que hay en pie, la que se corta, la que se procesa) y no solo en la cantidad.
- Estableciendo un lenguaje común y estandarizado, a nivel interregional, en la clasificación de la madera en pie, en rollo y en tabla.
- Generando información georreferenciada continua espacialmente en modalidad inventario dinámico.
- Actualizando las ecuaciones de cubicación del haya a las circunstancias actuales de las masas e integrar parámetros de calidad tecnológica en la toma de decisiones.

Resumen y temporalización:

Primero llegar a un acuerdo de oferta-demanda mínima interregional (organizar la producción y establecer un dialogo para movilizar los hayedos). Dar estabilidad al sector de los rematantes y de la industria (que será y favorecerá las zonas rurales) utilizando la circunstancia actual de aumento de precios y de demanda de madera: aplicando la certificación forestal, nuevas herramientas de caracterización y clasificación, poniendo sobre la mesa datos de calidad, valorando debidamente las condiciones de los pliegos, valorando la seguridad y salud de los trabajadores en monte y fortaleciendo la parte administrativa de los aprovechamientos en mano de las entidades locales.

Todo esto para ejecutar una selvicultura dinámica, selectiva y continua que nos lleve a tener más superficie de hayedo con pies de más de 30 cm y de buena calidad de madera en el menor tiempo posible (y así pasar de una gestión de cantidad a una de calidad). Esto a su vez, estabiliza las masas forestales de haya y mejora su vigor/crecimiento y resiliencia. Al mismo tiempo, generar accesos e infraestructuras sólidas para acceder a los hayedos de forma rentable, segura y minimizando posibles impactos negativos y estableciendo realmente unos recursos humanos que se ocupen de divulgar la gestión forestal y un plan de comunicación específico.

Después de conseguir esto: de aumentar los rematantes, asentar las industrias, mejorar la estabilidad y vigor de los hayedos, se podrá pasar a tener más ingresos y beneficios ambientales y sociales, porque se podrá pasar a cosechar árboles de calidad realmente bien pagados, y toda la cadena de valor y los montes de hayas saldrán beneficiados, al mismo tiempo que la bioeconomía circular.

ESTUDIOS PREVIOS RELEVANTES

Para la elaboración de este trabajo se ha hecho una revisión bibliográfica y documental importante:

a) **Literatura básica sobre ecología, selvicultura, usos e historia del haya:**
En el "Compendio de Selvicultura aplicada en España. *Fagus sylvatica* L." (de Rafael Serrada, Gregorio Montero y José A. Reque, 2008, INIA) viene perfectamente recogido la distribución, caracteres culturales, agentes patógenos y las características tecnológicas y usos del haya, así como tratamientos selvícolas[45].

En las publicaciones de Palá, J. O., Navarro, F. P., & Lösing, H.[46] *Fagus sylvatica* L. del Ministerio para la Transición Ecológica y el reto demográfico, viene perfectamente recogidas las zonas de procedencia, morfología, ecología, materiales forestales de reproducción, técnicas de manejo y reproducción, producción de plantas, uso en repoblaciones, etc.

En "Los Bosques de Castilla y León. Juan Andrés Oria de Rueda. El hayedo, el bosque encantado". (2003) es valiosa la información sobre ecológica, distribución, enclaves especiales, evolución, usos e historia del haya.

En la ficha descriptiva "*Fagus sylvativa"* elaborada por Menendez Baceta, Gorka, Manuel J. Macía, Ramón Morales, Javier Tardío y Manuel Pardo de Santayana, para el Inventario Español de los Conocimientos Tradicionales relativos a la Biodiversidad, viene muy bien recopilados usos del haya.

45 También se pueden consultar en especiesforestales.com de la UCAV. Fichas descriptivas de especies forestales de España.

46 Palá, J. O., Navarro, F. P., & Lösing, H. Fagus sylvatica L. Ministerio para la Transición Ecológica y el reto demográfico

b) **Literatura sobre distribución del haya:**
Sobre distribución es reseñable el trabajo de "Las regiones de procedencia de Fagus sylvatica L. en España." de AGÚNDEZ D., MARTÍN S., DE MIGUEL Y DEL ÁNGEL J., GALERA R.M., JIMÉNEZ M.P., DÍAZ-FERNÁNDEZ P., 1995. ICONA.

c) **Literatura caracterización de propiedades tecnológicas de haya en las masas forestales y trozas**
O. Bouriaud · N. Brda · G. Le Mogudec · G. Nepveu.2004. Modelling variability of wood density in beech as affected by ring age, radial growth and climate. Trees 18:264–276. DOI 10.1007/s00468-003-0303-x

Wessels, C.B.; Malan, F.S.; Rypstra, T. A review of measurement methods used on standing trees for the prediction of some mechanical properties of timber. Eur. J. For. Res. 2011, 130, 881–893. http://dx.doi.org/10.1007/s10342-011-0484-6

Diego Russo, Pasquale A. Marziliano, Giorgio Macrì,Giuseppe Zimbalatti,Roberto Tognetti and Fabio Lombardi. 2020. Tree Growth and Wood Quality in Pure Vs.Mixed-Species Stands of European Beech and Calabrian Pine Forests. Forests 2020, 11, 6; http://dx.doi.org/10.3390/f11010006

Ismael Aranda Vulnerabilidad funcional del haya (Fagus sylvatica L.)ante un escenario de incremento en la intensificación y recurrencia de los periodos secos. MITECO. https://www.miteco.gob.es/es/cambio- climatico/temas/impactos-vulnerabilidad-y-adaptacion/cap13-vulnerabilidadfuncionaldelhayafagussylvatical_tcm30-70215.pdf

Vladimir Gryc,2008. Selected properties of European beech (Fagus sylvatica L.)Article in Journal of Forest Science · September 2008 DOI: 10.17221/59/2008-JFS. https://www.researchgate.net/publication/285739532

Jozica Gricar, Ladislav Menšík,Vladimir Gryc, Kyriaki Giagli. 2016. The effects of drought on wood formation in fagus sylvatica during two contrasting years. IAWA journal / International Association of Wood Anatomists · June 2016. https://www.researchgate.net/publication/303829813

Ivan Sopushynskyy*, Ivan Vintoniv, Alfred Teischinger 2005. The influence of site factors on wood density and moisture content of beech in the Ukrainian Carpathians Wood research · September 2005. https://www.researchgate.net/publication/270896640

Evaluation of European beech (Fagus sylvatica L.) roundwood for improved production of strength-graded lamellas September 2015 Conference: 5th International Scientific Conference on Hardwood Processing 2015At: Québec CityVolume: Proceedings.

Aicher, S. and D. Ohnesorge. 2011. Shear strength of glued laminated timber made from European beech timber. European Journal of Wood and Wood Products 69: 143–154. DOI 10.1007/s00107-009-0399-9.

d) **Literatura caracterización normativa de madera de frondosas en España:**
Vega, A., Arriaga, F., Guaita, M. et al. Proposal for visual grading criteria of structural timber of sweet chestnut from Spain. Eur. J. Wood Prod. 71, 529–532 (2013). https://doi.org/10.1007/s00107-013-0705-4

Vega, A., Dieste, A., Guaita, M. et al. Modelling of the mechanical properties of Castanea sativa Mill. structural timber by a combination of non-destructive variables visual grading parameters. Eur. J. Wood Prod. 70, 839–844 (2012). https://doi.org/10.1007/s00107-012-0626-7

Fernández-Golfin, J. I.; Díez, R.; Hermoso, E.; Casas, J. M.; Baso, C. Caracterización de la madera de E. globulus para uso estructural. Boletín informativo CIDEU -- N. 04 (2007)

e) **Literatura LVL de haya y adhesivos estructurales madera de frondosas:**
Aydın, İ., Çolak, S., Çolakoğlu, G. A comparative study on some physical and mechanical properties of Laminated Veneer Lumber (LVL) produced from Beech (Fagus orientalis Lipsky) and Eucalyptus (Eucalyptus camaldulensis Dehn.) veneers. Holz Roh Werkst 62, 218–220 (2004). https://doi.org/10.1007/s00107-004-0464-3

Daoui, A.; Descamps, C.; Marchal, R.; Zerizer, A. Influence of veneer quality on beech LVL mechanical properties. Maderas. Ciencia y tecnología 2011; 13(1): 69-83 (2011)

Sernek, M.; Resnik, J.; Kamke, F.A. Penetration of liquid urea-formaldehyde adhesive into beech Wood. Wood and fiber science : journal of the the Society of Wood Science and Technology (USA) (1999)

Shukla, S.R., Kamdem, D.P. Properties of laboratory made yellow poplar (Liriodendron tulipifera) laminated veneer lumber: effect of the adhesives . Eur. J. Wood Prod. 67, 397–405 (2009).

Mirzaei, B.; Sinha, A.; Nairn, J. Assessing the role of adhesives in durability of laminated veneer lumber (LVL) by fracture mechanics. Holzforschung, Volume 70, Issue 8, Pages 763–771 (2016)

f) **Literatura sobre selvicultura, ordenación, tablas producción, tratamientos, regeneración:**
A este respecto cabe mencionar el portal web "Distrito Forestal" donde disponen de un listado excelente de bibliografía básica para la gestión de hayedos (escrito por Gregorio Montero). Según el autor de esta biblioteca el *(asterisco) delante de la referencia bibliográfica, indica que ese trabajo es de interés especial. https://distritoforestal.es/biblioteca/selvicultura-y-pascicultura/bibliografia-basica-para-la-gestion-de-hayedos-fagus-sylvatica

AGÚNDEZ D., MARTÍN S., DE MIGUEL Y DEL ÁNGEL J., GALERA R.M., JIMÉNEZ M.P., DÍAZ-FERNÁNDEZ P., 1995. Las regiones de procedencia de Fagus sylvatica L. en España. ICONA, 51 pp.

*ARÉVALO C., 1963. Ordenación y selvicultura intensiva en los montes de Fagus sylvatica. Montes, 112, 277-285.

ASOCIACIÓN DE PROPIETARIOS FORESTALES DE GUIPUZCOA, 2003. Repoblación y Manejo Forestal. Departamento de Agricultura y Medio Ambiente. Diputación Foral de Guipúzcoa. Tolosa, 122 pp

*AUNÓS A., ELGARRESTA E., DORRONSORO V., 1992. La luz y el sotobosque como factores determinantes en la regeneración natural de un hayedo guipuzcoano. Actas del Congreso Internacional del Haya. Investigación Agraria. Sistemas y Recursos Forestales. Fuera de Serie nº 1. Volumen I, 247-260.

*BUESA A., 2006. El haya en Bizkaia. Dpto. Agricultura. Diputación Foral de Bizkaia.

CÁRCAMO S., GARMENDIA A., SCHWENDTNER O., 2001. Influencia de los tratamientos selvícolas en la capacidad de acogida de un hayedo atlántico para pito negro (Dryocopus martius) y pico dorsiblanco (Dendrocopos leucotos). Actas III Congreso Forestal Español. Granada. Mesa 4. 551-557. SECF-EGMASA.

*CIRAC J., 1992. Algunos aspectos sobre la selvicultura del haya en la Comunidad Autónoma de la Rioja. Actas del Congreso Internacional del Haya. Investigación Agraria. Sistemas y Recursos Forestales. Fuera de Serie nº 1. Volumen II, 189-202.

CIRAC J., 1994. Cortas de mejora en masas de frondosas de la Comunidad Autónoma de la Rioja. 1ª parte: El medio. Montes 37, 27-32.

CIRAC J., 1994. Cortas de mejora en masas de frondosas de la Comunidad Autónoma de la Rioja.2ª parte: La explotación. Montes 38, 27-34.

*DUPLAT P., ROMAN-AMAT B., 1996. Sylviculture du hêtre. ONF. Bulletin Technique nº 31, 29-33

Gandullo JM, Blanco A, Sánchez Palomares O et al. 2004. Las estaciones ecológicas de los hayedos españoles. Monografías Serie Forestal 8, INIA, Madrid.

*IBAÑEZ J.I. 1989. El haya (Fagus ylvatica L.) en La Rioja. Selvicultura y Ordenación. Tesis Doctoral. Universidad Politécnica de Madrid. 414 pp + anexos

*IBÁÑEZ J.I., SAN MIGUEL A., 1992. Criterios para la ordenación de los hayedos en La Rioja. Actas del Congreso Internacional del Haya. Investigación Agraria. Sistemas y Recursos Forestales. Fuera de Serie nº 1. Volumen II, 249-264.

*MADRIGAL;A. CALAMA,R. MADRIGAL,G. AUNOS,A. REQUE, J. 2008. Selvicultura de Fagus sylvaticaL. En Serrada.R. et.al. 2008. Compendio de Selvicultura Aplicada en España, pp 155-185. Ed. INIA-FUCOVASA. Madrid.

*MADRIGAL A., 1992. Selvicultura de Hayedos. Actas del Congreso Internacional del Haya. Investigación Agraria. Sistemas y Recursos Forestales. Fuera de Serie nº 1. Volumen I, 33-60.

*MADRIGAL A., PUERTAS F., MARTÍNEZ MILLÁN J., 1992. Tablas de producción para Fagus sylvatica L. en Navarra. Serie Agraria nº3. Dpto. Agricultura, Ganadería y Montes. Gobierno de Navarra. Pamplona. 122 pp.

*MADRIGAL A., PUERTAS F., MARTÍNEZ MILLÁN J., ERASO E., IZCO F., OMAR A. 1992. Estudio de claras en masas regulares de los hayedos en la Comunidad Foral de Navarra. Actas del Congreso

Internacional del Haya. Investigación Agraria. Sistemas y Recursos Forestales. Fuera de Serie nº 1. Volumen II, 213-230.

* MADRIGAL A., 1994. Ordenación de Montes Arbolados. I.C.O.N.A., Madrid, 375 pp.

* MADRIGAL,A: ALVAREZ,J:G.RODRIGUEZ,R. ROJO.A. 1999. Tablas de Producción para los Montes Españoles. 253pp. FUCOVASA ; ETS Ingenieros de Montes Madri

MONTERO,G .RUIZ-PEINADO,R. MUÑOZ, M. 2005. Producción de Biomasa y Fijación de CO2 por los Bosques Españoles. 270pp. INIA.

Menendez Baceta, Gorka, Manuel J. Macía, Ramón Morales, Javier Tardío y Manuel Pardo de Santayana. Inventario Español de los Conocimientos Tradicionales relativos a la Biodiversidad. Ficha Fagus sylvatica. https://www.miteco.gob.es/es/biodiversidad/temas/inventarios-nacionales/iect_fagus_sylvatica_tcm30-164145.pdf

OLABE F., ARIZ A., MADRIGAL A., 2000. Herramientas de cubicación para el haya (Fagus sylvatica) en Navarra. Departamento de Medio Ambiente, Ordenación del Territorio y Vivienda. Gobierno de Navarra.

*SÁNCHEZ DE MEDINA A., GARCÍA A., GONZÁLEZ C., AYUGA E.G, MARTÍN S., 2001. Definición de estructuras básicas de los hayedos para su gestión. Actas III Congreso Forestal Español. Granada. Mesa 4. 676-681. SECF-EGMASA.

*SERRADA R., 2002. Apuntes de Selvicultura. EUIT Forestal. UPM. 490 pp.

*TORRES ANDUEZA V., 1963. Ordenación y Selvicultura de los montes de Fagus sylvatica. Actas de la II Asamblea Técnica Forestal. Pp 208-214. Madrid.

g) **WEBS RECOPILATORIAS GRAN INFORMACIÓN**

AITIM, "acrónimo de la Asociación de Investigación de las Industrias de la Madera, es una asociación privada sin ánimo de lucro, fundada el 6 de abril de 1962. Está formada por empresas que trabajan en el sector de la madera a los que une el deseo del desarrollo técnico de sus productos y el de acreditar su calidad". En su página web tienen una inmensa recopilación categorizada. En el caso concreto del haya: https://infomadera.net/modulos/buscar.php?b=HAYA

DISTRITO FORESTAL, "Portal de Información El Distrito Forestal. Lo sostenemos un grupo de 5 ingenieros de montes cuyas trayectorias profesionales convergen en la preocupación por la gestión sostenible de nuestros montes. No somos unos profesionales sin bagaje previo; entre todos juntamos más de 150 años de experiencia profesional". Como hemos citado antes disponen de valiosa bibliografía recopilada, en este caso de haya: https://distritoforestal.es/biblioteca/selvicultura-y-pascicultura/bibliografia-basica-para-la-gestion-de-hayedos-fagus-sylvatica

2. HERRAMIENTAS DE CÁLCULO Y CLASIFICACIÓN DE VOLÚMENES DE MADERA DE HAYA EN FUNCIÓN DE LAS CARACTERÍSTICAS MORFOLÓGICAS DEL ÁRBOL EN PIE, BASADAS EN EL USO DEL LIDAR AEROTRANSPORTADO, TERRESTRE Y FOTOGRAMETRÍA.

Realizado por:
Alejandro Cantero Amiano,
Ingeniero de montes en HAZI Fundazioa

1.- INTRODUCCIÓN Y CONTEXTO.

El haya (*Fagus sylvatica*), en forma de hayedos puros o en mezcla con robles, se extiende por unas 400.000 ha según IFN4. El 50% de esa superficie se concentra entre Navarra y Asturias. Es básicamente una especie de montaña, de difícil explotabilidad, frente al caso europeo, donde es más bien una especie de llanura y de fácil aprovechamiento.

Dentro de las frondosas, el haya es la principal especie española en cuanto a existencias maderables medias (unas 200 m^3/ha) y totales (unos 80 millones de m^3). Sin embargo, es la tercera/cuarta frondosa en cuanto a volumen de cortas anuales, ya que solo suele alcanzar los 100.000 m^3/año. En el último año del que se dispone de datos de corta en España (Anuario de Estadística Forestal 2020) se han alcanzado los 149.356 m^3, además de 93.815 t destinadas a leña. Se estima que la demanda actual de madera de haya en España es el doble de lo que se corta, por lo que hay que recurrir a importaciones.

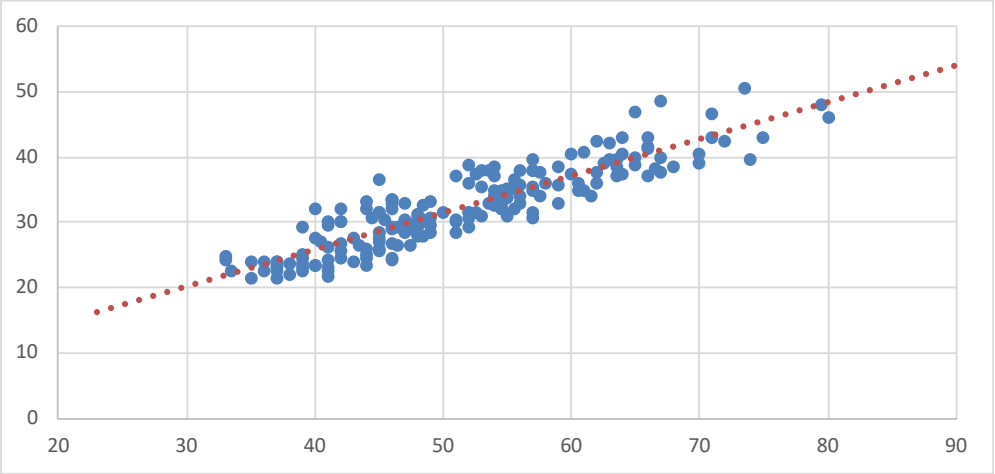
Se cuenta con dos grandes fuentes de información para poder contabilizar las existencias en pie y el crecimiento de los hayedos: las parcelas de muestreo periódicas del IFN y las ordenaciones forestales y estudios anexos, centrados sobre todo en Navarra. Sin embargo, no se dispone de fórmulas de cubicación actualizadas para poder cuantificar la madera y el carbono almacenado en los hayedos españoles. Las tarifas del IFN, disponibles para varias provincias o el total de España, parten de una muestra de unas 10.000 hayas-tipo procedentes de su apeo y cubicación en el marco del IFN1 (hace unos 50 años) y no han sido actualizadas desde entonces con la inclusión de hayas bravas de grandes dimensiones. Sí se dispone de una amplia colección de tarifas y ecuaciones de cubicación para el haya del tipo VCC=f(d,h), pero suelen ser ecuaciones locales, generadas tradicionalmente a partir de árboles-tipo para los hayedos de una determinada región.

2.- ALCANCE DEL RESULTADO.

Se pretende aportar al sector forestal una ecuación de cubicación y fórmulas de perfil de tronco en base a la muestra de hayas disponibles en las parcelas de muestreo del proyecto GO Fagus. Se trata de

herramientas fundamentales para poder calcular el volumen en madera de las hayas, clasificado según dimensiones del fuste.

Así mismo, se pretende sentar las bases para futuros estudios de la calidad de la madera del haya en base a los datos recogidos mediante el empleo de un resistógrafo, al efecto de la competencia entre las hayas colindantes y a las condiciones climáticas.

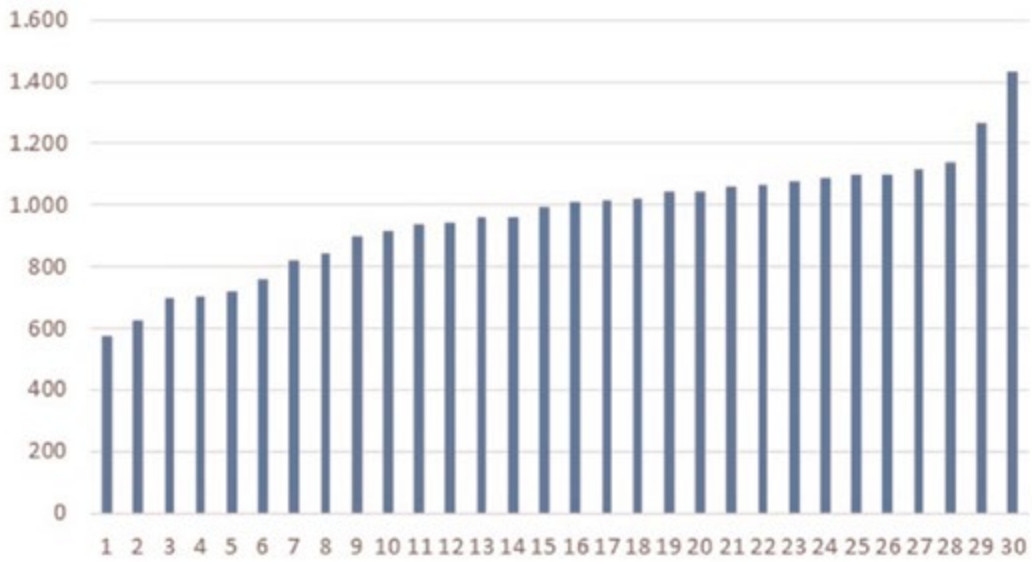


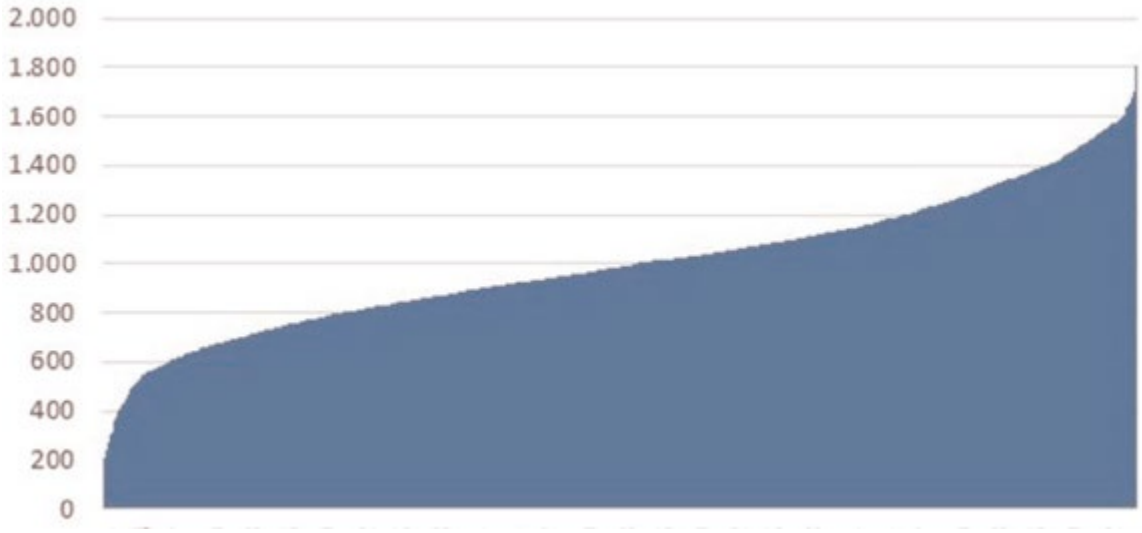
Ejemplo de utilidad del resistógrafo: número de anillos (eje X) vs diámetro de las hayas (cm, eje Y).

3.- METODOLOGÍA.

Se parte de una muestra de 30 parcelas de hayedo puro de diversas tipologías, repartidas por las montañas pirenaicas y cantábricas (ver Tabla 1) y medidas en el verano de 2021. Con un radio de 14 m, se miden todos los diámetros y se seleccionan las 10 hayas representativas (tarea realizada por Föra y Cetemas). Estos 10 árboles son numerados con pintura con el fin de proporcionar datos de diámetro normal, altura total, altura de copa y diversos parámetros de calidad del fuste. También son muestreados, a la altura normal, con el fin de proporcionar un par de cores o barrenas de Pressler (Madera+) y son medidos con un resistógrafo IML PD500 de 50 cm (HAZI). En 5 de las parcelas navarras, además, las hayas son medidas con un segundo resistógrafo Rinntech (Cetemas). Se cuenta, por tanto, con datos individuales de 300 hayas.

Estas 30 parcelas muestran unas altitudes muy semejantes al rango altitudinal del total de los hayedos españoles, calculado mediante la ubicación de las parcelas IFN. Hay que tener en cuenta que la altitud suele ser el factor más determinante en la productividad de los hayedos, debido a las limitaciones climáticas de las zonas de montaña donde se ubican.





Comparación de la altitud (m) de las 30 parcelas (arriba) frente a las parcelas IFN (abajo).

Igualmente, estas 30 parcelas han sido escaneadas por HAZI con diversos tipos de láser escáner de trípode (TLS) y de mano (SLAM) con el fin de disponer de nubes de puntos de las parcelas y sus alrededores. Estas nubes de puntos, una vez procesadas y coloreadas permiten conocer la estructura 3D de las hayas individuales y de las circundantes.

Como complemento, algunas de esas parcelas situadas en el País Vasco han sido fotografiadas a nivel de suelo o han sido voladas con dron con el fin de conseguir nubes de puntos mediante fotogrametría y láser aéreo. También se dispone de los fotogramas digitales proporcionados por el vuelo de la ortofoto del País Vasco correspondiente a verano de 2021, lo que permite también calcular la altura total o la anchura de copa de todos los árboles por fotogrametría.

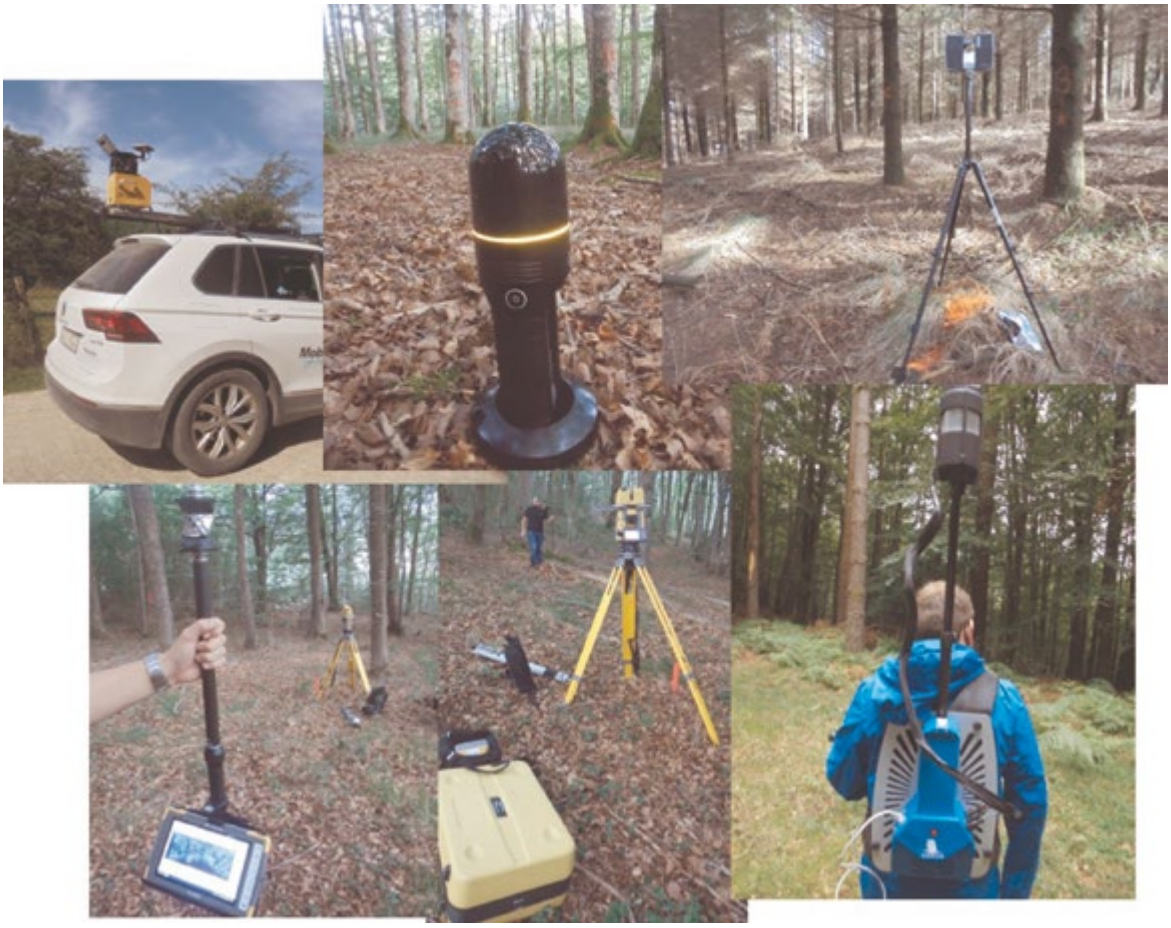
3.1 Metodología seguida en el procesado de las nubes de puntos de los escaneos terrestres

Todas las parcelas del proyecto han sido escaneadas en verano de 2021, coincidiendo con la época de medición dasométrica y algunas de ellas han sido escaneadas dos veces, tras la corta de las hayas seleccionadas (ver Tabla 4). Se han testado diversos láser escáner, capaces de obtener nubes de punto coloreadas (RGB), obteniéndose estas primeras conclusiones:

- BLK2go de Leica: escáner de mano (SLAM), muy ligero y fácil de manejar, pero con escaso alcance (25 m) y con cierta deriva en los escaneos circulares, lo que dificulta su empleo en inventario forestal
- FARO Focus 120: escáner de trípode (TLS) con buen alcance (100 m), aunque de empleo complicado por la necesidad de unir escaneos con referencias
- GTL de Topcon: escáner de trípode (TLS) con buen alcance (100 m) y capaz de tomar datos GPS si existe cobertura de móvil (RTK), aunque de empleo complicado por su elevado peso
- Heron de Topcon: escáner de mochila, con buen alcance, con baja densidad de puntos en los fustes, además de empleo complicado por sus dimensiones
- LiGrip de GreenValley: escáner de mano (SLAM), ligero y fácil de manejar, con buen alcance (100 m), lo que facilita su empleo en inventario forestal

Un factor fundamental que se ha detectado es la época de escaneo. Al haberse concentrado el trabajo de campo en periodo vegetativo, la densidad de la cubierta de las hayas ha dificultado la toma de puntos en la parte superior de los fustes. El problema se ha solucionado con el empleo de las alturas totales suministradas mediante el inventario tradicional o la fotogrametría aérea y con la repetición de algunos escaneos en época invernal.

Las ventajas de contar con escaneos de las parcelas son considerables. Además de facilitar las cubicaciones y el modelado 3D de las hayas, permitirán en el futuro calcular el crecimiento de los fustes en las 15 parcelas no intervenidas y el efecto de las claras sobre las hayas supervivientes en las 15 parcelas intervenidas.



Distintos sistemas TLS/SLAM empleados en los escaneos terrestres de las parcelas.

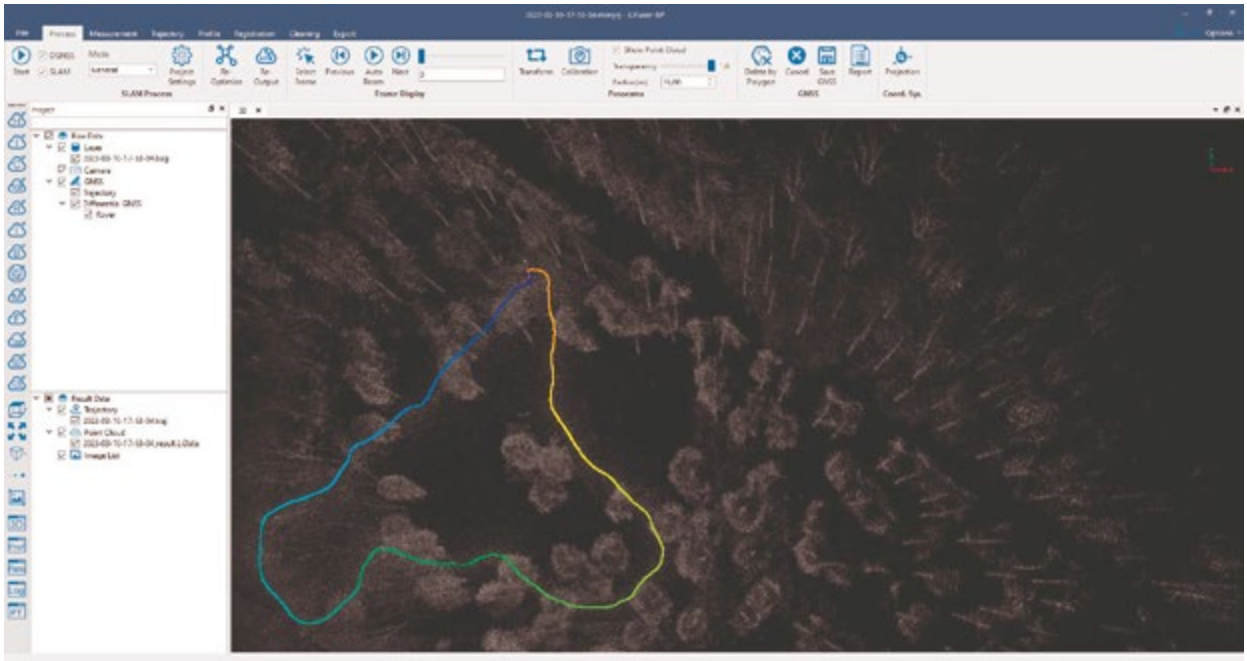
El esquema de trabajo empleado con las nubes de puntos ha sido el siguiente. Debido al alcance de los escaneos y al tamaño que alcanzan esos archivos, se ha seleccionado la zona central de cada parcela, incluyendo a ser posible las 10 hayas seleccionadas, y se ha trabajado únicamente con esos árboles, que cuentan con una mayor densidad de puntos en los fustes. El programa gratuito ***CloudCompare*** facilita dichas labores y admite diversos formatos de nubes de puntos. A partir de esos escaneos centrales, se ha podido trabajar con distintos programas para calcular diámetros de los fustes a diversas alturas y para disponer de los modelos 3D de las hayas seleccionadas.

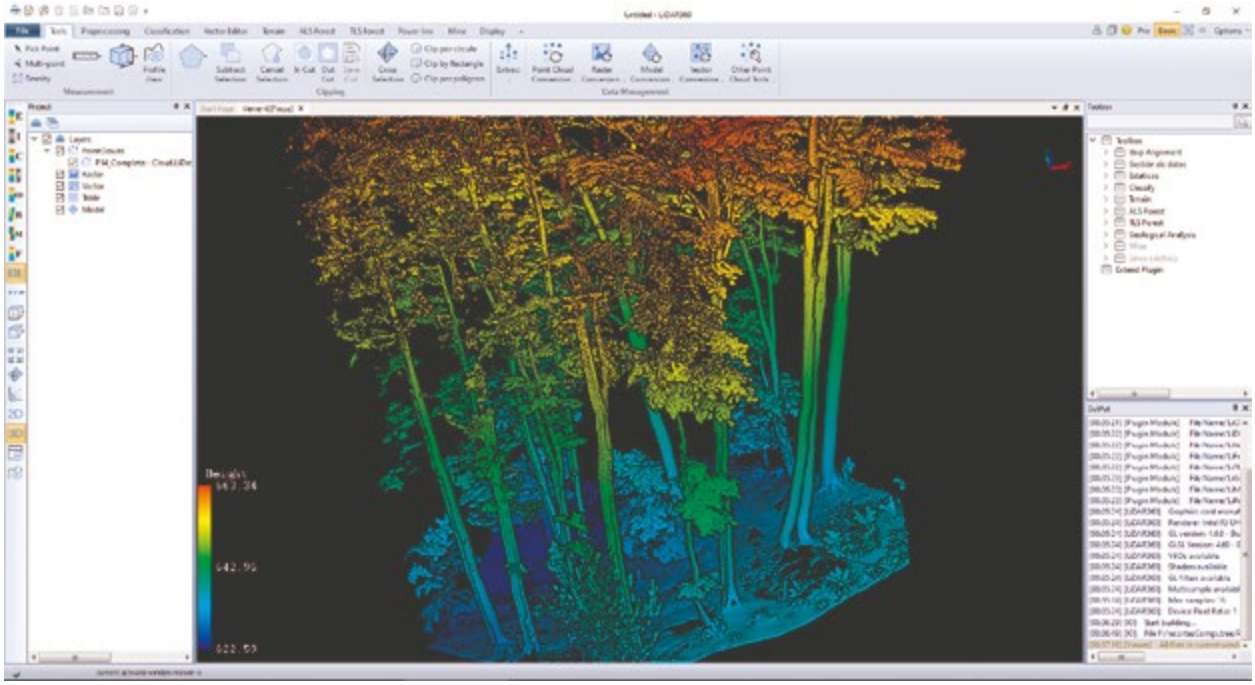
Se han seguido dos posibles sistemas independientes de trabajo a partir de estos escaneos, el primero basado en programas comerciales o de pago y el segundo basado en programas abiertos o de *software* libre.

Sistema 1: Cálculos con el programa LiDAR360

El programa LiDAR360, creado por la empresa *GreenValley International*, está diseñado para el cálculo de magnitudes forestales a partir de nubes de punto de escaneos terrestres (TLS) o aéreos (ALS). A partir de los escaneos de las parcelas del proyecto, se han seleccionado 200 hayas fusiformes (con un fuste principal definido, sin bifurcaciones ni defectos externos) y el programa ha permitido calcular

su diámetro medio a las alturas de 0, 1,3, 3, 6, 9, 12, 15, 18, 21 y 24 m. Estos diámetros han permitido calcular el volumen de esas trozas mediante la fórmula de Smalian. Mediante un programa estadístico, se ha podido correlacionar la suma del volumen de todas las trozas del fuste principal con el diámetro normal y la altura total de cada una de las 200 hayas seleccionadas para construir las ecuaciones de cubicación.

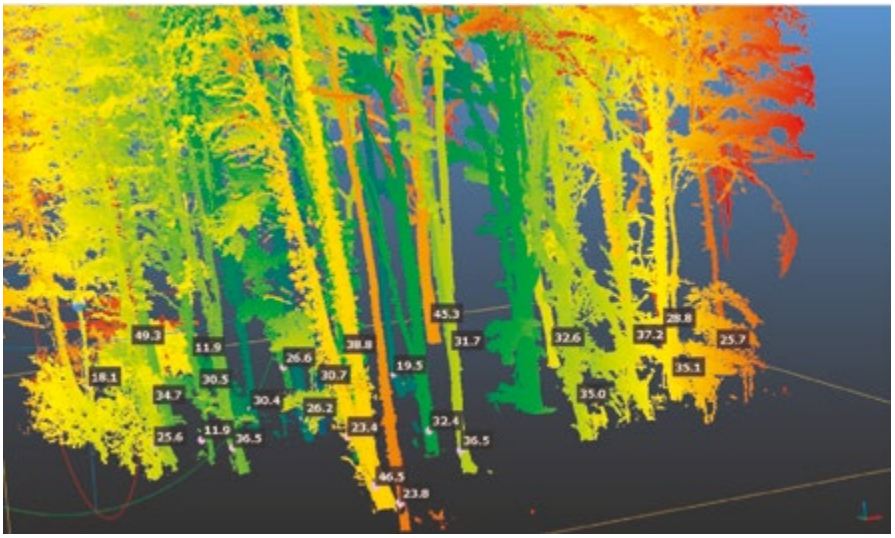




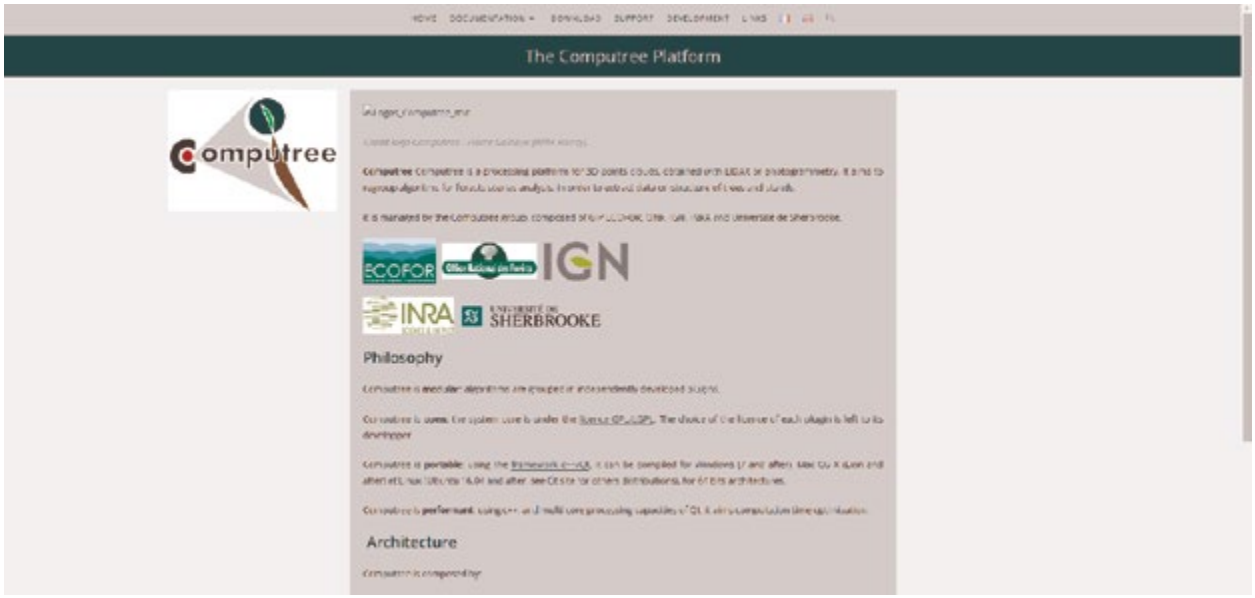
Sistema 2: Cálculos con programas abiertos

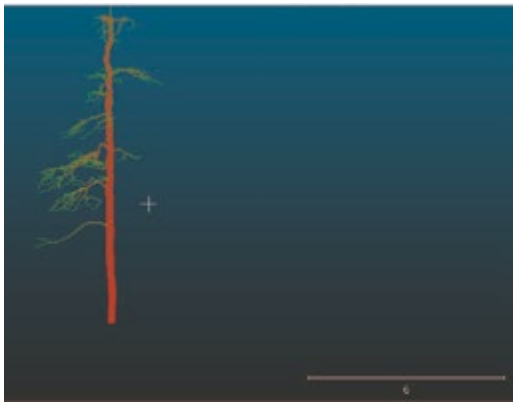
Se ha podido trabajar con tres de estos programas:

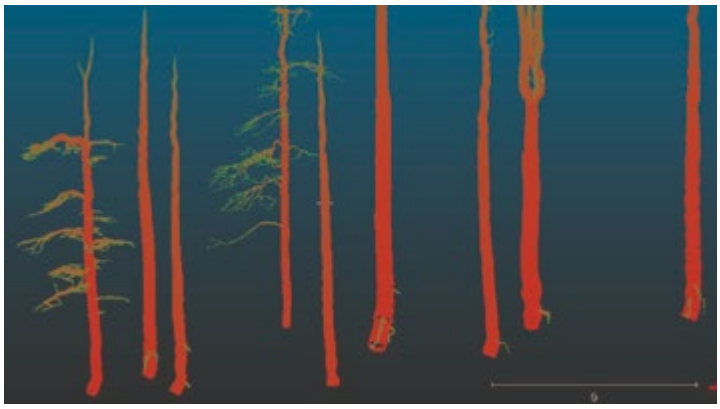
La librería o paquete *FORTLS* en lenguaje R ha sido desarrollada por investigadores de la Universidade de Santiago de Compostela (USC) en colaboración con personal de la Universidade da Coruña y del Instituto Nacional de Investigación y Tecnología Agraria (CSIC-INIA). Ha nacido con el objetivo de convertir el TLS en una herramienta operativa para su uso en inventarios forestales y permite trabajar con diversos formatos de nubes de puntos y modelar los fustes, obteniendo el diámetro a diversas alturas u cubicando directamente cada árbol escaneado.



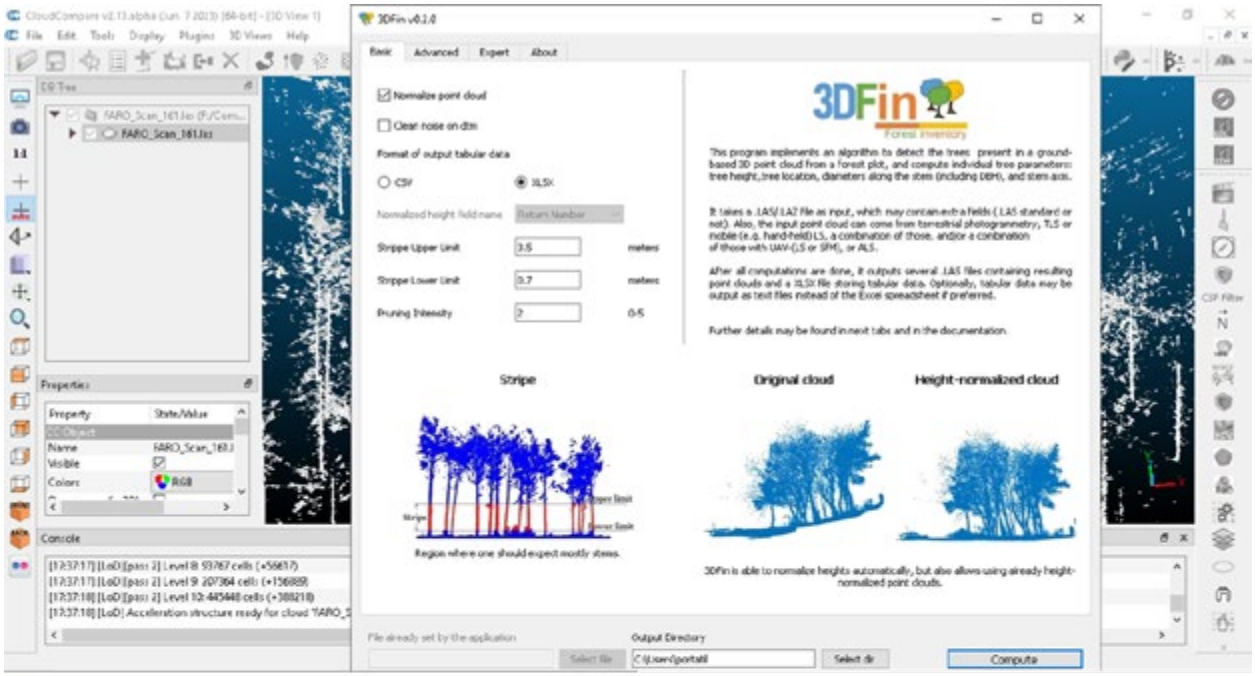
Computree es una plataforma de procesamiento de nube de puntos 3D, derivada de sensores láser, LiDAR o del procesamiento fotogramétrico. Su objetivo es reunir algoritmos para el análisis de escaneos forestales, con el fin de extraer datos sobre la estructura de árboles y rodales. Es administrada por el grupo Computree, compuesto por GIP ECOFOR, ONF, IGN, INRA y la Universidad de Sherbrooke. Ha permitido, a través de nubes en formato .xyz o .xyb, disponer de un modelo 3D de cada árbol, tanto en formato gráfico (.ply) o numérico (.csv) de las distintas trozas: diámetro longitud, coordenadas relativas. Dado que permite jerarquizar esas trozas, distinguiendo el fuste principal del resto de ramas, es posible calcular el volumen total y del fuste hasta el diámetro en punta fina que se desee. Este programa se ha empleado para cubicar 525 robles en pie del País Vasco y construir ecuaciones de cubicación.

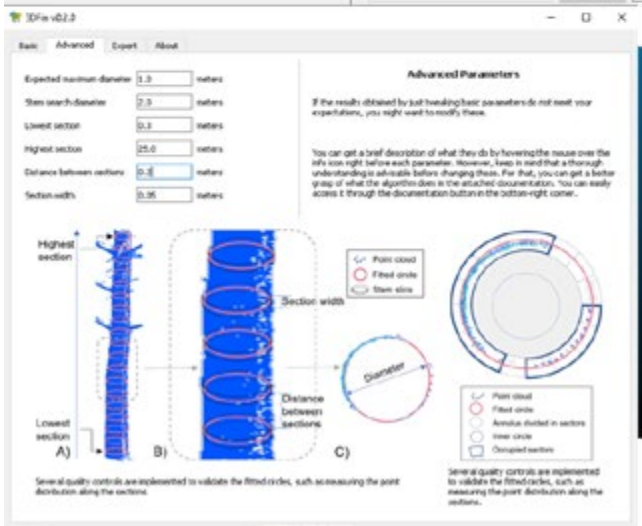


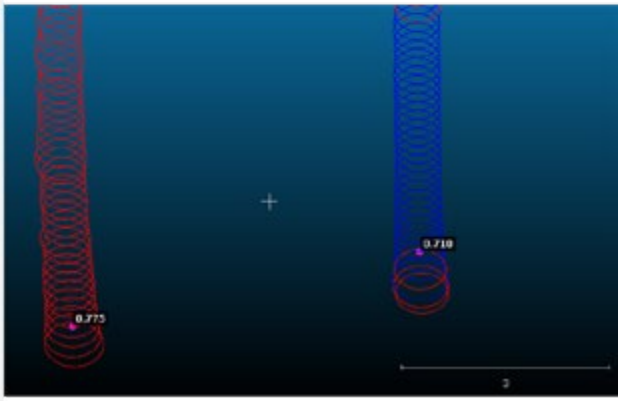




Y, por último, actualmente se está completando el citado programa gratuito CloudCompare con un nuevo plugin denominado 3DFin, que permite también normalizar cualquier nube de puntos forestal y calcular el diámetro a distintas alturas de los árboles escaneados.







3.2 Metodología seguida en el procesado de datos del resistógrafo IML

Las 300 hayas incluidas en las 30 parcelas del proyecto han sido muestradas con un resistógrafo IML PD500 con longitud de broca de 50 cm adquirido por HAZI en el marco del proyecto. Esas mismas hayas también fueron muestreadas por Madera+ con métodos sónicos (***Hitman ST300***) y con extracción de ***cores*** o barrenas de Pressler para obtener densidad básica de la madera.

El citado resistógrafo IML PD500 permite obtener, partiendo de la altura normal de 1,3 m y aguas arriba de la ladera, un perfil completo de la anchura de la corteza y de los anillos, a lo largo de una longitud máxima de 50 cm. Este perfil proporciona información de posibles podredumbres o defectos en la parte interna de los fustes, del crecimiento anual y de la densidad (máxima, mínima y media) de la madera en cada anillo. Los datos que proporciona esta herramienta son el esfuerzo de avance (***drill***) y rotación (***feed***) de la broca de Ø 1 mm en % y cada 0,01 mm de avance. En todas las hayas muestreadas se ha empleado la velocidad 2 del resistógrafo, intermedia/baja dentro de las 5 velocidades posibles en este IML, la cual permite a la broca avanzar a una velocidad de 50 cm/min y girar a 2.000 rpm, revoluciones/minuto.

Se ha almacenado un enorme volumen de información de estas 300 hayas, la mitad de las cuales se cortaron posteriormente y se mandaron a diversos aserraderos. Esta información permitirá en el futuro acometer estudios sobre la relación del crecimiento y la calidad de la madera respecto a las condiciones climáticas o la competencia en el dosel arbóreo.

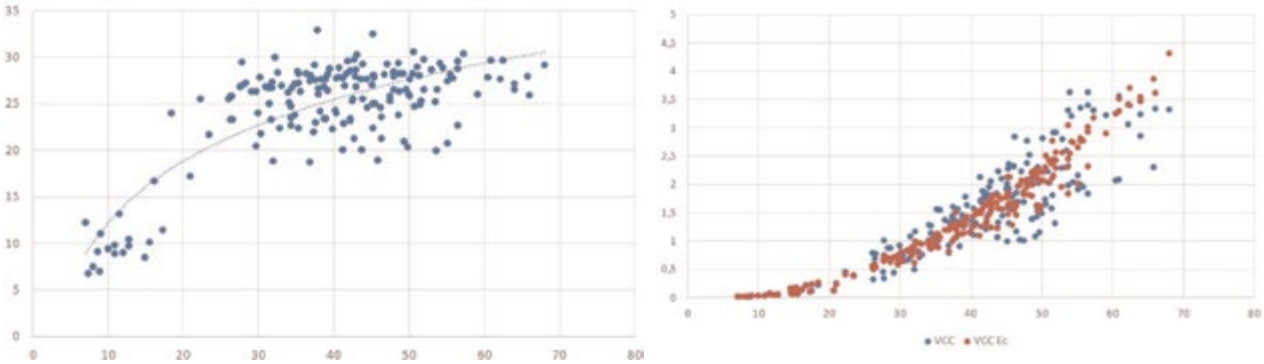
4.- PRINCIPALES HITOS ALCANZADOS:

4.1 Ecuaciones de cubicación generadas para el haya

A partir de la muestra de 200 hayas fusiformes seleccionadas, escaneadas con un FARO Focus 120 y con un GTL de Topcon y troceadas cada 3 m, el Sistema 1 ha generado las siguientes ecuaciones para *Fagus sylvatica* en las parcelas del proyecto GO Fagus:

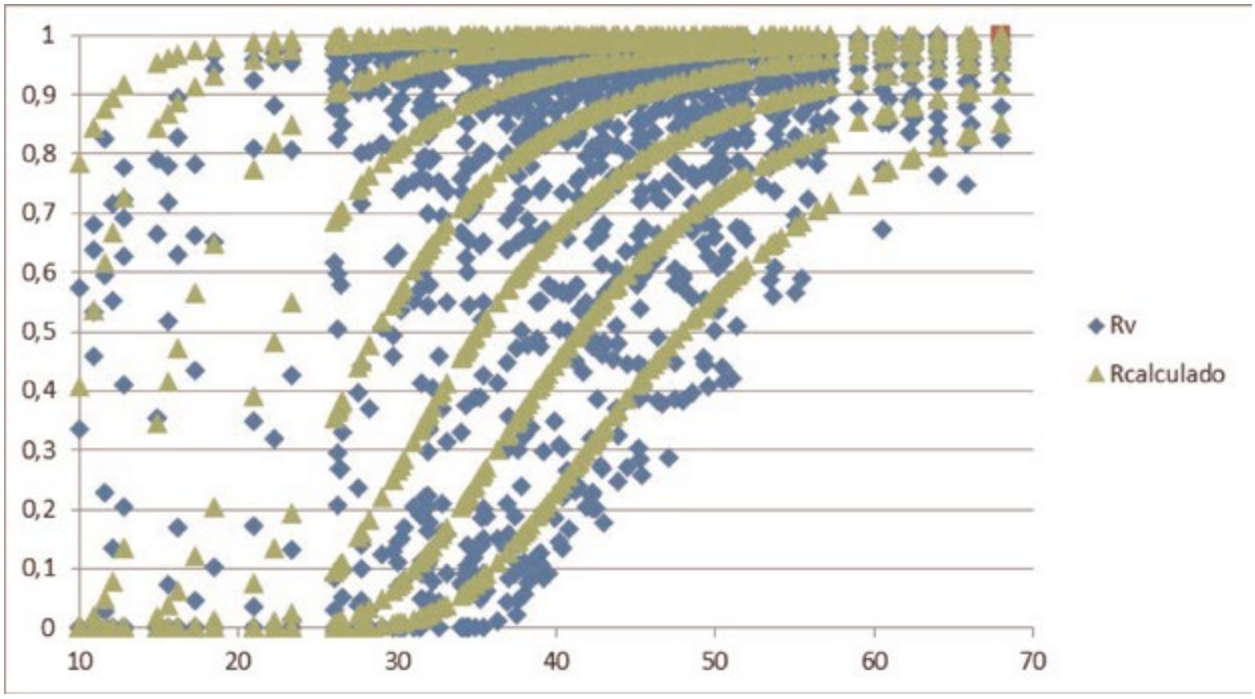
- Ecuación de cubicación: VCC=EXP(-10,3311+1,99827*LN(Diam)+0,996055*LN(Ht)) R2=0,959
- Ecuación de razón de volumen: Vpf = R * VCC
  R=EXP(0,390399*(Dpf^4,5275/Diam^4,16751)) R2=0,946
- Ecuación de perfil de tronco:
  Dpf=(Diam^2*(Ht-Hpf)^1,95/Ht^1,9115)^0,5 R2=0,916
- Coeficiente mórfico medio; 0,41 (VCC = 0,41*π/4*Diam^2*Ht)

VCC (volumen total del fuste) y Vpf (volumen del fuste hasta un determinado diámetro Dpf en punta fina) en m^3, Diam es el diámetro normal en cm y Ht es la altura total en m



Muestra de diámetros y alturas de las 200 hayas empleadas (izquierda) y comparación de sus volúmenes de fuste obtenidos por escaneo y por regresión (derecha).

Esta ecuación de razón de volumen R permite calcular la proporción del volumen total de cada fuste (VCC) que supera cualquier diámetro en punta fina (Dpf). Por tanto, es posible así realizar la clasificación de productos maderables, simplemente calculando el volumen del fuste que se encuentra entre distintos diámetros. Obviamente, los valores de R varían entre 0 y 1.



Comparación de la razón de volumen observada a distintas alturas (Rv) frente al valor calculado por la ecuación (Rcalculado). El eje X representa el diámetro normal en cm de la muestra de 200 hayas cubicadas en el proyecto.

El coeficiente mórfico medio de 0,41 con las hayas muestreadas es muy semejante al publicado[1] en Francia (0,4186) a partir de 3.828 hayas cubicadas por todo el país.

La ecuación conseguida de mayor aplicación es la ecuación de cubicación biparamétrica, de la forma VCC=f(d,h), ya que permite calcular el volumen del fuste de un árbol únicamente partiendo de su diámetro y su altura. Existen en España diversas ecuaciones de este tipo para cubicar hayas, que son las siguientes:

- VIFN es la tarifa publicada en IFN2 (1986-1995) para las hayas fusiformes (Formas 1 y 2):

  VCC = (0,0007718*(Diam*10)^1,88234*Ht^0,89237)/1000

- VIFNRioja es la tarifa del IFN que se suele emplear en La Rioja en hayas (Formas 1, 2 y 3):

  VCC = (57,38+0,0002583*(Diam*10)^2*Ht)/1000

- VCyL es una ecuación empleada en Castilla y León, recientemente publicada en un artículo de Rodriguez ***et al***.[2].-:

  VCC = ((0,0512*(Diam)^2,036193*Ht^0,799343))/1000

- VJI es una ecuación publicada en la tesis de Juan Ignacio Ibañez Ulargui sobre el haya en La Rioja[3]:

  VCC = (0,00030109*(Diam)^1,71664*(Ht*100)^1,14314)/1000

- VAsturias es otra reciente ecuación local desarrollada para el haya en Asturias[4]:

  VCC = 1,01222654*EXP(-13,3833)*(10*Diam)^1,797344*Ht^0,906457

- VEzcaray es una ecuación local que se emplea en los hayedos de Ezcaray (La Rioja), basada en unos árboles tipos que se apearon hace unos 15 años:

  VCC = (35,826305+0,000326*(Diam*10)^2*Ht)/1000

1 Volume tige d'un arbre ou d'une collection d'arbres pour six essences principales en France. Mien Tran-Ha, Georges Perrotte, Thomas Cordonnier, Pierre Duplat. Revue forestière française, 2007, 59 (6), pp.609-624.

2 Comparison of stem taper equations for eight major tree species in the Spanish Plateau. Francisco Rodríguez, Iñigo Lizarralde and Felipe Bravo. Forest Systems, volumen 24, issue 3, 2015.

3 El Haya (Fagus sylvatica L.) en La Rioja. Selvicultura y ordenación. Juan Ignacio Ibañez Ulargui. Tesis Doctoral en la Universidad Politécnica de Madrid, 1990.

4 New forestry tools for natural beech forests in northwestern Spain. Javier Castaño-Santamaría, Jose R. Obeso and Marcos Barrio-Anta. Forest Systems 31 (2), eRC02, 7 pages, 2022.

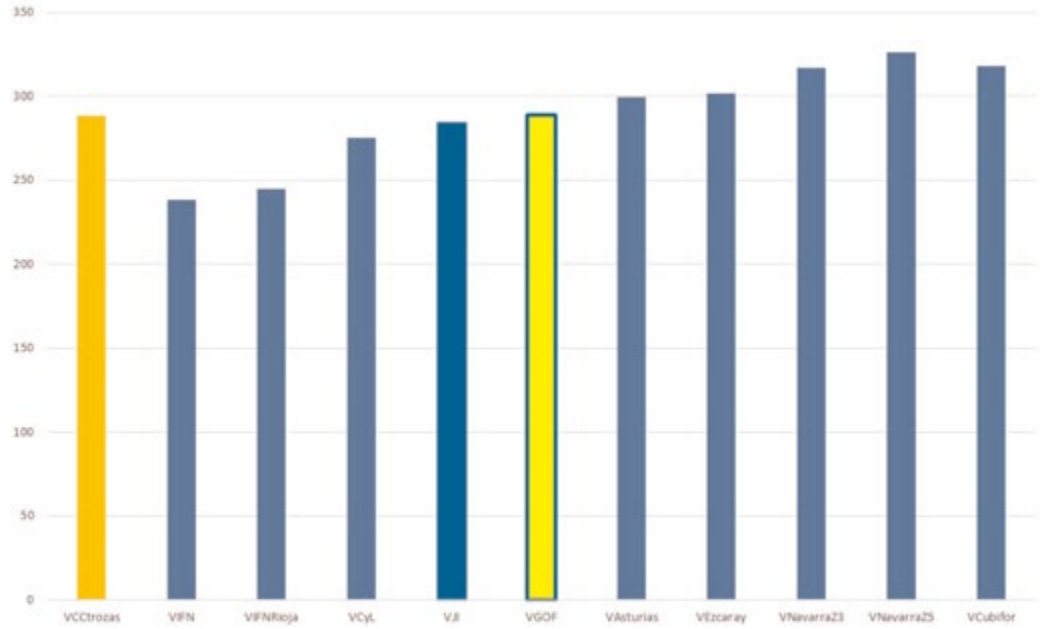
- VNavarra aporta dos ecuaciones desarrolladas en la aplicación navarra[5] para las hayas, basadas en hayas-tipo que se cubicaron en revisiones de las distintas Ordenaciones y que han sido recopiladas por Ana Ariz[6]:

Zona Z3 (Aezkoa-Quinto Real): VCC = -1,27+0,00086*Diam^2+0,054*Ht

Zona Z5 (Urbasa-Limitaciones): VCC = -1,41+0,0007*Diam^2+0,073*Ht

- VCubifor muestra el resultado de la aplicación del mismo nombre desarrollada por Cesefor y disponible en Castilla y León[7] para diversas especies, en este caso el haya, basándose en árboles-tipo que se cubicaron en revisiones de distintas Ordenaciones.

Se observa que algunas ecuaciones, sobre todo del IFN, podrían subestimar el volumen de las 200 hayas incluidas en el presente proyecto (VCCtrozas es volumen real y VGOF es volumen calculado), mientras que otras ecuaciones lo podrían sobreestimar. En todos los casos, hay que tener en cuenta el rango de aplicación diamétrica de cada ecuación, pues algunas de ellas pueden calcular volúmenes negativos en el caso de árboles delgados.



Comparación de la cubicación (m^3) obtenida de la muestra de 200 hayas del proyecto según diversas ecuaciones testadas.

Si se toman las tarifas desarrolladas por el IFN para diversas provincias en el Modelo 1, VCC=a+b*Diam"2*Ht, se observa que puede transformarse el factor b*π/4 en un coeficiente mórfico. Pues bien, así se obtendrían estos coeficientes mórficos para las hayas de Forma 1 y 2 en esas provincias:

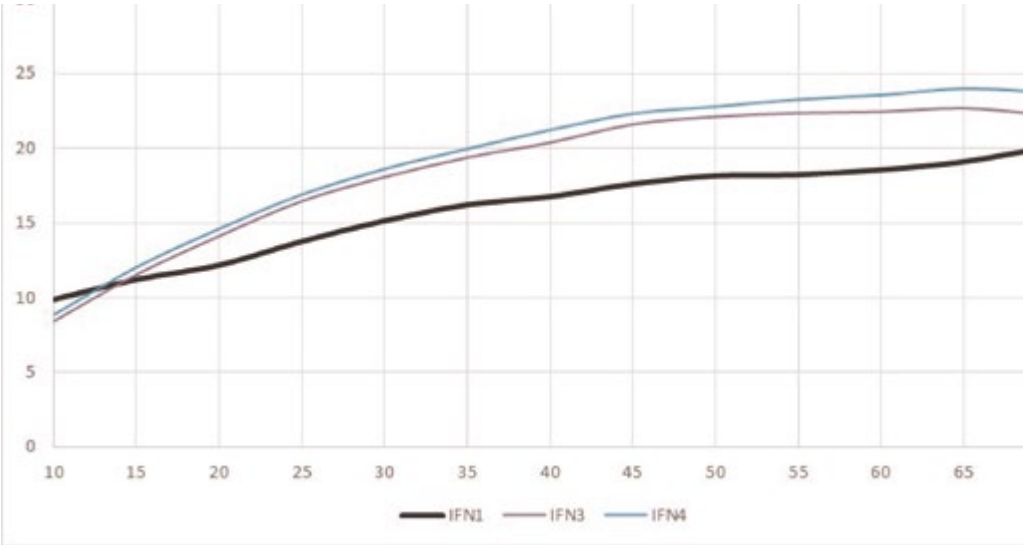
- La Rioja (26): VCC= 57,38+0,0002583*Diam"2*Ht; coef.mórfico = 0,329
- Lugo (27): VCC=78,85+0,0002390*Diam"2*Ht; coef.mórfico = 0,304
- Navarra (31): VCC=79,66+0,0002474*Diam"2*Ht; coef.mórfico = 0,315
- Asturias (33): VCC=126,35+0,0002294*Diam"2*Ht; coef.mórfico = 0,292 (+0,126 m^3)
- Cantabria (39): VCC=199,74+0,0002145*Diam"2*Ht; coef.mórfico = 0,273 (+0,2 m^3)
- Genérico (70): VCC=41,89+0,0002545*Diam"2*Ht; coef.mórfico = 0,324

La razón de estos bajos coeficientes mórficos, que subestiman el volumen calculado, hay que buscarla en la muestra de hayas.tipo que se emplearon hace 50 años, en los años 70 en el marco del IFN1. Las hayas de esa época eran, de promedio, más bajas y menos voluminosas que las actuales a igualdad de diámetro normal, por lo que aportaban un menor volumen medio que las actuales.

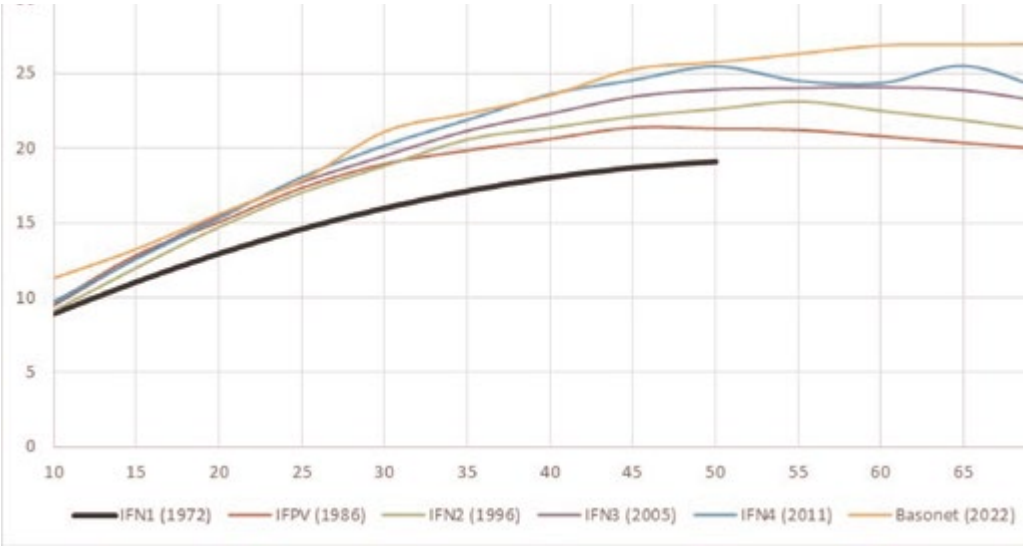
5 https://administracionelectronica.navarra.es/CubicacionMadera/

6 Modelos matemáticos para la cubicación del haya (Fagus sylvatica L.) en Navarra. Ana Ariz Argaya. Proyecto Fin de Carrera en la Universitat de Lleida, 1998.

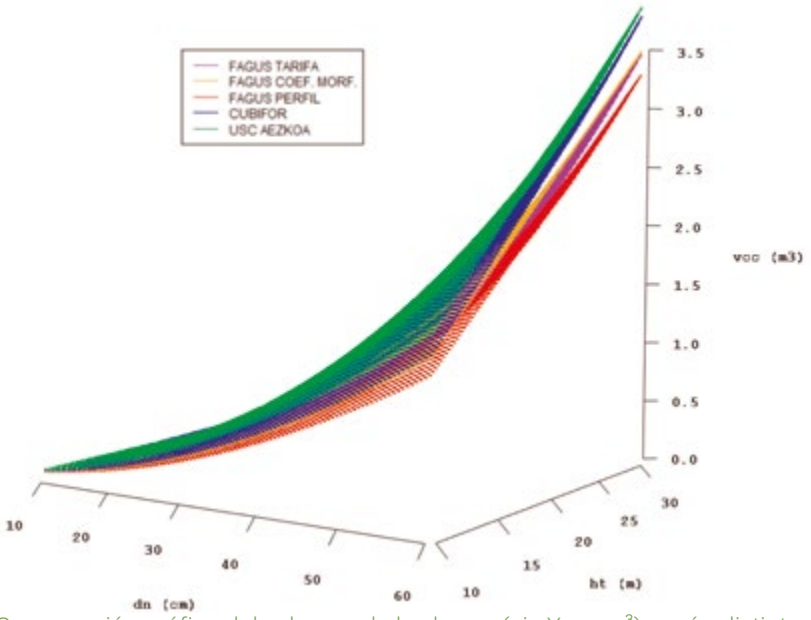
7 https://www.cesefor.com/es/noticias/cesefor-lanza-una-novedosa-herramienta-para-cubicar-clasificar-productos-calcular-biomasa



Evolución de las alturas medias de las hayas (eje Y, en m) de cada clase diamétrica (eje X, en cm) según distintos inventarios IFN realizados en España.



Evolución de las alturas medias de las hayas (eje Y, en m) de cada clase diamétrica (eje X, en cm) según distintos inventarios realizados en Álava.



Comparación gráfica del volumen de las hayas (eje Y, en m^3) según distintas ecuaciones (imagen cedida por Föra).

4.2 Ecuaciones de cubicación generadas para el roble

A partir de la citada muestra complementaria de 525 robles fusiformes seleccionados y troceados en distintos intervalos homogéneos del fuste, el Sistema 2/Computree ha permitido cubicar y generar las siguientes ecuaciones para *Quercus robur* y *Quercus petraea*. Estos robles proceden de diversas parcelas escaneadas con un LiGrip durante los primeros meses de 2023 en robledales de Legazpia (Barrendiola y Urtatza) y de Murguía. El hecho de escanear en invierno favorece la toma de datos del escáner por la menor cubierta arbórea en caducifolias:

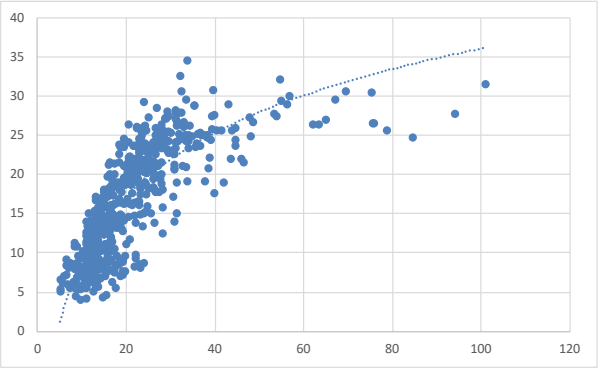
- - Ecuación de cubicación: VCC=EXP(-10,11+1,975*LN(Diam)+0,982759*LN(Ht)) R2=0,996
- - Ecuación de razón de volumen: Vpf = R * VCC

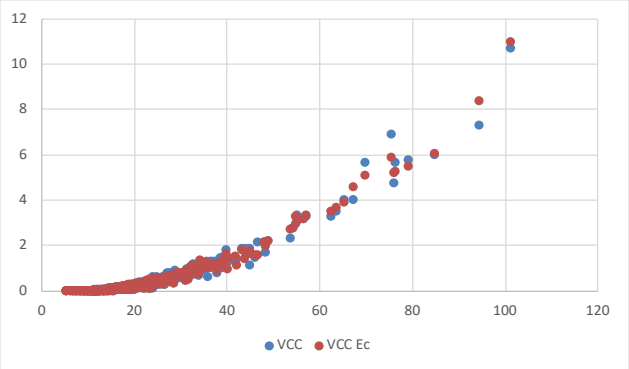
  R=EXP(-2,258*(Dpf^5,72466/Diam^5,665889)) R2=0,983
- - Ecuación de perfil de tronco:

  Dpf=(Diam^2*(Ht-Hpf)^1,7148/Ht^1,7008)^0,5 R2=0,99
- - Coeficiente mórfico medio; 0,445 (VCC = 0,445*π/4*Diam^2*Ht)

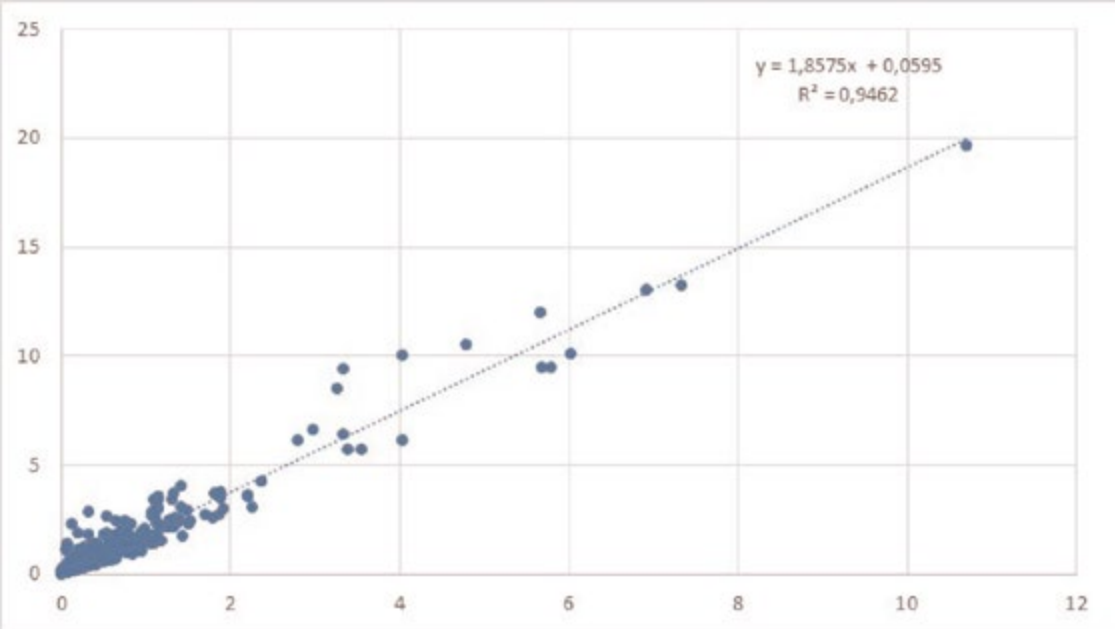
El programa *Computree*, al modelar la copa del árbol en conjunto, proporciona el volumen maderable de todas las ramas, lo que ha permitido conseguir esta fórmula del Volumen total VTCC en función del Volumen del fuste VCC de los robles:

$$VTCC = 1{,}8575 * VCC + 0{,}0595 \qquad R2=0{,}946$$

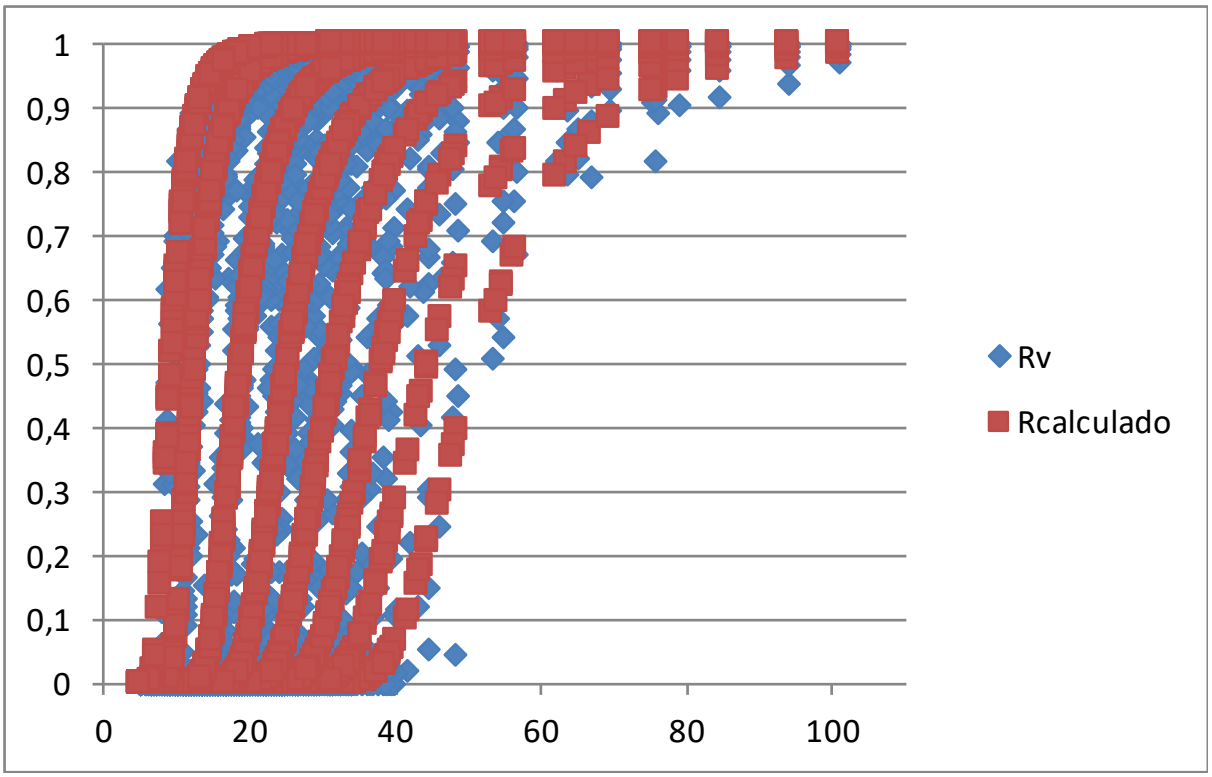




Muestra de diámetros y alturas de los 525 robles empleados (izquierda) y comparación de sus volúmenes de fuste obtenidos por escaneo y por regresión (derecha).



Comparación del Volumen total VTCC de los robles (eje Y, en m^3) frente al Volumen del fuste VCC (eje X, en m^3)



Comparación de la razón de volumen observada a distintas alturas (Rv) frente al valor calculado por la ecuación (Rcalculado). El eje X representa el diámetro normal en cm de los 525 robles.

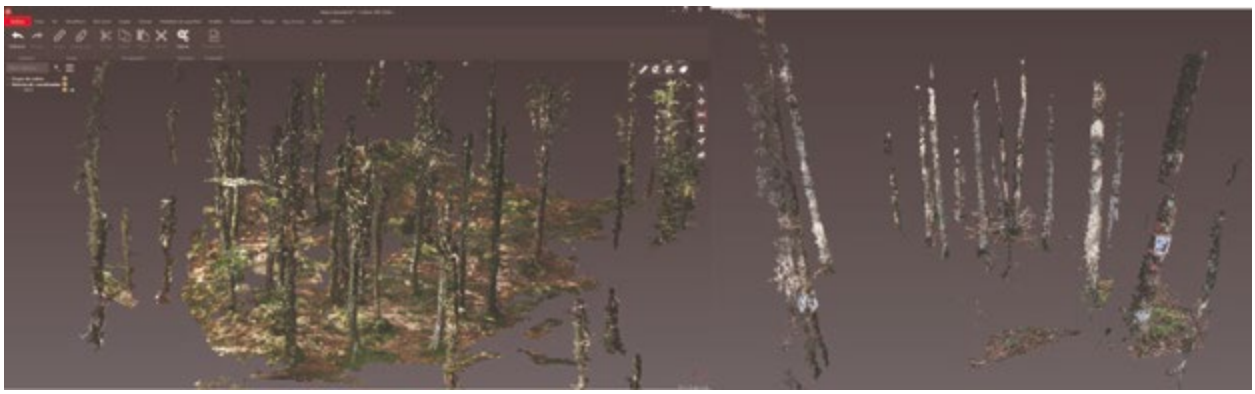
4.3 Fotogrametría terrestre

En algunas de las parcelas del proyecto, la Escuela forestal IES Murguía, subcontratada por HAZI en el proyecto, ha aplicado la fotogrametría terrestre. El método de trabajo ha sido el siguiente:

- Se instalaron referencias visuales y de colores en las hayas fotografiadas: plásticos numerados en los fustes, ropa de colores llamativos repartida por la parcela, ...
- Se tomaron unas 100 fotografías de las hayas de cada parcela, desde varios puntos de vista y desplazándose en círculo, procurando que en cada fotografía aparezca al menos dos de esas referencias visuales.
- Se descargaron las fotografías en un subdirectorio y se aplicó el programa *Agisoft Metashape*, que realiza el procesamiento fotogramétrico de imágenes digitales y genera datos espaciales en 3D para su uso en diversas aplicaciones, así como para mediciones indirectas de objetos de varias escalas.
- Las fotografías tomadas con móvil suelen ser de menor calidad que las tomadas con cámaras fotográficas de calidad, pero aportan metadatos de posición satelital de cada fotografía tomada, lo que facilita la unión de todas las fotografías en el modelo final.
- También se han realizado pruebas positivas a partir de cámaras 3D o 360º, baratas y capaces de tomar vídeos o fotografías hemisféricas. Esas imágenes permiten visualizar en pantalla toda la escena que rodea a la cámara.

Los modelos 3D conseguidos resultan ser unas nubes de puntos semejantes a las conseguidas con los escaneos, pero de menor densidad de puntos y nitidez visual. No obstante, permiten calcular los diámetros normales de cada haya fotografiada con una buena exactitud. El hecho de haberse tomado las fotografías en verano, aunque se haya trabajado en las horas centrales del día, limita los resultados obtenidos, ya que no se dispone de visibilidad de los fustes completos ni de los ápices más elevados. Trabajar en hayedos no es lo más recomendable para la aplicación de fotogrametría terrestre, dado que suelen ser ambientes umbríos y homogéneos, con pocas referencias distinguibles.

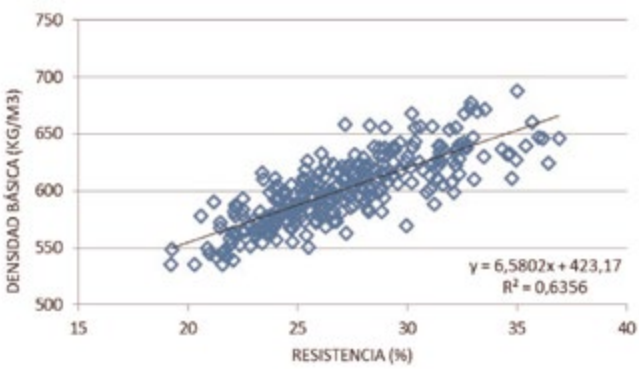
Toma de fotografías para la obtención de modelos 3D de fotogrametría terrestre.

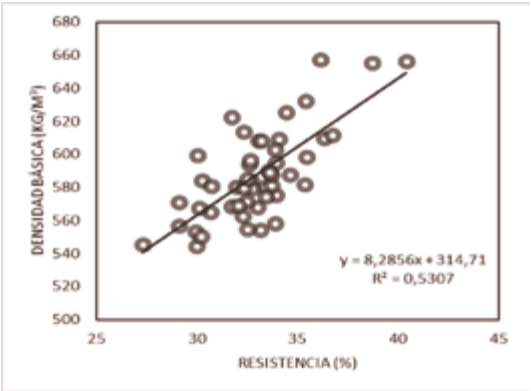


Ejemplos de modelos 3D de fotogrametría terrestre obtenidos.

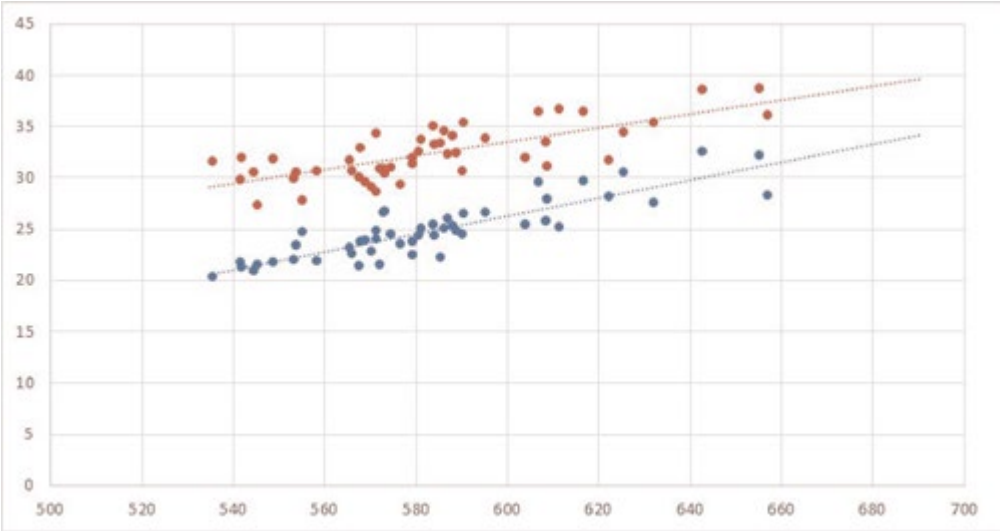
4.4 Resultados proporcionados por el resistógrafo IML

A partir de las mediciones con el resistógrafo PD500 de IML sobre las 30 parcelas seleccionadas (n=287 árboles, una vez eliminadas las mediciones erróneas por aparición de nudos) fue obtenido un modelo preliminar de estimación de la densidad de la parte exterior de los troncos de las hayas (20 cm de profundidad **máxima, excluyendo corteza**) en función de la variable esfuerzo o resistencia media de avance R_m (%). Se compara con los resultados de las mediciones de Cetemas con un resistógrafo 4450S de Rinntech en 5 de las parcelas navarras seleccionadas (n=50 árboles). En ambos casos fueron obtenidos sendos modelos preliminares de estimación de la densidad a partir de la variable resistencia media del perfil R_m (%).

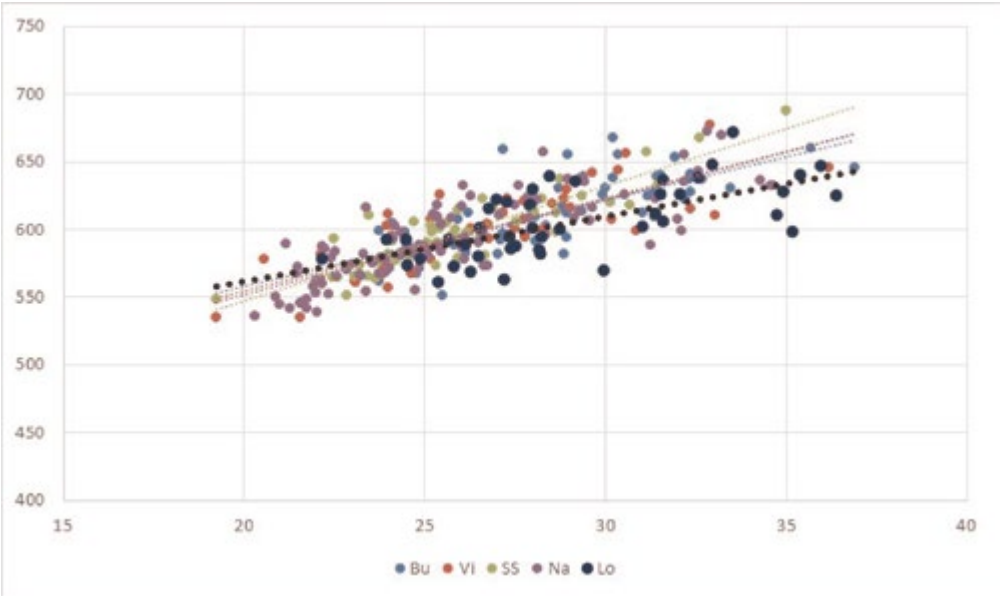




Comparación de los valores observados frente a predichos de densidad básica en función de la resistencia media del perfil resistográfico con PD500 de IML sobre 287 árboles (izquierda, R^2=0.63) y con 4450S de Rinntech sobre 50 árboles (derecha, R^2=0,53) en función del esfuerzo medio de avance del resistógrafo.



Comparación de los valores del esfuerzo medio de avance de la broca (eje Y, en %) y de los valores de densidad básica (eje X, en kg/m³) de la parte externa de los fustes. Los valores de esfuerzo del resistógrafo IML (**color azul**) son menores que los del resistógrafo Rinntech (**color rojo**) a igualdad de densidad básica.



Desglose por Territorios del esfuerzo medio de avance del resistógrafo IML (eje X, en %) y de los valores de densidad básica (eje Y, en kg/m³). La densidad media de las hayas de Gipuzkoa presentan una densidad media (615 kg/m³) superior al resto de Territorios (600 kg/m³).

El empleo de resistógrafos como sustitutivo de las barrenas y mediciones de la densidad de la madera en laboratorio es posible según la bibliografía consultada. Por tanto, esta herramienta supone importantes ahorros en tiempo y en costes, minimiza el daño causado al árbol y además permite disponer de una estimación numérica y gráfica de la densidad anual en el mismo momento de la toma de datos en campo, ya que la pantalla del resistógrafo IML refleja los valores.

4.5 Resultados proporcionados por fotogrametría aérea

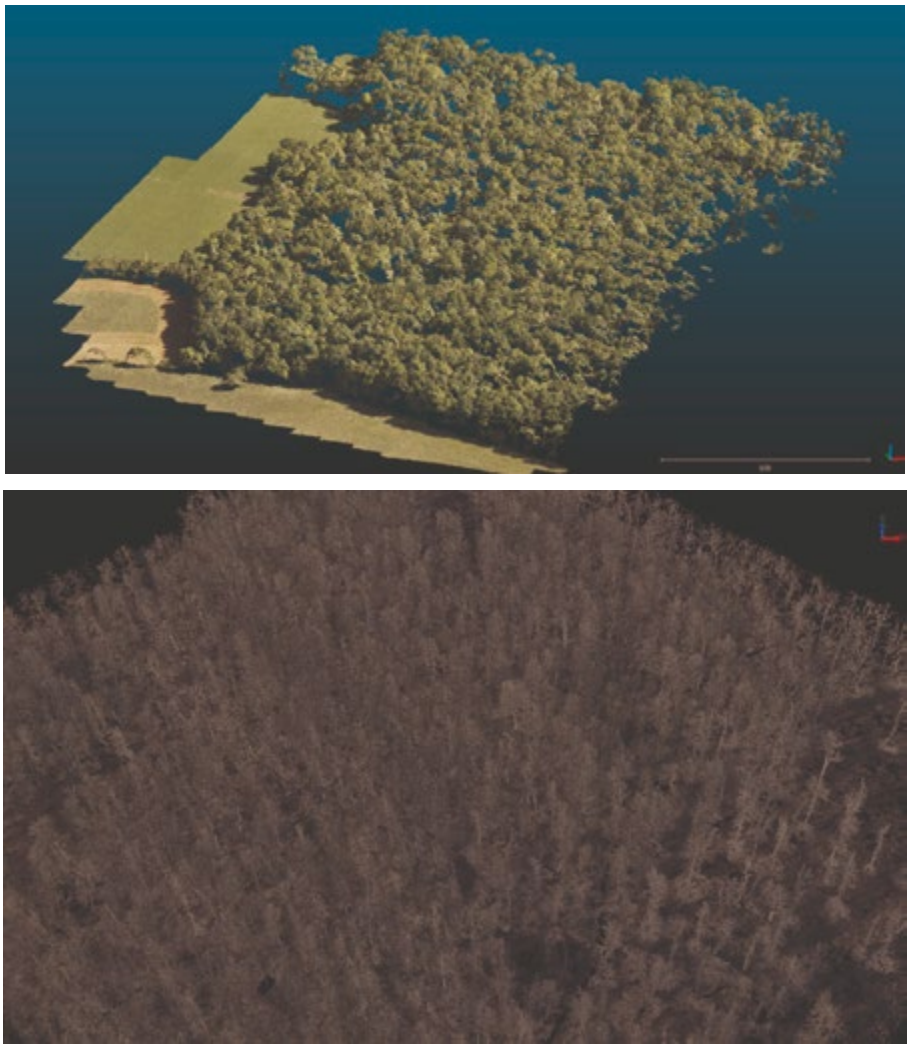
Vuelos en el marco del proyecto GO Fagus

Como se refleja en la Tabla 4, 7 parcelas navarras y vascas del proyecto han sido sobrevoladas con drones. En el verano de 2021, 5 parcelas fueron voladas con un dron de la Escuela forestal IES Murguía, con el fin de tomar imágenes RGB para construir modelos fotogramétricos de la altura de la vegetación MDS. Por su parte, 3 parcelas fueron voladas con un dron+LiDAR de Cetemas, con el fin de disponer de nubes de puntos de la vegetación arbórea fuera del periodo vegetativo.

Ambos tipos de drones proporcionan datos georreferenciados y, si se dispone de datos de la cota del suelo (MDT), permiten calcular la altura de cualquier árbol. La ventaja de contar con estas nubes de puntos aéreas, complementarias a las terrestres, es aportar la posición GPS de cualquier punto y mejorar la perspectiva de las copas completas de los árboles.

En este proyecto se ha demostrado que es posible unir nubes procedentes de escaneos terrestres y de drones. Si los puntos del escaneo terrestre están georreferenciados, es inmediata la unión. Si no es el caso, hace falta disponer de puntos de unión de coordenadas conocidas en ambas nubes de puntos, como dianas en el suelo u otros objetos fácilmente visibles y dispuestos durante los escaneos.

Despegue de ambos drones, fotogramétrico (izquierda) y LiDAR (derecha).

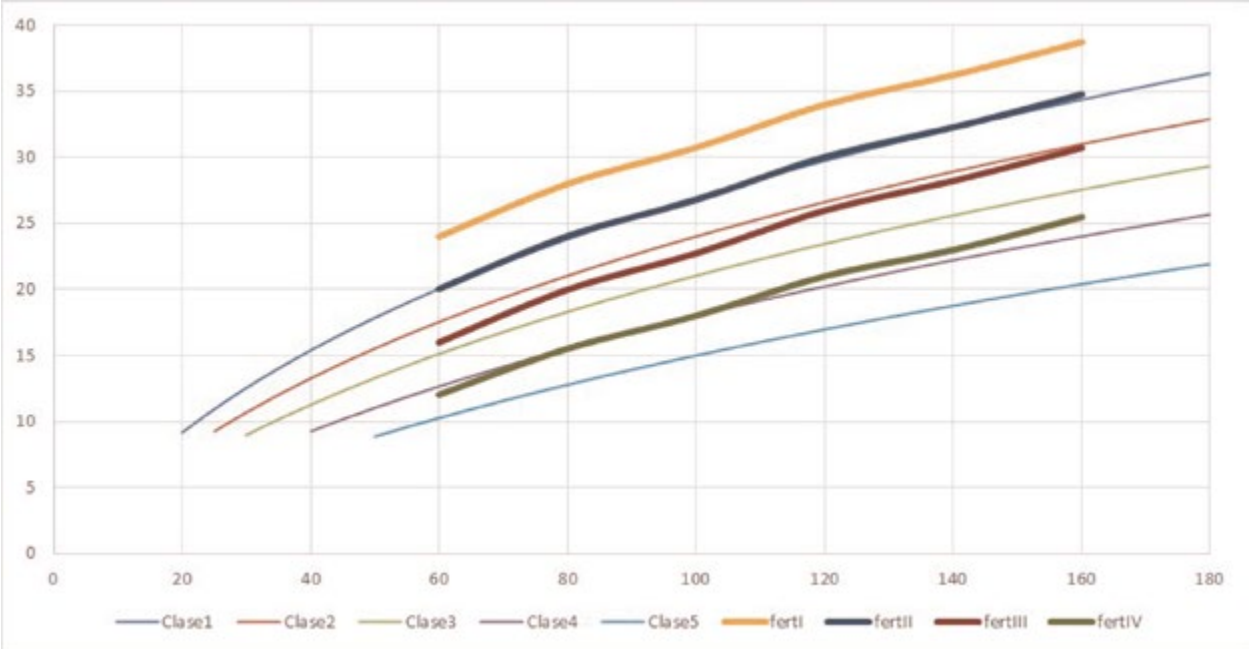


Ejemplos de modelos 3D (MDS coloreados con RGB) a partir de fotogrametría aérea en verano (arriba) y de LiDAR en invierno (abajo)

Vuelos fotogramétricos anuales

El País Vasco cuenta hasta hoy con tres vuelos LiDAR completos (2008, 2012 y 2017), a la espera del previsto en 2024 dentro del Plan Nacional de Ortofotografía Aérea PNOA (IGN-Gobierno Vasco). Por tanto, para poder complementar los cálculos forestales cada año, se ha tenido que recurrir desde 2018 a los fotogramas digitales de los vuelos anuales destinados a generar las ortofotos del País Vasco. Al fijarse en el vuelo un solapamiento longitudinal de un 80% y un solapamiento latitudinal de 30%, programas informáticos permiten construir un MDS de resolución de 1 metro a partir de esos fotogramas. El MDS generado posibilita estimar la altura de los árboles y, tomando el criterio de promediar la altura de los 100 pies/ha más altos, es posible calcular los valores estimados de altura dominante en cada cuadrícula de 1 hectárea. Las parcelas de inventario de campo remedidas periódicamente (IFN o red Basonet) permiten detectar desviaciones, ajustar la altura dominante fotogramétrica y estimar las existencias maderables por hectárea para cada especie principal.

La *Guía de la selvicultura del haya-Macizo pirenaico*, traducida al castellano en 2022 a partir del original francés de la ONF de 1997, establece 4 clases de fertilidad según la altura dominante y la edad de un hayedo. Se ha optado por seguir esas 4 clases frente a las 5 clases de producción de las Tablas navarras[8] debido a que se ajustan mejor a los datos de alturas dominantes disponibles: fotogrametría aérea en el País Vasco y parcelas de hayedo remedidas en el IFN.



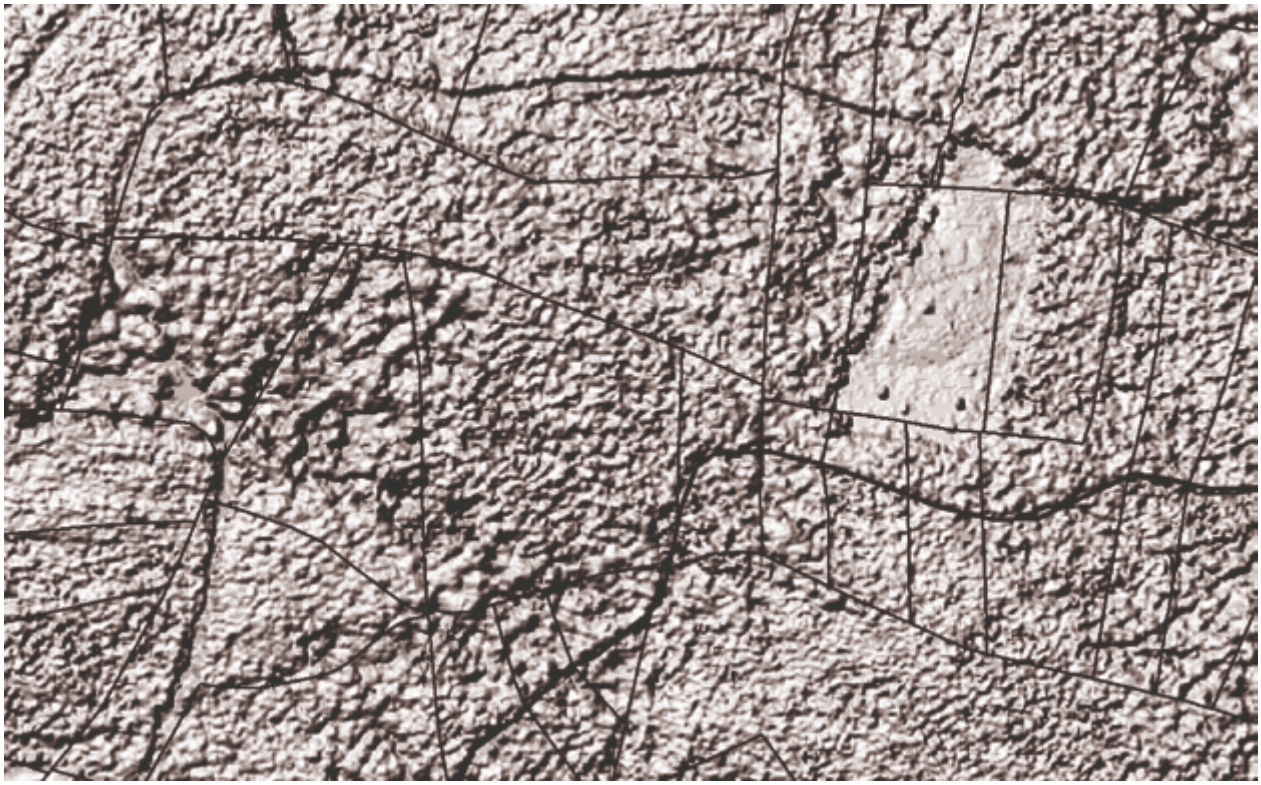
Comparación de las alturas dominantes (eje Y, en m) previstas a distintas edades (eje X, en años) para las 5 clases de producción de las Tablas navarras y para las 4 clases de fertilidad francesas.

Estas curvas franco-pirenaicas distinguen, por tanto, 4 clases de fertilidad en función de la altura dominante del hayedo a los 120 años: 35 m (fert I), 30 m (fert II), 25 m (fert III) y 20 m (fert IV). Por su parte, las 5 clases navarras se distinguen en función de la altura dominante a los 100 años: 27 (Clase 1), 24 (Clase 2), 21 (Clase 3), 18 (Clase 4) y 15 m (Clase 5).

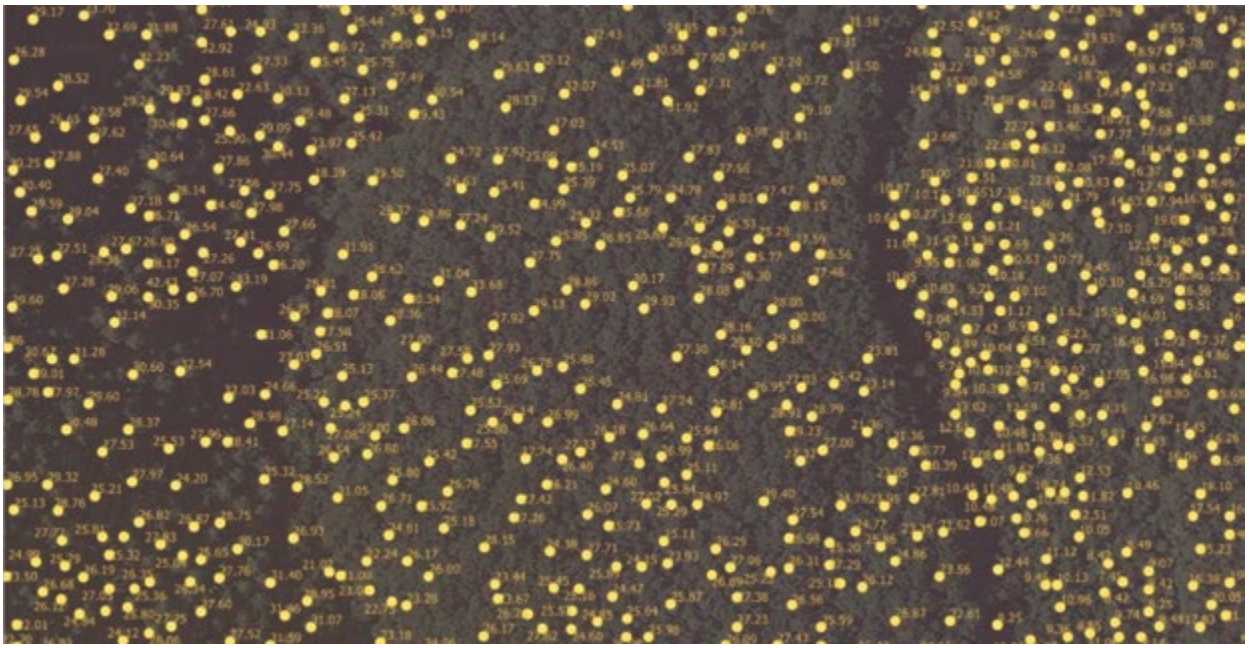
Siguiendo esas 4 clases de fertilidad para asignar una clase y una edad a cada cuadrícula de 1 ha de hayedo, según la diferencia anual media de alturas dominantes entre 2018 y 2021, se elabora la Tabla 5 del Anexo para estimar los parámetros de los hayedos vascos según calidad y edad. Queda patente la influencia de la altitud en la productividad de los hayedos.

Las distintas capas de información dasométrica generadas anualmente por fotogrametría aérea con cuadrícula de 1 ha se encuentran disponibles en el visor GeoEuskadi para su consulta y descarga (https://www.geo.euskadi.eus/geobisorea).

8 Tablas de producción para "Fagus sylvatica L." en Navarra. A. Madrigal, F. Puertas, J. Martínez Millán. Departamento de Agricultura, Ganadería y Montes. Pamplona, 1992.



Catastro forestal y modelo 3D (MDS) generado a partir de la fotogrametría aérea del País Vasco.



Altura de las hayas detectadas en el modelo 3D (MDS) de la fotogrametría aérea 2022.

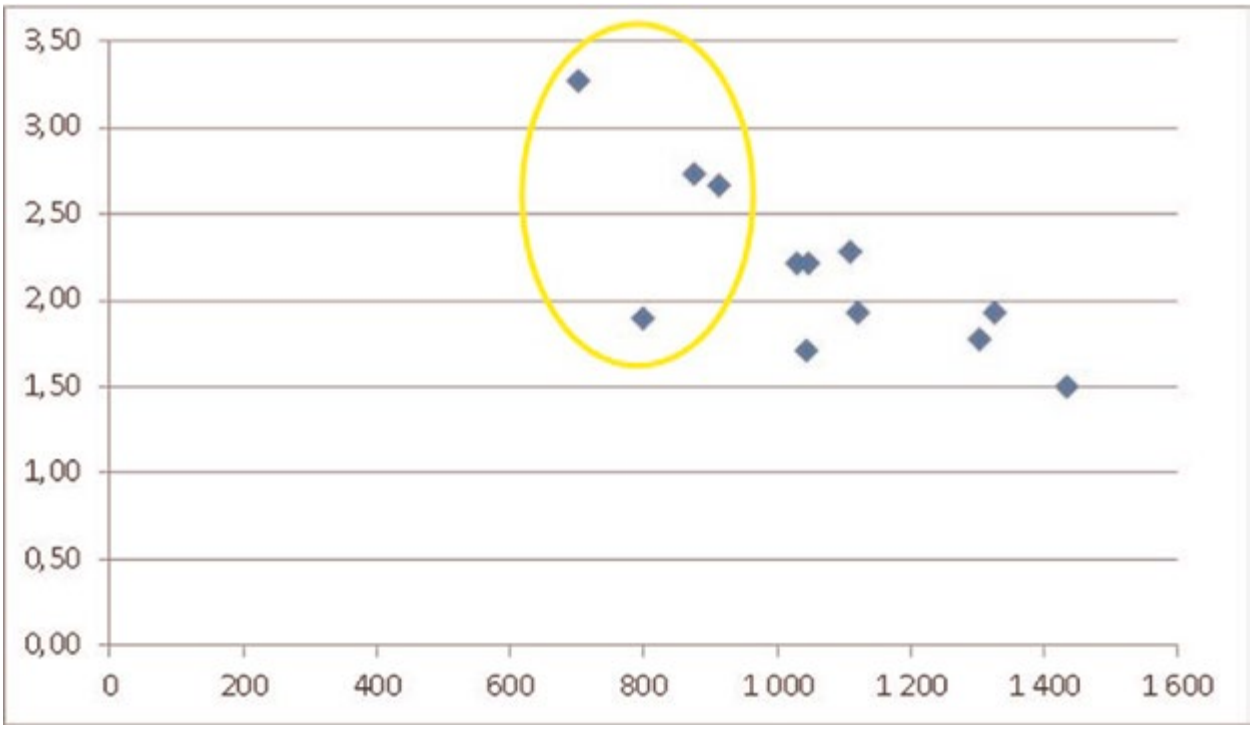
4.6 Resultados proporcionados por las parcelas IFN

El Servicio de Inventario Forestal del Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico (MITECO) ha cedido a HAZI los datos de las parcelas de hayedo remedidas entre IFN3 (1997-2007) e IFN4 (2008-2023). Una vez realizada la selección de las parcelas IFN que presentan al menos una densidad de 100 pies/ha, ha quedado una muestra disponible de 1.750 parcelas de tipo A1 y que incluyen 42.850 hayas remedidas. Obviamente, en los cálculos aquí realizados solo se han empleado los datos de esas parcelas de tipo A1, es decir, en las que se ha encontrado el rejón enterrado que señala el centro de cada parcela permanente y se han podido remedir las mismas hayas entre IFN3 e IFN4. Hay que tener en cuenta a) que el intervalo de años entre esas mediciones consecutivas ha sido variable según la provincia, pudiendo fluctuar entre 6 y 19 años y b) que no se ha contabilizado la pérdida de volumen de las hayas caídas o secas por mortalidad natural.

Tanto los datos brutos de los datos de las parcelas IFN3 e IFN4 como la documentación explicativa se encuentran disponibles para su descarga libre y gratuita en la web del MITECO, lo que aporta un enorme volumen de información muy útil a nivel forestal9.

Los cálculos de existencias y productividad conseguidos como promedio de esas parcelas quedan expuestos entre las Tablas 6 y 10 de los Anexos. Al igual que se ha realizado en la fotogrametría aérea, se han empleado las 4 clases de fertilidad francesas para estimar la edad media de cada parcela por diferencia entre alturas dominantes IFN3-IFN4.

Queda de manifiesto la influencia de una menor altitud en una mayor productividad de los hayedos, como se muestra en el crecimiento medio en altura y volumen de los hayedos vascos y navarros (ver Tabla 10). Únicamente en el caso de Bizkaia, con solo 12 parcelas remedidas, el crecimiento medio es menor del esperado por su menor altitud media.



Crecimiento corriente anual en volumen IFN3-IFN4 (eje Y, en m^3/ha-año) en función de la altitud media (eje X, en m) de los hayedos de cada provincia. En amarillo, los Territorios vasco-navarros.

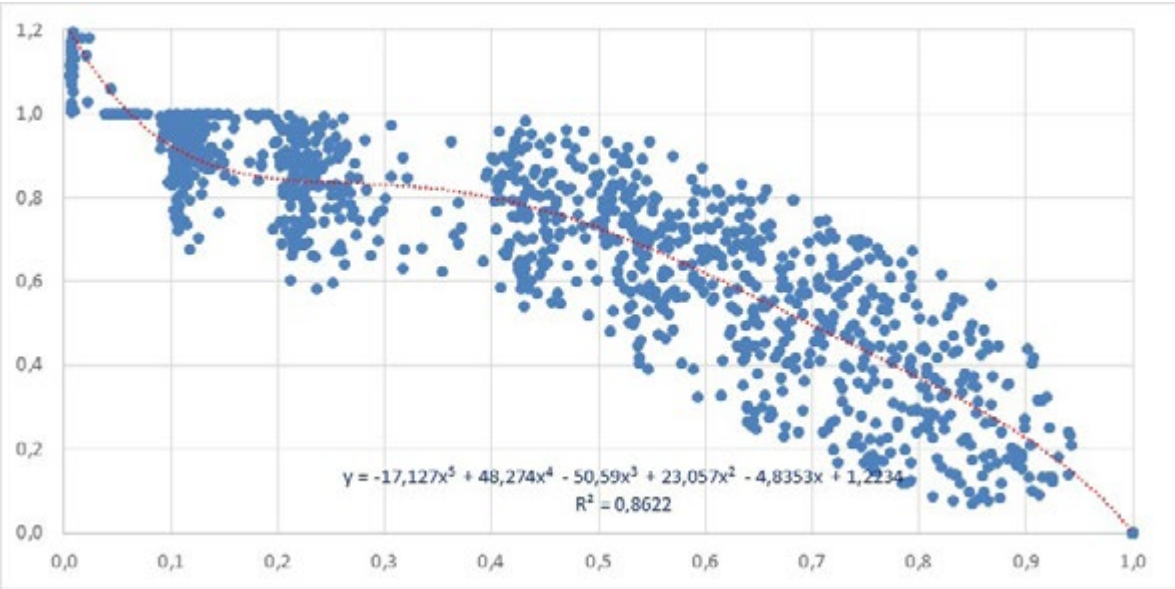
9 IFN3: https://www.miteco.gob.es/es/biodiversidad/servicios/banco-datos-naturaleza/informacion-disponible/ifn3.aspx
IFN4: https://www.miteco.gob.es/es/biodiversidad/temas/inventarios-nacionales/inventario-forestal-nacional/cuarto_inventario.aspx

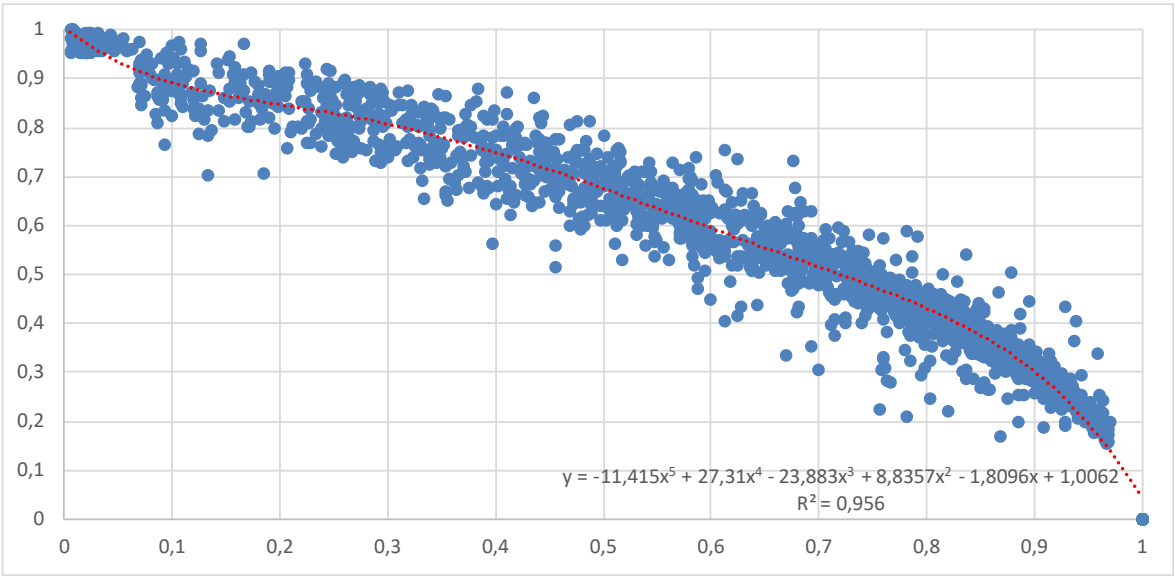
5.- CONCLUSIONES.

Se espera haber aportado una metodología y unas ecuaciones que sean útiles para el sector forestal cantábrico y pirenaico y que puedan servir para actualizar la toma de datos de las parcelas IFN en el futuro.

Las nubes de puntos y herramientas como el resistógrafo pueden aligerar y abaratar el trabajo de campo del inventario tradicional y suministrar una información complementaria de gran valor.

Otras utilidades de estos datos recogidos y de estas nubes de puntos podrán irse comprobando en el futuro, según el empleo de estas herramientas innovadoras vaya generalizándose, según vayan creciendo y compitiendo las hayas entre sí, según se acometan aprovechamientos forestales y según puedan ir cambiando las condiciones climáticas bajo las que crecen los hayedos.





Perfil de tronco de las hayas (arriba) y de los robles muestreadas (abajo). El eje X muestra los valores de las alturas relativas (hi/Ht) y el eje Y los diámetros relativos (di/Diam)

6.- ANEXOS

Tabla 1: Características de las parcelas del proyecto					
Tipología	FCC (%)	Dg (cm)	P95 (en m, se asimila a Ho)	% de representatividad respecto al global de hayedos puros	Número de parcelas
excluida	<70	-	-	28,75	-
1	>70	20-30	18-24	29,36	9
2	>70	30-40	18-24	11,96	7
3	>70	>40	18-24	0,01	-
4	>70	20-30	>24	3,10	3
5	>70	30-40	>24	25,18	10
6	>70	>40	>24	1,64	1

Tabla 2: Características físicas de las parcelas del proyecto				
Número de parcela	Tipología	Altitud (m)	Territorio	Ubicación
1	1	1.098	Burgos	Montija
2	2	1.101	Burgos	Montija
3	1	942	Burgos	Soncillo
4	2	935	Burgos	EspinosaS
5	5	991	Burgos	EspinosaN
6	1	706	Alava	Berganzo
7	4	1.015	Alava	Lagran
8	5	1.024	Alava	Lagran
9	5	577	Alava	Zuya
10	2	761	Alava	Aramaio
11	5	823	Gipuzkoa	Parzoneria
12	1	897	Gipuzkoa	Parzoneria
13	2	1.058	Gipuzkoa	Parzoneria
14	5	628	Gipuzkoa	Ataun
15	1	718	Gipuzkoa	Gatzaga
16	5	1.042	Navarra	UrbasaS
17	2	699	Navarra	Olazti
18	2	962	Navarra	BasaburuaS
19	1	960	Navarra	BasaburuaN
20	2	1.008	Navarra	UrbasaN
21	1	842	Navarra	Baztan
22	5	1.078	Navarra	AezkoaE
23	6	1.068	Navarra	AezkoaO
24	5	915	Navarra	Espinal
25	5	1.119	Navarra	Irati
26	4	1.090	La Rioja	PazuengosE
27	1	1.139	La Rioja	PazuengosO
28	5	1.043	La Rioja	Ezcaray
29	4	1.264	La Rioja	Anguiano
30	1	1.433	La Rioja	Cameros

Tabla 3: Características dasométricas de las parcelas del proyecto						
Núm	Densidad (pies/ha)	Altura media (m)	Área basim (m^2/ha)	Esfuerzo avance (%)	Densidad básica (kg/m^3)	Número medio anillos
1	1.089	22,14	46,52	30,35	625	42
2	990	20,66	36,20	29,39	611	47
3	608	17,96	17,35	28,56	609	42
4	764	21,33	30,44	28,49	620	51
5	241	26,96	33,46	27,10	610	63
6	523	20,78	26,99	26,61	600	48
7	509	23,92	29,53	25,99	603	44
8	325	31,73	43,52	26,53	604	62
9	255	25,87	29,40	25,77	591	61
10	849	20,59	36,36	28,43	607	47
11	311	26,10	32,47	26,31	601	56
12	368	23,02	30,58	26,42	604	45
13	509	22,93	37,40	24,94	583	57
14	382	29,71	34,45	25,48	608	54
15	792	16,92	36,57	26,86	604	44
16	538	30,46	47,18	25,93	583	53
17	439	22,55	42,76	28,12	618	60
18	269	20,38	26,36	25,05	601	60
19	552	19,78	50,72	29,65	630	48
20	226	21,76	29,07	24,27	578	58
21	481	24,26	45,22	27,59	611	45
22	340	29,42	43,71	24,37	573	53
23	255	39,11	56,83	25,48	583	70
24	297	27,30	43,35	24,11	581	55
25	269	31,99	42,45	23,54	572	62
26	481	25,04	37,93	29,62	608	46
27	665	20,40	22,40	29,03	611	41
28	722	24,46	41,33	27,36	608	54
29	552	19,05	47,73	30,42	611	50
30	693	18,29	23,56	28,43	581	38

Tabla 4: Escaneos realizados en las parcelas del proyecto				
Núm	Corta de hayas	Primer escaneo	Segundo escaneo	Fecha de vuelo(s)
1	si	BLK2go		
2	si	BLK2go		
3	no	FARO		
4	no	FARO		
5	no	FARO		
6	no	FARO		16sep21
7	si	BLK2go		
8	si	BLK2go		
9	no	FARO	FARO	16sep21/Febr22
10	no	Heron	FARO	21oct21
11	si	BLK2go	FARO	
12	si	BLK2go	FARO	Febr22
13	si	BLK2go		
14	no	GTL		Febr22
15	no	FARO		
16	si	GTL	LiGrip	09sep21
17	si	GTL		09sep21
18	si	GTL		
19	si	GTL		
20	no	GTL		
21	no	BLK2go		
22	si	BLK2go		
23	si	BLK2go		
24	no	BLK2go		
25	no	BLK2go		
26	si	FARO		
27	si	FARO		
28	no	FARO		
29	no	FARO		
30	no	FARO		

Tabla 5: Características de los hayedos vascos según clases de fertilidad y edad					
Superficie (ha)					
Edad (años)	I	II	III	IV	Total
0-40	5.569	548	158	1.022	7.296
40-80	12.065	2.257	1.587	5.185	21.095
80-120	2.950	1.058	1.753	9.803	15.564
120-160	171	97	498	8.470	9.235
>160	3	3	36	3.139	3.181
Total	**20.758**	**3.962**	**4.032**	**27.619**	**56.370**
Altitud media (m)					
Edad (años)	I	II	III	IV	Total
0-40	729	817	781	769	742
40-80	722	803	840	890	781
80-120	689	772	797	859	813
120-160	658	717	762	806	800
>160	-	-	716	766	765
Total	**719**	**795**	**808**	**835**	**786**
Volumen medio estimado 2021 (m^3/ha)					
Edad (años)	I	II	III	IV	Total
0-40	110	80	56	46	98
40-80	219	164	119	82	172
80-120	342	267	203	139	194
120-160	470	371	294	212	223
>160	-	-	391	303	304
Total	**207**	**183**	**175**	**165**	**183**
Volumen medio estimado 2022 (m^3/ha)					
Edad (años)	I	II	III	IV	Total
0-40	115	84	60	48	102
40-80	222	171	125	87	176
80-120	343	273	210	147	201
120-160	461	380	302	221	232
>160	-	-	398	310	312
Total	**210**	**190**	**182**	**172**	**188**

Crecimiento medio anual 2018-2021 (m³/ha/año)					
Edad (años)	I	II	III	IV	Total
0-40	4,29	2,11	1,21	0,68	3,57
40-80	9,92	4,89	3,05	1,27	6,73
80-120	13,55	8,49	6,08	2,44	5,40
120-160	16,38	8,40	9,23	4,36	4,91
>160	-	-	9,64	6,36	6,41
Total	**8,85**	**5,49**	**5,06**	**3,16**	**5,62**
Altura dominante media 2021 (m)					
Edad (años)	I	II	III	IV	Total
0-40	15,47	12,39	9,11	7,12	13,96
40-80	23,47	19,93	16,37	12,71	19,90
80-120	29,86	26,22	22,60	18,15	21,46
120-160	35,20	31,15	27,61	23,14	23,70
>160	-	-	32,02	27,98	28,05
Total	**22,15**	**20,69**	**20,17**	**19,27**	**20,52**
Altura dominante media 2022 (m)					
Edad (años)	I	II	III	IV	Total
0-40	15,88	12,89	9,65	7,54	14,39
40-80	23,63	20,41	16,92	13,31	20,22
80-120	29,88	26,52	23,01	18,77	21,92
120-160	34,80	31,55	27,96	23,66	24,19
>160	-	-	32,31	28,34	28,41
Total	**22,36**	**21,12**	**20,64**	**19,81**	**20,93**
Crecimiento medio anual de la altura dominante 2018-2021 (m/año)					
Edad (años)	I	II	III	IV	Total
0-40	0,57	0,34	0,33	0,16	0,50
40-80	0,43	0,25	0,24	0,13	0,34
80-120	0,41	0,19	0,18	0,11	0,21
120-160	0,55	0,16	0,15	0,09	0,11
>160	-	-	0,13	0,07	0,08
Total	**0,47**	**0,25**	**0,21**	**0,11**	**0,30**

Tabla 6: Características de las parcelas remedidas IFN3 e IFN4 según clases de fertilidad y edad					
Número de parcelas IFN remedidas					
Edad (años)	I	II	III	IV	Total
30-60	221	49	25	141	436
60-90	76	43	59	351	529
90-120	25	21	31	342	419
120-150	4		13	273	290
Total	**326**	**113**	**128**	**1.107**	**1.674**
Altitud media (m)					
Edad (años)	I	II	III	IV	Total
30-60	924	954	1.043	1.135	1.003
60-90	864	912	961	1.091	1.029
90-120	859	862	921	1.024	999
120-150	785		888	928	925
Total	**904**	**921**	**960**	**1.036**	**997**
Volumen medio estimado IFN3 (m^3/ha)					
Edad (años)	I	II	III	IV	Total
30-60	152	125	89	79	122
60-90	255	203	153	127	154
90-120	365	287	220	174	195
120-150	444		273	266	268
Total	**196**	**185**	**169**	**169**	**176**
Volumen medio estimado IFN4 (m^3/ha)					
Edad (años)	I	II	III	IV	Total
30-60	185	151	113	88	146
60-90	301	236	178	140	175
90-120	410	307	245	190	213
120-150	525		298	283	287
Total	**234**	**212**	**194**	**184**	**197**
Crecimiento medio anual IFN3-IFN4 (m^3/ha/año)					
Edad (años)	I	II	III	IV	Total
30-60	3,84	2,90	2,29	1,07	2,74
60-90	5,35	3,36	2,71	1,51	2,35
90-120	6,05	2,21	2,61	1,78	2,11
120-150	8,52		2,58	2,16	2,27
Total	**4,42**	**2,94**	**2,59**	**1,69**	**2,38**

Densidad media IFN3 (m^3/ha)					
Edad (años)	I	II	III	IV	Total
30-60	602	511	671	759	647
60-90	363	395	556	653	580
90-120	292	296	431	504	476
120-150	196		325	379	374
Total	**518**	**427**	**524**	**553**	**536**
Densidad media IFN4 (m^3/ha)					
Edad (años)	I	II	III	IV	Total
30-60	515	443	550	665	558
60-90	339	356	496	582	519
90-120	280	264	405	457	433
120-150	191		304	341	337
Total	**452**	**376**	**465**	**495**	**476**
Área basimétrica media IFN3 (m2/ha)					
Edad (años)	I	II	III	IV	Total
30-60	22,35	19,44	16,49	17,45	20,10
60-90	27,47	24,24	22,62	21,84	22,93
90-120	32,08	28,00	26,77	24,36	25,18
120-150	34,55		26,98	28,87	28,87
Total	**24,43**	**22,85**	**22,87**	**23,78**	**23,78**
Área basimétrica media IFN4 (m2/ha)					
Edad (años)	I	II	III	IV	Total
30-60	23,57	20,68	17,99	18,52	21,29
60-90	29,03	25,64	23,57	22,90	24,08
90-120	33,07	28,29	27,77	25,49	26,25
120-150	36,60		27,97	29,69	29,71
Total	**25,72**	**23,98**	**23,95**	**24,81**	**24,87**
Diámetro medio cuadrático IFN3 (m2/ha)					
Edad (años)	I	II	III	IV	Total
30-60	24,58	24,02	18,95	18,44	22,20
60-90	33,67	30,29	24,62	23,43	25,59
90-120	40,13	37,34	32,63	27,54	29,16
120-150	48,94		33,17	34,76	34,89
Total	**28,18**	**28,88**	**26,32**	**26,85**	**27,20**

Diámetro medio cuadrático IFN4 (m2/ha)					
Edad (años)	I	II	III	IV	Total
30-60	27,07	26,97	22,28	20,66	24,70
60-90	35,70	32,90	26,93	25,49	27,72
90-120	41,43	39,95	34,33	29,60	31,17
120-150	50,37		34,83	36,69	36,79
Total	**30,46**	**31,64**	**28,62**	**28,89**	**29,36**
Crecimiento medio anual del diámetro dominante IFN3-IFN4 (cm/año)					
Edad (años)	I	II	III	IV	Total
30-60	0,37	0,37	0,37	0,21	0,32
60-90	0,32	0,30	0,30	0,24	0,26
90-120	0,31	0,30	0,30	0,27	0,27
120-150	0,39		0,35	0,28	0,28
Total	**0,35**	**0,33**	**0,32**	**0,25**	**0,28**
Altura dominante media IFN3 (m)					
Edad (años)	I	II	III	IV	Total
30-60	16,24	14,63	11,42	9,67	13,64
60-90	23,23	20,56	16,39	13,87	16,04
90-120	28,04	25,73	21,66	17,96	19,22
120-150	31,38		26,47	23,41	23,65
Total	**18,95**	**18,95**	**17,72**	**16,94**	**17,53**
Altura dominante media IFN4 (m)					
Edad (años)	I	II	III	IV	Total
30-60	19,75	17,22	14,14	10,01	15,98
60-90	26,23	22,80	18,59	14,57	17,36
90-120	30,86	27,48	23,37	18,61	20,13
120-150	34,97		27,84	23,91	24,24
Total	**22,29**	**21,25**	**19,82**	**17,52**	**18,88**
Crecimiento medio anual de la altura dominante IFN3-IFN4 (m/año)					
Edad (años)	I	II	III	IV	Total
30-60	0,39	0,28	0,27	0,11	0,30
60-90	0,34	0,22	0,22	0,10	0,17
90-120	0,32	0,18	0,18	0,10	0,13
120-150	0,35		0,15	0,09	0,10
Total	**0,37**	**0,24**	**0,21**	**0,10**	**0,18**

Tabla 7: Crecimientos medios anuales de las parcelas remedidas IFN3 e IFN4 según altitud				
Altitud (m)	Número de parcelas	En volumen (m^3/ha)	En diámetro dominante (cm)	En altura dominante (m)
<400	26	2,48	0,39	0,23
400-600	80	2,19	0,36	0,21
600-800	280	2,89	0,33	0,21
800-1000	481	2,41	0,28	0,19
1000-1200	438	2,34	0,27	0,18
1200-1400	225	2,25	0,26	0,17
1400-1600	122	1,71	0,20	0,12
>1600	22	0,98	0,19	0,09
Total	**1.674**	**2,37**	**0,28**	**0,18**

Tabla 8: Crecimientos medios anuales de las parcelas remedidas IFN3 e IFN4 según Territorio					
Territorio	Número de parcelas	Altitud media (m)	En volumen (m^3/ha)	En diámetro dominante (cm)	En altura dominante (m)
Asturias	138	1.044	1,71	0,32	0,16
Cantabria	173	1.031	2,21	0,28	0,18
Burgos	82	1.121	1,93	0,26	0,14
Alava	110	876	2,73	0,28	0,25
Bizkaia	12	800	1,90	0,31	0,28
Gipuzkoa	59	703	3,27	0,37	0,24
La Rioja	191	1.304	1,78	0,24	0,16
Navarra	791	913	2,66	0,29	0,19
Soria	23	1.433	1,50	0,22	0,14
Barcelona	21	1.108	2,28	0,28	0,16
Gerona	59	1.048	2,21	0,27	0,17
Lérida	14	1.327	1,93	0,30	0,16
Total	**1.673**	**999**	**2,37**	**0,28**	**0,18**

Tabla 9: Crecimiento medio anual del diámetro (cm) de las hayas IFN3 según Territorio y CD (cm)

Territorio	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	Total
Asturias	0,11	0,18	0,22	0,26	0,29	0,33	0,31	0,37	0,36	0,41	0,53	0,63	0,45	0,30
Cantabria	0,15	0,17	0,22	0,25	0,26	0,23	0,26	0,29	0,28	0,29	0,44	0,43	0,36	0,25
Burgos	0,12	0,17	0,19	0,23	0,23	0,27	0,26	0,30	0,29	0,33	0,37	0,46	0,36	0,23
Alava	0,17	0,19	0,19	0,22	0,23	0,23	0,27	0,27	0,30	0,36	0,37	0,48	0,41	0,25
Gipuzkoa	0,13	0,21	0,38	0,35	0,29	0,39	0,35	0,43	0,52	0,42	0,58	0,68	0,37	0,34
Bizkaia	0,17	0,18	0,23	0,26	0,32	0,38	0,39	0,40	0,44	0,41	0,45	0,59	0,54	0,33
La Rioja	0,17	0,20	0,18	0,20	0,22	0,27	0,25	0,24	0,25	0,24	0,30	0,35	0,23	0,21
Navarra	0,16	0,20	0,21	0,22	0,24	0,27	0,28	0,32	0,35	0,36	0,46	0,47	0,40	0,27
Soria	0,10	0,17	0,20	0,18	0,22	0,20	0,27	0,22	0,22	0,21	0,25	0,27	0,30	0,19
Barcelona	0,11	0,18	0,23	0,26	0,26	0,32	0,25	0,39	0,35	0,38	0,27	-	-	0,24
Gerona	0,13	0,20	0,22	0,29	0,29	0,35	0,38	0,44	0,36	0,48	0,53	0,45	0,54	0,26
Lérida	0,21	0,18	0,19	0,24	0,25	0,26	0,28	0,27	0,27	0,36	0,48	0,37	0,36	0,25
Total	**0,15**	**0,19**	**0,21**	**0,23**	**0,25**	**0,27**	**0,28**	**0,31**	**0,33**	**0,35**	**0,44**	**0,48**	**0,40**	**0,26**

Tabla 10: Crecimiento medio anual de la altura (m) de las hayas IFN3 según Territorio y CD (cm)

Territorio	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	Total
Asturias	0,11	0,12	0,13	0,13	0,14	0,15	0,14	0,16	0,14	0,17	0,16	0,13	0,15	0,14
Cantabria	0,15	0,16	0,20	0,18	0,20	0,17	0,20	0,17	0,19	0,15	0,15	0,22	0,19	0,18
Burgos	0,10	0,12	0,11	0,12	0,12	0,11	0,11	0,13	0,12	0,13	0,10	0,16	0,09	0,12
Alava	0,22	0,23	0,22	0,22	0,23	0,22	0,22	0,20	0,22	0,19	0,23	0,18	0,24	0,22
Gipuzkoa	0,17	0,13	0,29	0,20	0,19	0,30	0,37	0,29	0,22	0,22	0,34	0,29	0,46	0,24
Bizkaia	0,18	0,20	0,20	0,23	0,25	0,25	0,27	0,26	0,22	0,32	0,32	0,20	0,20	0,23
La Rioja	0,17	0,17	0,14	0,15	0,14	0,12	0,13	0,11	0,09	0,09	0,08	0,09	0,10	0,14
Navarra	0,19	0,17	0,17	0,17	0,18	0,18	0,18	0,18	0,17	0,19	0,18	0,19	0,19	0,18
Soria	0,11	0,13	0,12	0,09	0,10	0,10	0,13	0,12	0,14	0,08	0,05	0,13	0,06	0,11
Barcelona	0,09	0,13	0,13	0,13	0,14	0,13	0,17	0,13	0,07	0,19	0,04	-	-	0,13
Gerona	0,12	0,13	0,14	0,18	0,15	0,18	0,19	0,20	0,23	0,25	0,22	0,41	0,31	0,16
Lérida	0,21	0,20	0,16	0,19	0,15	0,16	0,14	0,17	0,12	0,15	0,26	0,09	0,19	0,18
Total	**0,16**	**0,16**	**0,16**	**0,17**	**0,17**	**0,17**	**0,18**	**0,17**	**0,17**	**0,18**	**0,18**	**0,18**	**0,19**	**0,17**

Tabla 11: Años necesarios para que una haya dominante alcance una Clase Diamétrica (cm) en las parcelas remedidas IFN según clases de fertilidad				
Clase	I	II	III	IV
CD10	20	30	40	50
CD15	27	40	51	64
CD20	42	57	73	87
CD25	54	73	90	111
CD30	69	87	107	134
CD35	84	104	125	155
CD40	99	119	143	174
CD45	115	137	156	192
CD50	129	149	171	209
CD55	142	165	187	225
CD60	154	175	200	240
CD65	167	189	212	251

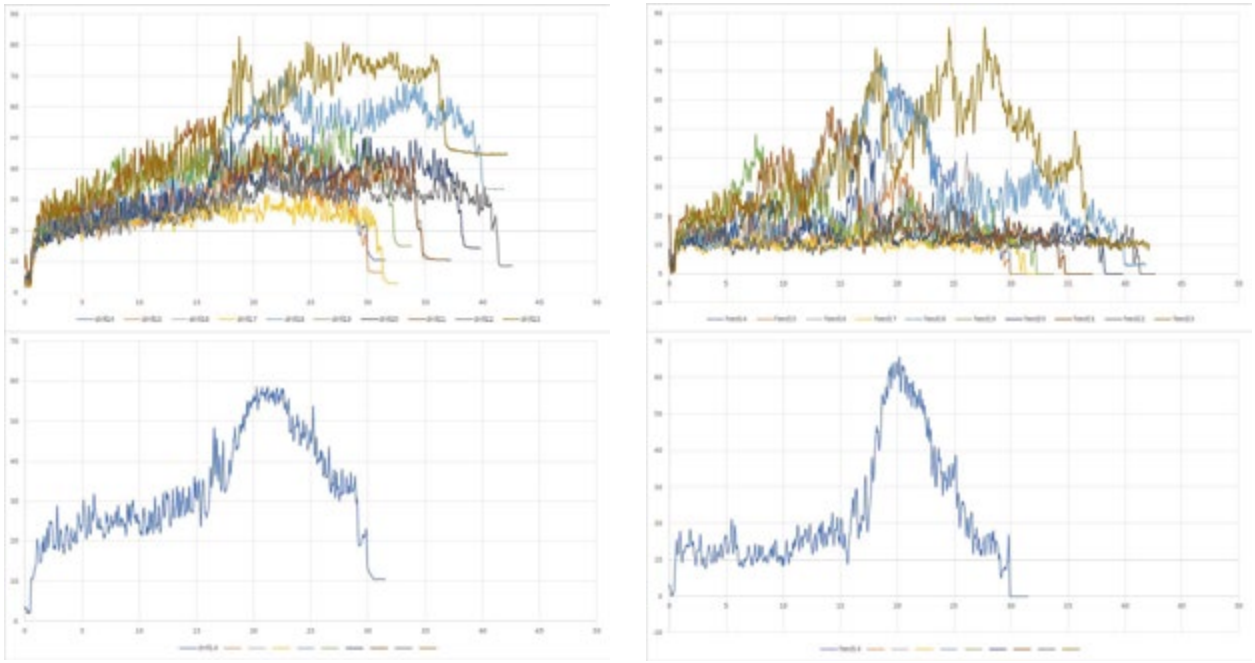
Tabla 12: Años necesarios para que una haya media alcance una Clase Diamétrica (cm) en las parcelas remedidas IFN según clases de fertilidad				
Clase	I	II	III	IV
CD10	20	30	40	50
CD15	30	40	51	68
CD20	46	57	73	91
CD25	59	71	94	111
CD30	76	89	111	132
CD35	92	108	128	152
CD40	107	122	144	170
CD45	121	141	160	187
CD50	135	156	178	205
CD55	151	175	190	220
CD60	164	186	204	237
CD65	178	200	218	251

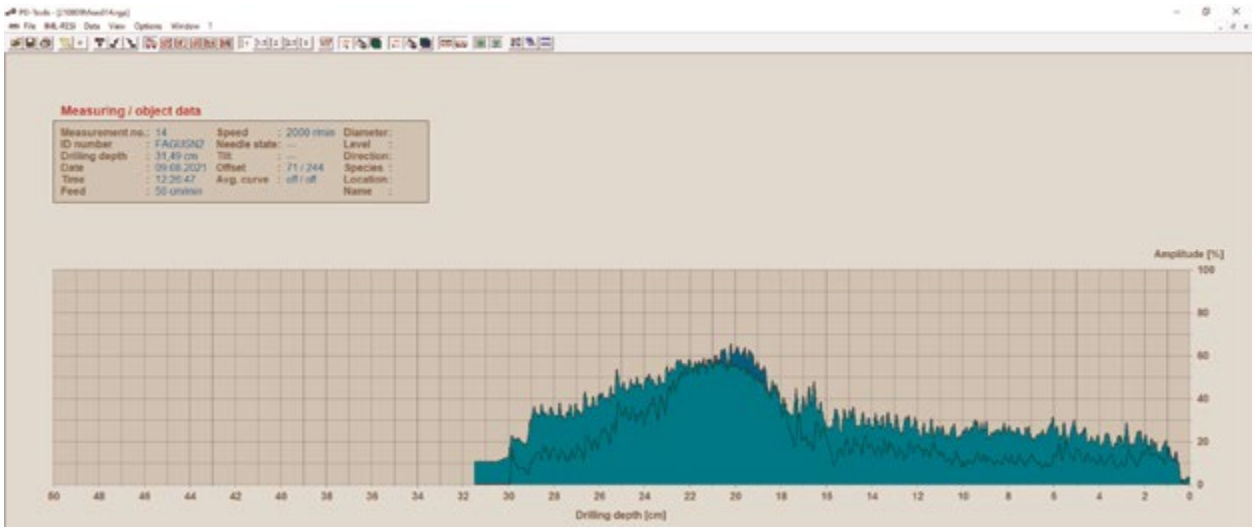
Tabla 13: Años necesarios para que una haya dominante alcance una Clase Diamétrica (cm) en las parcelas remedidas IFN de Fertilidad I según altitud (m)

Clase	<400	400-600	600-800	800-1000	1000-1200
CD10	18	20	22	24	26
CD15	27	30	33	36	39
CD20	40	46	51	57	58
CD25	47	60	67	76	79
CD30	57	75	86	95	100
CD35	74	87	104	115	119
CD40	87	102	119	133	136
CD45	105	117	134	151	154
CD50	131	129	147	167	170
CD55	145	145	160	182	187
CD60	155	157	174	196	201
CD65	162	172	184	211	212

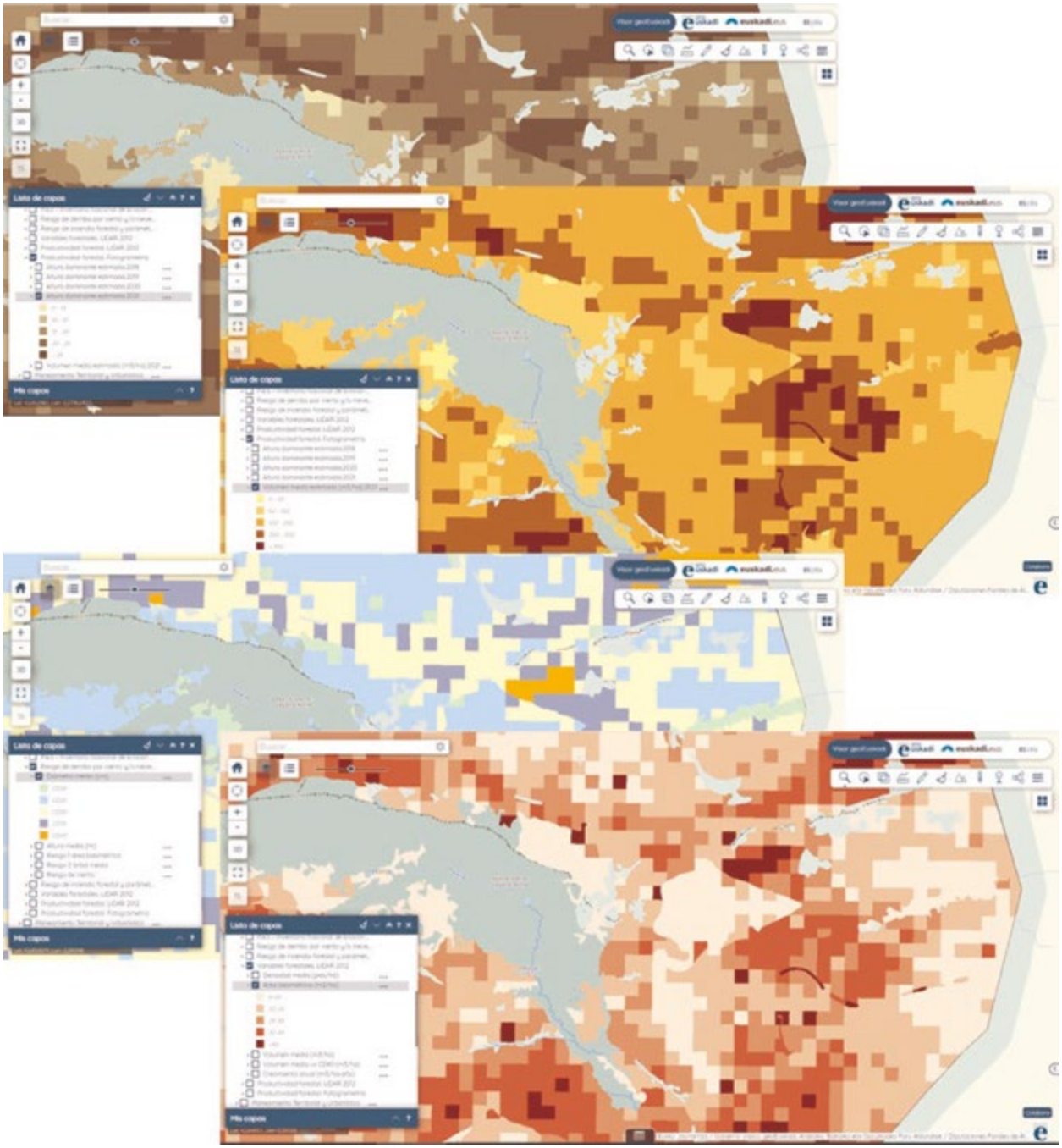
Tabla 14: Años necesarios para que una haya media alcance una Clase Diamétrica (cm) en las parcelas remedidas IFN de Fertilidad I según altitud (m)

Clase	<400	400-600	600-800	800-1000	1000-1200
CD10	18	20	22	24	26
CD15	23	28	32	38	42
CD20	33	39	47	57	61
CD25	47	55	62	76	79
CD30	62	70	80	95	100
CD35	76	85	95	114	121
CD40	94	98	109	132	138
CD45	109	114	123	150	155
CD50	127	131	138	167	173
CD55	137	148	155	181	189
CD60	155	164	175	200	210

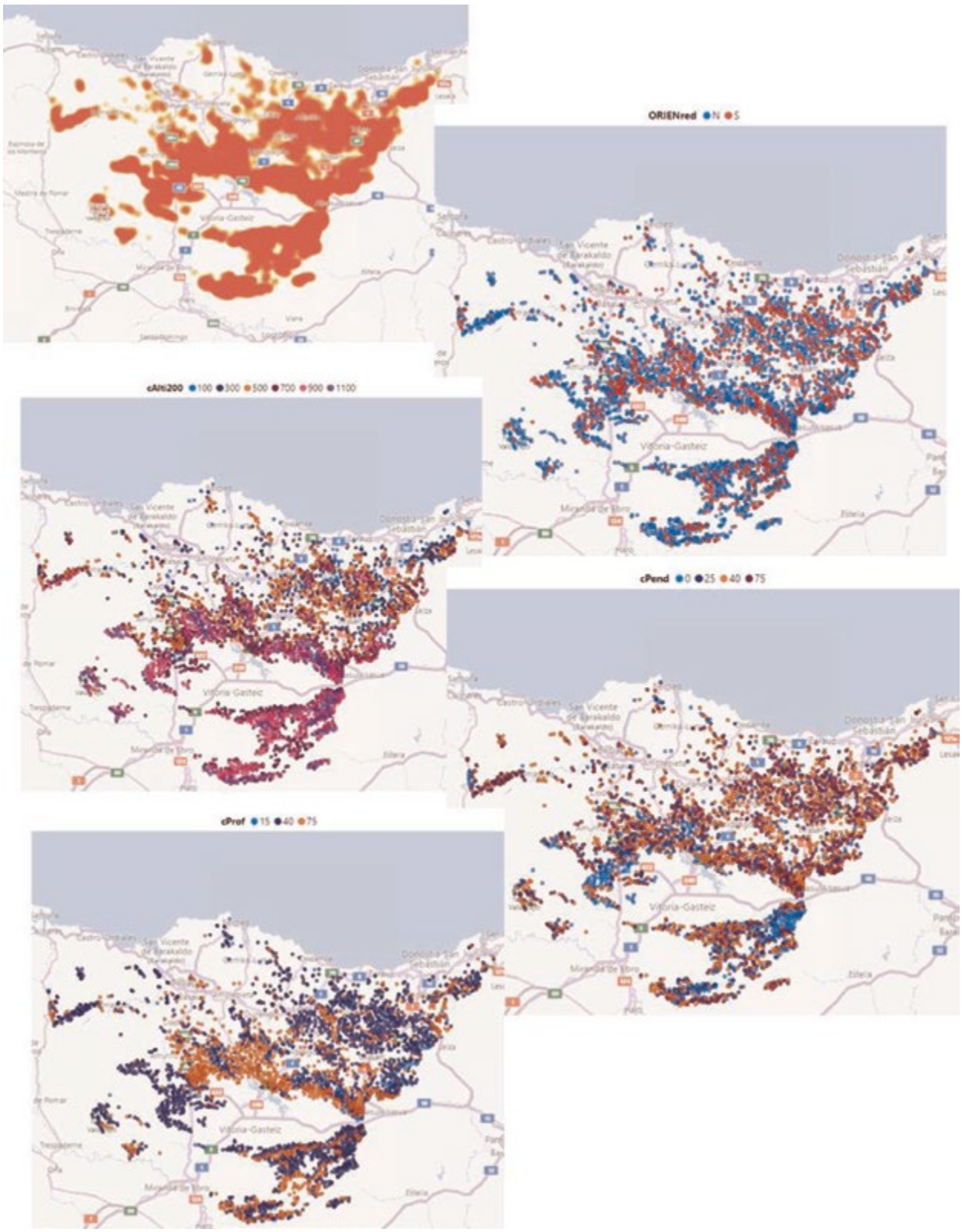




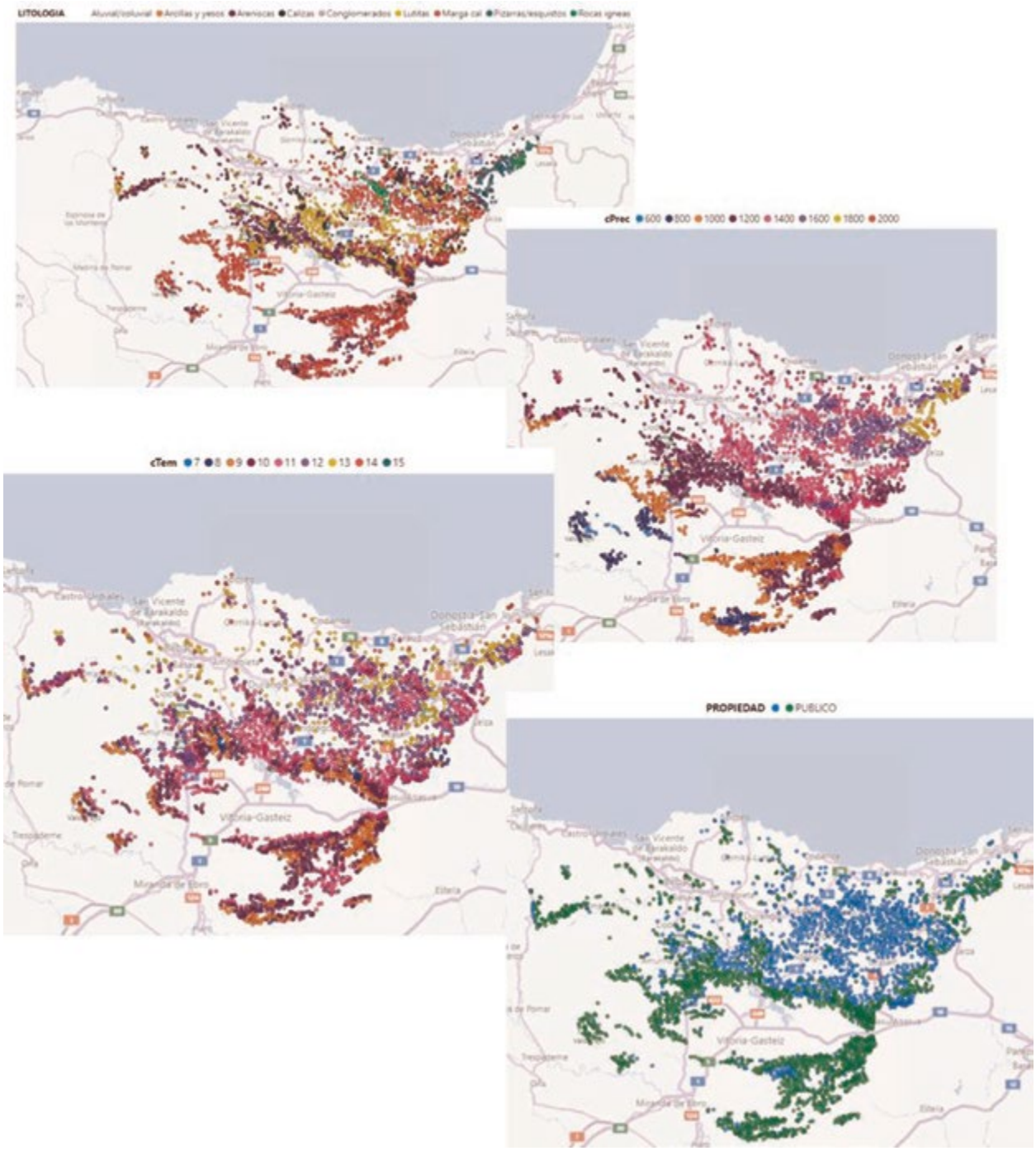
Ejemplos de datos del resistógrafo IML, aplicado a las 10 hayas seleccionadas en la parcela 17 de Urbasa, remarcando de forma individual el haya nº1. A la izquierda, esfuerzo de avance (drill) y a la derecha, esfuerzo de rotación (feed).



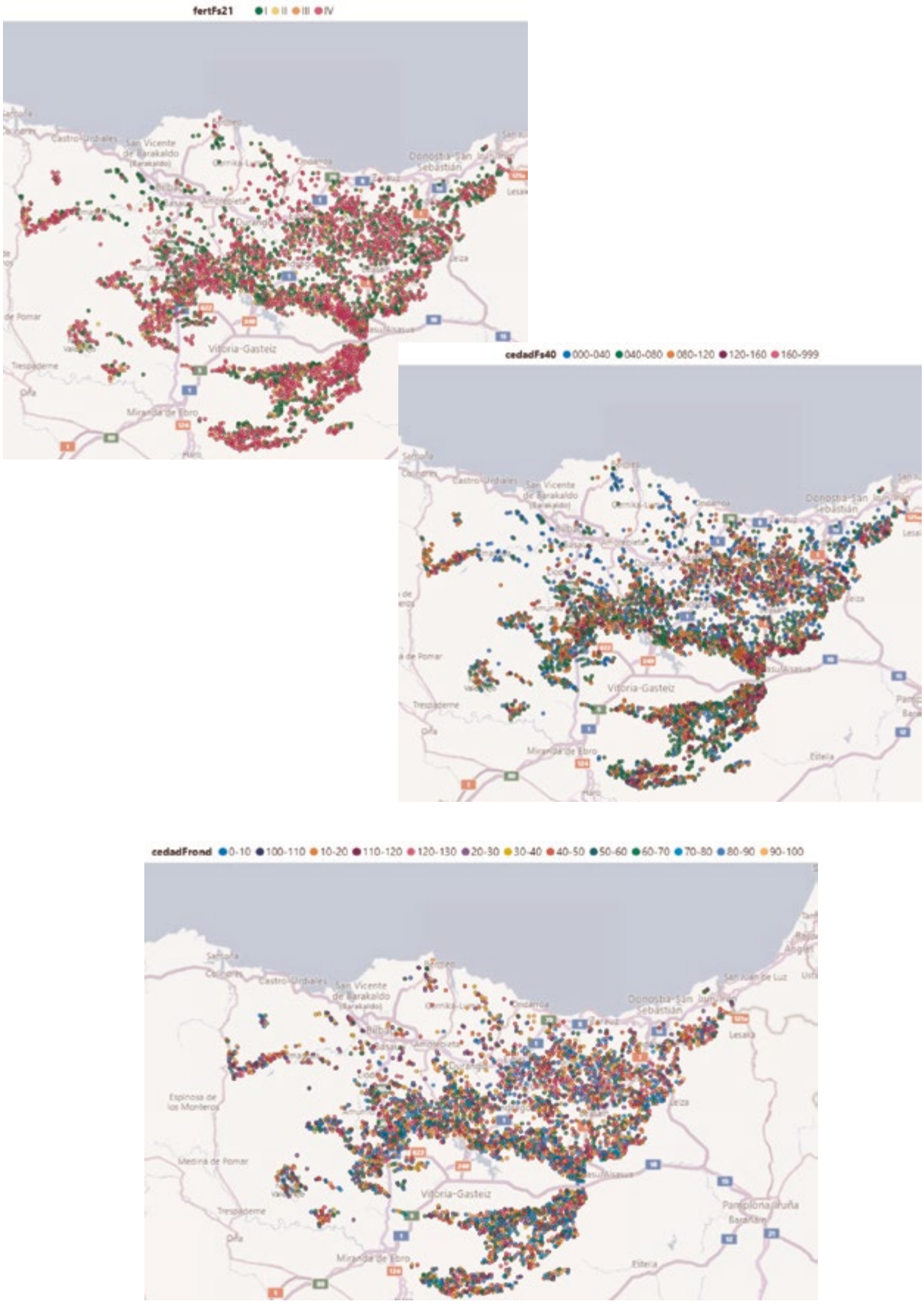
Aplicación al hayedo de Entzia (Álava) de distintas de capas generadas por fotogrametría aérea y disponibles en el visor GeoEuskadi con cuadrícula 1 ha: altura dominante, volumen estimado, diámetro medio y área basimétrica.



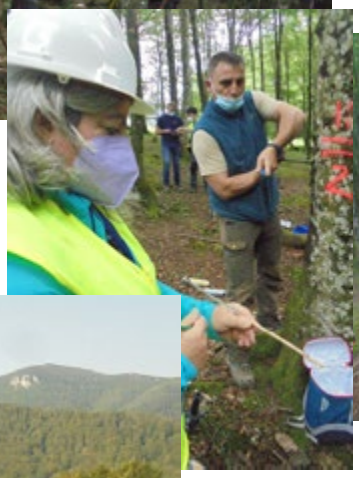
Distribución de los hayedos vascos y cuadrículas de 1 ha repartidas según clases de orientación, altitud, pendiente y profundidad del suelo.

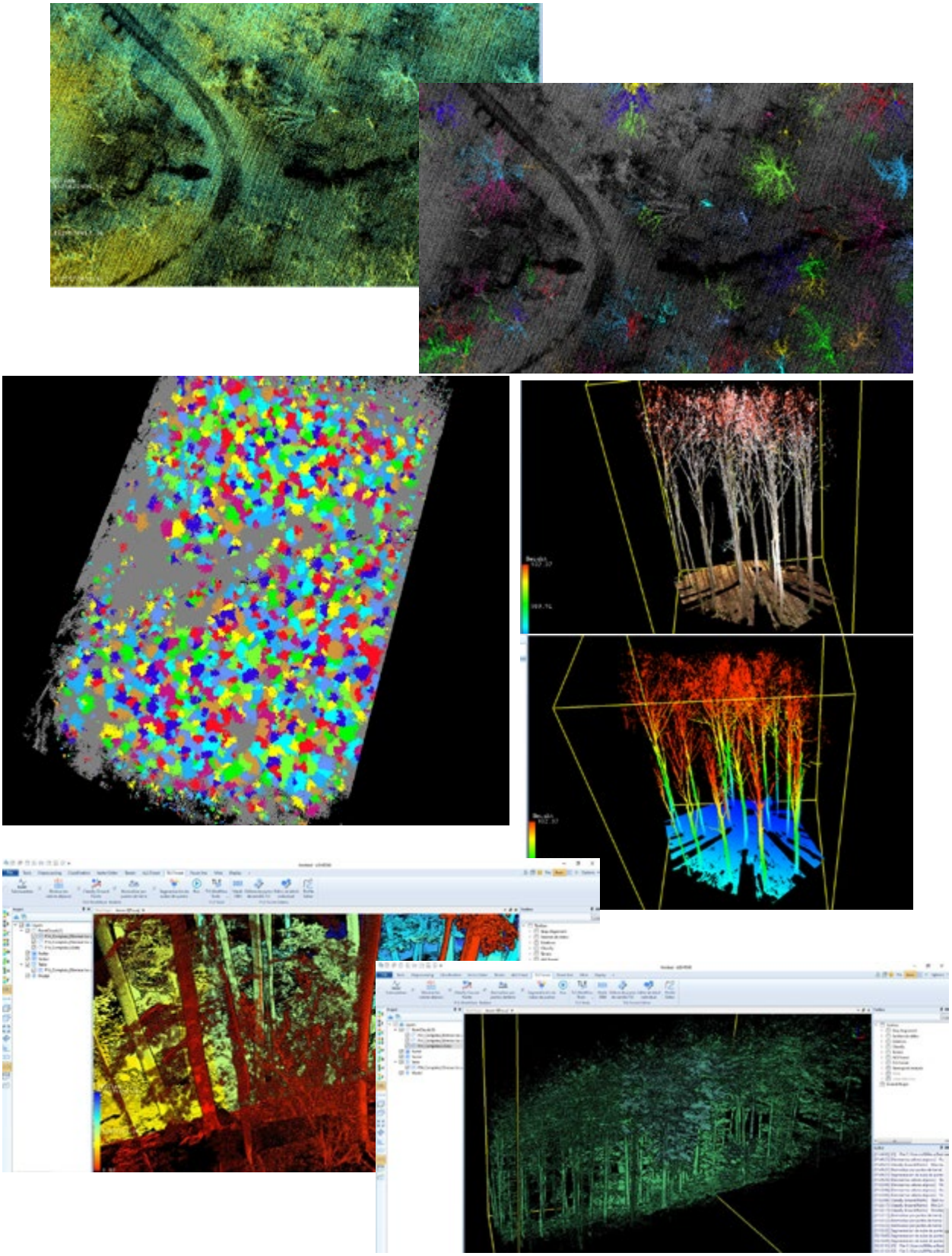


Distribución de las cuadrículas de 1 ha de los hayedos vascos repartidas según clases de litología, precipitación anual, temperatura media anual y propiedad forestal.



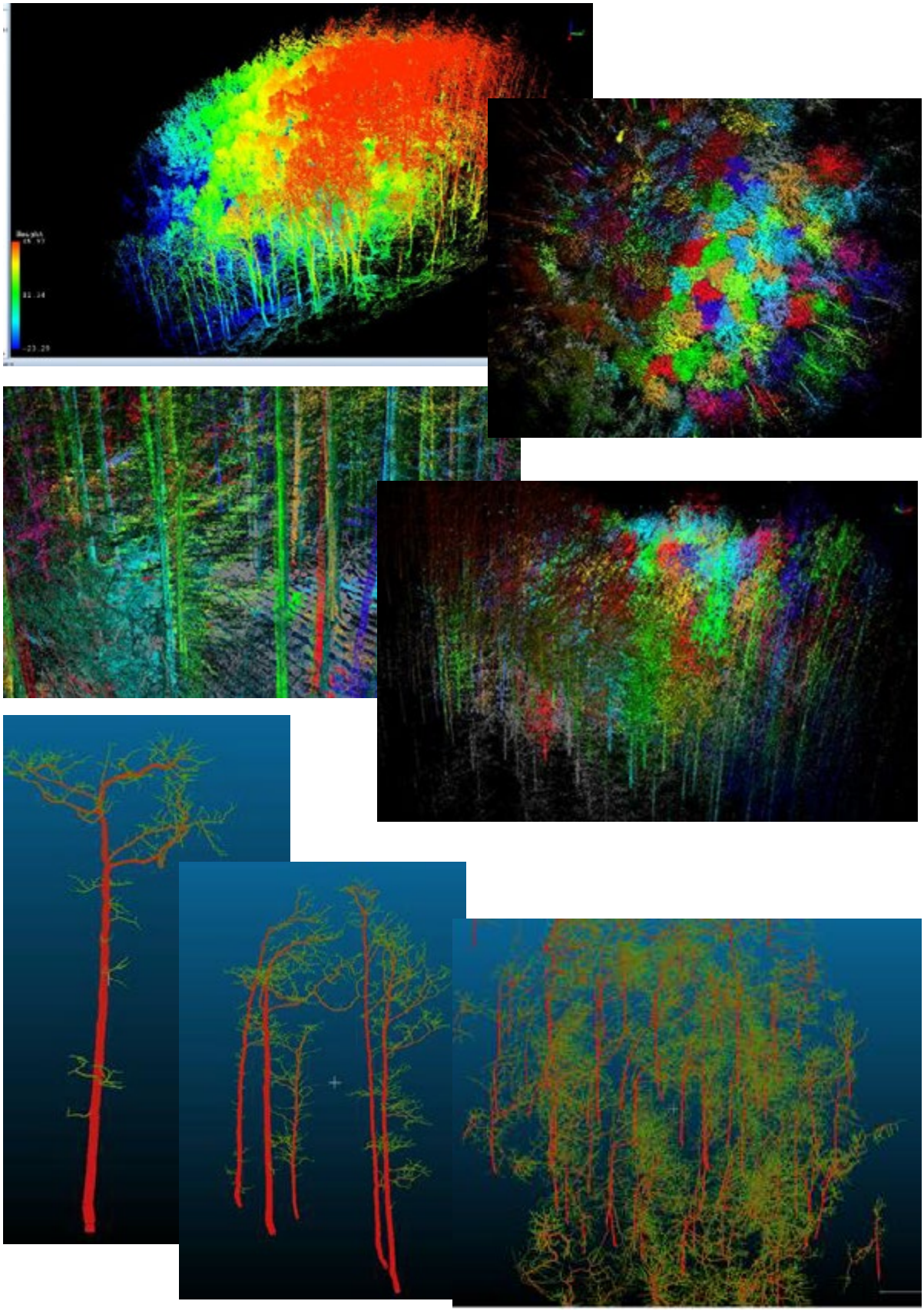
Distribución de las cuadrículas de 1 ha de los hayedos vascos repartidas según clases de fertilidad y según edad estimada, calculadas a partir de los datos de fotogrametría aérea 2018-2021.





11:39
11:10

LRV_20230220_132427_11_036.mp4



3. LA CARTOGRAFÍA DE PROPIEDADES TECNOLÓGICAS DE LA MADERA DE HAYA. UNA REALIDAD A OPTIMIZAR, AL SERVICIO DEL SECTOR FORESTAL Y DE LA MADERA

INTRODUCCCIÓN

En este proyecto se ha demostrado la buena aptitud tecnológica de la madera de haya procedente de *árboles de* diámetros intermedios, que actualmente van para leña, para su uso como madera estructural. En el caso de madera estructural, las variables principales que determinan la aptitud y calidad de la madera son el modulo de elasticidad (MOE) y la densidad básica (Db). Estas propiedades se han evaluado sobre una serie de parcelas permitiendo demostrar elevados valores de modulo de elasticidad y de densidad básica y dar a conocer un aspecto muy interesante de esta especie, hasta ahora no tenido en cuenta para su aprovechamiento **"su alta calidad para uso estructural**". Estos resultados convierten al haya en una especie muy interesante para la producción de madera técnica con capacidad de obtener una elevada clase resistente.

El haya es una frondosa de anillo difuso. El tipo de células de madera (vasos, fibras,...) su distribución y su anatomía (espesor de pared celular, tamaño de lumen, longitud) van a determinar las propiedades tecnológicas de la madera como el MOE y Db.

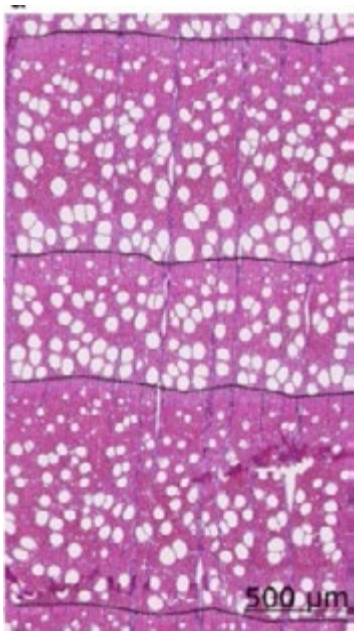


Figura 1.: Imagen de anatomía de *Fagus sylvática* Figura de Julia Schwarz et al, 2020. Current Forestry Reports (2020) 6:185–200. ©

El proceso de formación de la madera depende de:

- La genética (región de procedencia/rodal/material seleccionado…….)
- Las condiciones ambientales (clima, suelo, fisiografía): periodo vegetativo (madera temprana/tardía; madera de reacción)
- Las condiciones selvícolas: crecimiento, tamaño de copa, cantidad de auxinas, competencia por nutrientes y agua (tamaño de vasos, pared celular, madera juvenil/adulta)

La posibilidad de obtener datos de Módulo de elasticidad y densidad básica en diferentes parcelas a lo largo del área de distribución va a permitir estudiar la relación con variables ambientales, de crecimiento competencia etc, lo que nos ayudará a comprender mejor las variables que repercuten en la calidad tecnológica y que deberán ser tenidas en cuenta.

El modulo de elasticidad puede medirse a partir de ensayos de flexión de madera en laboratorio o bien evaluando la velocidad de desplazameinto de una onda sónica por el interior de la fibra de la madera. La velocidad y la densidad nos van a permitir calcular el denominado modulo de elasticidad dinámico que no es sino una medida indirecta del modulo de elasticidad global que se obtiene tras el ensayo de la madera en laboratorio.

Actualmente, existen equipos sónicos que permiten medir la velocidad de desplazamiento de una onda por el interior de la fibra de la madera, directamente sobre el árbol, con dos transductores que se insertan longitudinalmente sobre el fuste a una distancia conocida. Además, también es posible conocer la densidad de la madera extrayendo muestras con barrenas de presler o estimándola mediante medidas indirectas como el resistógrafo o la espectroscopía de Infrarojo cercano (NIR).

Esto ha permitido la caracterización en monte de dichas propiedades y posteriormente evaluar su relación con variables ambientales y variables de masa para posteriomente desarrollar modelos matemáticos predictivos de propiedades tecnológicas de la madera a partir de datos verdad terreno o incluso de datos remotos, Con dichos modelos se ha podido generar cartografía predictiva de la calidad tecnológica de la madera y todo ello ha sido incorporado en la herramienta GIS "VisorMADERA" (link https://visor.maderaplus.es/) con el objetivo de ofrecer a los técnicos esta información a través de un visor GIS para favorecer la gestión y el aprovechamiento del haya hacia productos de mayor valor añadido

En este trabajo se van a mostrar los resultados preliminaries que han permitido integrar en una herramienta GIS los algoritmos matemáticos y la cartografía generada para obtener una predicción del modulo de elasticidad dinámico y de la densidad básica a partir de diferentes variables de entrada, utilizando diferentes cartografias integradas en el Visor provenientes del procesado de datos remotos ambientales así como de los estadísticos LiDAR aportados para el desarrollo de modelos predictivos.

Para verificar el uso y la viabilidad de la herramienta GIS se ha analizado la relación entre esta predicción y los datos reales de calidad tecnológica tras los ensayos de laboratorio de la madera y se ha demostrado la posibilidad de relacionar la calidad tecnológica de la madera procesada con las variables integradas en el visor.

TIPOLOGÍA DE PARCELAS SOBRE LAS QUE SE REALIZA EL ENSAYO

El estudio se ha desarrollado sobre parcelas de *Fagus sylvática* con dimensiones maderables intermedias, que representan más de un 50% de la tipología de masas existente dentro del area de distribución de la especie y distribuidas en diferentes regions de procedencia (Figura 2).

Fig. 2 Distribución de las parcelas muestreadas de haya en 6 regiones de procedencia

Se seleccionaron masas forestales de haya en espesura (con una fracción de cabida de cubierta siempre superior a 70%), con diferentes tipologías de desarrollo en cuanto a altura dominante (>18m) y diámetro medio cuadrático (> 20 cm) según se muestran en la tabla1.

Tabla 1: Tipologías de desarrollo de haya diferenciadas y porcentaje de representación sobre el area de distribución de la especie

FCC	Dg	P95 (Ho)	% de representatividad	TIPOLOGÍA
<70	-	-	28,75%	0
>70	20-30	18-24	29,36%	1
>70	30-40	18-24	11,96%	2
>70	>40	18-24	0,01%	3
>70	20-30	>24	3,10%	4
>70	30-40	>24	25,18%	5
>70	>40	>24	1,64%	6

Se presentan a continuación imágenes de las dos tipologías más representativas de los hayedos españoles dentro de las que se ha realizado el estudio

Figura3: Aspecto masa de haya muestreada tipología 1 (primera tipología más abundante)

Figura 4: Aspecto masa de haya muestreada tipología 5 (segunda más abundate)

EVALUACIÓN EN CAMPO DE MOE DINÁMICO Y DENSIDAD BÁSICA DE HAYA

En la primera fase del proyecto GO FAGUS se evaluaron la densidad y el modulo de elasticidad dinámico en las 30 parcelas seleccionadas de haya. Para ello, se seleccionaron 10 árboles representativos dentro de cada masa y se midió la velocidad de desplazamiento de una onda de impacto a lo largo del fuste utilizando el equipo de tecnología sónica (ST300, Fibre-Gen, New Zealand) Figura 5 y se analizó la densidad básica a partir de la extracción y posterior análisis de cores en cada uno de los árboles tipo Figura 6.

Figura 4: Proceso de medición de velocidad de transmission de una onda de impacto por el interior de la fibra de la madera con el equipo ST300 (Fibre gen) por personal de MADERA+

Figura 5. Imágenes del proceso de extracción de cores y obtención de densidad en laboratorio

Como hemos dicho, el MOE dinámico es una medida indirecta del Módulo de Elasticidad global y es possible caracterizarlo con mediciones directas sobre el árbol en pie. La velocidad de propagación de una onda acústica depende de la vibración de las partículas elementales del medio donde se propaga. La velocidad de propagación está directamente relacionada con el módulo de elasticidad del medio en el que se desplaza e inversamente con la densidad del material.

El modulo de elasticidad dinámico se obtuvo aplicando la formula:

$$MOEdin=V^2*densidad$$

Se presentan en la tabla2 los estadísticos descriptivos de las variables de masa y propiedades tecnológicas medidas en las parcelas.

Tabla 2. Estadisticos descriptivos de variables evaluadas en las parcelas

Variable	media	mín	máx	sd
N	560,5	208,0	1232,0	268,5
G	39,6	19,6	54,0	9,1
DG	32,4	19,1	54,3	8,7
DMAX	52,7	26,0	80,0	12,4
HO	25,5	16,7	40,6	5,7
IH	18,3	12,0	27,6	3,8
VCC	448,1	151,8	879,7	174,2
W	379,8	151,7	602,5	114,1
D_b	604	571	633	16
MOE_{din}	18.029	13.014	21.006	1.846

Los resultados permitieron observar diferencias significativas por parcela en estas dos variables lo que permite tener un ranking de parcelas con mejores y peores propiedades tecnológicas según se aprecia en las gráficas correspondientes (Figuras 6 y 7).

No se observaron diferencias significativas entre regiones de procedencia, Hay que tener en cuenta que los valores MOE dinámico obtenido en pie son inferiores al valor referido en ensayo sobre madera seca.

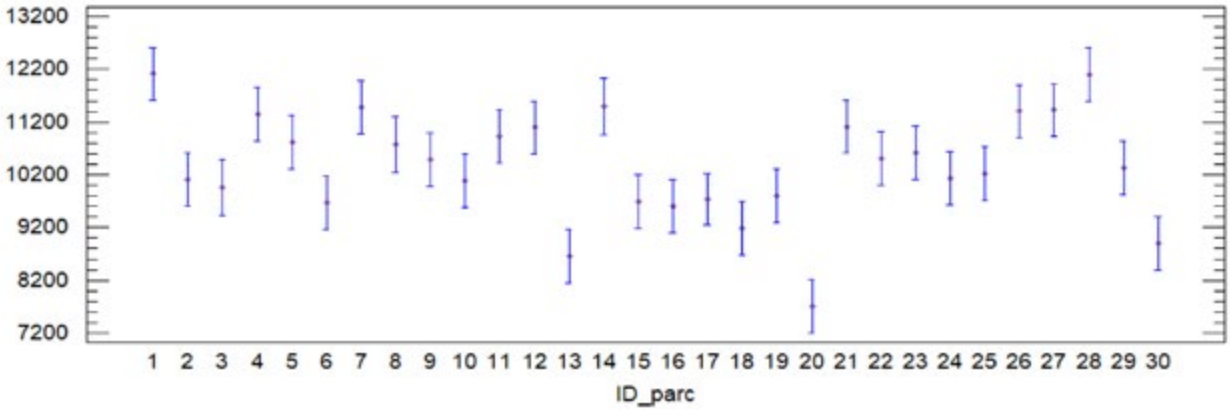


Figura 6: Gráfico de test de medias del Módulo de elasticidad dinámico por parcela en MPa.

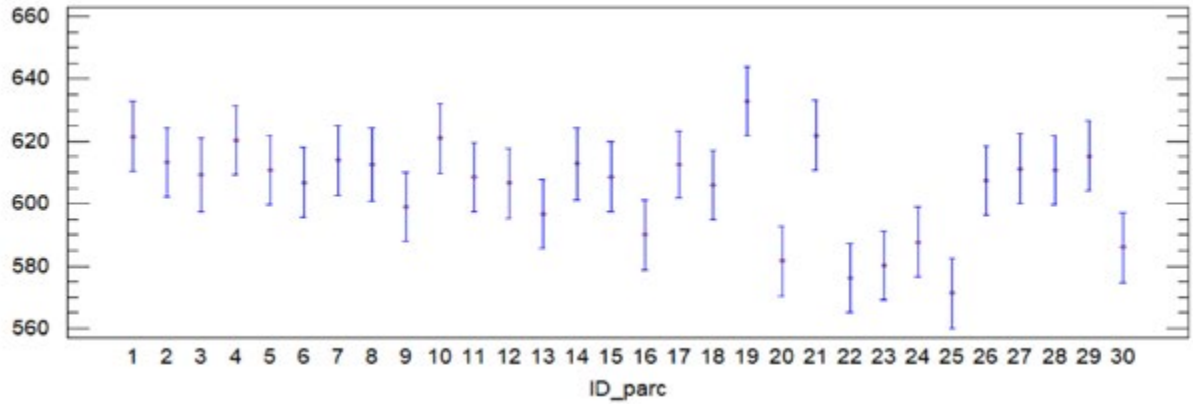


Figura 7: Gráfico de test de medias de la desidad básica de la madera por parcela en Kg/m^3.

MODELOS DE PREDICCIÓN DE MOE DINÁMICO Y DENSIDAD BÁSICA DE LAS MASAS FORESTALES DE HAYA

En la segunda fase del proyecto, se analizaron las relaciones entre las propiedades tecnológicas evaluadas en cada parcela (MOEdinámico y densidadbásica) y las variables de estación (clima, fisiografía,

suelo) y variables dendro y dasométricas de árbol y masa de masa (ligadas a la selvicultura). Los resultados de las correlaciones se observan en las figuras 8 y9. En el caso de la densidad básica se relaciona negativamente con el diámetro y la altura de la masa y positivamente con el número de pies por parcela y con la pendiente

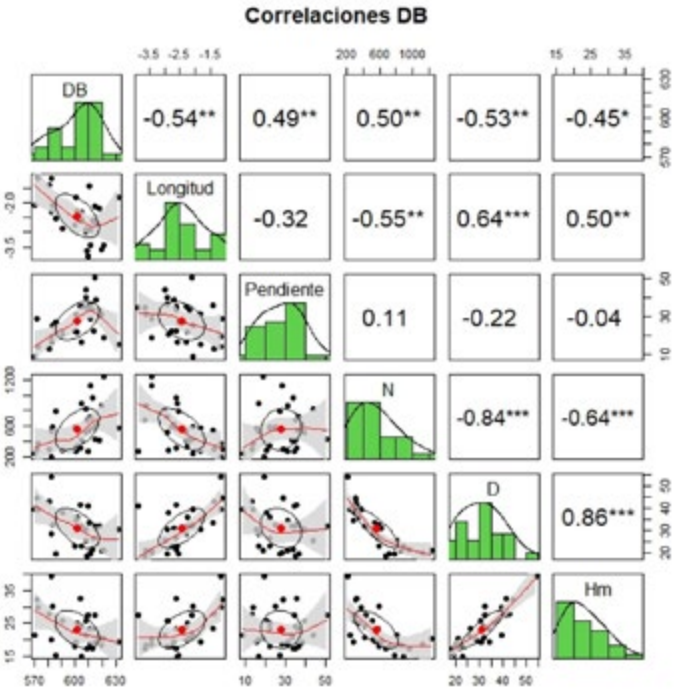


Figura 8. Correlaciones de Pearson significativas de la densidad básica con variables ambientales y variables de masa

El modulo de elascidad dinámico medio de la parcela está negativamente correlacionado con la razón de copa y con el índice de Hart y positivamente con la esbeltez y la pendiente en la parcela (Figura9)

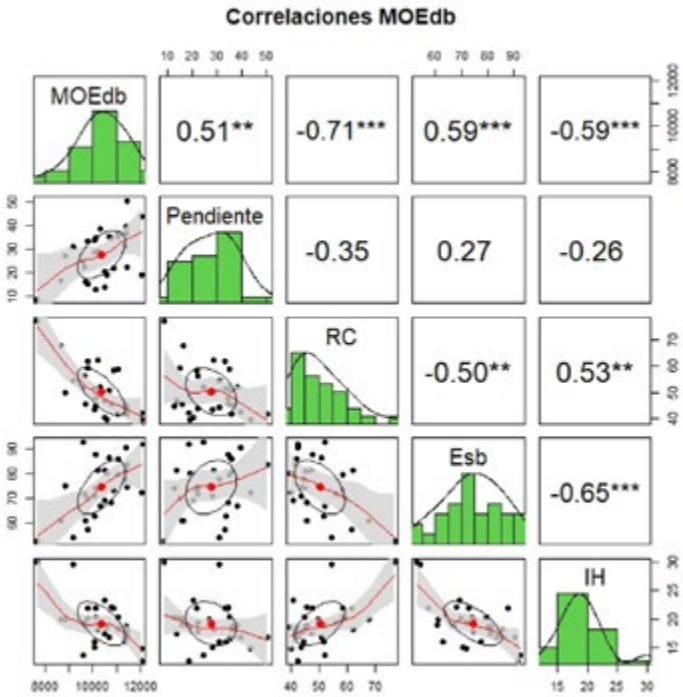


Figura 9. Correlaciones de Pearson significativas del Módulo de elasticidad dinámico medio de la parcela con variables ambientales y varoables de masa

El análisis estadístico ha permitido la obtención de modelos predictivos para estimar el modulo dinámico o la densidad a partir de las variables descriptivas de la estación o de variables de masa, las cuales podemos inferirlas de las fuentes de datos remotos como LiDAR, mapas de clima, mapas de suelo, o el modelo digital del terreno.

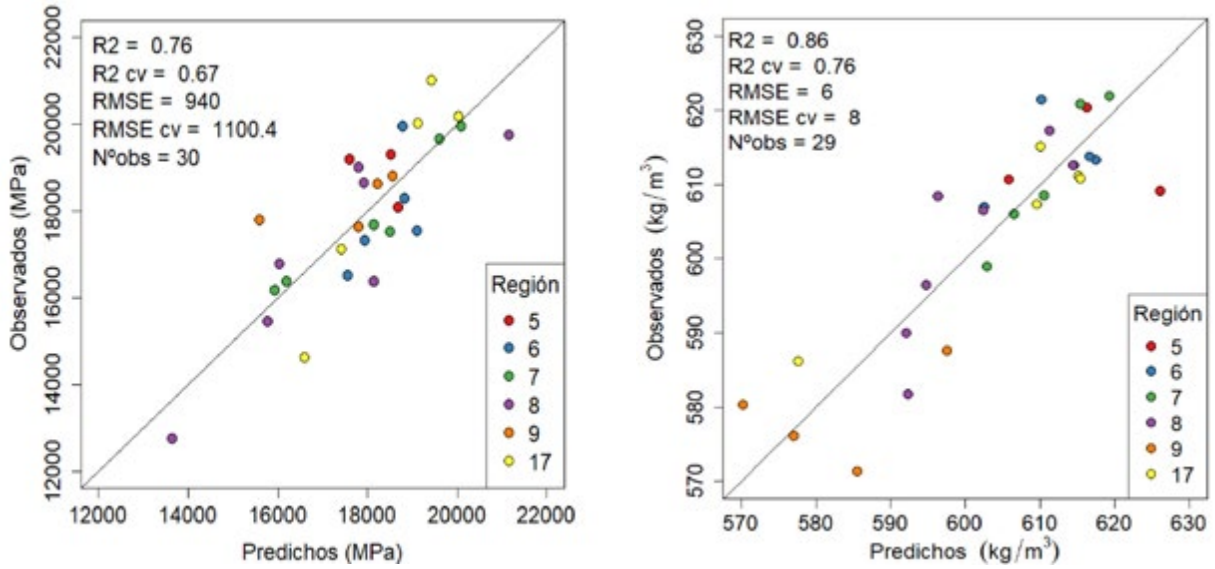


Figura 10 Gráficos observados predichos de los modelos de predicción de Módulo de elasticidad y densidad básica

INTEGRACIÓN DE RESULTADOS EN HERRAMIENTA GIS

Se ha desarrollado un árbol de decision con diferentes algoritmos metemáticos de predicción, en función de las variables de entrada, para para predecir las propiedades tecnológicas de la madera de una masa forestal de haya que ha sido integrado en la herramienta GIS VisorMADERA, que permitirá realizar predicciones de Módulo dinámico o densidad básica en base a variables verdad terreno o variables remotas.

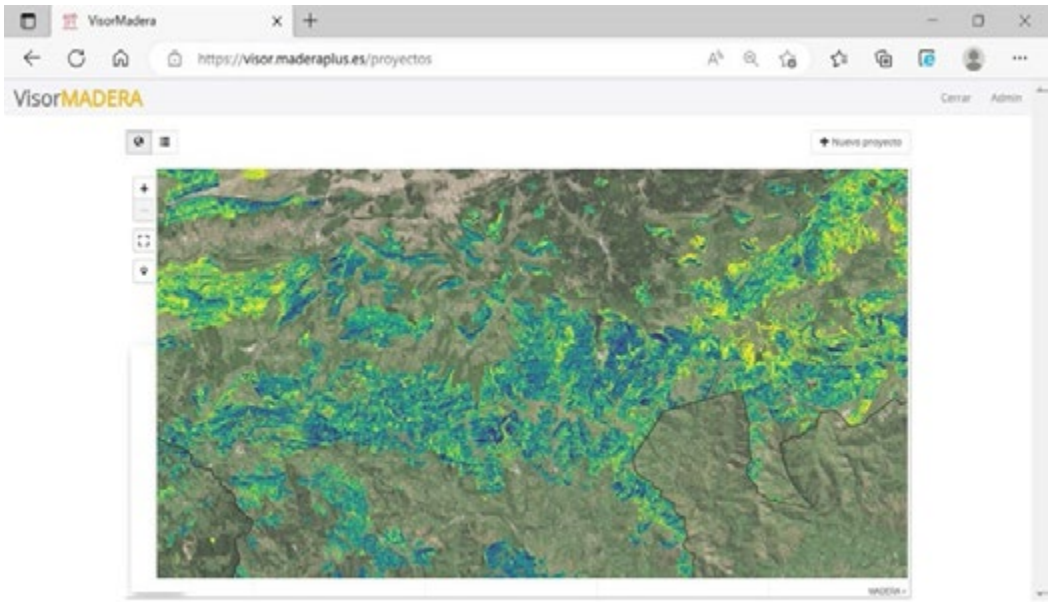


Figura 11: Aspecto general de una de las pantallas del VisorMadera sobre el que se puede accede para obtener la predicción de las propiedades tecnológicas de la madera de haya con los resultados preliminaries obtenidos del proyecto.

La cartografía generada abre nuevas oportunidades de cara a poder caracterizar la calidad y potencialidad de la material prima forestal existente en nuestros bosques. En el caso del haya permite diferen-

ciar las masas buscando un aprovechameinto alternativo de esa madera para otros usos de mayor valor añadido que la leña. Este resultado deberá optimizarse para zonas concretas con mayor intensidad de muestreo,

Los modelos de predicción para generar la cartografía han sido aplicados solo a aquellas masas de haya con la tipología definida al inicio del proyecto (altura dominante mayor de 18m y fracción de cabida de cubierta mayor del 70%) Se representa sobre un mapa (Figura 12) la superficie de hayedo sobre la que se realiza estimación de propiedades tecnológicas de madera frente a la superficie total.

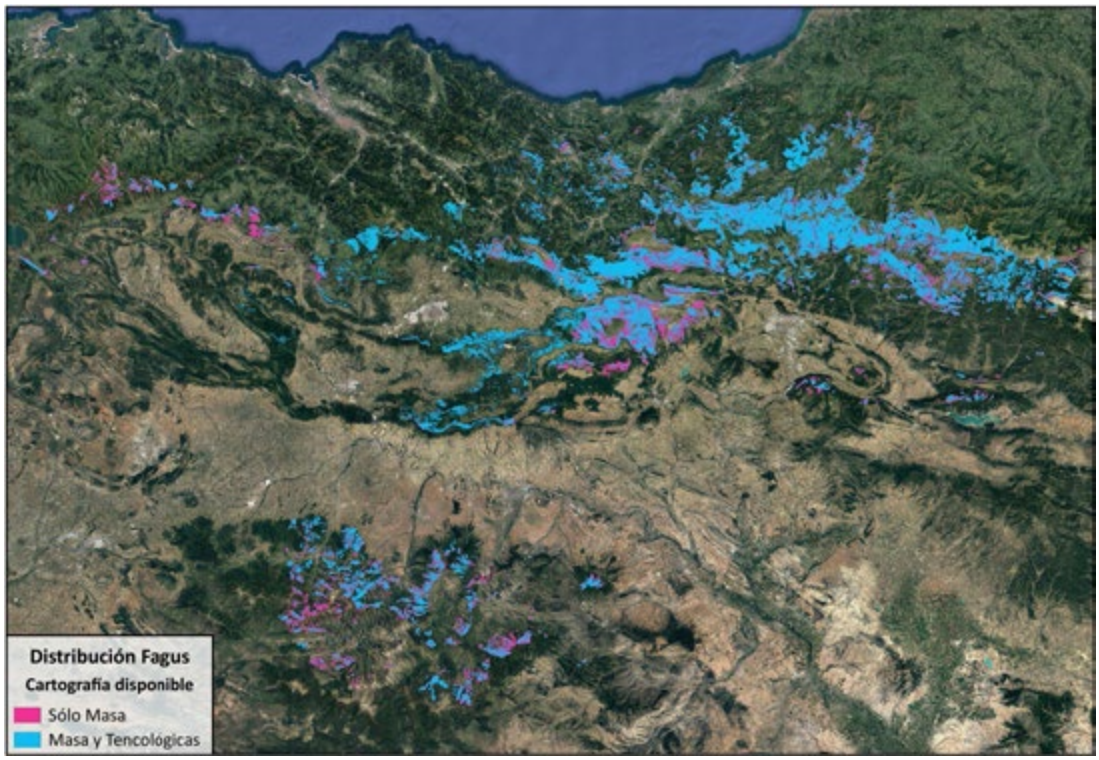


Figura 12: Mapa de distribución de haya. Se representa en azul las zonas de hayedo con Ho>de 18m y Fcc>70% representativas de las masas sobre las que se realiza la predicción de propiedades tecnológicas

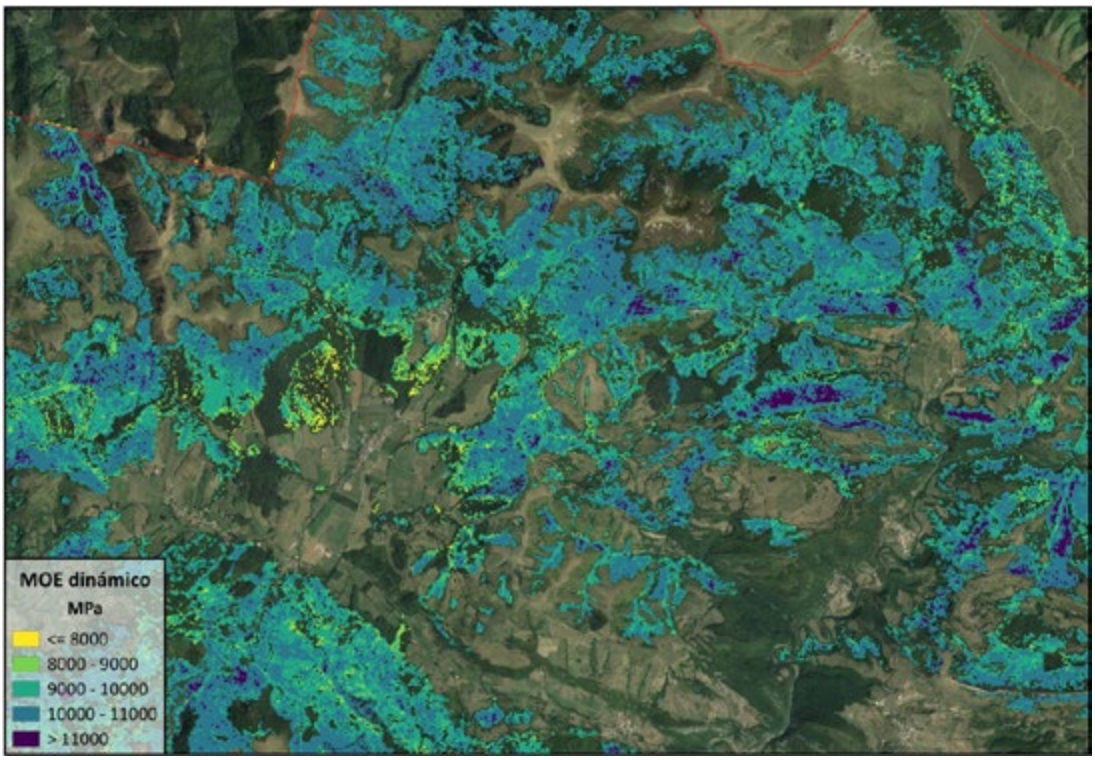


Figura 13: Ejemplo de la cartografía desarrollada de Módulo de elasticidad dinámico de las masas de haya para una zona del norte de Navarra

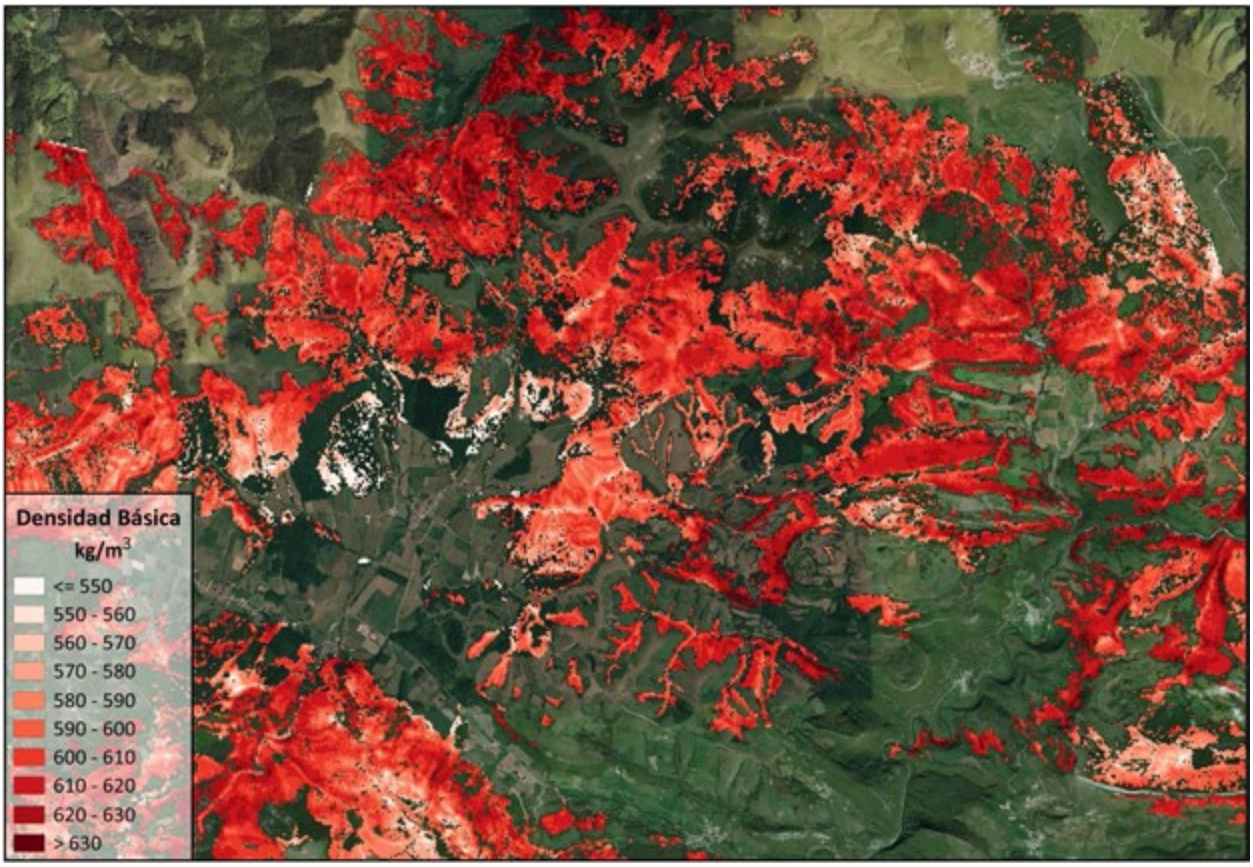


Figura 14: Ejemplo de la cartografía desarrollada de Densidad básica de madera de las masas de haya, para una zona del norte de Navarra

VERIFICACIÓN EFICACIA DE LA HERRAMIENTA GIS Y VALIDACIÓN CON LOS DATOS REALES

La posibilidad de tener una cartografía de propiedades tecnológicas nos va a permitir obtener estadísticos de zona para evaluar la distribución de dicha calidad por provincia. Así en base a los mapas desarrollados, ha sido possible conocer cómo se distribuyen los valores de Módulo de elasticidad y densidad básica en las diferentes provincias. Se presentan los mapas asociados a las dos propiedades tecnológicas evaluadas en campo y la tabla descriptiva del porcentaje de superficie de haya dentro de la provincia en los diferentes rangos diferenciados.

En cuanto al Módulo de elasticidad dinámico en árbol (que en este caso tiene valores del orden de un 20% menores que los valores de MOE a flexion en tabla) podemos concluir, en base al análisis realizado de la cartografía, que son Guipuzcoa, La Rioja y Burgos las provincias con mayor porcentaje de hayedo con alto MOE din (>10.000 MPa) y Álava la provincia con mayor porcentaje de hayedo por debajo de 10000 MPa.

Tabla 3: Distribución de porcentaje de superficie de hayedo en function de los rangos de Módulo dinámico de elasticidad en masa forestal

Provincia	8000 MPa	8000-9000	9000-10000	10000-11000	>11000 MPa
Burgos	0,06	3,30	34,26	56,58	5,81
Álava	0,21	6,95	42,31	44,64	5,89
Guipuzcoa	0,00	1,86	37,00	54,32	6,82
Navarra	0,27	3,48	35,70	55,93	4,62
La Rioja	0,00	0,64	35,17	60,59	3,60

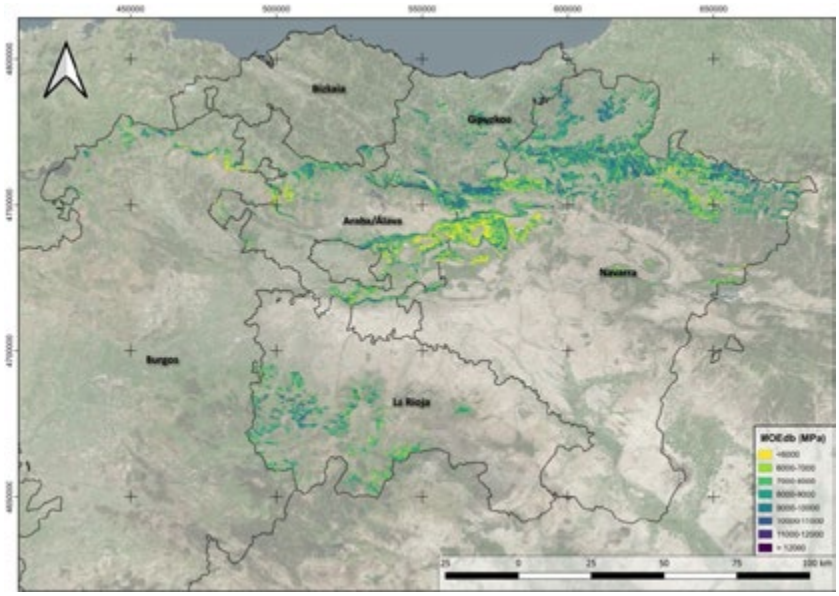


Figura 15: Cartografía del Módulo de elasticidad dinámico sobre el áres de distribución de haya

Respecto a la densidad, Guipuzcoa tiene un 93% de sus hayedos con densidad básica de su madera por encima de 600Kg/m³ de los cuales un 30% tiene densidad básica de madera mayor de 630Kg/m³. Les sigue Burgos y Rioja con 85% de los hayedos densidad básica mayor de 600Kg/m³ y con un 10% de sus hayedos con densidad básica de madera mayor de 630Kg/m³ en el caso de Burgos. En Navarra y en Alava sólo el 75% de sus hayedos tienen una densidad de madera por encima de 600 Kg/m³

Tabla: Distribución de porcentaje de superficie de hayedo en function de los rangos de densidad básica

Provincia	<550 Kg/m³	550-560	560-570	57-580	580-590	590-600	600-610	610-620	620-630	>630 Kg/m³
Burgos	0,14	0,40	1,02	2,02	3,62	7,11	15,30	30,83	28,78	10,79
Álava	0,54	0,94	2,06	4,10	7,19	12,67	21,82	26,66	18,37	5,66
Guipuzcoa	0,29	0,24	0,31	0,55	1,47	4,26	11,46	23,01	29,02	29,40
Navarra	0,72	0,85	1,71	3,99	8,20	16,06	25,12	25,42	14,10	3,82
La Rioja	0,01	0,03	0,17	0,73	3,07	11,52	28,53	33,09	18,38	4,47

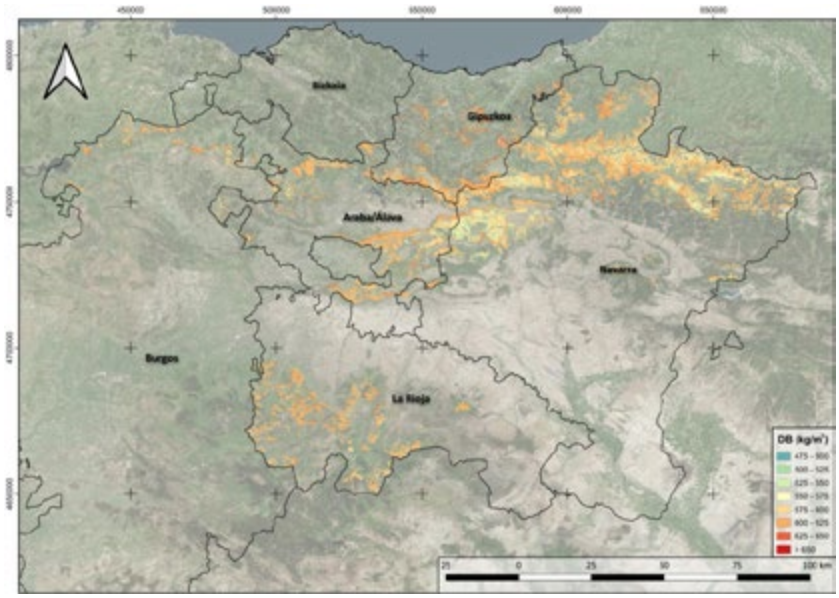


Figura 16: Cartografía de densidad básica sobre el áres de distribución de haya

VALIDACIÓN CON DATOS REALES

La herramienta GIS utiliza un árbol de decisión que parte de diferentes datos de entrada (coordenadas geográficas, mediciones de variables de masa o mediciones con equipos sónicos o de densidad de madera) y aplica los correspondientes modelos predictivos para obtener un ranking de calidad tecnológica de la madera sobre las masas muestreadas..

En esta apartado se pretende demostrar que el Módulo dinámico y la densidad básica obtenidas en monte, están relacionados con el porcentaje de madera de calidad extraída de la parcela y se ha analizado la posibilidad de desarrollar cartografía de la calidad industrial de la madera procesada que podrá ser integrada también en el VisorMADERA.

Para ello, se parte de los datos obtenidos sobre la madera en rollo y la tabla aserrada y caracterizada de 15 parcelas de haya que fueron apeadas de entre las 30 previamente evaluadas en monte. El presente apartado describe las correlaciones existentes a nivel parcela entre cuatro variables tomadas sobre las trozas (Velocidad con Hitman, densidad básica, Calidad Estética, Porcentaje de Madera Estructural) y las variables obtenidas sobre la masa.

En total se han procesado los datos de 353 trozas de las cuales se ha estimado la velocidad de transmisión de una onda de impacto a partir de la frecuencia de vibración obtenida mediante el equipo HM200 (Figura 13) y la densidad básica por extracción de cores y análisis posterior en laboratorio.

Figura17: Personal de Madera+ midiendo con equipo de frecuencia de vibración HM200 sobre las trozas de haya de las parcelas apeadas, una vez en aserradero

Las propiedades que han sido evaluadas a nivel árbol y troza y procesadas de cara a analizar diferencias significativas entre parcelas y conocer su relación con las variables extraídas del VisorMADERA son las siguientes:

a) Velocidad de onda sónica con Hitman sobre la troza,

b) Densidad básica en la troza

c) Porcentaje de tablas de las mejores calidades estéticas por troza,

d) Porcentaje de tablas clasificadas como estructural según clasificación visual por troza.

En total se procesaron los datos de 2096 tablas. Los resultados se agruparon por troza para conocer el porcentaje de tablas de las mejores calidades tanto estética como estructural. La siguiente tabla muestra el resumen de todos estos parámetros por parcela, con indicación de los valores mínimos, máximos y desviación estándar de la velocidad con Hitman sobre las trozas.

Tabla 5: Valores medios por parcela de las variables de calidad tecnológica de la madera procesada por troza con una media de 25 trozas por parcela

Parcela	Velocidad de desplazamiento				% Tablas de alta calidad estética	% Tablas de calidad para uso estructural
	Mínima	Media	Máxima	CV		
1	3159	3623	3862	5,4	75,6	79,5
2	2997	3476	3664	4,5	60,2	81,6
7	3371	3591	3785	3,6	42,9	88,6
8	3136	3677	4064	5,7	43,8	80,1
11	3074	3380	3735	5,3	29,5	92,4
12	3193	3411	3736	3,8	29,5	88,5
13	2903	3088	3357	4,0	16,2	82,8
16	3142	3433	3734	4,6	41,5	73,8
17	3078	3453	3755	6,2	39,4	56,2
18	3079	3343	3689	5,0	46,0	81,0
19	3223	3514	4089	5,6	61,8	84,3
22	3351	3703	3986	4,8	61,2	83,1
23	3351	3672	3981	4,8	56,8	80,6
26	3017	3391	3633	4,9	32,4	82,4
27	3240	3457	3740	3,9	35,3	83,8

Los resultados obtenidos por troza han sido procesado mediante un análisis de varianza por parcela y se ha concluido que existen diferencias significativas entre parcelas para todas las variables estudiadas. Los gráficos de test de medias permiten observar aquellas parcelas donde se han obtenido mejores y peores resultados (Figuras 18 y 19).

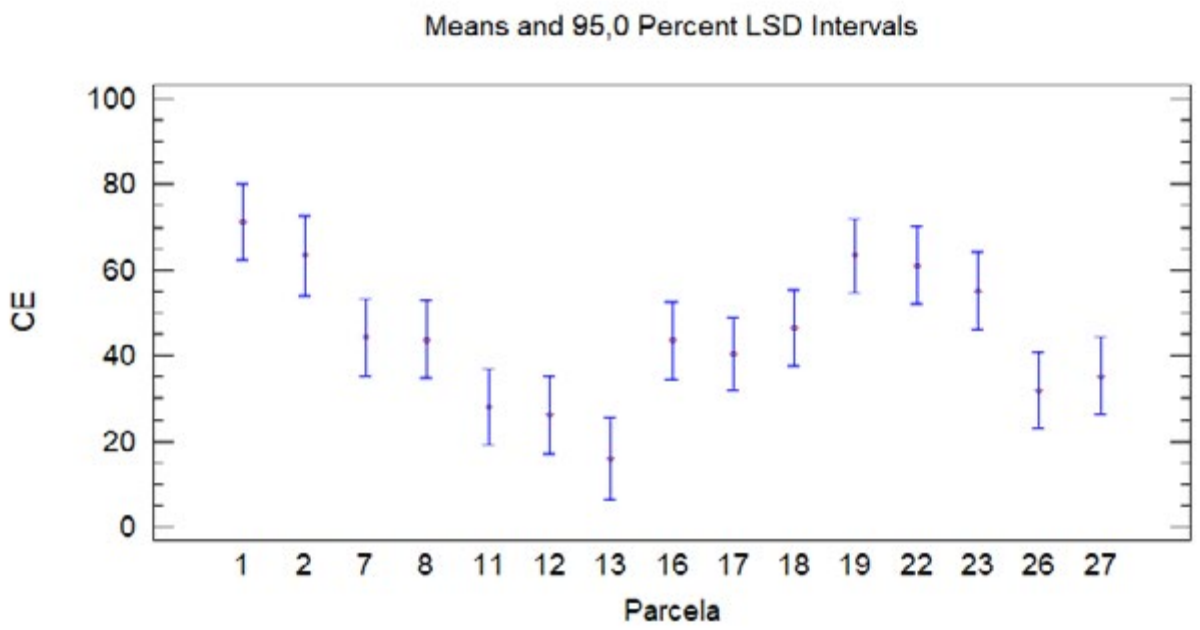


Figura 18 Test de medias y ranking de parcelas en base al porcentaje medio de madera altas calidades estéticas (calidades 1,2)

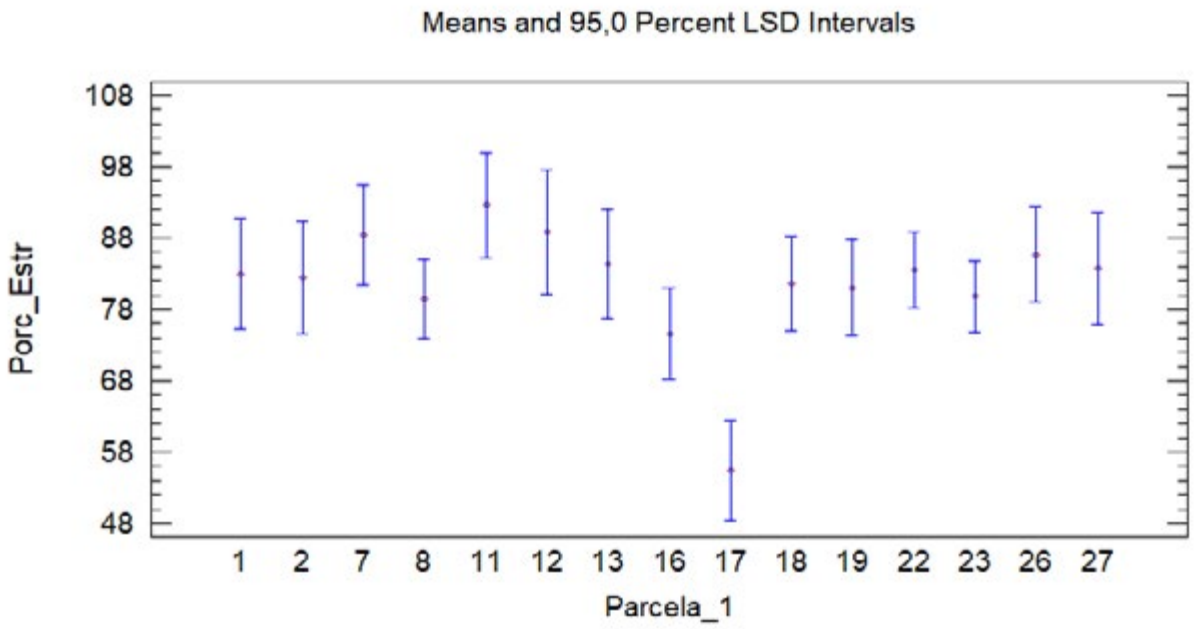


Figura 19 Porcentaje medio de madera estructural según clasificación visual por parcela siguiendo normative de clasificación para otras frondosas en España

Una vez realizado el procesado de las trozas y clasificación por calidad de la madera se ha realizado un estudio de correlación respecto a módulo dinámico, variables ambientales, y variables de masa y se han desarrollado modelos predictivos de la calidad de la madera procesada a partir de las variables a disposición desde el visor, permitiendo así la generación de nueva cartografía. Así podemos comprobar que el Módulo dinámico y la densidad básica obtenidas en monte, y otras variables recogidas en el visor están relacionados con las propiedades tecnológicas de la madera extraída de la parcela

El modulo dinámico sobre las trozas

La calidad tecnológica de la troza, evaluada con métodos sónicos, está positivamente relacionada con el Módulo dinámico de la parcela de la que proviene, con la esbeltez de la masa y con la temperatura del trimestre más cálido y negativamente relacionada con la razón de copa, el índice de Hart y con el porcentaje de arcillas en el primer metro del suelo.

Densidad básica de las trozas

La densidad básica de las trozas está positivamente relacionada con densidad básica sobre el árbol en pie (r=0.77) con el número de pies por ha (r=0.61); y con la temperatura media de la estación más húmeda (r=0.54) y está negativamente correlacionada con el diámetro medio de los árboles de la parcela (r=-0.60), con la altura media (r=-0.55) y con el porcentaje de arcillas en el primer metro de suelo (r=-0.54).

Presencia de corazón rojo

El porcentaje de trozas con corazón rojo está negativamente relacionado con el módulo de elasticidad dinámico en pie(r=-0.66; Es decir a mayor modulo menor presencia de corazón rojo),) con el número de pies por ha (r=-0.53), con la temperatura media de las máximas del mes de mayo y junio (r=-0.62) y positivamente relacionada con el diámetro dominante (r=0.54), la razón de copa (r=0.65) y el porcentaje de arcillas en el primer metro de suelo (r=0.58).

Calidad visual de la tabla de madera

El porcentaje de madera de calidad estética o estructural no está correlacionado con el módulo de elasticidad dinámico de la parcela. Se observa una relación negativa con la razón de copa (r=-0.55; cuanto más pequeña es la copa mejores son las caldiades estéticas) y con la altitud sobre el nivel del mar (r=-0.60; a menor altitud mayor calidad visual) y una relación positive con la temperatura media del mes de mayo (r=0.70).

A partir del análisis estadístico de los datos, hemos desarrollado modelos de predicción de las propiedades de calidad tecnológica evaluadas sobre la madera procesada de las parcelas, incluyendo todas las variables evaluadas y caracterizadas en la masa. Los resultados de los modelos con sus estadísticos de bondad de ajuste se exponent a continuación.

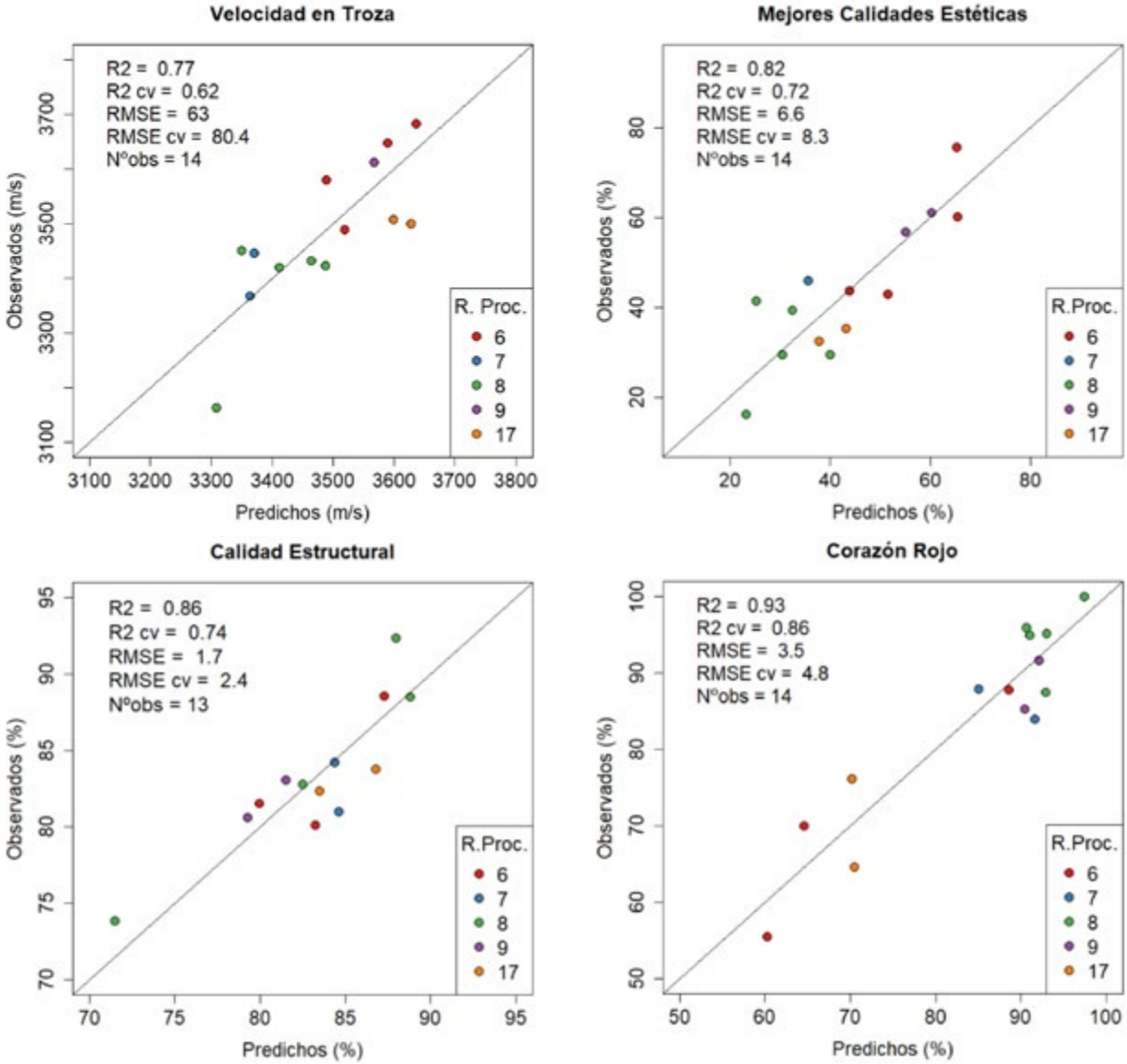


Figura 20: Gráfico de observados predichos y estadísticos asociados a los modelos de predicción desarrollados

Tabla 6. Resumen de estadísticos de bondad del ajuste para cada modelo

Variable	R2	R2CV	RMSE	RMSECV	n	Shapiro	BP Test	NC
Vel Troza	0.77	0.62	63	80.4	14	0.95 p= (0.50)	0.66 (p = 0.71)	-
CRojo	0.93	0.86	3.5	4.8	14	0.97 (p = 0.90)	4.32 (p = 0.23)	-
% ESTR	0.86	0.74	1.7	2.4	13	0.95 p= (0.60)	1.57 (p = 0.67)	-
CVE	0.82	0.72	6.6	8.3	14	0.94 (p = 0.36)	5.20 (p = 0.07)	-

Dónde: R^2, coeficiente de determinación del modelo; R^2_{cv}, coeficiente de determinación de la validación cruzada *LOO*; *RMSE*, error medio cuadrático del modelo; $RMSE_{cv}$, error medio cuadrático de la validación cruzada *LOO*; *n*, número de muestras; *VIF*, factor de inflación de la varianza de cada variable del modelo (no hay para modelos PLS por ser componentes ortogonales); *Shapiro*, test de normalidad de los residuos; *BP Test*, test de Breusch Pagan para evaluar la existencia o no de homocedasticidad; *NC*, número de componentes en caso de modelos empleando la técnica PLS.

A partir de estos modelos y utilizando los datos remotos y la cartografía disponible en el Visor se ha desarrollado nueva cartografía para predecir la calidad tecnológica de la madera procesada, tanto madera en rollo como madera aserrada

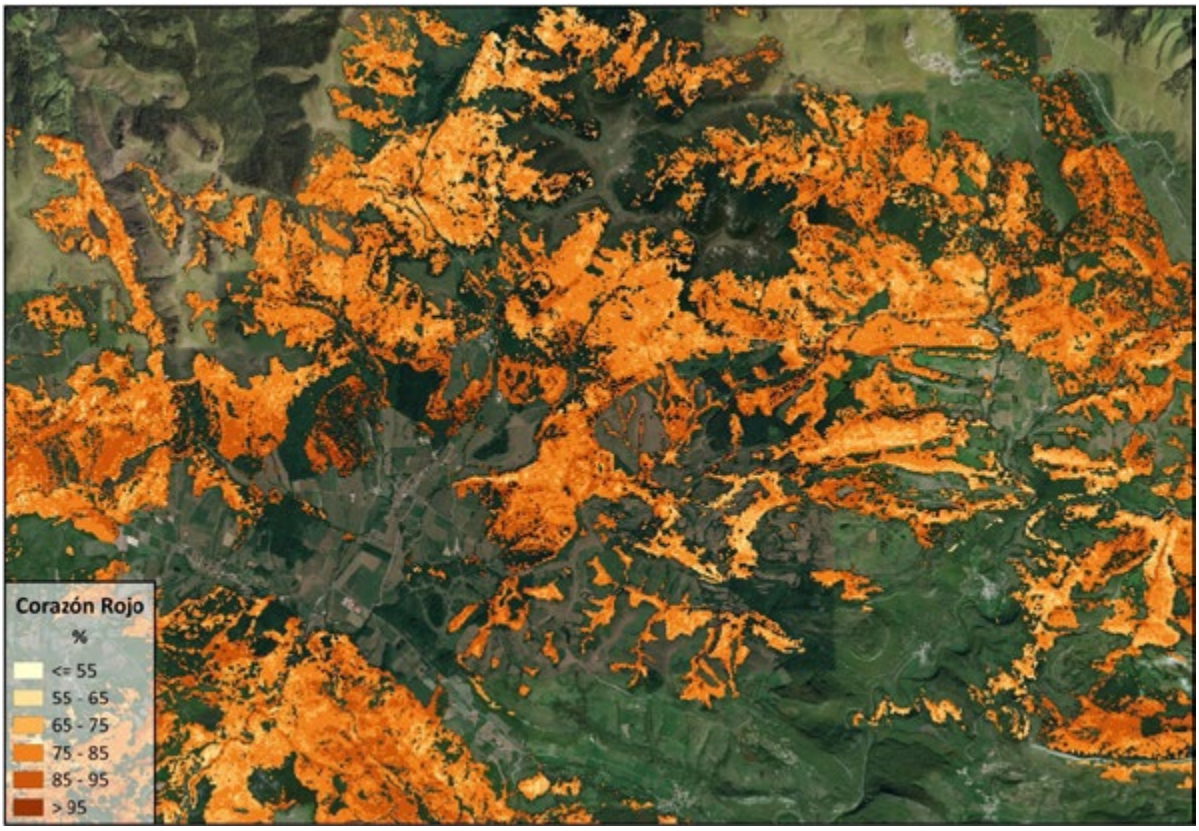


Figura 21: Ejemplo de la cartografía desarrollada de presencia de corazón rojo de las masas de haya, para una zona del norte de Navarra

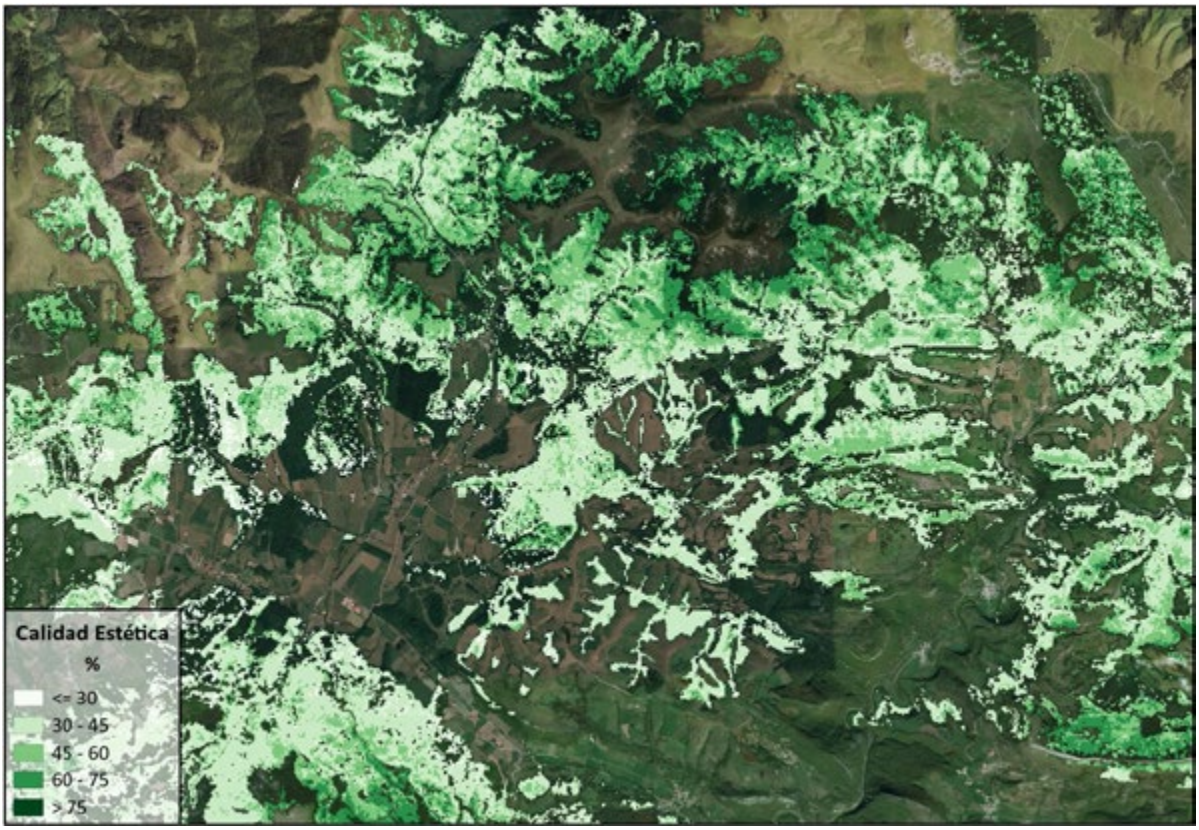


Figura 22: Ejemplo de la cartografía desarrollada de porcentaje de madera de alta calidad estética (clase 1y 2) de las masas de haya, para una zona del norte de Navarra

VALIDACIÓN DE CLASIFICACIÓN POR MÓDULO DE ELASTICIDAD Y DENSIDAD BÁSICA EN BASE A DATOS REALES OBTENIDOS EN TABLA PROCESADA EN LABORATORIO TRAS ENSAYO A FLEXION

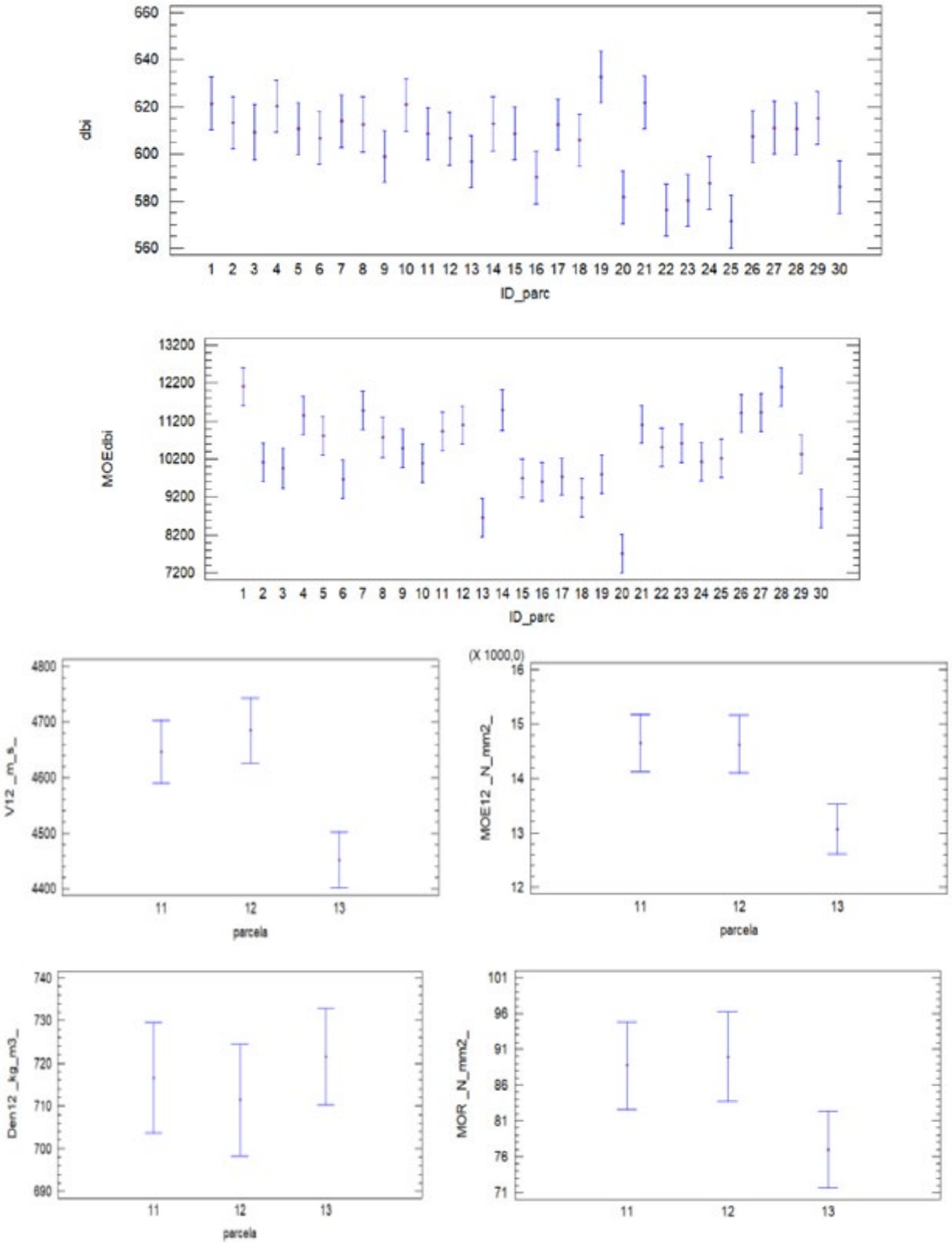


Figura 23: Test de medias de Módulo de elasticidad dinámico y densidad básica obtenida en parcelas, frente al test de medias de velocidad medida en tabla, modulo de elasticidad en tabla tras ensayo de flexion, densidad al 12% en la tabla y Módulo de rotura.

La posibilidad de disponer de los resultados de los ensayos a flexion de las tablas obtenidas sobre algunas de las parcelas ha permitido verificar la clasificación realizada en monte. Para ello, presentamos

los graficos del test de medias obtenido con los valores de campo y los gráficos del test de medias obtenidos para parcelas concretas con los valores obtenidos en laboratorio. Como puede observarse en la Figura 23 el ranking de las parcelas predicho con los datos de monte en coherente y consistente con lo obtenido en laboratorio

CONCLUSIÓN

Los resultados de esta actividad han mostrado que la digitalización del sector forestal, los modelos predictivos y el uso de datos remotos para optimizar la gestión y aprovechamiento del monte es una realidad y una oportunidad al servicio de los técnicos a través de diferentes herramientas y plataformas que hay que saber aprovechar. La posibilidad de integrar las propiedades tecnológicas de la madera repercutirá en beneficio del monte y del valor añadido de este recurso.

Los modelos y la cartografía que se han obtenido son preliminaries ya que han sido realizados a partir de un pequeño número de parcelas. Los resultados deberán ser optimizados con mayor intensidad de muestreo para aquellas zonas que quieran desarrollarlo.

4. ACOMPAÑAMIENTO EN LA TRANSFORMACIÓN DIGITAL DE LOS REMATANTES DE HAYA MEDIANTE ADAPTACIÓN DE HERRAMIENTA DE TRAZABILIDAD, PARA MEJORAR EL SEGUIMIENTO Y RENDIMIENTO DE SUS APROVECHAMIENTOS

RESUMEN

Esta actividad ha constado de tres fases:

- Desarrollo y puesta a punto de dos aplicaciones digitales para la trazabilidad de los aprovechamientos, considerando la información de las consultas a rematantes y otros actores clave.
- Puesta en común con rematantes y actores clave y establecimiento de una relación para facilitar el uso de las aplicaciones, recibir feed-back y hacer mejoras oportunas para que se ajusten lo mejor posible a sus necesidades y realidades para incentivar su uso.
- Desarrollo progresivo de mejoras, corrección de errores de funcionamiento y pulido de las aplicaciones con las aportaciones recibidas.

SITUACIÓN DE PARTIDA Y ESTRATEGIA DE ACOMPAÑAMIENTO

Tras los trabajos de identificación de necesidades que nos permitió esbozar una primera versión básica de la aplicación, y su contraste con un primer grupo de empresas rematantes, incluidas las que nos aportaron información sobre sus necesidades, llegamos a la conclusión de que era necesario diversificar las estrategias de acompañamiento a rematantes de haya y la creación de al menos dos tipos de aplicaciones digitales con enfoques conceptuales muy diferentes.

Los perfiles de empresas rematantes que trabajan con haya son diversas, si bien se caracterizan, salvo escasas excepciones, por un bajo o muy bajo nivel de cultura digital y un cierto rechazo a los procesos de digitalización. Este hecho nos ha dificultado enormemente el trabajo. La mayor parte de las empresas rehúyen de cualquier tentativa de uso o demostración de aplicaciones digitales. La gestión de los procesos de la cadena de suministro de la madera, desde el monte a la industria, está escasamente digitalizada, y es especialmente notable en el caso de rematantes que trabajan con haya. El seguimiento y el intercambio de información y documentación se llevan a cabo generalmente sin herramientas informáticas especializadas, siendo el teléfono, el email y las aplicaciones de mensajería instantánea las principales vías de intercambio. La mayor parte de las empresas rematantes tampoco cuenta con herramientas digitales de gestión de los aprovechamientos y la trazabilidad de los productos, lo que implica grandes esfuerzos y costes de gestión, además de muchas ineficiencias, que de alguna manera han asumido y que en el fondo lastra el desarrollo del sector forestal y en concreto de la mejora de la cadena de valor del haya.

Con muchos rematantes sólo hemos conseguido conversar vía telefónica y han rechazado utilizar, ni siquiera en modo test, cualquier tipo de aplicación, por lo que en su caso el acompañamiento hacia la transformación digital ha sido muy difícil de abordar. En nuestros primeros contactos, para tener una mejor acogida y facilitar acercamiento, hemos ampliado el tema de conversación al sector de haya y al proyecto GOFagus de forma más genérica, lo que nos ha facilitado el diálogo y poder quedar en persona. En estas conversaciones en persona se han podido abordar también temas de digitalización y presentar las aplicaciones disponibles.

A la vista de las dificultades, identificadas en cierto modo desde las primeras fases, hemos llevado a cabo dos estrategias diferentes para facilitar el acompañamiento en la transformación digital de las empresas rematantes:

- **Vía directa:** a través de la adaptación de una herramienta de trazabilidad a las necesidades de los rematantes, con un modelo simplificado y de muy fácil uso, para que puedan mejorar directamente sus procesos de digitalización de la trazabilidad de sus aprovechamientos (ahorrando tiempo y trabajo).
- **Vía indirecta:** a través de la generación de una herramienta digital nueva de trazabilidad de pilas adaptada al uso de un gestor público forestal, implicando de forma indirecta a los rematantes en su utilización.

LA VÍA DIRECTA: APLICACIÓN DE TRAZABILIDAD ADAPTADA A REMATANTES

Es una herramienta digital concebida para facilitar la gestión de la trazabilidad de los productos de los aprovechamientos forestales a los rematantes de haya, disminuyendo el trabajo administrativo y organizando la información en una base de datos fácilmente exportable.

Antes de iniciar el desarrollo necesario se estuvieron evaluando diferentes alternativas esbozadas a partir de las necesidades expresadas por los rematantes. En el siguiente cuadro se indican las 3 principales alternativas consideradas y las valoraciones hechas por el equipo de trabajo:

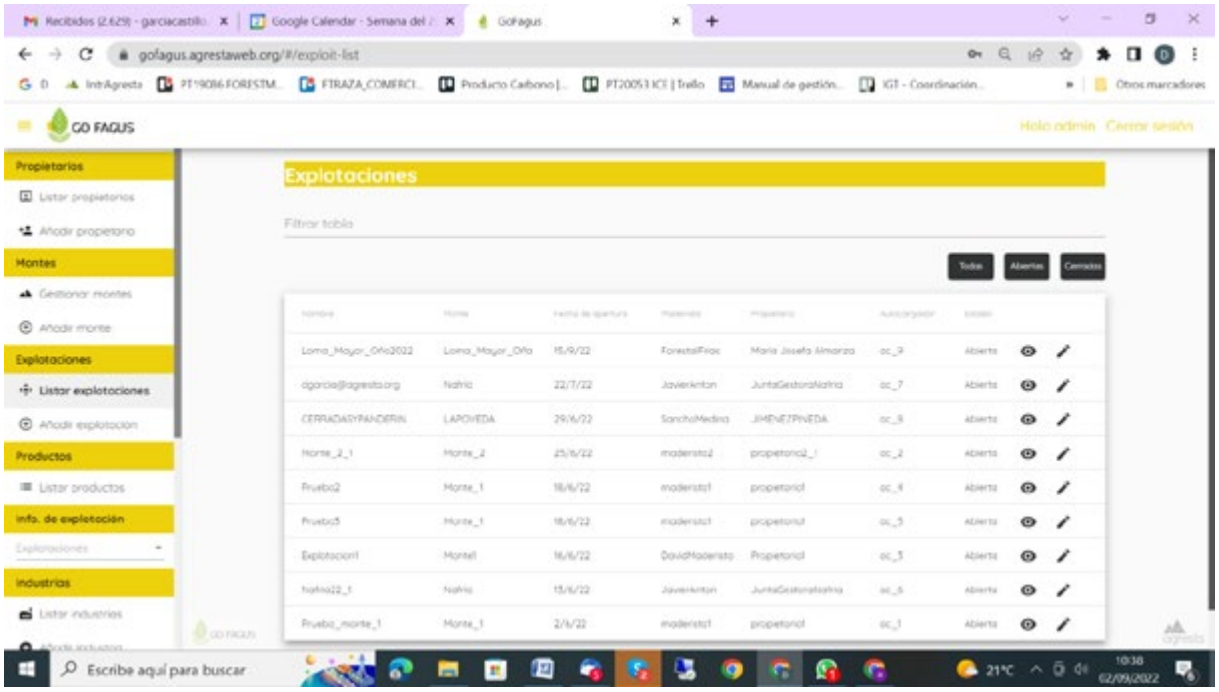
Alternativas	
1	Aplicación de trazabilidad con módulo económico: Tendría un módulo económico: Líneas por defecto para indicar un coste por m3 a cada producto por diferentes conceptos, que mete a ojo el rematante: ▪ corta (€/m^3) ▪ saca (€/m^3) ▪ transporte (€/m^3) ▪ Otros gastos (varias líneas) Valoración: Respondía a una necesidad muy puntual señalada por un rematante, tiene como dificultad la extensión a la diversidad de casuísticas en aprovechamientos y a la complejidad que podría presentar, sabiendo que lo más básico incluso puede resultarles complicado.
2	Aplicación o sistema que optimice lo que ya tienen en marcha para comunicarse con camioneros (vía Whatsapp) y gestionar la información de viajes y albaranes. Concepto: adaptarnos a lo que ya tienen y a sus prácticas para optimizarlas y facilitarles los procesos con pequeñas mejoras que hagan más amables sus rutinas. La aplicación tendría una base de datos con los aprovechamientos y la información de entregas de albaranes de aprovechamientos (tn, industria, monte origen, fecha...) + la foto del albarán. Elementos básicos: ▪ 2 usuarios: administrador y rematante ▪ El rematante controla todo y da de alta / baja todos los datos. ▪ Crea una "orden de viaje": – un formulario con URL dinámica, que puede compartirse por Whatsapp. – Este formulario incluye los datos del camión, origen, destino, etc. – Llega parcialmente relleno al camionero/autocargador. – Estos solo incluyen la información que falta y lo envían de vuelta al sistema, guardando su respuesta en la base de datos. Valoración: Si bien adaptarse a las prácticas actuales puede ser una buena estrategia la interfaz entre dos aplicaciones e hibridar sistemas puede generar problemas de uso y distorsionar las prácticas actuales más que facilitarlas. Por otro lado el desarrollo técnico implica muchas dificultades que no tenemos seguridad de poder solucionar.
3	Aplicación de trazabilidad de muy fácil acceso adaptada a rematantes, con una usabilidad muy amigable para perfiles menos digitales. ▪ 2 usuarios: administrador y rematante ▪ El rematante controla todo y da de alta / baja todos los datos. ▪ La introducción de datos se hace mediante una aplicación móvil específica, descargable desde Google Play ▪ Permite hacer un seguimiento del stock de madera de cada aprovechamiento en cada punto clave de la cadena de suministro: – Madera en pie por aprovechar – Madera en cargadero lista para llevar a industria – Madera entregada en industria ▪ La información estaría disponible en tiempo real en la plataforma web, dentro del espacio de usuario del rematante, al que accede con contraseña propia Valoración Nos parece la mejor opción para facilitar la adopción por parte de los maderistas por su simplicidad de uso y las funcionalidades aportadas. Además, tenemos experiencia previa en este tipo de aplicaciones, contamos con un prototipo que puede adaptarse específicamente a los rematantes con funcionalidades propias para que puedan utilizarlo con autonomía.

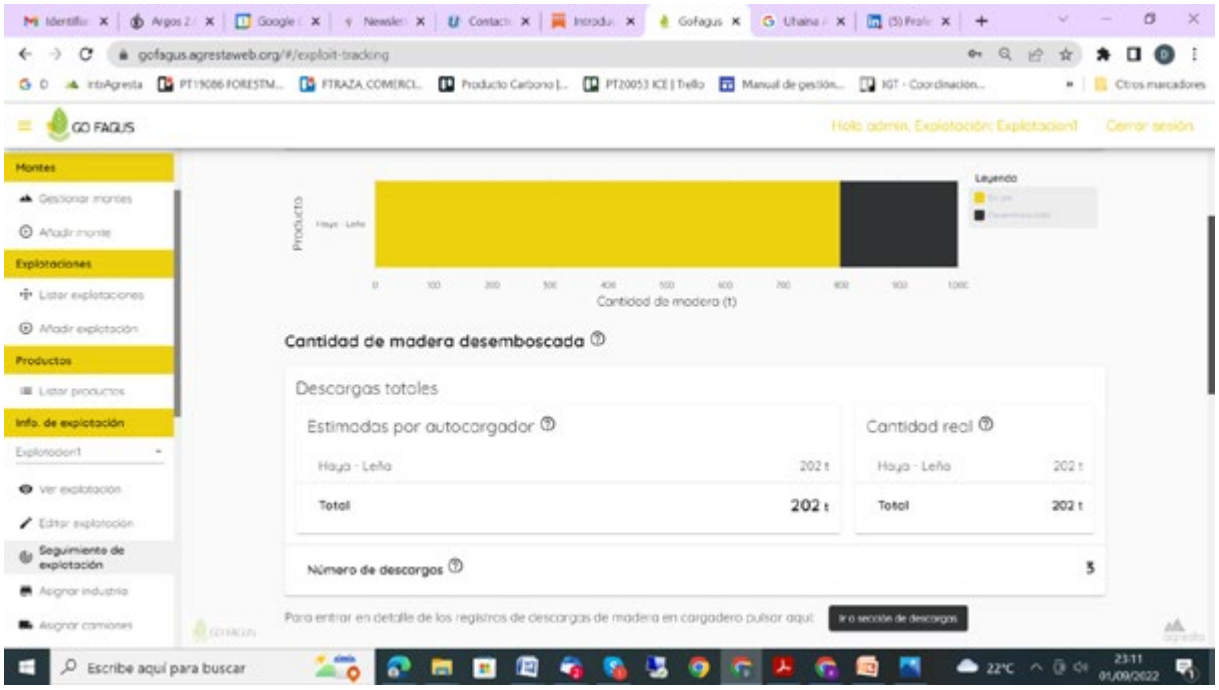
Se ha elegido por tanto la alternativa 3 para facilitar la adopción de una herramienta digital de fácil uso a los rematantes.

La aplicación web tiene las siguientes funcionalidades y usos principales:

- Seguimiento de stocks de madera en pie, cargadero e industria
- Listado de camiones enviados a industria y de descargas hechas por autocargador.
- Posibilidad de introducir y editar industrias de destino.
- Posibilidad de introducir y editar tipo de producto y especie de cada aprovechamiento.
- Edición y creación de aprovechamientos por parte del rematante con todos los datos básicos.
- Posibilidad de crear usuarios de camiones de forma independiente, asociados a un transportista único, asociando número de matrícula y contraseña propia a cada chofer.
- Edición de los datos introducidos por los chóferes y operadores para corregir errores

En la siguiente página pueden verse imágenes de las pantallas de la plataforma web:





También dispone de una aplicación móvil que permite introducir los datos tanto a los operadores de campo (madera depositada en cargadero) como a los chóferes de los camiones que transportan la madera desde el aprovechamiento al cliente, con los pesos y el tipo de producto, una información básica que debe controlar y almacenar escrupulosamente todo rematante. Esta información introducida con el móvil se envía a un servidor y queda registrada en la base de datos. La aplicación funciona sin cobertura de datos y envía la información en cuanto dispone de cobertura. Se encuentra disponible en Google Play para facilitar su descarga y la actualización de versiones: https://play.google.com/store/apps/details?id=com.agresta.gofagus

En la aplicación móvil se ha añadido la opción de introducir fotos desde el teléfono, para permitir subir tickets que llegan al rematante por otras vías diferentes a la aplicación móvil, en los casos en los que el chófer no haya podido descargar la aplicación.

Es importante señalar que los rematantes que trabajan con haya también aprovechan otras especies, por lo que la aplicación está preparada para introducir otras especies de frondosas y coníferas. No se ha encontrado ningún rematante que trabaje exclusivamente con haya.

Respecto al acompañamiento de los rematantes, se ha seguido manteniendo contacto, vía telefónica, con las empresas rematantes que mostraron interés en las aplicaciones digitales en la primera fase de consulta, para poner en común lo que se ha llevado a cabo y proponer su utilización.

Además, se han visitado otras empresas rematantes y entidades para presentar las aplicaciones digitales y proponer un acompañamiento.

Por otro lado se ha mantenido contacto y conversaciones telefónicas para informar sobre la aplicación con diversas entidades con las que no ha sido posible ir más allá. Esto se debe a que han manifestado de forma muy clara no tener interés en contar con aplicaciones digitales o tener un acompañamiento, o que no era el buen periodo por razones diversas.

Durante el transcurso del proyecto, gracias a las conversaciones y contraste con los rematantes se han ido incorporando funcionalidades específicas para uso por parte de rematantes así como mejoras de funcionamiento.

LA VÍA INDIRECTA: APLICACIÓN DE SEGUIMIENTO DE PILAS DE MADERA EN APROVECHAMIENTOS

Esta vía de acompañamiento indirecta en la transformación digital de rematantes se ha trabajado en colaboración con la Dirección General de Biodiversidad del Gobierno de La Rioja, responsable de la gestión forestal de montes públicos y socio colaborador de GOFagus.

Muchos rematantes no van a emprender una transformación digital si los demás actores de la cadena de valor no evolucionan, ni darán paso a una transformación digital si no lo hacen las empresas tractoras o las administraciones. En este caso, la estrategia nos lleva a la transformación digital a través de uso de una aplicación en aprovechamientos forestales por parte de los agentes forestales del Gobierno de La Rioja y los rematantes, para facilitar el trabajo de medición de pilas hecha con los rematantes y la trazabilidad digitalizada de la información.

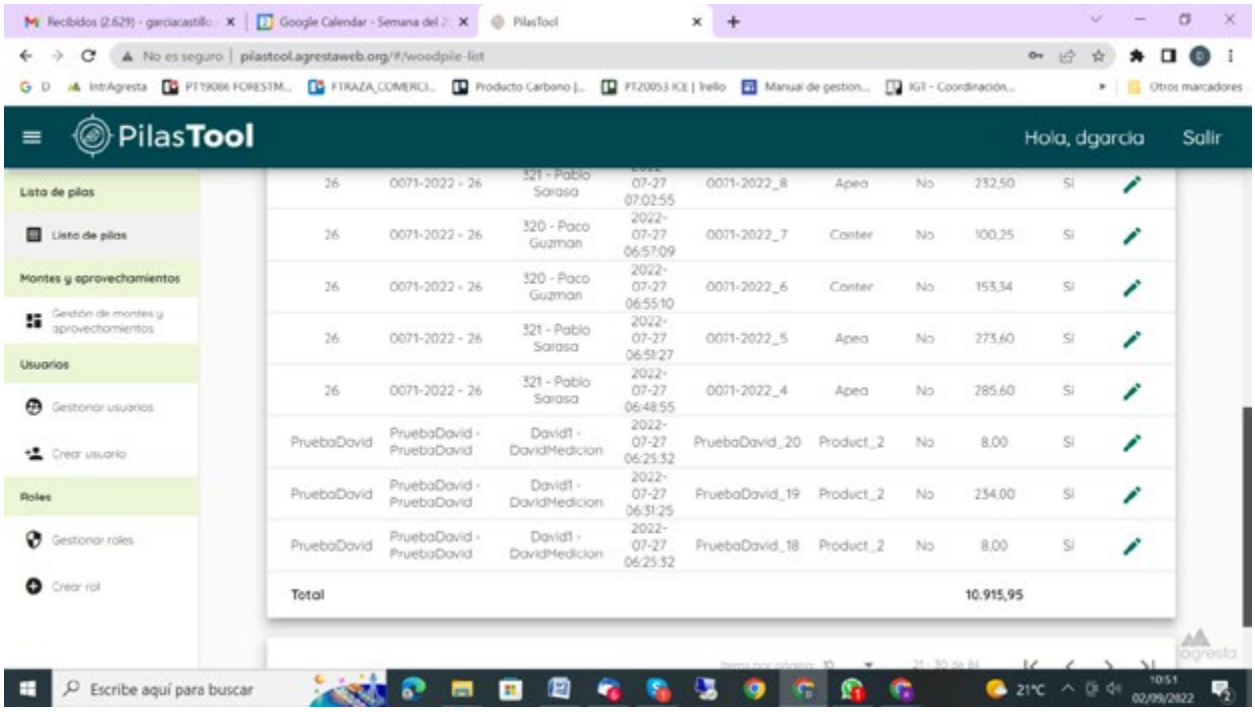
Una de las claves del desarrollo ha sido que la aplicación sea de utilidad y resuelva cuellos de botella y problemas actuales en el proceso, especialmente del gestor que actuará como vector, y que a su vez facilite el trabajo del rematante y le aporte valor. Actualmente la información de las pilas de madera extraídas en un aprovechamiento se recoge en albaranes en papel, a través de una medición hecha in situ por los agentes forestales en presencia del representante de la empresa rematante. Los rematantes pagarán por la madera medida y sólo podrán transportar esa madera una vez que se haya medido y se haya generado el albarán.

Uno de los problemas de partida es que los agentes no digitalizan esta información directamente, van recogiendo los albaranes en papel y los entregan al responsable de la digitalización de esta información en la oficina central, a la que no van con regularidad. El responsable de digitalizar la información se encarga de pasar la información a una base de datos. Este proceso puede demorarse y puede dar pie a la pérdida de albaranes en el camino. Además supone un trabajo extra de digitalización de la información. Lo mismo sucede para los rematantes, el documento queda en papel y la transmisión de la información queda en manos del operario que está en campo en los casos en los que no puede estar el responsable.

La aplicación consta de:

- Una plataforma web donde se centraliza toda la información y a la que accede con usuario y contraseña el responsable de aprovechamientos tanto para dar de alta nuevas explotaciones como para hacer seguimiento de las pilas.
- Una aplicación para generar albaranes digitales, que son firmados por el agente forestal y el representante del rematante.
- La aplicación desarrollada presenta las siguientes funcionalidades principales:
- Creación de albaranes digitales con información de medición de pilas a través del móvil.
- Cálculo de estéreos a partir de las alturas introducidas, la anchura y longitud de pila.
- Firma en el móvil del agente y del rematante, que se recoge en el albarán.
- Listado de todas las pilas introducidas y posibilidad de exportar toda la información en formato CSV.
- Visualización desde el móvil de todas las pilas introducidas por cualquier usuario autorizado.
- Todos los usuarios se identifican con su propio usuario y contraseña para poder acceder a los datos o introducirlos.
- Creación de usuarios por parte del responsable de aprovechamientos
- Plataforma web para visualización y gestión de todos los datos y aplicación móvil para introducir datos y generar albaranes.
- Envío automático de albarán con hora y fecha también generada de forma automática al correo electrónico del rematante.

Imagen de la pantalla del listado de pilas en la plataforma web:



La aplicación móvil permite crear y firmar albaranes en campo, incluyendo una fotografía de la pila de madera u otro elemento que consideren oportuno tanto el gestor como el rematante. Se presenta una imagen de la pantalla del móvil en el apartado de introducción de datos de la pila. La propia aplicación calcula los estéreos a partir de los datos de alturas, la longitud y anchura introducidas:

En la vía indirecta se ha trabajado estrechamente con el Servicio de Biodiversidad del Gobierno de La Rioja. Tras acordar una colaboración con un proyecto piloto ligado a esta aplicación digital implicando a empresas rematantes, se llevó a cabo una visita a las oficinas de Logroño de este servicio.

Tras un periodo de prueba se llevó a cabo una reunión, tras la cual se hicieron mejoras de varias funcionalidades (crear vista de listado de pilas dentro de la app, con filtrado de datos y vista para consultar o descargar el PDF de cada pila) y se definió un nuevo piloto que implicara a más guardas y más rematantes.

Esta aplicación se ha creado desde cero. Si bien existía una referencia previa de aplicación con la que se había hecho un primer test para el seguimiento de pilas, se concluyó que era necesario partir de una base totalmente distinta, por lo que se ha desarrollado una aplicación sobre una nueva base conceptual y metodológica.

Se ha ampliado el uso a más aprovechamientos, implicando a más rematantes y agentes forestales para poder sacar más conclusiones, tarea que está llevando a cabo el Servicio de Biodiversidad del Gobierno de la Rioja desde julio 2022 con nuestra colaboración.

Imagen de un albarán hecho digitalmente con la aplicación:

Moncalvillo-Nestares

Empresa y aprovechamiento

Empresa: Explotaciones Forestales Jose Saiz
Monte: 104
Nombre aprovechamiento: 104
Código aprovechamiento: 0021-2022

Responsable de medición

Nombre responsable: Pablo Sarasa
Código responsable: 321

Datos pila

Producto: canter

Fecha: 2022-08-27 13:53:37		Número de pila: 0021-2022_7	
Altos (m):	3,60	**Largo (m):**	**17,10**
	3,60	**Ancho (m):**	**2,05**
Altura media (m):	**3,60**		

Volumen (estereos)	**126,20**

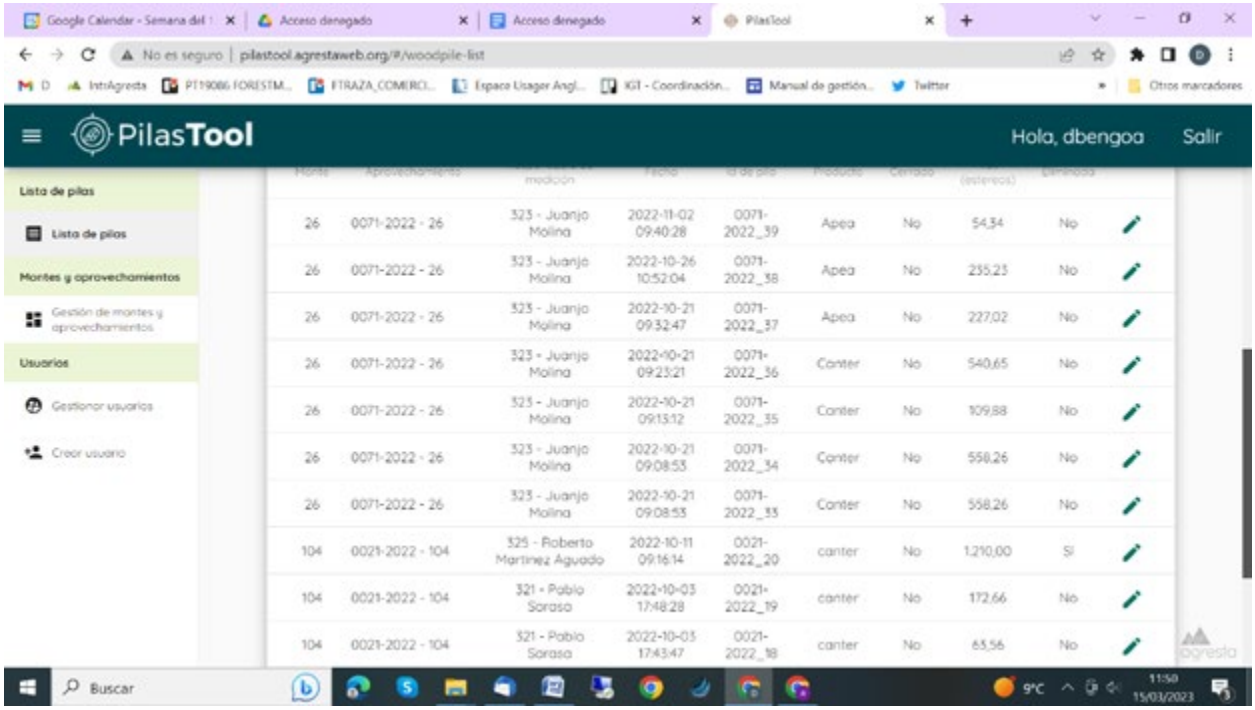
Imagen de pila

Gobierno de La Rioja
Agricultura, Ganadería y Medio Ambiente
Empresa: MADERAS SAINZ
Municipio: NESTARES
Pila nº / camión 7
Día 26/08/
CANTER 3'60
3'60
edia altos: 3'60
ngo: 17'10
cho: 2'05

Firmas

Responsable medición: Pablo Sarasa
Empresa: Explotaciones Forestales Jose Saiz
Representante empresa:

Durante los meses de septiembre y octubre de 2022 un grupo de agentes forestales y técnicos han continuado utilizando la aplicación con nuevos aprovechamientos, validando las mejoras y aportando ideas y propuestas que puedan. En la imagen siguiente se muestra una pantalla con algunas de las pilas que se han ido introduciendo:


PilasTool
Hola, dbengoa
Salir
Lista de pilas
Lista de pilas
Montes y aprovechamientos
Gestión de montes y aprovechamientos
Usuarios
Gestionar usuarios
Crear usuario
26 0071-2022 - 26 323 - Juanjo Molina 2022-11-02 09:40:28 0071-2022_39 Apea No 54,34 No
26 0071-2022 - 26 323 - Juanjo Molina 2022-10-26 10:52:04 0071-2022_38 Apea No 235,23 No
26 0071-2022 - 26 323 - Juanjo Molina 2022-10-21 09:32:47 0071-2022_37 Apea No 227,02 No
26 0071-2022 - 26 323 - Juanjo Molina 2022-10-21 09:23:21 0071-2022_36 Canter No 540,65 No
26 0071-2022 - 26 323 - Juanjo Molina 2022-10-21 09:13:12 0071-2022_35 Canter No 109,88 No
26 0071-2022 - 26 323 - Juanjo Molina 2022-10-21 09:08:53 0071-2022_34 Canter No 558,26 No
26 0071-2022 - 26 323 - Juanjo Molina 2022-10-21 09:08:53 0071-2022_33 Canter No 558,26 No
104 0021-2022 - 104 325 - Roberto Martinez Aguado 2022-10-11 09:16:14 0021-2022_20 canter No 1,210,00 Si
104 0021-2022 - 104 321 - Pablo Soraso 2022-10-03 17:48:28 0021-2022_19 canter No 172,66 No
104 0021-2022 - 104 321 - Pablo Soraso 2022-10-03 17:43:47 0021-2022_18 canter No 65,56 No
Buscar

5. ESTÁNDARES DE CLASIFICACIÓN VISUAL Y TECNOLÓGICA DE MADERA EN ROLLO OBTENIDOS SEGÚN DESTINOS Y ANÁLISIS ECONÓMICO POR RENDIMIENTOS.

INTRODUCCIÓN

El presente informe se elabora a partir de los resultados obtenidos en las actividades Act2 R4 y Act4 R4 del proyecto GO FAGUS. En ellas, fue realizado un análisis de los rendimientos de aserrado y las calidades de madera obtenidas en el procesado de 10 árboles de cada una de las 15 parcelas objeto de estudio en el proyecto.

METODOLOGÍA

MATERIAL

Fueron analizadas y procesadas un total de 341 trozas de madera procedentes de los 10 árboles por parcela (de los que fueron obtenidas 1, 2, 3 o 4 trozas por árbol). La trazabilidad fue asegurada desde las fases de apeo hasta las de procesado de madera aserrada a través del código siguiente:

PP-AA-TT-XX

Donde PP es la parcela, AA es el número de árbol dentro de esa parcela, TT es la troza en función de la altura del árbol (siendo 1 la troza basal) y XX el número consecutivo de tabla aserrada obtenida de cada una de las trozas.

Las trozas fueron caracterizadas en parque de aserradero, mediante la evaluación de sus características geométricas (diámetros y longitudes) y sus características de calidad (nudos, curvatura, etc.).

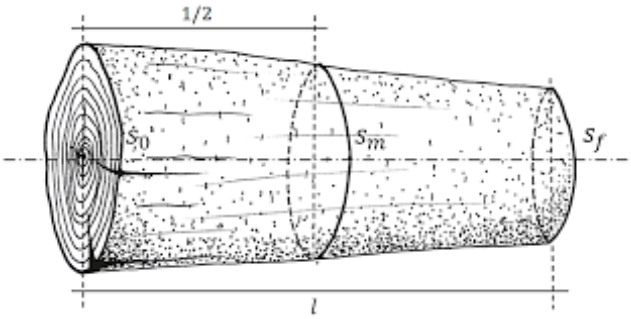
CÁLCULO DE LOS RENDIMIENTOS DE ASERRADO

Cálculo del volumen de madera en rollo

Los volúmenes de troza fueron calculados mediante la fórmula de *Smalian*:

$$V = \left(\frac{S0 + Sf}{2}\right) \cdot l$$

Donde *S0* y *Sf* son la superficie mayor y menor de las testas de la troza y *l* es la longitud



Cálculo del volumen de madera aserrada

Por otro lado, fue calculado el volumen individual de cada tabla obtenida en el aserrado, mediante la fórmula siguiente:

$$V_{to} = b \cdot h \cdot l$$

Donde b es la anchura de la sección, h es la altura de la sección y l la longitud

Cálculo del rendimiento

Los rendimientos de aserrado de cada una de las trozas fueron calculados mediante la relación entre el volumen de tabla aserrada obtenida y el volumen de la troza:

$$R(\%) = \frac{\sum V_{tb}}{V}$$

CLASIFICACIÓN VISUAL DE MADERA ASERRADA

Clasificación estructural: Normas de clasificación UNE y DIN

La clasificación por calidad de la madera fue realizada siguiendo criterios estructurales y estéticos (carpintería). La clasificación estructural fue realizada siguiendo los criterios de las normas UNE 56546 (España) y DIN 4074-5 (Alemania). La norma española se encuentra adaptada a madera de eucalipto y castaño, por lo que fueron considerados los criterios específicos de este último por similitud de tipología de madera con el haya. La norma alemana está adaptada a la madera de haya. A continuación se muestran los criterios de clasificación visual estructural seguidos en ambos casos:

Tabla 1. Criterios de clasificación estructural según norma UNE 56546

Criterios de calidad			MEF
Diámetro de los nudos sobre la cara (d/h)			d ≤ 1/2 de "h"
Diámetro de los nudos sobre el canto (d/b)			d ≤ 2/3 de "b"
Fendas	De secado[1,2]	Pasantes de testa	L (longitud) ≤ 2 h
		Resto	F (profundidad) ≤ ⅓ de "b"
	– Rayo – Heladura – Abatimiento		No permitidas
Acebolladuras[3]			Permitidas con limitaciones
Madera de tracción			Admisible en 1/5 de la sección o en 1/5 de la superficie externa de la pieza
Desviación de la fibra			1:10 (10%)
Gemas – Longitud – Dimensión relativa			 ≤ 1/4 de "L" g ≤ 1/4
Médula			Permitida
Anchura máxima de los anillos de crecimiento			Sin limitación
Alteraciones biológicas		Podriciones	No admitidas
		Insectos xilófagos	No se admiten ataques activos. Ataques inactivos, se admiten orificios de hasta 2 mm de diámetro
		Coloraciones	Se admite coloración rojiza/atabacado
Deformaciones máximas[1,4] – Curvatura de cara – Curvatura de canto – Alabeo – Abarquillado			 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 2 m) Sin limitación

Tabla 2. Criterios de clasificación estructural según norma DIN 4074-5

Sortiermerkmale	Sortierklassen		
	LS 7, LS7K	LS 10, LS10K	LS 13, LS13K
1. Äste			
— im Allgemeinen	bis 3/5	bis 2/5	bis 1/5
— bei Eiche	bis 3/5	bis 2/5	bis 1/6
2. Faserneigung[a]	bis 16 %	bis 12 %	bis 7 %
3. Markröhre	nicht zulässig[b]	nicht zulässig[b]	nicht zulässig
4. Jahrringbreite	—	—	—
5. Risse			
— Schwindrisse[a]	bis 3/5	bis 1/2	bis 2/5
— Blitzrisse Frostrisse Ringschäle	nicht zulässig	nicht zulässig	nicht zulässig
6. Baumkante	bis 1/3	bis 1/3	bis 1/4
7. Krümmung[c]			
— Längskrümmung	bis 12 mm	bis 8 mm	bis 8 mm
— Verdrehung	2 mm/25 mm Breite	1 mm/25 mm Breite	1 mm/25 mm Breite
8. Verfärbungen, Fäule			
— nagelfeste braune und rote Streifen	bis 3/5	bis 2/5	bis 1/5
— Fäule	nicht zulässig	nicht zulässig	nicht zulässig
9. Insektenfraß durch Frischholzinsekten	nicht zulässig		
10. Sonstige Merkmale	sind in Anlehnung an die übrigen Sortiermerkmale sinngemäß zu berücksichtigen		

[a] Dieses Sortiermerkmal bleibt bei Buche unberücksichtigt
[b] Bei Eichenkernholz mit einer Breite > 100 mm zulässig
[c] Diese Sortiermerkmale bleiben bei nicht trocken sortiertem Holz unberücksichtigt

Clasificación no estructural: criterios de calidad

Para la clasificación estética, no fue considerada la norma EN 975-1 (clasificación por apariencia de madera de roble y haya) debido a las dificultades de aplicación en industria y la nula practicidad, siendo literalmente inaplicable en un contexto real. Debido a ello, fueron establecidos unos criterios propios de clasificación simplificados, para evaluar de forma objetiva y práctica las calidades estéticas de la madera obtenida. Las clases de calidad establecidas fueron las siguientes:

Tabla 3. Criterios de clasificación estética

Clase de calidad	Criterios de clasificación
CLASE I	Sin presencia de nudos (>5 mm) en las dos caras principales. Sin coloración rojiza ni atabacado. Sin presencia de hongos o daños bióticos.
CLASE 2	Entre 1 y 5 nudos (5-10 mm) en cada una de las caras principales. Sin coloración rojiza ni atabacado. Sin presencia de hongos o daños bióticos.
CLASE 3	Más de 5 nudos (5-10 mm) o presencia de nudos entre 10 y 40 mm en cada una de las caras principales. Coloración rojiza leve. Sin presencia de hongos o daños bióticos.
CLASE 4	Gran presencia de nudos en número y tamaño. Coloración rojiza importante o atabacado. Presencia de hongos o daños de origen biótico.

Figura 1. Ejemplo de tablas de Calidad 1 (arriba), Calidad 2 (medio) y Calidad 3 (abajo)

RESULTADOS

1. RENDIMIENTOS DE ASERRADO

Las trozas fueron procesadas en la sierra en tablas de anchuras de sección (b) definidas en 30, 40 y 50 mm, con una altura de sección (h) variable para optimizar el aserrado. Una vez procesadas todas las trozas (n=341), fueron analizados los rendimientos de aserrado obtenidos.

Figura 2. Trozas en parque y aserrado industrial

El rendimiento medio obtenido fue de un **42%**, lo cual significa que de cada m^3 de madera en rollo se obtuvo, de media, 0,42 m^3 de producto aserrado. A continuación se presenta un histograma de distribución, en el que se observa que la mayoría de los rendimientos se sitúan entre un 25 y un 60%:

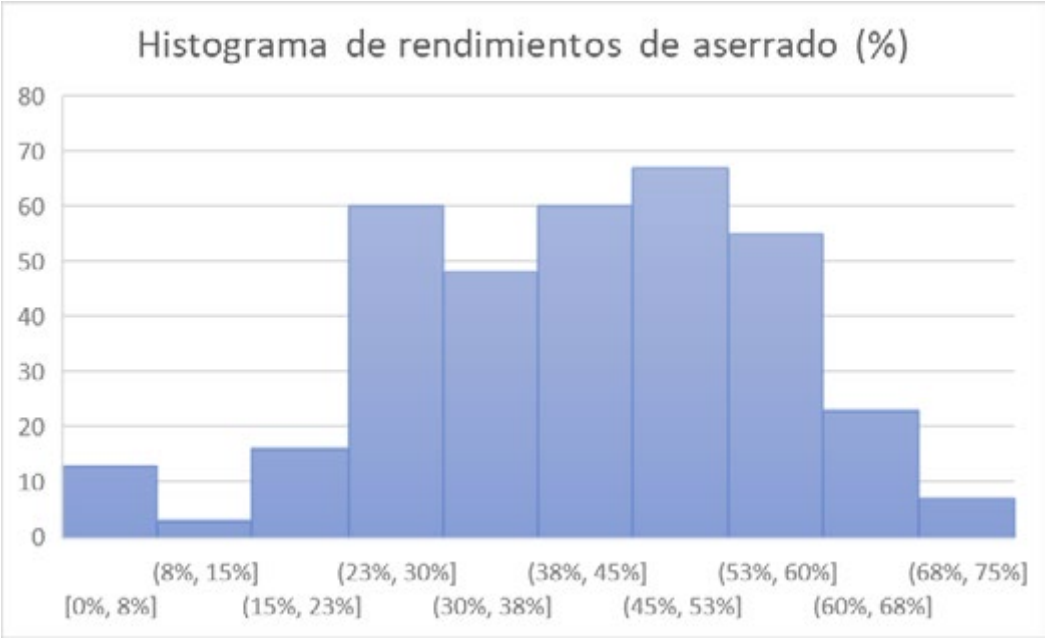


Figura 3. Histograma de distribución de rendimientos de aserrado de todas las trozas analizadas (n=341).

Fue realizado un análisis de los rendimientos obtenidos por parcela, encontrándose diferencias significativas entre ellas. Fueron observados rendimientos especialmente bajos en las parcelas 18, 19, 22 y 23:

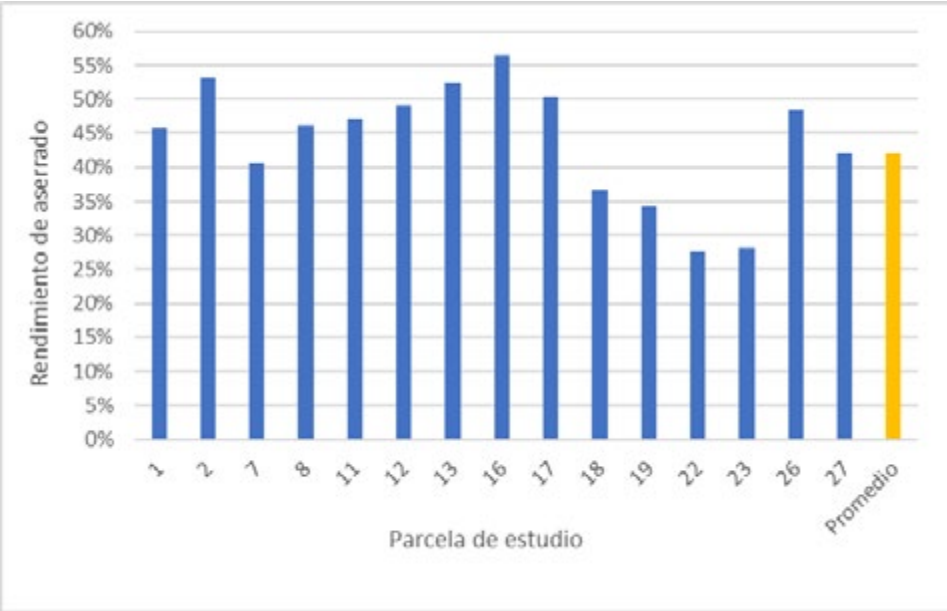


Figura 4. Rendimientos de aserrado por parcela de estudio y promedio

Por otro lado, fueron estudiados los rendimientos en función del volumen de cada troza. Tal y como se observa, los resultados obtenidos arrojan información interesante en cuanto a los rendimientos obtenidos de las trozas de mayor diámetro. A pesar de que teóricamente deberían obtenerse mayores rendimientos en diámetros mayores, por una mera cuestión geométrica, se observa como en el tramo de 35 a 57 cm los rendimientos obtenidos son sensiblemente inferiores a los obtenidos en trozas de diámetros menores a 35 cm:

Tabla 4. Rendimientos de aserrado en función del diámetro de la troza

Diámetro de la troza		
35-57 cm	**25-35 cm**	**18-25 cm**
36%	44%	43%

Esto puede ser debido a que las trozas de mayor diámetro se corresponden, en la mayoría de los casos, a trozas basales (primera troza), que pueden tener ciertas características que tengan una influencia negativa en los rendimientos obtenidos:

- Mayor curvatura debido a la pendiente del terreno
- Deformaciones o geometrías irregulares cerca de la base del árbol
- Presencia de madera de reacción o con tensiones que derivan en tablas inválidas en el aserrado

Esta hipótesis se ve reforzada al analizar los rendimientos en función de la altura de la troza, donde se vuelve a observar ese menor rendimiento de las trozas basales en comparación con las segundas trozas:

Tabla 5. Rendimientos de aserrado en función de la altura de la troza en el árbol

1ª TROZA (0-3,2 m)	2ª TROZA (3,2-6,4 m)	3ª TROZA (6,4-9,6 m)	4ª TROZA (9,6-12,8 m)
41%	47%	40%	32%

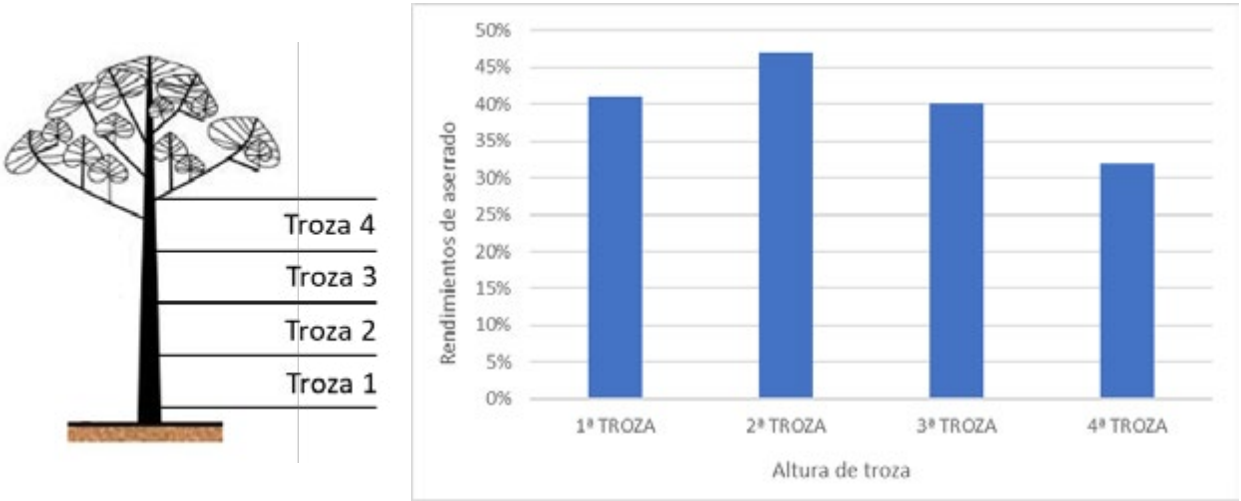
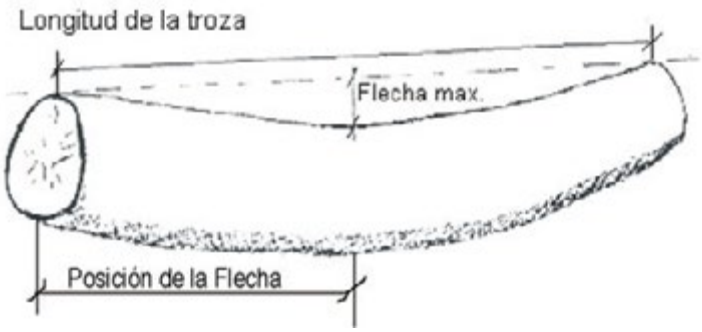


Figura 5. Rendimientos de aserrado en función de la altura de la troza en el árbol

El estudio de rendimientos en función de las características de las trozas fue completado analizando los resultados en función de la curvatura observada y medida. Fueron establecidas cuatro categorías de curvatura para las trozas:

Grado	Deformación
Grado 1	Flecha menor a 2 cm por metro lineal
Grado 2	Entre 2 y 4 cm de flecha por metro lineal
Grado 3	Entre 4 y 8 cm de flecha por metro lineal
Grado 4	Flecha mayor a 8 cm por metro lineal



Con estos criterios, se obtuvieron los rendimientos de aserrado para cada categoría de curvatura:

Tabla 6. Rendimientos de aserrado en función del grado de curvatura de la troza

Grado 1 (<2cm/m)	Grado 2 (2-4 cm/m)	Grado 3 (4-8 cm/m)	Grado 4 (>8 cm/m)
43%	44%	37%	33%

CALIDADES DE MADERA

CALIDAD ESTRUCTURAL

Fueron obtenidos los porcentajes de madera clasificada desde un punto de vista estructural, de acuerdo a las citadas normas de clasificación española (UNE 56546) y alemana (DIN 4074). Considerando todas las tablas analizadas (n=2075), los porcentajes de madera clasificada como estructuralmente válida y madera rechazada fueron los siguientes:

Tabla 7. Porcentajes de calidades estructurales de madera para el total de las muestras analizadas en aserradero

Calidad estructural	Clasificadas válidas	Rechazadas
MEF/UNE 56546 (España)	75%	25%
LS7 o superior/DIN 4074 (Alemania)	81%	19%

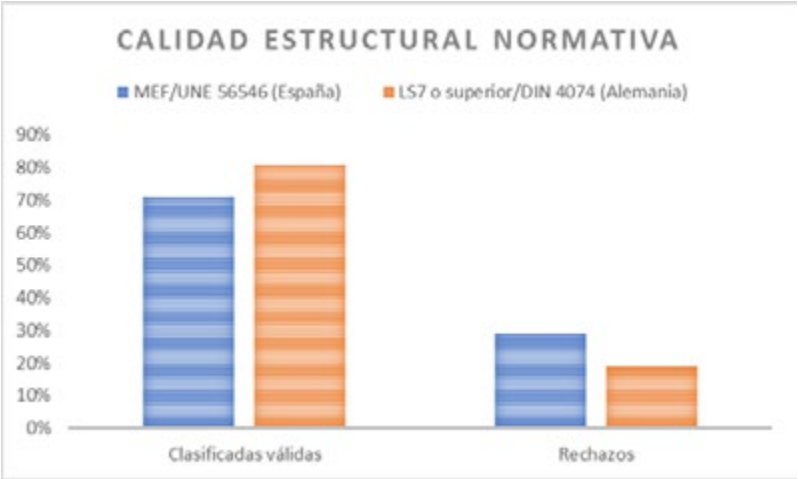


Figura 6. Porcentajes de calidades estructurales de madera para el total de las muestras analizadas en aserradero

Se observa como el porcentaje de rechazo obtenido con la norma española es más alto que el obtenido con la norma alemana (25% vs. 19%). Esto puede tener su explicación en que la norma española está adaptada a la madera de castaño, con sus propias características y distribución de las singularidades. La norma alemana, por el contrario, sí se encuentra adaptada al haya, por lo que da lugar a rendimientos de clasificación mayores y más cercanos al óptimo industrial.

Al analizar estos resultados segregados por parcela, se observa como las parcelas 17, 22 y 23 fueron las que dieron como resultado un mayor porcentaje de madera de rechazo de acuerdo a la clasificación según norma española UNE 56546:

Tabla 8. Porcentaje de cada calidad visual estructural (UNE 56546) por parcela

Parcela	MEF	Rechazo
1	75%	25%
2	83%	17%
7	88%	12%
8	79%	21%
11	93%	7%
12	89%	11%
13	86%	14%
16	76%	24%
17	54%	46%
18	82%	18%
19	84%	16%
22	59%	41%
23	47%	53%
26	88%	12%
27	85%	15%
Total	**75%**	**25%**

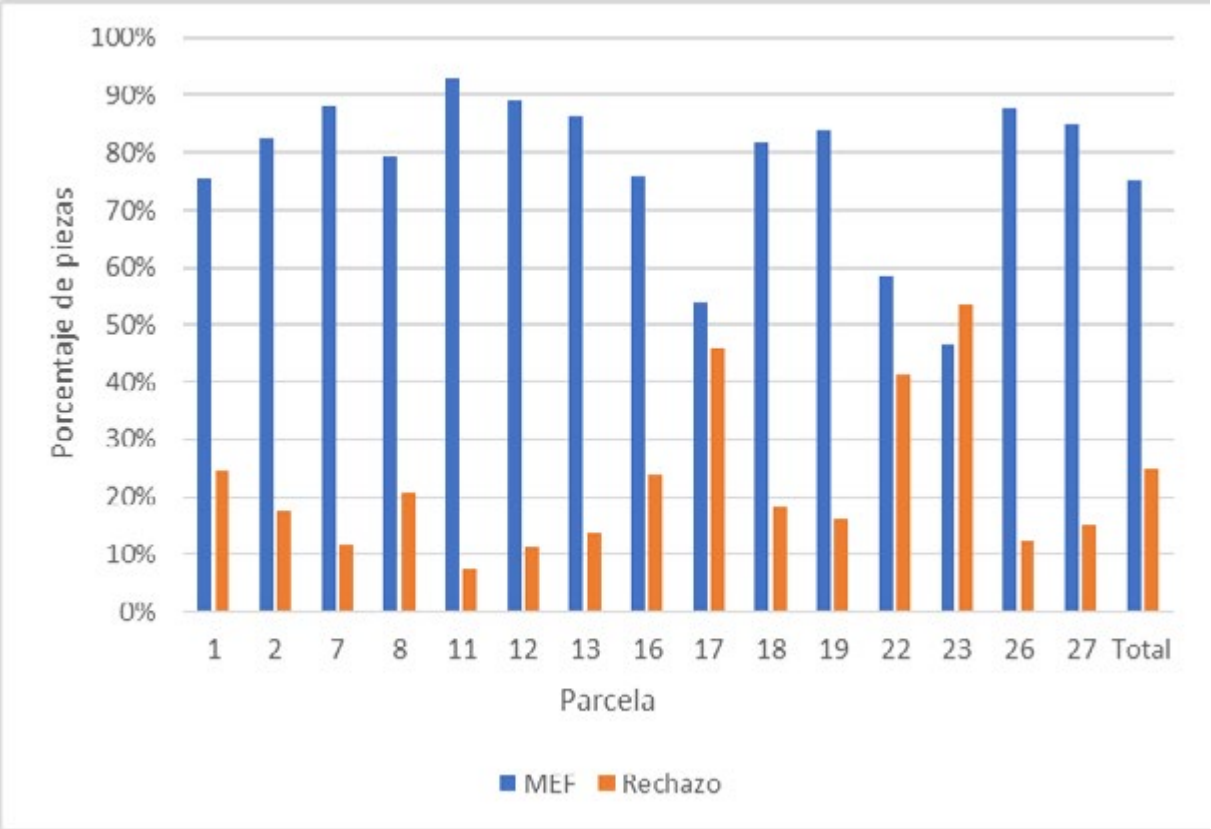


Figura 7. Porcentaje de cada calidad visual estructural (UNE 56546) por parcela

Tabla 9. Porcentaje de cada calidad visual estructural (DIN 4074) por parcela

Parcela	LS7 o superior	Rechazo
1	75%	25%
2	83%	17%
7	90%	10%
8	84%	16%
11	94%	6%
12	89%	11%
13	86%	14%
16	78%	22%
17	54%	46%
18	82%	18%
19	84%	16%
22	84%	16%
23	78%	22%
26	88%	12%
27	85%	15%
Total	**82%**	**18%**

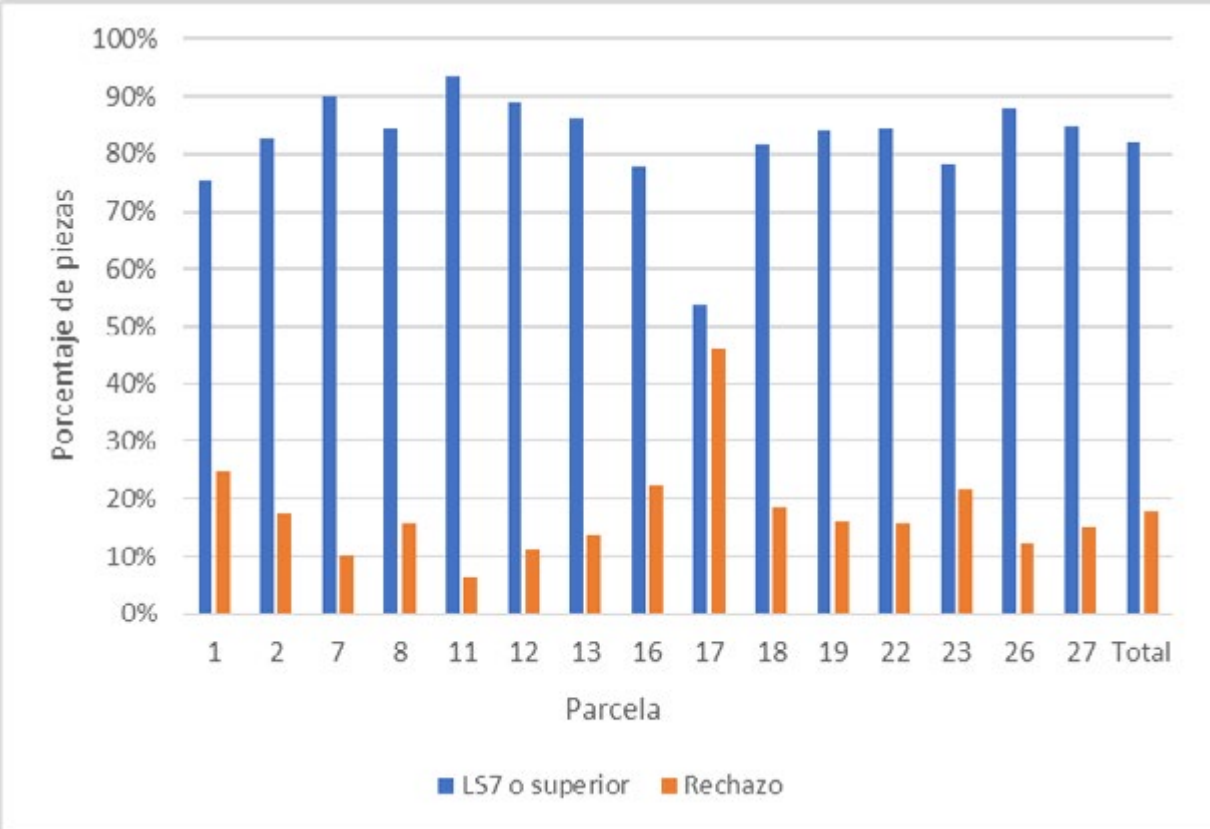


Figura 8. Porcentaje de cada calidad visual estructural (DIN 4074) por parcela

A diferencia de lo que se observaba al aplicar la norma española, con la norma alemana todas las parcelas muestran un porcentaje parecido de madera rechazada a excepción de la parcela 17, que vuelve a mostrar una baja calidad general.

CALIDAD DE CARPINTERÍA (NO ESTRUCTURAL)

Además de la clasificación estructural, fue llevada a cabo la clasificación de carpintería, orientada a usos no dependientes de las propiedades mecánicas y más enfocados en la estética de la madera. Estas calidades de carpintería pueden asociarse, de forma genérica, a distintos destinos comerciales con diferente valor económico:

Clase de calidad estética	Producto comercial	Valor comercial
Calidad 1	Ebanistería, carpintería especial	Alto
Calidad 2	Carpintería general	Estándar
Calidad 3	Carpintería auxiliar, embalajes	Bajo
Calidad 4	Leña y otros usos residuales	Variable

Considerando todas las tablas obtenidas en el aserrado, fueron obtenidos los siguientes porcentajes de calidad:

Tabla 10. Porcentaje de piezas obtenidas de cada calidad de carpintería (todas las parcelas)

Calidad 1 (C1)	Calidad 2 (C2)	Calidad 3 (C3)	Calidad 4 (C4)
14%	29%	20%	37%

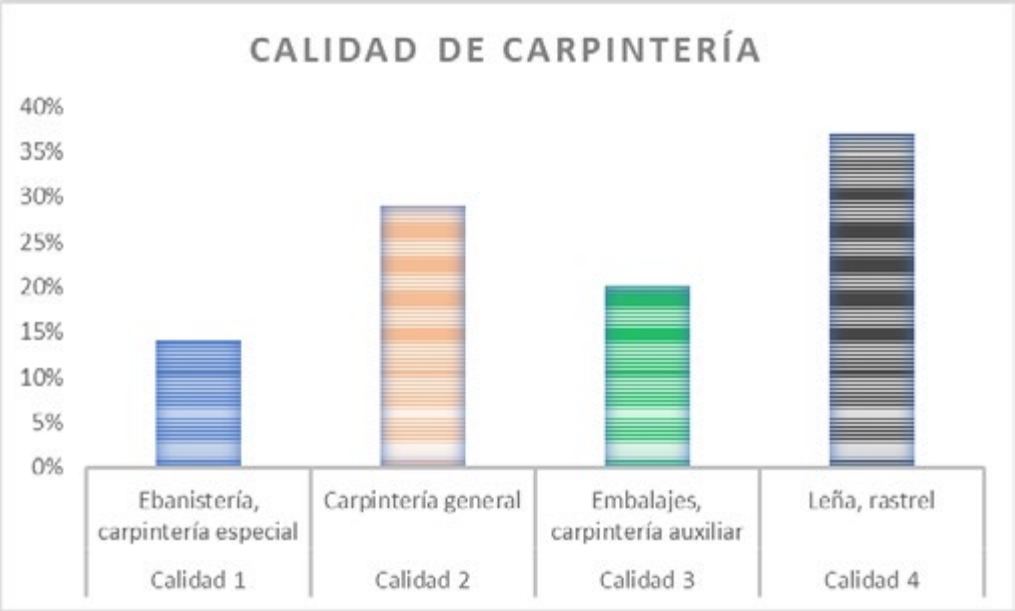


Figura 9. Porcentaje de piezas obtenidas de cada calidad de carpintería (todas las parcelas)

A la vista de los resultados, se observa la segregación en las cuatro calidades potenciales. Actualmente, la gran mayoría de la madera de haya de trozas de diámetros pequeños e intermedios se destina a leñas, con un mercado importante. Los resultados obtenidos muestran que es posible obtener un porcentaje alto de madera de calidades de mayor valor añadido (Calidades 1-3), que pueden dar lugar a un mayor retorno económico y manteniendo el 37% de madera de Calidad 4 para su uso habitual como leña.

Si se analizan los porcentajes de calidades en función del tamaño de troza, se observa como mayores volúmenes de madera en rollo da lugar a porcentajes más altos de calidades superiores. Este hecho permitiría establecer sistemas industriales de segregación por calidad en función del diámetro, destinando las trozas de mayor volumen a la producción mayoritaria de madera de calidades de mayor valor añadido y las trozas de menor volumen al clásico aprovechamiento para leñas.

Tabla 11. Porcentaje de piezas de cada calidad de carpintería en función del volumen de la troza

Vtr >0,16 m³				Vtr = 0,06-0,16 m³				Vtr <0,06 m³			
C1	C2	C3	C4	C1	C2	C3	C4	C1	C2	C3	C4
16%	38%	16%	30%	13%	32%	27%	28%	4%	28%	25%	43%

CONCLUSIONES

El rendimiento medio obtenido en cuanto a volumen de producto aserrado en función del volumen de troza fue del 42%

Fueron observados rendimientos de aserrado óptimos en segundas trozas, debido a que las trozas basales cuentan con ciertas características derivadas del crecimiento en orografía variable o irregularidades geométricas que implican un menor rendimiento a pesar de su mayor volumen total.

Se observó una gran influencia del grado de curvatura de las trozas en el rendimiento de aserrado, debiendo ser un factor de especial relevancia a la hora de decidir la compra de madera en pie.

La clasificación visual estructural de acuerdo con la norma española UNE 56546 es potencialmente modificable para su adaptación óptima a la madera de haya, obteniéndose rendimientos clasificatorios sensiblemente superiores a los deseables industrialmente.

La clasificación no estructural, destinada a usos de carpintería, permitió estimar la potencialidad de obtener productos de mayor valor añadido (clases de calidad 1 a 3) que pueden complementar el aprovechamiento actual, mayoritariamente enfocado en leña.

6. CARACTERIZACIÓN ESTRUCTURAL (*Fagus Sylvatica*)

MATERIAL Y METODOLOGÍA

Fueron ensayadas un total de 209 piezas de madera aserrada estructural procedentes de las parcelas objeto de estudio en el proyecto GO Fagus. Fueron ensayados un total de 4 lotes, según lo indicado en la siguiente tabla:

Nº de Lote	Dimensiones (mm)	Número de piezas	Laboratorio de ensayo
1	100x35	50	CESEFOR
2	145x45	61	CESEFOR
3	70x25	50	CETEMAS
4	100x35	48	CETEMAS

Figura 1. Lotes de madera aserrada estructural de haya destinados a clasificación visual y ensayo a flexión

Todas las piezas fueron llevadas hasta la rotura según ensayos a flexión normalizados de acuerdo a la norma UNE EN 408, para la determinación de los parámetros fundamentales que permiten caracterizar estructuralmente la madera de acuerdo a las Clases Resistentes de la norma UNE EN 338:

- Módulo de elasticidad dinámico ($E_{0,m}$)
- Resistencia a flexión (f_m)
- Densidad (ρ)

Previamente a los ensayos mecánicos, la madera fue clasificada de acuerdo a la norma española de clasificación visual estructural UNE 56546. Esta norma se encuentra actualmente adaptada a las dos únicas especies de madera de frondosas nacionales normalizadas: eucalipto (*Eucalyptus* spp.) y castaño (*Castanea sativa*).

Debido a la ausencia de criterios específicos para madera de haya, fueron empleados los criterios de clasificación para castaño debido a la similitud de características y proximidad botánica de ambas especies. Estos criterios permiten clasificar la madera en la clase de calidad denominada MEF o rechazarla, siendo no apta para uso estructural en caso de no cumplir los límites establecidos:

Tabla 1. Criterios de clasificación visual estructural para madera de castaño de pequeña escuadría (b<70 mm). Norma UNE 56546

CRITERIOS DE CALIDAD			MEF
Diámetro de los nudos sobre la cara (d/h)			d ≤ 1/2 de "h"
Diámetro de los nudos sobre el canto (d/b)			d ≤ 2/3 de "b"
Fendas	De secado (1)	Pasantes de testa	Lf (longitud) ≤ h
		Resto	F (profundidad) ≤ ½ de "b"
	-Rayo, heladura, abatimiento		No permitidas
Madera de tracción			Admisible en 1/5 de la sección o en 1/5 de la superficie externa de la pieza
Desviación de la fibra			1:10 (10 %)
Gemas - Longitud			≤1/4 de "L"
- Dimensión relativa			g ≤ 1/4
Médula			Permitida
Anchura máxima de los anillos de crecimiento			Sin limitación
Alteraciones biológicas		Pudriciones	No admitidas
		Insectos xilófagos	No se admiten ataques activos. Ataques inactivos, se admiten orificios de hasta 2 mm de diámetro
		Coloraciones	Se admite coloración rojiza/atabacado
Deformaciones máximas (1) (3)			
-Curvatura de cara			10 mm (para una longitud de 2 m)
-Curvatura de canto			8 mm (para una longitud de 2 m)
-Alabeo			2 mm (por cada 25 mm de "h") (para 2 m)
-Abarquillado			Sin limitación

(1) Estos criterios no se consideran cuando la clasificación se efectúa en húmedo
(2) Referidas a un 20% de contenido de humedad. No se tienen en cuenta aquellas fendas que tengan una longitud inferior a la menor dimensión de las dos siguientes: 1/4 de la longitud de la pieza y 1 m
(3) Referidas a un 20% de contenido de humedad

Dada la especificidad de estos criterios (elaborados específicamente para madera de castaño), se planteó su modificación para evaluar una mejor adaptación a la madera de haya. Para ello, fueron modificados ciertos parámetros y limitaciones presentes en la tabla 1 para conseguir un mejor rendimiento en

la clasificación y unas propiedades mecánicas adecuadas para la madera clasificada. Sobre las modificaciones planteadas en los criterios visuales fueron valuados los siguientes resultados:

- Porcentaje de madera clasificada y rechazada
- Valores de $E_{0,m}$, f_m y ρ para cada clase de calidad y para la madera rechazada
- Clases Resistentes asignadas a cada clase de calidad planteada

Durante la realización de la clasificación visual, se observó una alta variabilidad en el tamaño de nudos, resultando éste el parámetro principal limitante para la clasificación. Otros parámetros como la existencia y tamaño de fendas de secado, desviaciones de la fibra o presencia de gemas no resultaron significativos en los porcentajes de madera clasificada y rechazada, por lo que se decidió centrar las modificaciones de clasificación sobre los parámetros de nudo de cara y nudo de canto.

La primera modificación se planteó aumentando el tamaño admisible del nudo sobre la cara. En la norma vigente, se admiten nudos con diámetros hasta ½ de la dimensión de la cara (h). Se decidió aumentar el diámetro permisible hasta 2/3 de h, de modo que se aumentara el porcentaje de madera aceptada (en una clase de calidad denominada MEF_{MOD}) y se disminuyera el de madera rechazada, con el objetivo de optimizar el rendimiento industrial:

Tabla 2. Criterios de clasificación visual estructural planteados para madera de haya (Modificación 1)

CRITERIOS DE CALIDAD			MEFMOD
Diámetro de los nudos sobre la cara (d/h)			d ≤ 2/3 de "h"
Diámetro de los nudos sobre el canto (d/b)			d ≤ 2/3 de "b"
Fendas	De secado (1)	Pasantes de testa	Lf (longitud) ≤ h
		Resto	F (profundidad) ≤ ½ de "b"
	-Rayo, heladura, abatimiento		No permitidas
Madera de tracción			Admisible en 1/5 de la sección o en 1/5 de la superficie externa de la pieza
Desviación de la fibra			1:10 (10 %)
Gemas -Longitud			≤1/4 de "L"
-Dimensión relativa			g ≤ 1/4
Médula			Permitida
Anchura máxima de los anillos de crecimiento			Sin limitación
Alteraciones biológicas		Pudriciones	No admitidas
		Insectos xilófagos	No se admiten ataques activos. Ataques inactivos, se admiten orificios de hasta 2 mm de diámetro
		Coloraciones	Se admite coloración rojiza/atabacado
Deformaciones máximas (1) (3)			
-Curvatura de cara			10 mm (para una longitud de 2 m)
-Curvatura de canto			8 mm (para una longitud de 2 m)
-Alabeo			2 mm (por cada 25 mm de "h") (para 2 m)
-Abarquillado			Sin limitación

(1) Estos criterios no se consideran cuando la clasificación se efectúa en húmedo
(2) Referidas a un 20% de contenido de humedad. No se tienen en cuenta aquellas fendas que tengan una longitud inferior a la menor dimensión de las dos siguientes: 1/4 de la longitud de la pieza y 1 m
(3) Referidas a un 20% de contenido de humedad

La segunda modificación se planteó con el objetivo de segregar la calidad visual estructural MEF en dos clases diferenciadas, lo cual permitiría dar versatilidad en los productos industriales y agregar valor añadido a la clase superior. Para ello, fueron definidas dos modificaciones, que abarcan los límites en el tamaño de nudo tanto en cara como en canto:

Clase visual	Tamaño de nudos de cara	Tamaño de nudos de canto
MEF A	Restricción del límite a 1/5 de h	Restricción del límite a 1/2 de h
MEF B	Mantenimiento del límite a 2/3 de h	Mantenimiento del límite a 2/3 de h
Rechazo	Mayor a 2/3 de h	Mayor a 2/3 de b

Con la creación de las dos nuevas clases visuales de calidad, y sus criterios correspondientes, la tabla completa quedaría de la siguiente manera:

Tabla 2. Criterios de clasificación visual estructural planteados para madera de haya (Modificación 2), con la segregación en 2 clases de calidad

CRITERIOS DE CALIDAD			MEF_A	MEF_B
Diámetro de los nudos sobre la cara (d/h)			d ≤ 1/5 de "h"	d ≤ 2/3 de "h"
Diámetro de los nudos sobre el canto (d/b)			d ≤ 1/2 de "b"	d ≤ 2/3 de "b"
Fendas	De secado (1)	Pasantes de testa	Lf (longitud) ≤ h	
		Resto	F (profundidad) ≤ ½ de "b"	
	-Rayo, heladura, abatimiento		No permitidas	
Madera de tracción			Admisible en 1/5 de la sección o en 1/5 de la superficie externa de la pieza	
Desviación de la fibra			1:10 (10 %)	
Gemas - Longitud - Dimensión relativa			≤1/4 de "L" g ≤ 1/4	
Médula			Permitida	
Anchura máxima de los anillos de crecimiento			Sin limitación	
Alteraciones biológicas		Pudriciones	No admitidas	
		Insectos xilófagos	No se admiten ataques activos. Ataques inactivos, se admiten orificios de hasta 2 mm de diámetro	
		Coloraciones	Se admite coloración rojiza/atabacado	
Deformaciones máximas (1) (3)				
-Curvatura de cara			10 mm (para una longitud de 2 m)	
-Curvatura de canto			8 mm (para una longitud de 2 m)	
-Alabeo			2 mm (por cada 25 mm de "h") (para 2 m)	
-Abarquillado			Sin limitación	

(1) Estos criterios no se consideran cuando la clasificación se efectúa en húmedo
(2) Referidas a un 20% de contenido de humedad. No se tienen en cuenta aquellas fendas que tengan una longitud inferior a la menor dimensión de las dos siguientes: 1/4 de la longitud de la pieza y 1 m
(3) Referidas a un 20% de contenido de humedad

RESULTADOS

Una vez realizadas las clasificaciones visuales (norma UNE 56546 vigente, Modificación 1 y Modificación 2) y llevadas a ensayo todas las piezas, fue posible calcular los valores de las propiedades mecánicas para cada grupo de madera por calidad. Los parámetros clave (valores característicos) para esta evaluación, de acuerdo a las normas EN 338 y EN 384, fueron los siguientes:

- Módulo de elasticidad paralelo a la fibra ($E_{0,m}$), en N/mm² (valor medio)
- Resistencia a flexión (fm), en N/mm² (valor del 5º percentil)
- Densidad (ρ), en kg/m³ (valor del 5º percentil)

Cálculo de los valores característicos según la clasificación UNE 56546 con los criterios para castaño:

	MEF		Rechazo	
	Valor medio	5º percentil	Valor medio	5º percentil
$E_{0,m}$ (N/mm²)	15133	10349	13384	10526
f_m (N/mm²)	81,49	38,19	62,93	31,59
ρ (kg/m³)	723,56	651,99	727,67	643,92

Cálculo de los valores característicos según la clasificación tras la Modificación 1:

	MEF_{MOD}		Rechazo	
	Valor medio	5º percentil	Valor medio	5º percentil
E0,m (N/mm²)	15095	10364	13370	10446
fm (N/mm²)	80,88	39,48	63,09	30,63
ρ (kg/m³)	724,26	652,99	724,74	641,10

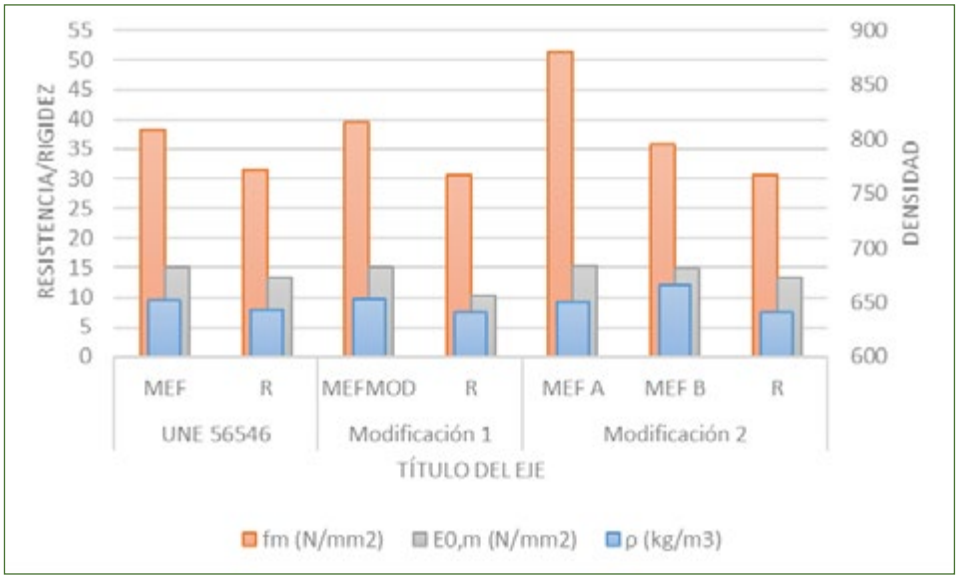
Cálculo de los valores característicos según la clasificación tras la Modificación 2:

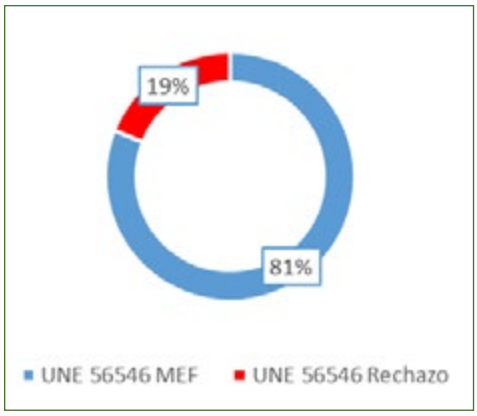
	MEF A		MEF B		Rechazo	
	V. medio	5º percentil	V. medio	5º percentil	V. medio	5º percentil
$E_{0,m}$ (N/mm²)	15232	11621	14924	10296	13370	10446
f_m (N/mm²)	87,11	51,32	74,14	35,76	63,09	30,63
ρ (kg/m³)	719,31	650,63	729,70	665,23	724,74	641,10

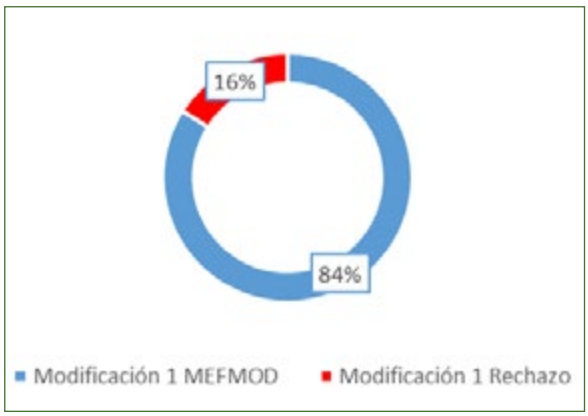
La tabla siguiente muestra, en base a los valores anteriores, las Clases Resistentes (CR) asignadas de acuerdo a la tabla de la norma EN 338, así como los porcentajes de madera clasificada y rechazada según cada sistema:

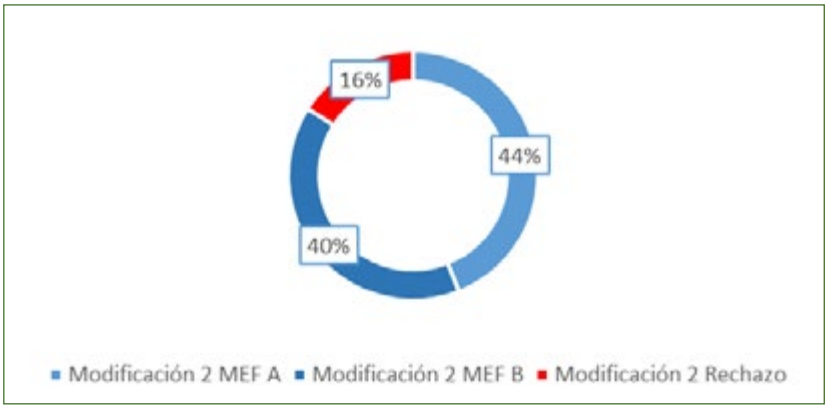
	UNE 56546	Modificación 1	Modificación 2	
Clase visual	MEF	MEFMOD	MEF A	MEF B
Clase Resistente (EN 338)	D35	D35	D45	D35
Clase visual/Rechazo (%)	81%/19%	84%/16%	44%/40%/16%	

Tanto la norma UNE 56546 aplicada según los criterios vigentes como la Modificación 1 presentan un comportamiento similar en cuanto a las propiedades de la madera clasificada y rechazada. Ambas proporcionan una razonable distinción por calidad estructural, pero la modificación 1 da lugar a unos rendimientos de madera clasificada mayores (84% de madera MEF correspondiente a una CR D35). Por otro lado, la modificación 2 establece un porcentaje alto de madera de alta calidad estructural (44% de clase MEF A), con un valor añadido correspondiente a la CR D45, a lo que hay que sumar un 40% de CR D35 y un 16% de madera rechazada.


RESISTENCIA/RIGIDEZ
DENSIDAD
55
50
45
40
35
30
25
20
15
10
5
0
900
850
800
750
700
650
600
MEF
R
MEFMOD
R
MEF A
MEF B
R
UNE 56546
Modificación 1
Modificación 2
TÍTULO DEL EJE
fm (N/mm2)
E0,m (N/mm2)
ρ (kg/m3)


19%
81%
UNE 56546 MEF
UNE 56546 Rechazo


16%
84%
Modificación 1 MEFMOD
Modificación 1 Rechazo


16%
44%
40%
Modificación 2 MEF A
Modificación 2 MEF B
Modificación 2 Rechazo

7. CLASIFICACIÓN VISUAL DE MADERA EN PIE. *Fagus sylvatica*

Autores
David Lasala Sánchez. Agresta S. COOP.

Colaboradores
David García Castillo. Agresta S. COOP.
Juan Carlos Oteo. Agresta S. COOP.

TABLA ESTANDARIZADA PARA LA CLASIFICACIÓN VISUAL DE MADERA DE HAYA EN PIE

La siguiente tabla muestra una propuesta de clasificación visual de madera en pie (importante distinguir de una clasificación visual de madera en rollo o de la clasificación visual de madera aserrada) específica para la especie de haya (*Fagus sylvatica*) para ser utilizada en la península ibérica.

Esta asignación de calidad en pie, en el monte, se considera muy útil y práctico para la gestión forestal aplicada. Por los resultados en otras actividades del GOFAGUS, una de las barreras y necesidades actuales es utilizar todos los actores el mismo sistema de clasificación (para hablar todos de lo mismo).

La tabla se ha elaborado teniendo en cuenta la norma UNE EN 1316-1 (Madera en rollo de frondosas. Clasificación de calidades. Parte 1 Roble y haya) pero utilizando sólo los parámetros o singularidades que son observables o medibles observando el árbol en pie; y se ha ampliado con los parámetros mínimos requeridos por la industria de la madera del haya a la hora de generar un producto o darle un destino.

Los parámetros básicos para definir la calidad visual son los definidos por las dimensiones mínimas. Las singularidades se observarán de forma conjunta y sin realizar mediciones, y en función de lo observado se va ajustando la calidad real de la troza.

	Parámetro	¿Parámetro observable desde el exterior o en pie?	A	B	C	D	E (trituración/ leña/papel)
Descripción	Descripción corta	SI	Calidad excepcional	Calidad buena	Calidad media	Calidad muy baja	Sin calidad
	Descripción larga	SI	Madera de primera calidad: se corresponde generalmente con un rollo sin nudos o simplemente con características de menor importancia que no limitan su utilización.	Madera de buena calidad por término medio, que no puede satisfacer el requisito particular de madera sin nudos. Se admiten los nudos en la proporción que se considere como la media para cada especie.	Madera de calidad baja, admitiéndose todas las características de calidad que no reduzcan de forma acusada las características naturales de la madera.	Madera que puede aserrarse para su utilización, y que por sus características no puede incluirse en ninguna de las clases A, B o C.	Madera que no puede aserrarse. Su destino es trituración o papel.
Productos / destinos	Destino / Producto más probable	-	Chapa. Tarima alta gama. Mueble y ebanistería alta gama.	Madera aserrada de primera calidad. Tarima. Mueble y ebanistería. Piecerío singular alta gama.	Madera aserrada de baja calidad. Madera carpintería y piecerío.	Madera embalaje Madera auxiliar para construcción Piecerío singular con defectos	Trituración, papel, leña.
Dimensiones mínimas requeridas	longitud mínima de troza (m)	SI	3	3	2,5	2	Cualquiera
	diámetro mínimo en punta (cm)	SI	45	40	30	20	Cualquiera

	Parámetro	¿Parámetro observable desde el exterior o en pie?	A	B	C	D	E (trituración/ leña/papel)
Singularidades	curvatura	SI	<= 2cm/m	<= 4cm/m	<= 6cm/m	No más de 8 cm/m	se admiten
	nudos sanos	SI	1 cada 3m (<4cm en total)	1 cada 1m (<6cm) o 1 cada 2m (<8cm)	No más de 25 cm en total	No más de 50 cm en total	se admiten
	nudos podridos	SI, algunos (no todos)	no se admiten	no se admiten	La suma de los diámetros de los nudos <8 cm (cada 2m)	se admiten	
	nudos cubiertos	SI, algunos (no todos)	1 cada 3m si la cicatriz de la rama es <1:4	1 cada 3m si la cicatriz de la rama es <1:2 y la altura de la cicatriz es <10cm	2 cada 1 m		
	Fibra espira-lada y excen-tricidad de la médula	INTERPETABLE	<10%	<20%	se admiten		
	ovalidad	SI	<15%	<50%			
	acanaladura	SI	no se admiten				
	fendas	INTERPETABLE					
	Orificios insectos	algunos (no todos)			no se admiten		
	Hongos cromógenos	algunos (no todos)					

GUÍA PRÁCTICA PARA LA CLASIFICACIÓN VISUAL DE CALIDAD DE MADERA DE HAYA EN PIE.

Antecedentes:

Durante el proyecto GOFAGUS se ejecutaron parcelas al estilo inventario forestal, con la particularidad en este caso, en los 10 mejores árboles de cada parcela (árboles modelo) se realizó el ejercicio de asignar -se estimó y se anotó- la calidad visual en pie de la madera de las dos primeras trozas.

Esos 10 árboles, de 29 parcelas, posteriormente fueron apeados y cortados a 3,2 metros y llevados a fábrica.

En todo el proceso se siguió un protocolo riguroso para identificar cada troza, tanto en pie, como una vez apeada y en fábrica.

En campo, durante la ejecución de las parcelas, el único dato que se midió para asignar la calidad (visual) de madera fue el diámetro normal de cada árbol modelo. Junto con este dato se utilizó la tabla de calidad visual desarrollada por Agresta. Se hizo una inspección pericial de cada árbol y se les asignó una calidad. Este ejercicio fue llevado a cabo por personas con un perfil (o nivel) experto.

En fábrica, una vez las trozas de 3,2 m dispuestas una a una en el suelo del parque de madera, fueron inspeccionadas -principalmente por el equipo de CESEFOR- siguiendo la normativa UNE EN 1316-1 (Madera en rollo de frondosas. Clasificación de calidades. Parte 1 Roble y haya). Se midió el diámetro en la base, el diámetro en punta delgada de la troza, se midió, el grado de curvatura y el número y tamaño de nudos (sanos, podridos, cubiertos), pudriciones, excentricidad, fendas, corazón rojo.

Una vez aserradas la trozas en tablas fueron inspeccionadas -principalmente por el equipo de CESEFOR y CETEMAS-, se midieron la altura, ancho y longitud de cada tabla, y se clasificaron en función de la normativa: DIN 4074-5, la UNE-56546 y norma "Estética".

¿En qué fallamos al clasificar la madera de haya en el monte?

Sobre todo en la estimación del diámetro en punta delgada y en los nudos.

En general infravaloramos las calidades más que sobreestimamos.

Con la curvatura apenas fallamos. Tampoco con las fendas.

En este apartado se va a intentar arrojar luz en qué se falla al llevar a cabo una clasificación visual de calidad de madera de haya en pie.

De esta forma podremos saber en qué tenemos que fijarnos a la hora de asignar una calidad de madera a árboles de haya en pie y así poder hacer mejor nuestro trabajo en el monte (como gestores, propietarios o rematantes).

Para ello se van a utilizar los datos recopilados en el GOFAGUS. Se va a comparar la calidad de madera asignada en fábrica -en rollo- frente a la calidad asignada en campo -en pie-: Como la calidad asignada en fábrica, la troza se puede inspeccionar mucho mejor (por lo que se tiene multitud de información y mediciones) se considera la calidad real o correcta. Mientras que la calidad asignada en campo, con casi ningún dato excepto la pericia y el dato de diámetro a la altura de pecho, es el dato a comprobar y a analizar los motivos de posibles desviaciones.

La siguiente tabla refleja las veces que se ha asignado correctamente la calidad en pie con respecto a la de fábrica (que es la real). También en qué proporción se ha infravalorado o sobreestimado la calidad visual en pie (es decir y por poner un ejemplo, en campo a un árbol se ha dicho que es clase C pero se ha infravalorado porque en fábrica se ha comprobado que es una troza de B).

El 80% se ha asignado bien. El 14% de las trozas se han infravalorado y un 7% sobreestimado.

Tabla. Porcentaje de error en la asignación de calidad de madera en pie

	RAZÓN DEL FALLO	% de trozas
CORRECTO	- (ningún fallo)	79%
INFRAVALORA	curvatura	1%
	diámetro en punta delgada	2%
	nudos	2%
	varios	9%
SOBREESTIMA	fenda	0%
	curvatura	2%
	diámetro en punta delgada	1%
	diámetro en punta delgada (al límite)	3%
	nudos cubiertos	2%

Se nota que se tiende a ser conservador en la asignación de calidades en pie.

Las principales razones de fallo en la asignación de calidad en pie es la conjunción de defectos no vistos (esto a priori no nos dice mucho).

Tabla. Razones por las que se cometen los fallos de clasificación de calidad de madera de haya en pie

RAZON del FALLO	% de trozas
por fenda	2%
por curvatura	12%
por dpd	15%
por dpd (al límite)	13%
por nudos	8%
por nudos cubiertos	8%
varios	42%

El 30% de fallos en la asignación se deben a la estimación del diámetro en punta delgada. Para solucionar este defecto es importante saber la conicidad, también llamado coeficiente mórfico o cociente de forma.

El 15% de los fallos en la asignación se debe a nudos no vistos.

No se ha observado diferencias significativas en la razón de los fallos entre primera troza y segunda troza. Sí se observa que se tiende a infravalorar la segunda troza, pero solo ligeramente. Esto es entendible al tener más incertidumbre en la troza que más lejos está del observador.

Por otro lado, se observa que dependiendo de la calidad de la troza, hay ciertos hábitos:

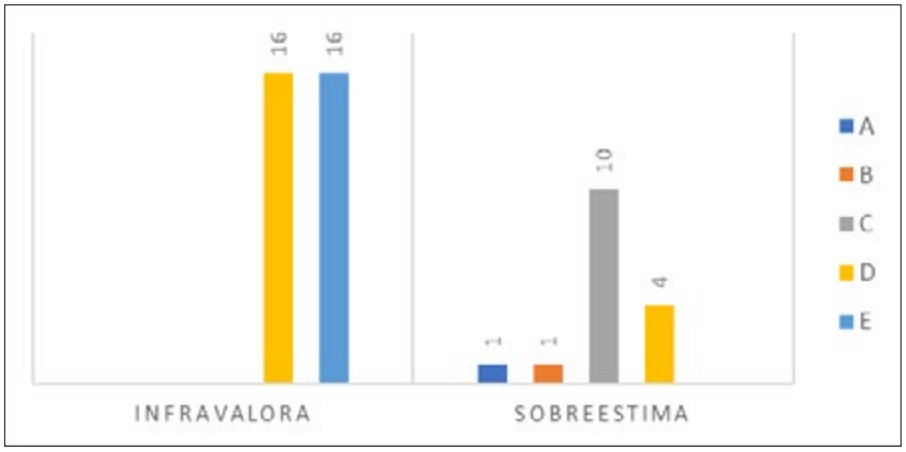
- Las trozas de calidad C que se han sobreestimado (es decir, en realidad son calidad D pero se ha pensado que era de mejor calidad) ha sido porque:

  a) no se han detectado suficientemente bien los nudos cubiertos y

  b) se ha pensado que sí que llegaba al mínimo en punta delgada: Ocurre con trozas que están en el límite mínimo de diámetro en punta delgada para ser clasificadas como C. Este fallo se puede mejorar sabiendo la relación de decrecimiento entre el grosor de la troza en cm por cada metro de largo en las calidades C.

Las trozas de calidad E que se han infravalorado (es decir, en realidad son calidad D pero se ha pensado que eran peor calidad) ha sido también por pensar que no llegaban al diámetro en punta delgada mínimo y porque se han sobrevalorado los nudos que tiene la troza.

Las trozas de calidad D que se han infravalorado (es decir, en realidad son calidad C pero se han pensado que eran de peor calidad) ha sido por un compendio similar al anterior.



Defectos en la troza basal.

Hay que fijarse muy bien en la parte más bajas del haya, la parte cercana al suelo o al raigal, porque indistintamente del hayedo, entre un tercio y la mitad de los árboles tendrán defectos graves que posiblemente abarquen más de 40 cm de troza.

Los resultados de las mediciones de los defectos basales del haya, muestran que, de los 300 árboles medidos, sin encontrar diferencias entre diámetros, ni por calidades de la troza basal, ni regiones de procedencia ni por provincias, en la parte basal de las hayas se pierden de promedio 40 cm (de alto) por defectos graves.

Este dato es relevante a la hora de estimar el volumen de madera. Se considera que este parámetro está poco estudiado y poco valorado. Los defectos principales detectados han sido curvatura basal, serias cavidades en la base, contrafuertes, fendas y nudos mal cerrados y dendrotelms.

Tabla. Porcentaje de pies con defectos graves en la base del tronco

longitud del defecto basal	% de árboles con defectos en la base
<0,4 m	58%
0,4 a 0,8 m	31%
> 0,8 m	11%

Ejemplo (parcela 8, árbol 1 -Álava-) de árbol con troza de alta calidad pero con un fuerte defecto basal que llega hasta casi 1 metro. A partir de 1m es clase C: por debajo leña.

Conicidad.

Para acertar con la clasificación visual de la calidad de madera de haya hay que saber cuántos cm de grosor disminuyen a medida que aumenta la longitud (o la altura del árbol). Ritmo de decrecimiento grosor/longitud, cociente de forma, coeficiente mórfico, conicidad... se utilizan varios términos para lo mismo.

Como hemos comentado en "Antecedentes" en el proyecto se han medido los diámetros base y los diámetros en punta de las trozas una vez ya cortadas, al igual que se midió la longitud de la troza.

Los resultados que tenemos a nivel del proyecto GOFAGUS para el cociente de forma son los siguientes:

1. por grupo diamétrico

Grupo Diamétrico	Diámetro medio del grupo diamétrico	Nº de trozas medidas	Promedio de coeficiente de reducción D-L (cm/1m)
40-50	48	42	2,8
30-40	37	93	1,9
20-30	28	102	1,3

2. por calidad de madera[1]

Calidad	Diámetro medio del grupo diamétrico	Nº de trozas medidas	Promedio de coeficiente de reducción D-L (cm/1m)	Diámetro normal necesario (cm) para clasificarlo
B	52	7	2,4	38,5
C	43	68	2,2	33,2
D	32	150	1,6	21,5

Evidentemente, lo mejor sería tener este tipo de información para el monte o grupo de montes en el que trabajamos. Y podemos ser más o menos sistemáticos o rigurosos en función del objetivo que nos marquemos.

A parte, en otras actividades del proyecto GOFAGUS, se ha analizado la curva de perfil del haya. Se ha visto que la primera troza (3,2 m para este proyecto) es más cónica que la segunda. La segunda troza es más cilíndrica, y la tercera troza vuelve a ser algo más cónica.

Esto hay que tenerlo en muy cuenta y nos ayuda a predecir mejor la calidad visual en pie.

Relación entre la clasificación visual de madera en pie con normas de clasificación de madera aserrada en tabla.

Se ha hecho una comparación entre los árboles clasificados como B, C, D y E[2] siguiendo la propuesta de estandarización propuesta en esta guía con tres normas de clasificación de madera aserrada.

Se han usado tres normas de clasificación de madera aserrada:

DIN 4074-5	Clasificación según norma alemana DIN 4074-5 (LS13, LS10, LS7 o Rechazo)
UNE 56546	Clasificación según norma española UNE 56546 (MEF o Rechazo)
Estética	Clasificación según criterios estéticos propios (1-4 de mayor a menor calidad)

La clasificación y los datos de madera aserrada han sido diseñados y elaborados por **CETEMAS**.

De todas ellas, con el único parámetro que se ha observado cierta correlación ha sido con el de la **madera de rechazo estructural según la norma DIN 4070 (RDIN%)**.

1 El número de trozas de A medidas es muy bajo como para dar resultados para esta categoría.

2 Había demasiados pocas trozas de A para poder hacer un análisis correcto de la comparativa.

CALIDAD ASIGNADA VISUALMENTE EN PIE	Nº DE TROZAS ANALIZADAS	Diámetro medio de la troza (cm)	Promedio RDIN (%)*	Máximo RDIN (%)	Volumen medio obtenido en tablas aserradas (m^3)
B	7	51,9	10%	38%	0,28
C	68	42,5	15%	90%	0,19
D	150	32,3	15%	95%	0,11
E	20	29,1	33%	100%	-

* % del volumen de la madera aserrada de la troza.

Tiene sentido que a peor calidad visual en pie más rechazo de madera estructural y viceversa.

Para clasificar una troza como B tiene tantos condicionantes que parece lógico ver que hay un salto cuantitativo en el máximo de rechazos. Ninguna troza B ha tenido más del 40% de rechazo estructural.

Esta información y la relación entre calidad visual en pie y rechazo estructural puede ser de utilidad para establecer una **vía de comunicación en materia de calidades de madera (y de entendimiento) entre gestores/propietarios y la industria/rematantes**.

Se podría establecer una relación entre lo que se subasta en pliegos o se señala en el monte (usando las clasificaciones A, B, C, D, E aquí propuestas; que no deja de ser una adaptación de la normativa UNE EN 1316-1 en rollo) con los rendimientos de madera estructural que tendría la industria de 1ª transformación.

Sería necesario profundizar en la comparación entre normas de clasificación para llegar a una mejor herramienta para trasponer clasificación en monte, en pie, con clasificación de madera aserrada, ya en tabla.

Pautas y trucos para gestores, propietarios y maderistas:

Analizados los fallos que se comenten para cada tipo de calidad (A, B, C, D o E), presentamos unas pautas para clasificar mejor la calidad de madera en pie en la especie de Fagus sylvatica:

1. No pierdas de vista el parámetro de conicidad del árbol. Conoce el coeficiente mórfico o cociente de forma de los hayedos de tu zona. Si no, aplica una referencia.

   De esta forma no fallarás en estimar el diámetro en punta delgada (y por tanto mejorarás en la asignación de calidad de madera).

2. Céntrate en las trozas basales del árbol, en los 6-8 primeros metros del árbol. Es donde se concentra el valor y la calidad de estos árboles y es donde más difícil es acertar.
3. Ten en cuenta que en el haya -más bien en los hayedos ibéricos; no tiene porqué pasar en los hayedos europeos- hay gran parte de los árboles que tienen defectos en la troza basal, con una cifra orientativa de 40 cm. Tenlo en cuenta y fíjate bien en el primer medio metro para descontar lo que sea necesario.
4. No infravalores la segunda troza porque tienes más incertidumbre.
5. Fíjate más en los nudos. Son difíciles de ver especialmente los nudos cubiertos en el haya: a veces no es posible verlos, otras veces se ven vestigios o señales en la corteza que indican que ahí hubo antes una rama.

Pasos para principiantes:

1. Observa el árbol desde lejos: su tronco, su copa, su raigal, sus ramas. Fijarse en los árboles adyacentes también ayuda a generar una mejor percepción del árbol en su conjunto.
2. Ve acercándote al árbol. A medida que te vayas acercando observa de nuevo.

   Hasta aquí habrás apreciado los defectos más graves y las cualidades positivas del árbol.

3. Llegas al árbol. Rodea al árbol a la vez que te fijas en la rectitud, conicidad, nudos, fendas, heridas. Mira mucho hacia arriba, hacia la copa y hacia donde están las ramas. Fíjate en la parte basal del haya (ahora sabemos que suele ser común que las hayas tengan defectos graves en la parte basal). Busca indicios de pudriciones.

Si no rodeas al árbol no puedes haber visto todos los defectos. Es fundamental darle la vuelta.

4. Mide el diámetro normal del árbol.
5. En función del diámetro (a la altura de pecho) y de la conicidad que aprecias (o que sabes que tienen de media el tipo de árbol que estas asesorando) haz una estimación del diámetro en punta delgada (dpd).
   a) Ten en cuenta que cada calidad tiene un mínimo de longitud necesario para clasificarlo como tal (por ejemplo, si piensas que es clase A, al menos la troza tiene que ser de 3 m de longitud. Si es clase C, al menos tiene que tener una troza homogénea de 2,5 m de longitud)
   b) Deprecia según la pendiente y la explotabilidad de la zona entre 5 a 20 cm del raigal. Esta parte será el tocón una vez cortado el árbol. No nos podemos quedar cortos al asesorar la longitud mínima de troza.
   c) Deprecia más si ves un defecto grave en la base del árbol, pues estos defectos suelen subir por dentro de la madera bastante (más de lo que parece).
   d) Todas sabemos lo que medimos. Usa esta información y la longitud de tu brazo o ayúdate de la forcípula para saber con más precisión donde están los 2,5 m o los 3 m o la longitud que necesites.
6. Con el dpd estimado y sabiendo a donde alcanza la longitud mínima de troza, empieza a quitarle valor a la troza en función de los defectos que has visto. Consulta la tabla estandarizada.
   a) Caso especial bifurcados. Si el haya tiene una bifurcación no ajustes la troza hasta donde se produce la horquilla. Esto sería un error. El defecto baja bastante hacia debajo de la troza. Piensa que eso lleva creciendo y cicatrizando tiempo. Normalmente el rastro del agua y decoloraciones en la corteza dan una pista de hasta donde baja el defecto.
7. Antes de dar por buena la clase de madera de la troza, revisa la conicidad y los nudos. Es donde más fallamos. Asígnale la calidad que el corresponde.
8. Antes de pasar a clasificar el siguiente árbol, desde donde estas empiezan con el paso 1

Análisis práctico. Aprendizajes:

A continuación, a modo práctico y sencillo, se van a mostrar fotos de árboles. Estos árboles, que fueron medidos en las parcelas del proyecto GOFAGUS y luego cortados y llevados a fábrica, fueron clasificados en pie y también en fábrica.

Gracias a la trazabilidad del proyecto y a las anotaciones hechas en campo, podemos utilizarlos como ejemplos prácticos para mejorar y afinar en la clasificación visual de madera de calidad de haya en pie.

Sirva para visualizar los defectos y familiarizarse con ellos. Se trata de un aprendizaje que queremos compartir.

1. Alava. Parcela 7, árbol 9, troza 1. Diámetro punta gruesa: 31 cm; Diámetro en punta a 3,2m: 22 cm. Observado en campo: Sin defectos aparentes excepto algo de curvatura.

- Calidad asignada en campo: D
- Calidad asignada en fábrica: D (por nudos: B, por conicidad: A/B, por diámetro en punta: D, por curvatura: B)
- Aprendizaje: la curvatura era escasa. La calidad la ha definido el grosor en dpd. Podría haber sido hasta un B si hubiera tenido suficiente diámetro en punta delgada. Este árbol es un típico árbol que genera troza de "tronquillo".

  De todas formas se aserró, siguiendo el protocolo del proyecto GOFAGUS. Dio un 30% y un 70% en madera de calidad 1 y 2, respectivamente, de carpintería (valores bastante buenos).

2. Alava. Parcela 8, árbol 5, troza 1. Diámetro normal: 43,1 cm. Diámetro en punta a 3,2 m: 38,5 cm. Observado en campo: Dudas de si con estos "nudos/heridas/fendas" es clase C o D.

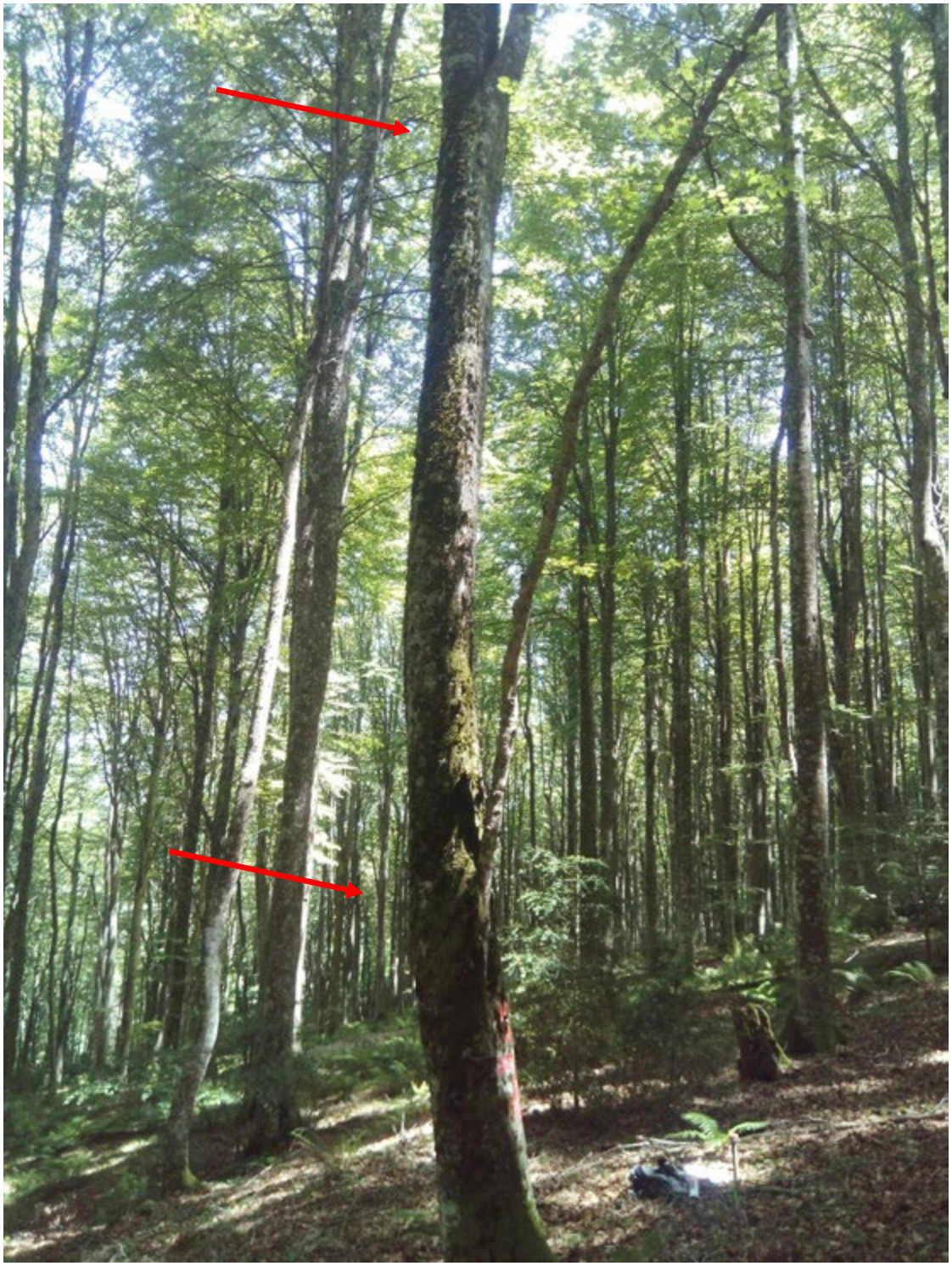
- Calidad asignada en campo: C (con dudas)
- Calidad asignada en fábrica: C (por nudos: A, por conicidad: A/B, por diámetro en punta: C, por curvatura: B)
- Aprendizaje: La calidad la determinó el dpd (no llegaba a B). Se determinó en fábrica que la fenda/herida no era tan grande. Si hubiera sido un poco más gordo el árbol, hubiera sido B. Por otro lado, una vez hecha tablas esta troza, los resultados fueron que el 100% era "madera de calidad MEF[3] estructural según UNE 56546 (% del volumen de madera aserrada de la troza)" y que el 100% era "madera de calidad LS13 estructural según DIN 4074 (valoración más alta del DIN 4074)".

3 madera estructural de frondosas

3. Alava. Parcela 8, árbol 7, troza 1. Diámetro en punta a 3,2m: 30,5 cm. Observado en campo: se observa ligera curvatura como mayor defecto.

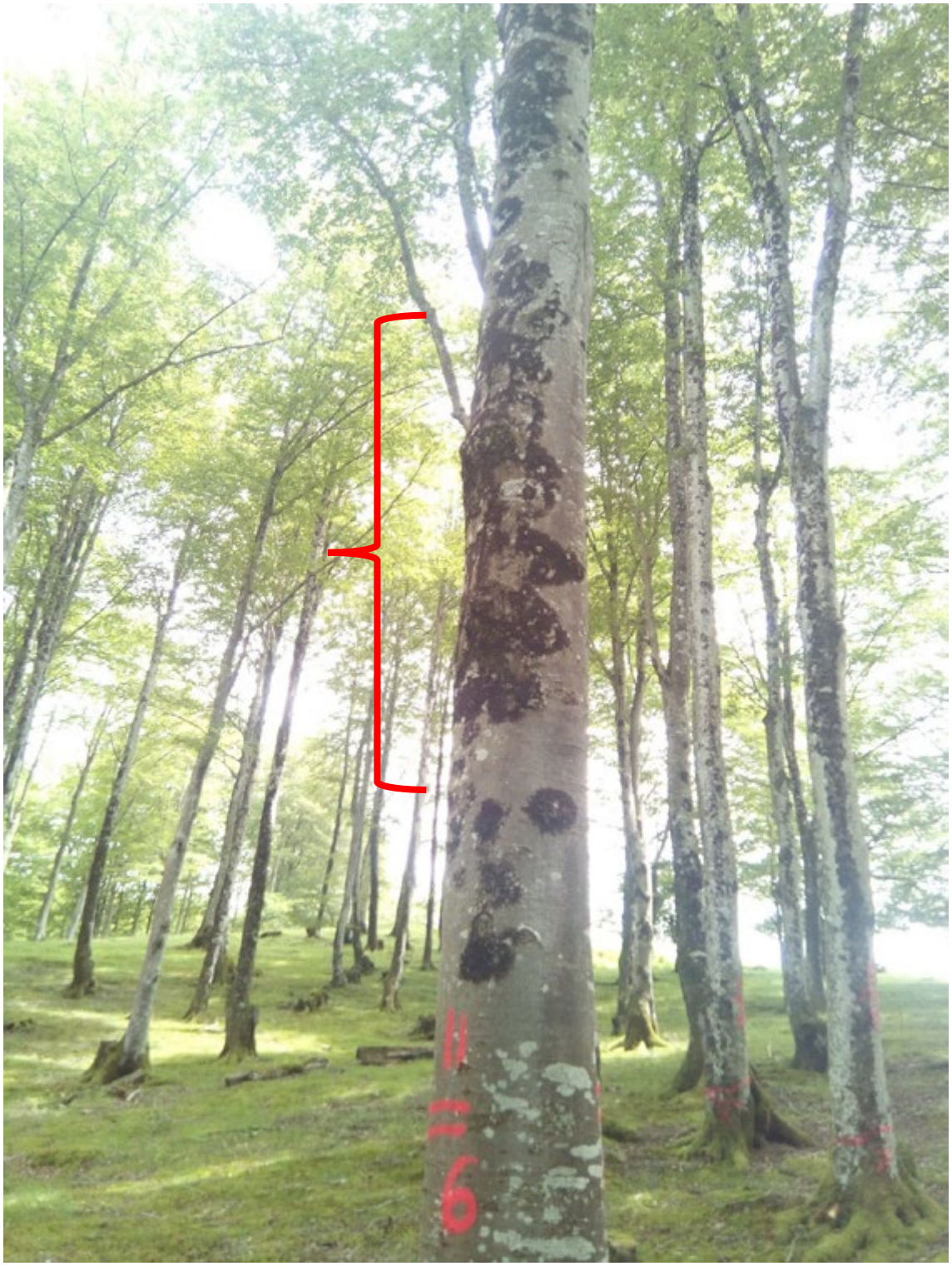
- Calidad asignada en campo: C
- Calidad asignada en fábrica: C (por nudos: B, por conicidad: B, por diámetro en punta: C, por curvatura: B)
- Aprendizaje: la curvatura era de 4 cm/m, por lo que valía como B. Pero el diámetro en punto fue el que lo bajó a calidad C.

4. Alava. Parcela 8, árbol 10, troza 1 y 2.. Diámetro normal: 47,1 cm; Diámetro en punta a 3,2 m: 41 cm. Observado en campo: fuerte defecto en la troza 1. Bifurcación pero que no llega a la troza 2.



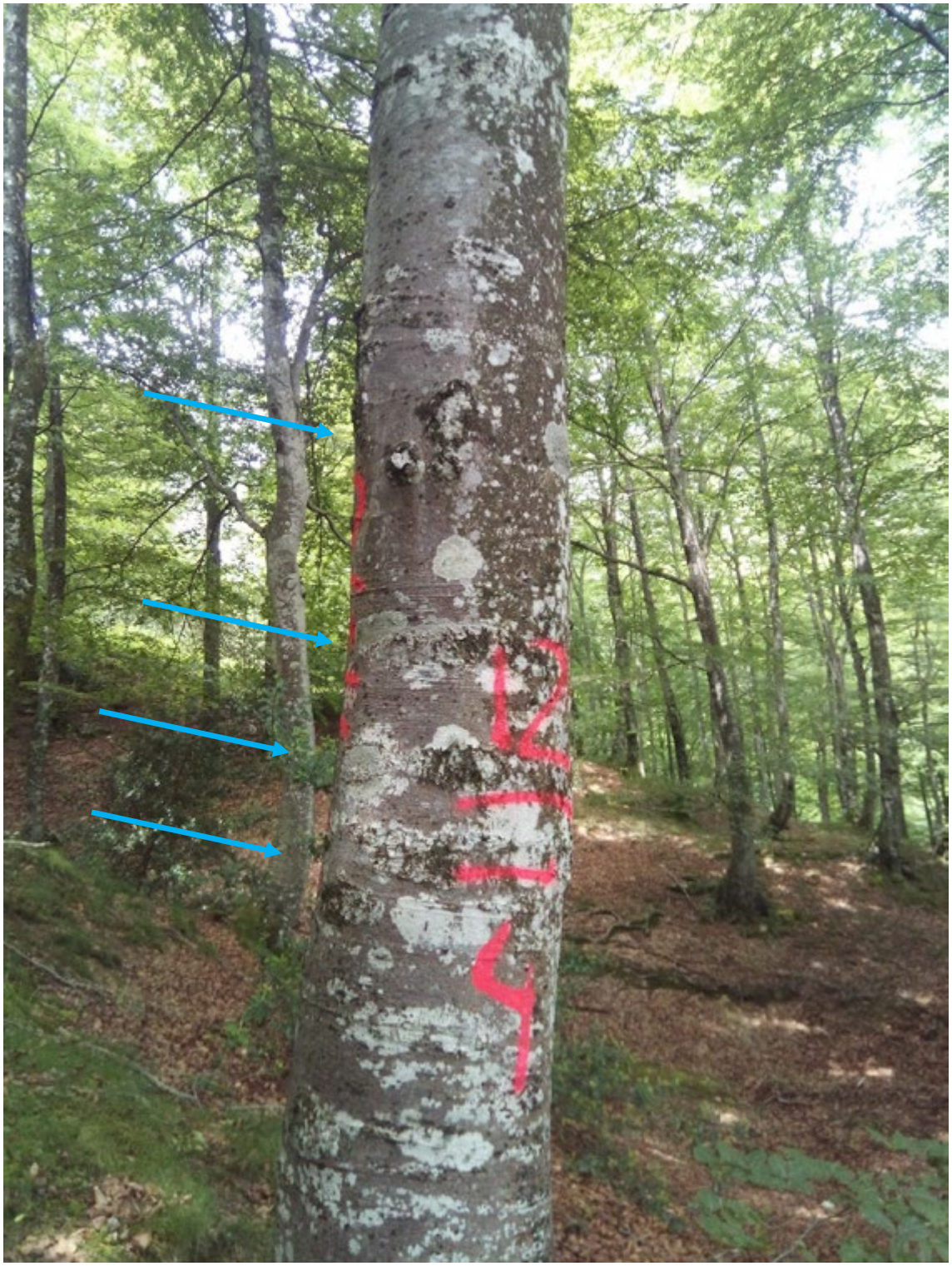
- Calidad asignada en campo. Troza 1: D; Troza 2: B
- Calida d asignada en fábrica:
  - Troza 1: D (por nudos: D -80 cm de nudo-, por fendas: D)
  - Troza 2: B (por nudos: A/B, por conicidad: A/B, por diámetro en punta: B, por curvatura: A; por fendas: B)
- Aprendizaje: la rama deprecia mucho la troza 1, aún así es D; no es E (leña). La segunda troza albergaba altas cualidades y era un B (defectos de la bifurcación no llegaban a la troza 2).
  La troza 1 generó 47% de rechazo (madera de rechazo estructural según DIN-4074). En cambio la troza 2 dio 0% de rechazo estructural.

5. Gipuzkoa. Parcela 11, árbol 6, troza 1 y 2.. Diámetro normal: 37,7 cm. Observado en campo: bastantes defectos de nudos y fibra girada.



- Calidad asignada en campo: D
- Calidad asignada en fábrica: D (por nudos: D, por conicidad: C, por diámetro en punta: C, por excentricidad: C)
- Aprendizaje: los nudos cubiertos eran demasiados para clasificarlo como C. Además tiene las fibras giradas. Aun así, cuando se aserró siguiendo el protocolo del GOFAGUS, el 73% de la madera aserrada fue calidad C4 (madera de calidad C4 de carpintería según norma estética), es decir, la más baja calidad para carpintería que es prácticamente leña.

6. Gipuzkoa. Parcela 12, árbol 4, troza 1. Diámetro punta gruesa: 29,6 cm. Observado en campo: poco diámetro, muchos pequeños nudos cubiertos.



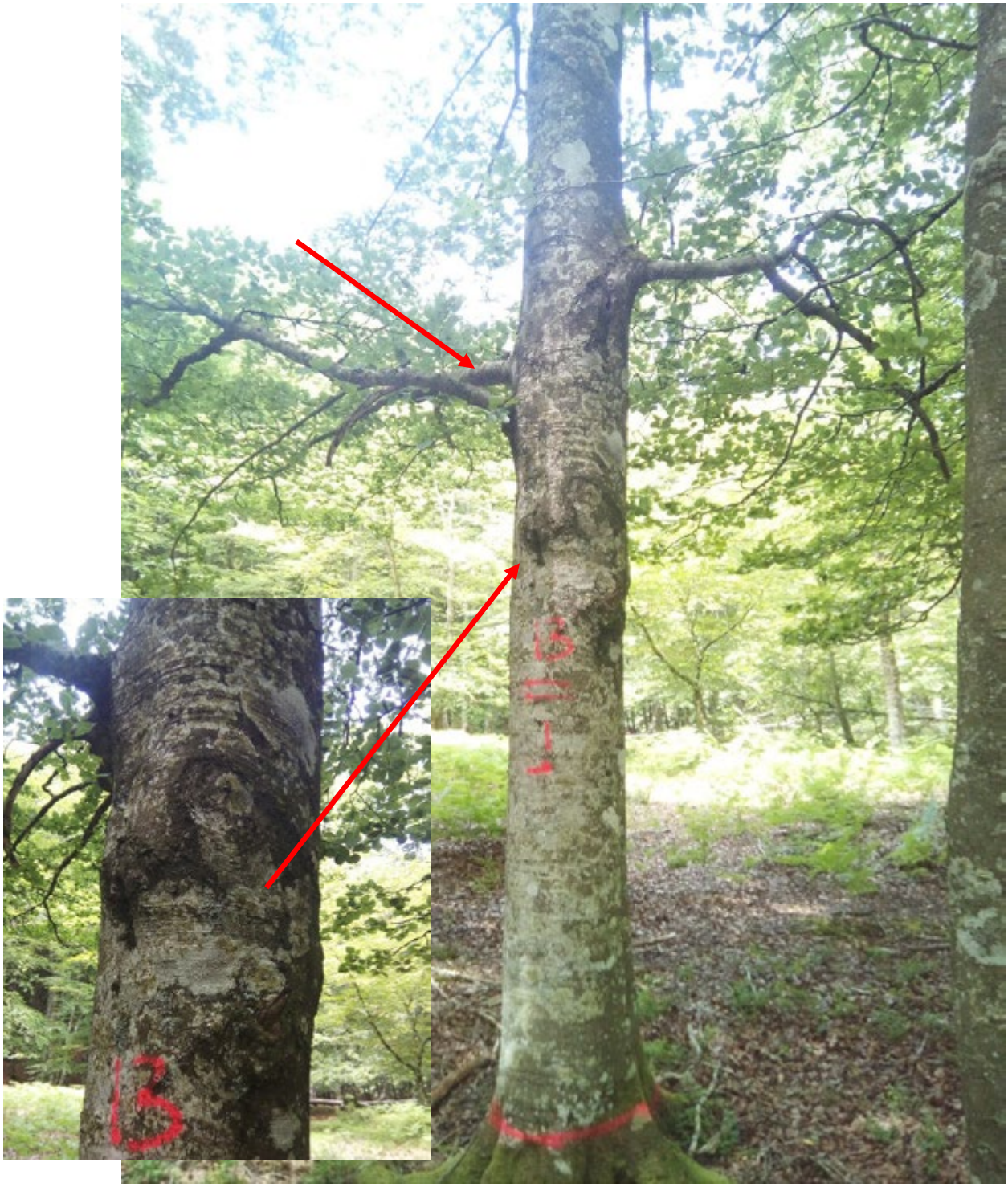
- Calidad asignada en campo: D
- Calidad asignada en fábrica: D (por nudos: D, por diámetro en punta: D, por curvatura: B)
- Aprendizaje: Es un D sobre todo por diámetro, pero los defectos que se ven de nudos cubiertos son demasiados por lo que aunque hubiera tenido más grosor no hubiera llegado tampoco a C.

7. Gipuzkoa. Parcela 13, árbol 3, troza 1. Diámetro normal: 40,25. Observado en campo: árbol muy reclinado (la pértiga es de 4 m).

- Aprendizaje: arboles como estos no pueden ser B por que tienen la fibra girada o excentricidad de la medula muy pronunciada (se midió una vez cortado más de 20% de excentricidad). Pero sí sirve como C.

  Una vez aserrado generó 77% de LS13 en la clasificación según norma alemana DIN 4074-5 y 100% de madera estructural de frondosa en la clasificación norma española UNE 56546.

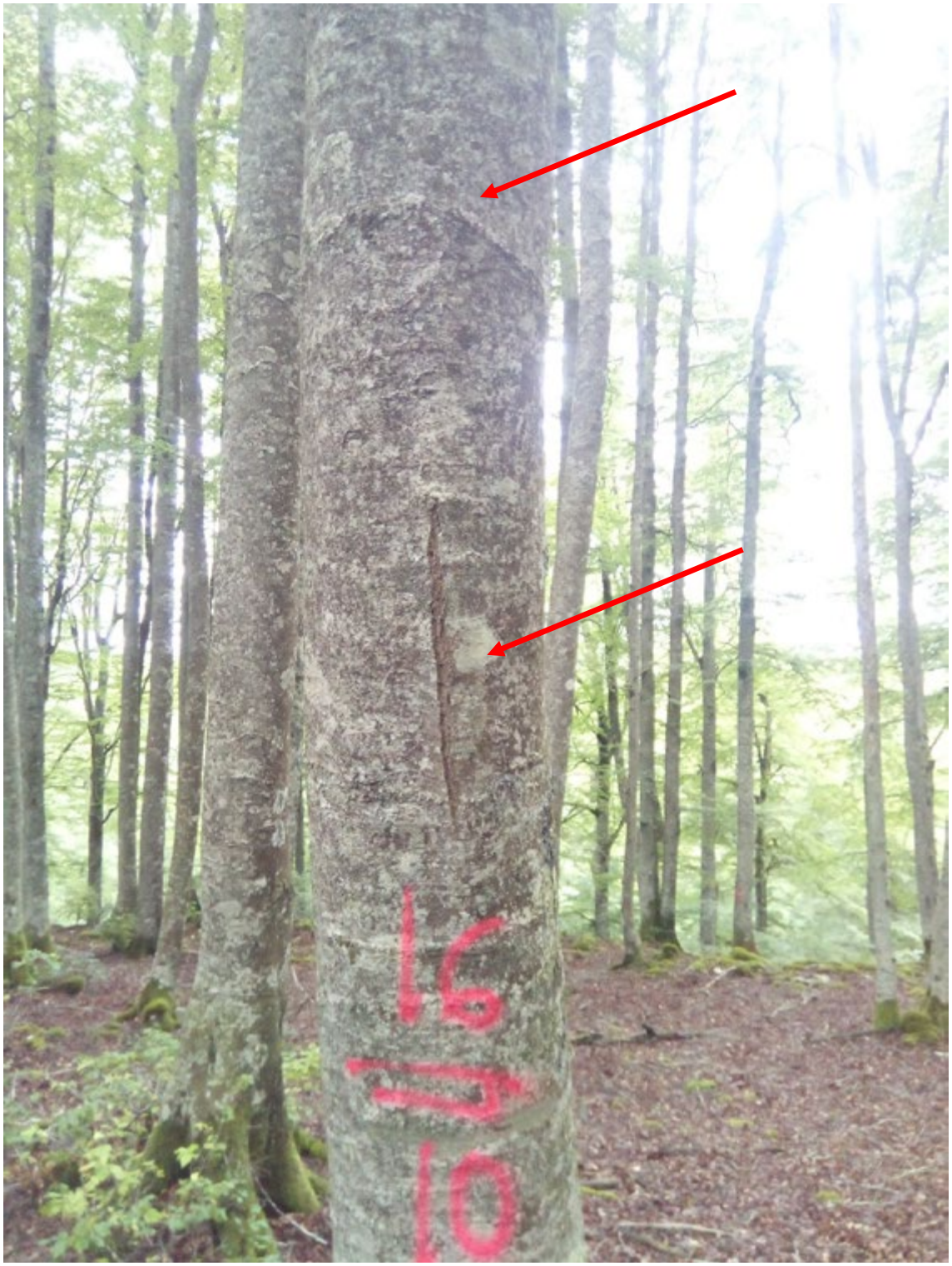
8. Gipuzkoa. Parcela13, árbol 1, troza 1. Diámetro normal: 39,5 cm. Observado en campo: ¿árbol demasiado leñoso y con ramas...sería un E?



- Calidad asignada en campo: D
- Calidad asignada en fábrica: D
- Aprendizaje: aún con estos defectos es un D.

  Aunque es un D, siguiendo el protocolo de las parcelas del GOFAGUS, la troza se aserró en tablas: El 62 % fué clasificada como madera de calidad MEF estructural según UNE 56546.

9. Navarra. Parcela 16, árbol 10, troza 1. Diámetro normal: 36,25. Observado en campo: con dudas de si el ojal (nudo sano) y fenda depreciarán la madera lo suficiente o no.



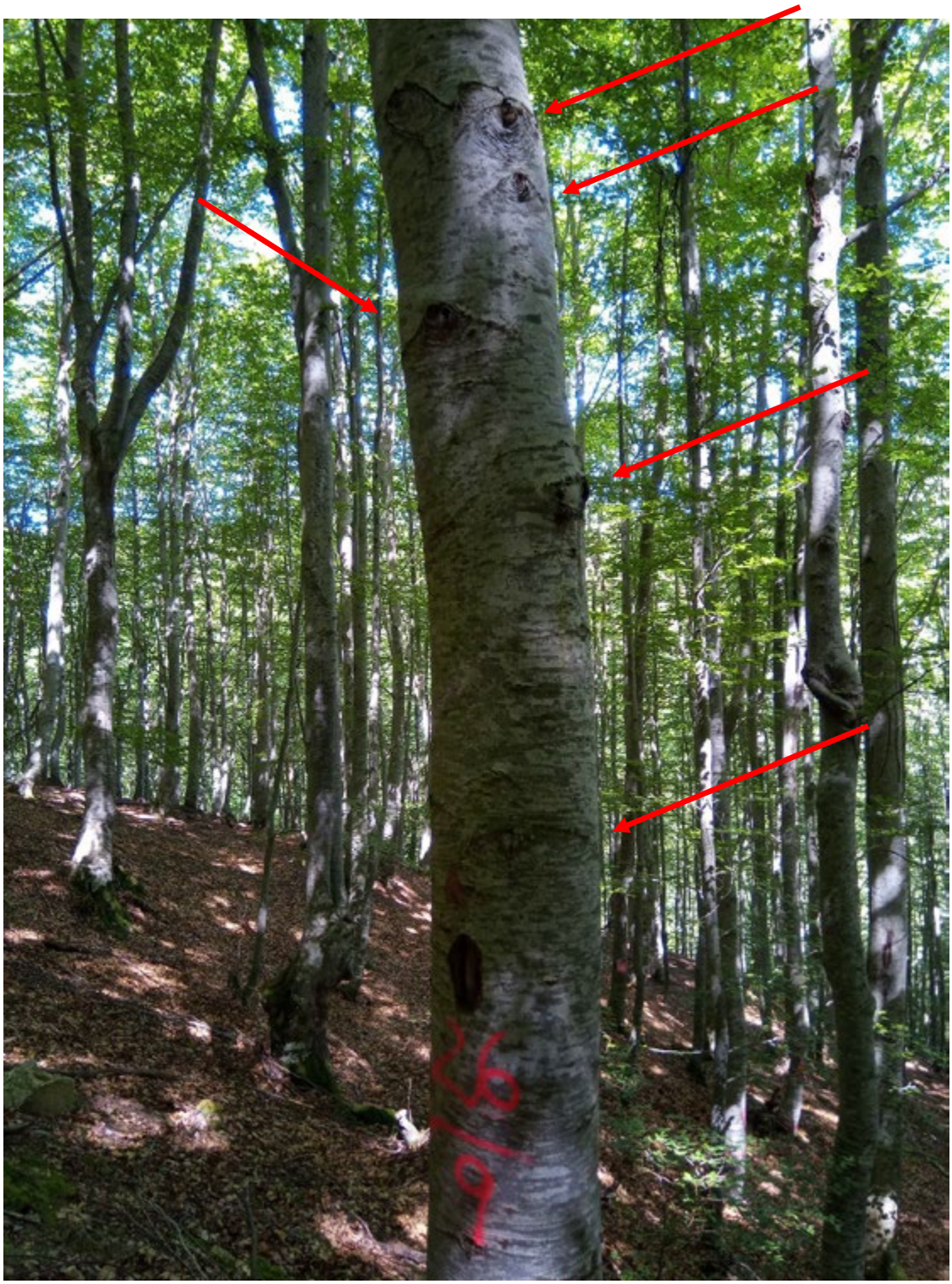
- Calidad asignada en campo: C
- Calidad asignada en fábrica: D (por nudos: B, por diámetro en punta: D, por curvatura: A/B)
- Aprendizaje: Podría haber sido un C aún teniendo ese ojal y esa pequeña herida superficial en la corteza, pero resultó que el árbol era muy cónico (no se aprecia en la foto; ni se apreció en campo) y por dpd se clasificó como D.

10. La Rioja. Parcela 27, árbol 8, troza 1. Diámetro normal: 26 cm. Observado en campo: demasiada curvatura, tanto en el raigal como a mita de troza.

- Aprendizaje: Una vez en fábrica se midió la curvatura: el árbol tenía más de 10 cm/m de curvatura. Es un E por curvatura excesiva.

  Aunque no se tendría que haber aserrado (porque es leña), se hizo según protocolo del proyecto, y tuvo 57% de rechazo en madera de rechazo estructural según DIN 4074.

11. La Rioja. Parcela 26, árbol 9, troza 2. Diámetro normal: 29,9 cm. Observado en campo: poco diámetro, mucho nudo cubierto (algunos mál cerrados) y dos nudos mal cerrados posiblemente podridos.



- Aprendizaje: La troza 2 tiene 2 nudos podridos y 5 nudos cubiertos. Aunque hubiera sido más gordo el árbol, seguiría siendo D.

12. La Rioja. Parcela 26, árbol 4, troza 1. Diámetro normal: 34 cm. Observado en campo: demasiados "ojales" como si aún estuviera cerrado.

- Aprendizaje: troza muy recta y con diámetro para que hubiera sido C, pero tiene demasiados nudos cubiertos. Es un D.

13. Burgos. Parcela 2, árbol 2, troza 1. Diámetro normal: 30,05 cm. Observado en campo: muy buena línea. Copa estrecha pero bien equilibrada. Posible árbol de porvenir. Defecto en la base.

- Aprendizaje: Actualmente este es un árbol D, pero porque no es lo suficientemente grueso. No tiene apenas defectos excepto unos 40 cm en la parte más basal (se marcó en campo con un "x" y una raya hasta donde llegaba el defecto).

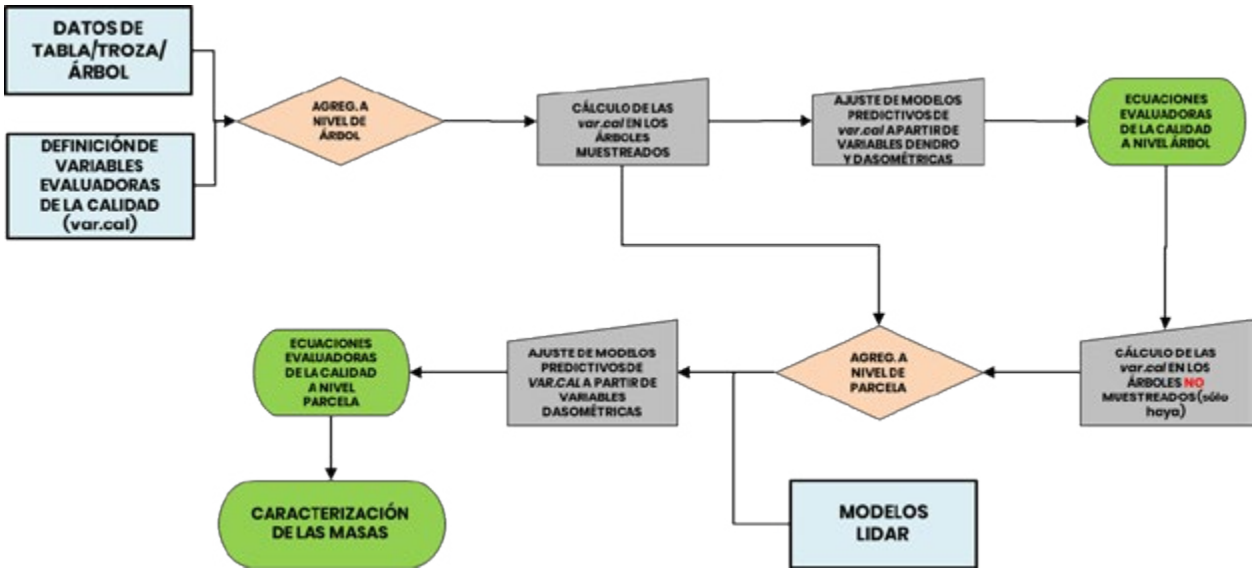
  Faltaría ver la copa, pero este tipo de árboles son los que hay que favorecer con una selvicultura continua, selectiva y cuidadosa, para que engorden y pasen a ser C, luego B o A.

8. MODELOS PREDICTIVOS DE LA MADERA DE CALIDAD DE *FAGUS SYLVATICA* A PARTIR DE INFORMACIÓN LiDAR Y SIMULACIONES ECONÓMICAS DE ITINERARIOS SELVÍCOLAS.

1. INTRODUCCIÓN

El objetivo de este informe es detallar la metodología empleada para la generación de modelos predictivos de la madera de calidad de *Fagus sylvatica* a partir de información LiDAR, así como los resultados obtenidos.

El procedimiento ha implicado, además, la definición de una serie de variables indicadoras de la calidad de la madera que pudieran ser modelizadas y territorializadas a partir de la información LiDAR. Dicho procedimiento puede esquematizarse en el siguiente diagrama de flujo, que se desarrollará en el apartado 2.



2. MATERIAL Y MÉTODOS

2.1. Datos

Los datos empleados provienen de los cálculos de rendimientos en aserradero obtenidos en el presente proyecto, fruto del meticuloso trabajo de trazabilidad, desde el monte hasta el aserradero y laboratorio de ensayo, de todos los árboles apeados, las trozas seleccionadas y los productos de madera aserrada definitivamente obtenidos y clasificados.

Inicialmente se contó con datos de 470 trozas (de 4 m), correspondientes a 121 árboles repartidos por 15 parcelas, en las cuales además se obtuvo información dendrométrica completa de todos los árboles. A estas 20 parcelas hay que añadir otras 15 en las que estaba disponible la información dendrométrica pero aún no la de calidad de la madera.

Tras la elaboración y depuración de los datos disponibles, para los ajustes se contó finalmente con información relativa a la calidad de la madera agregada a nivel de árbol correspondiente a 121 pies. En la tabla 1 se muestran los estadísticos básicos de las variables dasométricas y en la tabla2 de las dendrométricas de la base de datos disponibles (incluye índices de competencia independientes de la distancia). Las definiciones y unidades de todas estas variables se detallan en las tablas 3 y 4.

Tabla 1. Estadísticas descriptivas básicas de las variables dasométricas en las parcelas con apeo de árboles

Variable dasométrica	media	SD	mínimo	máximo
N	570.84	293.38	208.00	1232.00
G	40.39	8.7	23.91	52.61
DG	32.28	7.7	20.56	54.30
HO	26.25	5.5	19.8	40.62
VCC	465.3	168.15	217.96	879.6
W	391.89	106.34	198.66	602.46

Tabla 2. Estadísticas descriptivas básicas de las variables dendrométricas en las parcelas con apeo de árboles

Variable dendrométricas	media	SD	mínimo	máximo
dn	32.62	6.71	21.85	53.50
ht	25.07	5.05	16.00	41.00
vcc	1.07	0.67	0.36	4.23
wa	0.75	0.40	0.27	2.55
bal	23.47	12.33	0.00	47.05
balmod_g	0.56	0.25	0.00	0.96
balmod_gih	3.32	1.62	0.00	6.41
bar	0.22	0.10	0.07	0.55
rbad	0.21	0.09	0.07	0.48
rddg	1.03	0.20	0.67	1.69

Definición de las variables dasométricas:

Tabla 3. Definición de las variables dasométricas

Variable dasométrica	Definición	Unidades
N	Densidad de pies	árboles/ha
G	Área basimétrica	m^2/ha
DG	Diámetro medio cuadrático	cm
HO	Altura dominante	m
VCC	Volumen con corteza	m^3/ha
W	Biomasa anhidra total	t/ha

Tabla 4. Definición de las variables dendrométricas

Variable dendrométrica	Definición	Unidades
dn	Diámetro normal con corteza	cm
ht	Altura total	m
vcc	Volumen con corteza	m^3
wa	Biomasa aérea anhidra	t
bal	Área basimétrica de los árboles más gruesos que el árbol objetivo	m^2/ha
balmod_g	bal/G	-
balmod_gih	bal/(G·IH)	-
bar	Ratio de la sección normal del árbol (m^2) y G	%
rbad	bar^{rddg}	-
rddg	dn/DG	-

2.2. Definición de variables indicadoras de la calidad de la madera.

Las variables evaluadoras de la madera de calidad se apoyan en el cálculo en aserradero del volumen de madera potencial para cada una de las clases de calidad:

- Volumen de las clases de calidad carpintería carp.1, carp.2, carp.3 y carp.4 (v.carp.1, v.carp.2, v.carp.3 y v.carp.4): volumen (m^3) que ha tenido destino la madera de cada una de estas cuatro clases de calidad estética.
- Volumen de las clases de calidad estructural según la norma alemana DIN 4074-5 (LS13, LS10, LS7 o rechazo: v.din.ls13, v.din.ls10, v.din.ls7, v.din.r): volumen (m^3) que ha tenido destino la madera de cada una de esas clases de calidad.
- Volumen de las clases de calidad estructural según la norma española UNE 56546 para el castaño, adaptada para el haya (calidad MEF y rechazo: v.une.mef y v.une.r): volumen (m^3) que ha tenido destino la madera de esa clase de calidad.

Las variables así definidas se utilizan tanto a nivel de árbol como de parcela, y de aquí en adelante se entiende que si dichas variables se escriben en minúscula se refieren a nivel de árbol, mientras que si es en mayúscula se refiere a nivel de parcela. En la Tabla5 pueden consultarse las estadísticas básicas de

las diez variables empleadas, tanto a nivel de árbol como de parcela (en este caso, expresado en unidades por hectárea).

Tabla 5. Estadísticas básicas de las diez variables evaluadoras de la calidad de la madera, tanto a nivel de árbol como de parcela.

variable	media	SD	mínimo	máximo
v.carp.1	0.039	0.050	0.000	0.276
v.carp.2	0.083	0.119	0.000	0.639
v.carp.3	0.060	0.057	0.000	0.297
v.carp.4	0.109	0.117	0.000	0.594
v.dins.ls7	0.046	0.077	0.000	0.478
v.dins.ls10	0.076	0.088	0.000	0.517
v.dins.ls13	0.116	0.096	0.000	0.505
v.une.mef	0.236	0.223	0.026	1.215
v.din.r	0.053	0.069	0.000	0.348
v.une.r	0.056	0.072	0.000	0.348

2.3 Ajuste y evaluación de los modelos

La primera etapa del procedimiento consistió en el ajuste de ecuaciones para predecir las diez variables evaluadoras de la calidad a nivel de árbol.

La primera etapa del procedimiento consistió en el ajuste de ecuaciones para predecir las diez variables evaluadoras de la calidad a nivel de árbol. Es importante hacer notar que un porcentaje de árboles de la muestra no presenta volumen para algunos de las clases de calidad. Para poder estimar luego la cantidad de volumen que produce cada árbol, primero se realiza un modelo logístico para predecir si un determinado árbol va a producir algo de madera de esa calidad o, por el contrario, no tendrá madera de esa calidad (se hacen modelos logísticos para todas las variables respuesta). A continuación, para los árboles que presenten madera de tal calidad, se predecirá mediante modelos no lineales cuánta madera de calidad se obtendrá. Debido a la gran diferencia entre los datos de los árboles de los que tenemos información y los árboles para predecir (generalmente mucho más pequeños), se ha considerado prudente filtrar los árboles con diámetro normal inferior a 20 cm, considerando que es el mínimo para ser aprovechado en sierra.

En el caso de las variables por árbol, se probaron tanto modelos potenciales como exponenciales:

$$v.xxx = a_0 \cdot \prod_{i=1}^{n} x_i^{a_i} \qquad \text{modelo potencial}$$

$$v.xxx = e^{a_0 + \sum_{i=1}^{n} a_i \cdot x_i} \qquad \text{modelo exponencial}$$

donde v.xxx es la variable a predecir (volumen de calidad de cada clase), xi son las variables daso o dendrométricas y a_i son los parámetros a estimar. Con esta formulación se asegura que el volumen de calidad ha de ser un número positivo. Al haber tanta diferencia entre el volumen de una determinada calidad con el volumen total del árbol, no es necesario poner una cota superior al volumen de calidad, ya que en ningún caso se van a obtener predicciones mayores al volumen total del árbol.

La búsqueda de las variables independientes óptimas se realizó mediante procedimientos *stepwise* (hacia adelante y hacia atrás), contemplando también la posibilidad de incluir las variables independientes en forma cuadrática, logarítmica y bajo raíz cuadrada. En el caso de las variables de volumen,

el proceso *stepwise* se ejecutó con la forma linealizada de la ecuación, empleándose a continuación los parámetros estimados como iniciadores del ajuste no lineal definitivo.

Una vez obtenidos los modelos anteriores, se aplican sobre los árboles (sólo de la especie objetivo, *Fagus sylvatica*) no apeados y cuyo rendimiento para las distintas categorías de calidad de la madera, por lo tanto, es desconocida. De esta manera podemos tener una predicción de las diez variables evaluadoras de la calidad para todos los árboles presentes en cada parcela y, por lo tanto, agregarlas a nivel de parcela.

Para predecir el volumen obtenido a nivel de parcela se ha utilizado la siguiente formulación:

$$V.XXX = \frac{VCC}{1 + \exp(\sum_{i=1}^{k} a_i * x_i)}$$

Siendo las variables predictoras (x_i) únicamente las relativas a los atributos dasométricos (excepto VCC). Mediante esta formulación se asegura que las variables estimadas se encuentran acotadas entre 0 y el volumen con corteza por parcela.

Para calcular la bondad de las ecuaciones logísticas se calcula el AUC, que es el área que deja por debajo la curva ROC, medida de acierto en la predicción de eventos binarios. También se calcula el porcentaje de acierto del modelo. En ambas medidas, un mayor número indica una mejor predicción.

La evaluación de los modelos obtenidos se realizó a través del análisis de la eficiencia del modelo (EF), que refleja la parte de la varianza total explicada por el modelo; el error medio cuadrático (RMSE) que analiza la precisión de las estimaciones y el sesgo y su significancia, que evalúa la desviación sistemática de las predicciones. Dichos estadísticos se calculan del siguiente modo:

$$\mathrm{EF} = 1 - \frac{(n-1)\sum_{i=1}^{n}(y_i - \hat{y}_i)^2}{(n-p)\sum_{i=1}^{n}(y_i - \bar{y})^2}$$

$$RMSE = \sqrt{\left(\frac{\sum_{I=1}^{n}(y_i - \hat{y}_i)^2}{n-p}\right)}$$

$$sesggo = \frac{\sum_{I=1}^{n} y_i - \hat{y}_i}{n}$$

Donde: y_i, y_i, $\hat{y}_i$ and $\bar{y}$ son los valores observados, predichos y medios de la variable dependiente respectivamente; *n*, el número total de observaciones y *p*, el número de parámetros del modelo.

Por último, para evaluar la presencia de elevada colinealidad múltiple entre las variables independientes y por tanto riesgo de generar modelos sobre ajustados, se empleó el factor de inflación de la varianza (VIF) de todas las variables independientes, el cual se calcula del siguiente modo:

$$\mathrm{VIF} = \frac{1}{1 - R_i^2}$$

Dónde: R_i^2, es el coeficiente de correlación múltiple obtenido cuando la variable independiente *i* es enfrentada en regresión lineal a las restantes variables independientes del modelo. A partir de 10 se considera que los modelos tienen problemas serios de multicolinealidad.

2.4. Generación de la cartografía de la madera de calidad del haya

Una vez obtenidas las ecuaciones que relacionan las diferentes variables evaluadoras de la madera de calidad a nivel de parcela con una o más variables dasométricas, resulta inmediato alcanzar el objetivo último del proceso: generar una cartografía predictiva de la madera de calidad de haya.

Así, en el entregable FV_1 presentado en la primera anualidad se proporcionaron modelos territoriales de las variables dasométricas, basados en las métricas LiDAR, que han sido utilizadas ahora como variables independientes en las ecuaciones ajustas. Basta, pues, con aplicar dichas ecuaciones a la cartografía entregada en el FV_1 para obtener el resultado requerido.

3. RESULTADOS

3.1 Modelos de árbol

En las variables v.carp.1, v.carp.4 y v.dins.7, v.din.r, v.une.r existe un significativo porcentaje de árboles en la muestra que no presenta volumen de ese tipo de calidad, por lo que primero se realiza un modelo logístico para predecir si un determinado árbol va a producir algo de madera de esa calidad o, por el contrario, no la tendrá. Luego, para los árboles que superen el filtro del modelo logístico (sí/no), se predecirá qué cantidad tendrán. Para las demás calidades no se considera necesario, ya que la gran mayoría de los árboles de la muestra presentan volumen de esa calidad (más del 85%), por lo que se asume que todos los árboles pueden presentar madera de esas calidades, siempre que presenten un diámetro normal superior a 20 cm, considerando que es el mínimo para ser aprovechado en sierra.

Los resultados obtenidos, así como el análisis de la bondad del ajuste a nivel de árbol se presentan en la tabla 6.

La variable explicativa más frecuente es el diámetro normal (dn), bien en forma lineal o cuadrática, lo cual parece razonable dado que está evaluando de una u otra manera el volumen de cada árbol, mientras que también en otros cinco encontramos una variable evaluadora de la competencia (*bar, balmod_g* o *balmod_gih*). Se puede apreciar que cada modelo tiene variables tanto de árbol como de parcela, lo cual es deseable en este tipo de modelización.

Tabla 6. Resultados de los ajustes a nivel de árbol y asunciones del modelo.

Variable dependiente	Variables independ.	Parám.	p-valor	p-valor norm.	p-valor RESET	FIV	p-valor homoced.
v.carp.1 (logística)	Intercept	-5.521	8.8e-4			1.59	
	W	4.929e-3	0.085				
	N	1.996e-3	0.036				
	ht	0.141	0.055				
v.carp.1 (exponencial)	Intercept	-4.187	<2e-16	0.895	0.601	2.0	0.91
	VCC	2.9901e-3	6.04e-11				
	balmod_gih^2	-0.017	0.017				
v.carp.2 (exponencial)	Intercept	-8.375	< 2e-16	0.061	0.97	2.99	0.65
	rddg	1.315	0.001				
	DG	0.116	< 2e-16				
	N	1.104e-3	0.014				
v.carp.3 (exponencial)	Intercept	-5.261	< 2e-16	0.095	0.177	1.44	0.88
	dn	0.067	4.12e-10				
	N	4.858e-4	0.092				
v.carp.4 (logística)	balmod_g	-6.018	8.09e-4			2.12	
	N	-5.862e-3	7.1e-5				
	HO	0.610	0.007				
v.carp.4 (exponencial)	Intercept	-6.783	4.57e-14	0.004	0.475	2.00	0.65

Tabla 6. Resultados de los ajustes a nivel de árbol y asunciones del modelo.

Variable dependiente	Variables independ.	Parám.	p-valor	p-valor norm.	p-valor RESET	FIV	p-valor homoced.
	dn	0.082	1.64e-12				
	N	3.219 e-3	0.019				
	N2	-2.936e-6	0.018				
	G	0.026	5.94e-4				
v.dins.ls7 (logístico)	Intercept	-7.888	3.1e-5			1.02	
	HO	0.237	4.8e-4				
	dn	0.078	0.042				
v.dins.ls7 (exponencial)	Intercept	-3.908	< 2e-16	0.440	0.981	2.88	0.79
	vcc	0.403	2.0e-6				
	VCC	1.804 e-6	2.1e-4				
v.dins.ls10 (exponencial)	Intercept	-5.770	< 2e-16				
	dn	0.064	4.12e-12				
	HO	0.038	5.85e-05				
v.dins.ls13 (exponencial)	Intercept	-9.901	4.06e-11	8.8e-4	0.951	2.00	0.37
	ht	0.067	3.10e-09				
	dn	0.307	1.32e-05				
	dn2	-3.72e-3	3.84e-05				
v.une.mef (exponencial)	Intercept	-4.728	< 2e-16	0.110	0.456	1.37	0.99
	dn	0.046	1.03e-12				
	HO	0.059	1.70e-13				
v.dir.r (logístico)	Intercept	-4.252	3.0e-3			1.44	
	HO	0.261	1.08e-4				
	balmod_gih	-0.470	4.4e-3				
v.dir.r (exponencial)	Intercept	-5.290	< 2e-16	0.071	0.739	NA	0.87
	dn	0.076	1.22e-13				
v.une.r (logístico)	Intercept	-5.315	0.001			1.43	
	HO	0.314	3.85e-5				
	balmod_gih	-0.527	0.002				
v.une.r (exponencial)	Intercept	-5.256	< 2e-16	0.071	0.739	NA	0.87
	dn	0.076	2.3e-13				

Todos los modelos presentan parámetros significativos (p<0.1) y son insesgados. No se observan problemas de sobre ajuste ni multicolinealidad (VIF<<4). También se observan aceptación (p-valor>>0.05) en las pruebas de linealidad, homocedasticidad y normalidad, hipótesis necesarias para el ajuste por mínimos cuadrados.

En los modelos logísticos, no son necesarias las hipótesis de normalidad linealidad y homocedasticidad, por lo que los valores no son incluidos en la tabla. En cambio, sí es necesario un FIV bajo (multicolinealidad baja, como es el caso) para obtener un ajuste correcto. Además, se han graficado los residuos frente a los valores ajustados y frente a las variables explicativas, comprobando su dispersión aleatoria en torno a 0 sin presentar ninguna tendencia.

La interpretación de las ecuaciones es perfectamente coherente con lo esperado teóricamente: los signos de los estimadores de los parámetros permiten deducir que a mayor tamaño del árbol (tanto en diámetro como en altura), mejor será la calidad de la madera; análogamente, cuanto menor sea la competencia sufrida, mejor será la calidad, a igualdad del resto de variables.

Así pues, la formulación de las diez ecuaciones exponenciales obtenidas es:

$$v.carp.1 = e^{(-4.1871492+0.0029901\cdot VCC-0.0178539*balmod_gih^2)}$$

$$v.carp.2 = e^{(-10.1197792+2.0351346*rddg+0.1360856*DG+0.0012059*N)}$$

$$v.carp.3 = e^{(-5.2618050+0.0679419*dn+0.0004858*N)}$$

$$v.carp.4 = e^{(-6.783112002+0.082219560*dn+0.003219738*N-0.000002936*N^2+0.026264302*G)}$$

$$v.dins.ls7 = e^{(-3.9086201521+0.4032583126*vcc+0.0000018040*VCC)}$$

$$v.dins.ls10 = e^{(-5.770586+0.064796*dn+0.038421*HO)}$$

$$v.dins.ls13 = e^{(-9.9015910+0.0675049*ht+0.3075925*dn-0.0037276*dn^2)}$$

$$v.une.mef = e^{(-4.728422+0.046979*dn+0.059935*HO)}$$

$$v.din.r = e^{(-5.290879+0.076274*dn)}$$

$$v.une.r = e^{(-5.256163+0.076016*dn)}$$

Las ecuaciones logísticas quedan:

$$v.carp.1\,log = \frac{1}{1+\ e^{-(-5.5214775+0.0049292*W+0.0019962*N+0.1414251*ht)}}$$

$$v.carp.4\,log = \frac{1}{1+\ e^{-(-6.018445*balmod\ _g-0.005862*N+0.610384*HO)}}$$

$$v.dins.ls7log = \frac{1}{1+\ e^{-(-7.88887+0.23715*HO+0.07889*dn)}}$$

$$v.din.rlog = \frac{1}{1+\ e^{-(-4.25283+0.26108*HO-0.47047*balmod\ _gih)}}$$

$$v.une.rlog = \frac{1}{1+\ e^{-(-5.31546+0.31441*HO-0.52723*balmod\ _gih)}}$$

Las variables v.carp.1log, v.carp.4log y v.dins.ls7log devuelven la probabilidad de que un árbol presente algo de volumen de la calidad correspondiente. Los valores mínimos de probabilidad para asumir que un árbol tiene algo de volumen de cada calidad se muestra en la tabla 8.

Para comprobar la bondad de los ajustes de los modelos exponenciales, calculamos los estadísticos de la tabla 7.

Tabla 7. Bondad del ajuste de las ecuaciones de árbol.

variable	RMSE	%RMSE	sesgo	%sesgo	p-valor	EF
v.carp.1	0.041	72.27	-0.001	1.84	0.812	0.380
v.carp.2	0.063	64.59	-0.002	2.13	0.734	0.734
v.carp.3	0.046	64.96	6.5e-5	0.093	0.988	0.332
v.carp.4	0.072	56.13	-4.3e-4	0.338	0.950	0.623
v.dins.ls7	0.043	58.18	5.1e-4	0.691	0.917	0.751
v.dins.ls10	0.050	54.73	-1.5e-4	0.173	0.974	0.688
v.dins.ls13	0.065	53.67	8.5e-4	0.706	0.885	0.545
v.une.mef	0.105	44.33	-0.0023	1.009	0.801	0.778
v.din.r	0.053	67.85	-4.8e-4	0.624	0.933	0.461
v.une.r	0.055	68.29	-4.9e-4	0.609	0.935	0.452

Como se puede observar, el porcentaje de error es elevado, ya que es difícil obtener con exactitud el volumen exacto de una determinada clase de calidad. Ahora bien, el p-valor en todos los modelos no se aproxima a 0.05, eso implica no rechazar la hipótesis de que el sesgo es 0, es decir, los estimadores de los volúmenes de calidad son insesgados.

La eficiencia de los modelos (medida de explicación de la varianza), varía bastante de unos modelos a otros, siendo el modelo de v.une.mef el que más porcentaje de varianza explica con un 77.8%. Aún así, la gran mayoría explican más del 50% de varianza.

Para comprobar la bondad de las ecuaciones logísticas, calculamos:

Tabla 8. Bondad del ajuste logístico a nivel de árbol.

variable	AUC	%de acierto	Umbral de probabilidad
v.carp.1(logística)	77.6	76.03	0.600
v.carp.4(logística)	76.1	85.95	0.600
v.dins.ls7(logística)	78.6	76.03	0.550
v.din.r (logística)	75.8	75.20	0.478
v.une.r (logística)	77.9	76.03	0.482

A partir de valores de AUC mayores de 0.7, se considera que los modelos logísticos son aceptables. Además, el máximo porcentaje de aciertos del modelo sobrepasa el 75% en los tres modelos, es decir, clasifica correctamente más del 75 por ciento de los árboles.

3.2 Modelos de parcela

Los resultados obtenidos, así como el análisis de la bondad del ajuste a nivel de árbol se presentan en la tabla 9.

Tabla 9. Resultados de los ajustes a nivel de parcela y asunciones del modelo

Variable dependi	Variables independ	Param	p-valor	p-valor normalidad	p-valor RESET	FIV	p-valor homoce-dasticidad
V.CARP.1	Intercept	5.771	4.69e-11	0.115	0.356	NA	0.044
	G	-0.056	2.14e-05				
V.CARP.2	Intercept	5.214	< 2e-16	0.719	0.768	7.071	0.065

Tabla 9. Resultados de los ajustes a nivel de parcela y asunciones del modelo

Variable dependi	Variables independ	Param	p-valor	p-valor normalidad	p-valor RESET	FIV	p-valor homoce-dasticidad
	N	-1.50e-3	7.07e-11				
	DG	-0.085	2.71e-13				
	HO	0.037	2.03e-06				
V.CARP.3	Intercept	2.055	2.00e-11	0.310	0.637	3.338	0.659
	HO	0.071	1.59e-10				
	DG	-3.358e-4	4.86e-05				
	G	-0.023	1.57e-07				
V.CARP.4	Intercept	2.176	0.001	0.898	2.5e-4	2.286	0.245
	N	0.002	0.001				
	G	-0.045	4.6e-4				
	HO	0.057	6.6e-4				
V.DIN.LS7	Intercept	6.300	2.83e-13	0.139	0.402	1.150	0.183
	N	7.583e-4	0.051				
	HO	-0.074	7.07e-07				
	G	-0.028	0.0105				
V.DIN.LS10	Intercept	3.557	< 2e-16	0.016	0.649	NA	0.307
	HO	-0.029	2.99e-10				
V.DIN.LS13	Intercept	2.154e+0	5.37e-11	0.279	0.083	6.264	0.323
	DG2	6.642e-04	1.20e-07				
	HO	-3.667e-02	3.68e-05				
	N	6.663e-04	4.4e-4				
V.UNE.MEF	Intercept	3.233	1.16e-11	0.451	0.004	3.268	0.618
	N	-9.611e-4	3.46e-05				
	DG	-0.046	2.23e-09				

Al igual que en los ajustes por árbol, todos los modelos presentan parámetros significativos ($p<0.1$) y son insesgados. Además, no se observan problemas importantes de sobre ajuste ni de multicolinealidad (VIF<7).

Se han realizado gráficas de los residuos frente a los valores ajustados y de los residuos frente a las variables predictoras observando un comportamiento aleatorio en torno a 0.

También en estos ajustes la interpretación de las ecuaciones es consistente con su sentido biológico: mayores tamaños de la masa (expresados a través de su DG, HO o VCC) permiten obtener mayores volúmenes de madera de calidad.

Las ecuaciones obtenidas producen volúmenes entre 0 y VCC, evitando así que predigan volúmenes negativos o volúmenes que sobrepasen el volumen con corteza total.

Así pues, la formulación de las diez ecuaciones obtenidas es:

$$V.CARP.1 = \frac{VCC}{1+ e^{5.77198-0.05681 \cdot G}}$$

$$V.CARP.2 = \frac{VCC}{1+ e^{5.2144536-0.0015091 \cdot N-0.0855058 \cdot DG+0.0376535 \cdot HO}}$$

$$V.CARP.3 = \frac{VCC}{1+ e^{2.0558913+0.0712104\cdot HO-0.0003358\cdot DG^2-0.0233621\cdot G}}$$

$$V.CARP.4 = \frac{VCC}{1+ e^{2.1768173+0.0020481\cdot N-0.0452115\cdot G+0.0579457\cdot HO}}$$

$$V.DIN.LS7 = \frac{VCC}{1+ e^{6.3003182+0.0007583\cdot N-0.0744322\cdot Ho-0.0287759\cdot G}}$$

$$V.DIN.LS10 = \frac{VCC}{1+ e^{3.557408-0.029860\cdot HO}}$$

$$V.DIN.LS13 = \frac{VCC}{1+ e^{2.154+0.0006642\cdot DG^2-0.03667\cdot HO+0.0006663\cdot N}}$$

$$V.UNE.MEF = \frac{VCC}{1+ e^{3.2336275-0.0009611\cdot N-0.0466224\cdot DG}}$$

$$V.DIN.R = \frac{VCC}{1+ e^{2.192+0.0015\cdot N+0.00074\cdot HO^2-0.000485\cdot G^2}}$$

$$V.UNE.R = \frac{VCC}{1+ e^{4.315-0.05878\cdot DG+0.001194\cdot HO^2-0.000303\cdot G^2}}$$

La evaluación de la bondad del ajuste puede consultarse en la tabla 10.

Tabla 10. Bondad del ajuste de las ecuaciones de parcela.

variable	RMSE	%RMSE	sesgo	%sesgo	p-valor	EF
V.CARP.1	5.23	30.1	-0.336	1.94	0.74	0.84
V.CARP.2	3.52	9.78	0.061	0.17	0.92	0.97
V.CARP.3	4.01	12.34	0.216	0.66	0.76	0.90
V.CARP.4	8.83	35.98	0.096	0.39	0.95	0.73
V.DINS.LS7	3.72	19.99	0.102	0.55	0.88	0.97
V.DINS.LS10	3.17	11.44	0.144	0.52	0.80	0.96
V.DINS.LS13	4.74	12.21	-0.434	1.12	0.60	0.91
V.UNE.MEF	12.49	10.99	1.063	0.93	0.63	0.96

Como se puede observar, el porcentaje del error cuadrático medio es relativamente bajo, lo que implica que el modelo hace buenas predicciones. Además, la eficiencia es muy elevada, explicando gran parte de la varianza total, por encima del 80%. Además, el p-valor no se acerca a 0.05, por lo que no hay evidencias para rechazar que los estimadores sean insesgados. Esto implica que los modelos han sido bien ajustados y sus predicciones tienen alta fiabilidad.

Junto con el presente informe se entrega el archivo con la base de datos para los ajustes (BD_CALIDAD.XLSX)

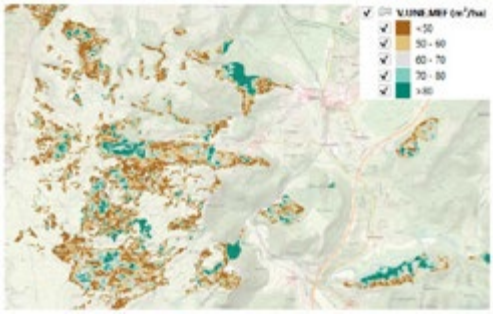
3.3 Caracterización de las masas desde la perspectiva de la madera de calidad

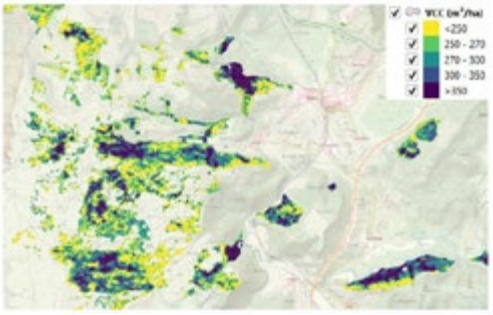
Tal y como se ha adelantado más arriba, una vez aplicadas las ecuaciones obtenidas a la cartografía obtenida en la primera anualidad (y entregada en el FV1), se obtiene la caracterización de las masas desde la perspectiva de la madera de calidad, en forma de archivos SIG.

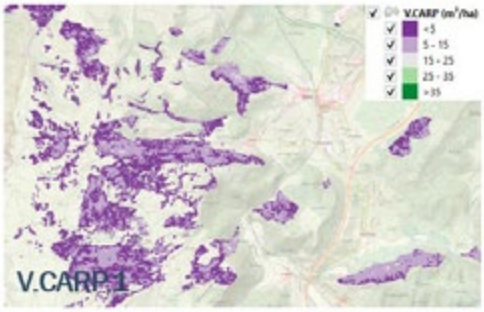
Junto con el presente informe se entregan los siguientes archivos (por su peso no se suben a la plataforma del ministerio sino que pueden descargarse de la web del proyecto https://www.gofagus.es/el-proyecto#resultados):

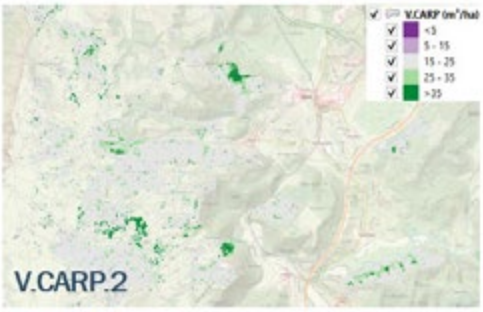
- Capa vectorial con todas las variables dasométricas y evaluadoras de la calidad de la madera (formato shape; src: ETRS89 UTM^{3}0; tamaño de celda vectorial: 25 m)

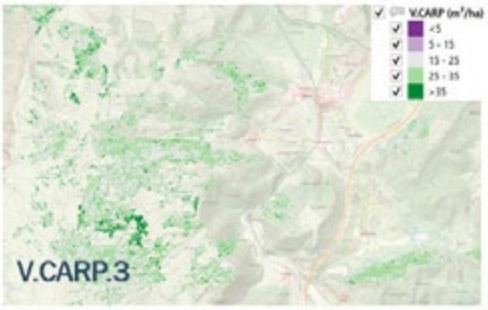
Como muestra de los resultados que pueden consultarse en dichos archivos, se muestran a continuación ejemplos de visualización de cada variable evaluadora de la calidad de la madera, en comparación con el volumen con corteza total en pie.

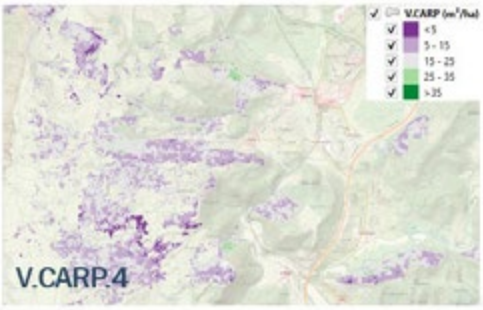


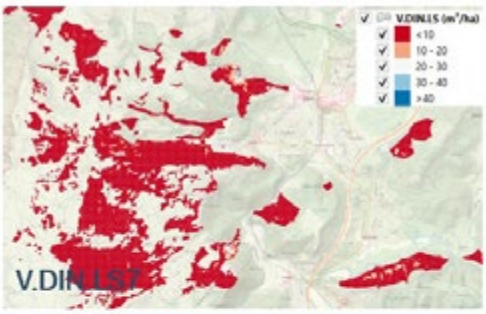


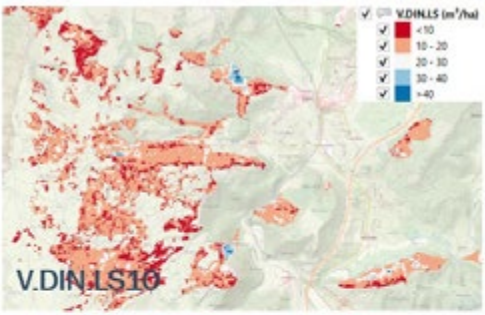


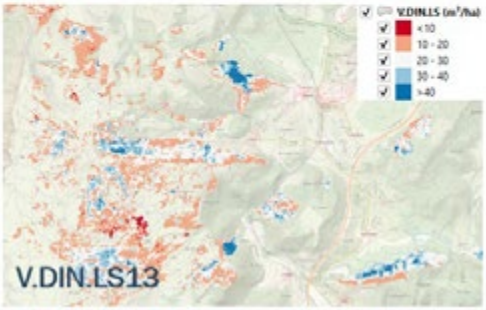


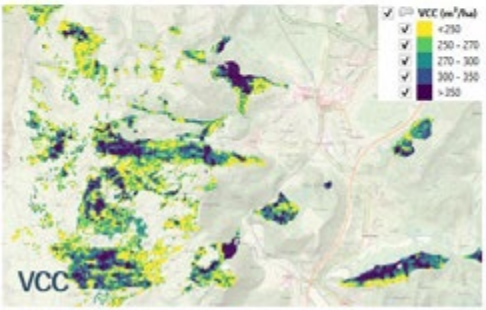












4.- SIMULACIONES Y LOS BALANCES ECONÓMICOS PARA LOS ITINERARIOS SELVÍCOLAS PROPUESTOS.

1. Introducción

El objetivo de este informe es explicar cuáles han sido los escenarios selvícolas analizados, el procedimiento de simulación empleado y el resultado de los balances económicos obtenidos, presentándose este último objetivo en un anexo al presente documento.

2. Itinerarios selvícolas

De entre las múltiples alternativas de gestión disponibles en la literatura y recomendadas por expertos en la gestión de la especie se llegó al acuerdo (corroborado por el resto de los socios) de abordar la simulación de 6 itinerarios, resumidas en las tablas 11 a 16.

ITINERARIO H1: Selvicultura de madera de calidad

El objetivo de gestión es obtener árboles con un volumen individual al final del turno de unos 1.5 m^3, haciendo intervenciones con un mínimo de 30-40 m^3/ha en cada intervención.

Tabla 11. Condiciones básicas del itinerario H1: Obtención de madera de calidad

Objetivo de gestión	Troncos >1,5 m^3
Forma principal de masa	Regular
Forma fundamental de masa	Monte Alto
Composición del rodal	Monoespecífica
Estructura del rodal	Masa regular
Tipo de regeneración	Regeneración natural
Clareo	Inicio a los 10-15años o 2-6m de Ho, dejar N=3500 pies/ha
Inicio plan de claras/podas	3 o 4 claras extrayendo un mínimo de 40 m^3/ha. Iniciando con una clara por lo bajo y siguiendo con selectivas.
Cortas de regeneración	Aclareo Sucesivo Uniforme
Corta final	90-140 años; 250 pies/ha

ITINERARIO H2: Selvicultura media partiendo de alta densidad

El objetivo de gestión es obtener árboles con un volumen individual al final del turno de entre 1 a 1.2 m^3, haciendo intervenciones con un mínimo de 30-40 m^3/ha en cada intervención y partiendo de una densidad inicial alta de unos 10000 pies/ha.

Tabla 12. Condiciones básicas del itinerario H2: estándar habitual partiendo de alta densidad

Objetivo de gestión	Troncos de 1 a 1,2 m^3
Forma principal de masa	Regular
Forma fundamental de masa	Monte Alto
Composición del rodal	Monoespecífica
Estructura del rodal	Masa regular
Tipo de regeneración	Regeneración natural.
Clareo	Inicio a los 10-15 años o 2-6m de Ho dejar N=6000 pies/ha
Inicio plan de claras/podas	4 o 5 claras extrayendo un mínimo de 40 m^3/ha. Iniciando con una clara por lo bajo y siguiendo con selectivas.
Cortas de regeneración	Aclareo Sucesivo Uniforme
Corta final	90-150 años; 350 pies/ha

ITINERARIO H3: Selvicultura media partiendo de baja densidad

El objetivo de gestión es obtener árboles con un volumen individual al final del turno de entre 1 a 1.2 m^3, haciendo intervenciones con un mínimo de 30-40 m^3/ha en cada intervención y partiendo de una densidad inicial baja de unos 4000 pies/ha.

Tabla 13. Condiciones básicas del itinerario H3: estándar habitual partiendo de baja densidad

Objetivo de gestión	Troncos de 1 a 1,2 m^3
Forma principal de masa	Regular
Forma fundamental de masa	Monte Alto
Composición del rodal	Monoespecífica
Estructura del rodal	Masa regular
Tipo de regeneración	Regeneración natural.
Clareo	inicio a los 10-15años o 2-6m de Ho dejar N=2000 pies/ha
Inicio plan de claras/podas	2 o 3 claras extrayendo un mínimo de 40 m^3/ha. Iniciando con una clara por lo bajo y siguiendo con selectivas.
Cortas de regeneración	Aclareo Sucesivo Uniforme
Corta final	90-150 años; 350 pies/ha

ITINERARIO H4: Continuous Cover Forestry (masa irregular)

El objetivo de gestión es obtener árboles con un volumen individual al final del turno de 1.5 m^3, con un tiempo de paso de 15, 25 o 35 años, extrayendo unos 75 m^3/ha en cada intervención y partiendo de una densidad de equilibrio de unos 500 pies/ha.

Tabla 14. Condiciones básicas del itinerario H3: Obtención de madera de calidad

Objetivo de gestión	Troncos >1,5 m^3
Forma principal de masa	Irregular con bosquetes o pie a pie
Forma fundamental de masa	Monte Alto
Composición del rodal	Monoespecífica
Estructura del rodal	Masa irregular
Tipo de regeneración	Regeneración natural.
Clareo y control de la competencia	Posibilidad de por bosquetes, además de entresaca
Inicio plan de claras/podas	Posibilidad de por bosquetes, además de entresaca
Cortas de regeneración	Constante de Liocurt=1.34 Área Basimétrica Normal=22 Diámetro objetivo= 70cm
Corta final	100-120 años; 80 pies/ha objetivo

ITINERARIO H5: Selvicultura media observada (Business As Usual)

El objetivo de gestión no se corresponde a un objetivo métrico productivo, sin clareos y esperando hasta los 50-60 años para la primera intervención, haciendo intervenciones con un mínimo de 30-40 m^3/ha en cada intervención, partiendo de una densidad inicial de unos 5000 pies/ha y obteniendo productos finales muy heterogéneos.

Tabla 15. Condiciones básicas del itinerario H5: Selvicultura media observada

Objetivo de gestión	Sin objetivos productivos
Forma principal de masa	Irregular
Forma fundamental de masa	Monte Alto/Monte Bajo
Composición del rodal	Monoespecífica
Estructura del rodal	Masa regular
Tipo de regeneración	Regeneración natural.
Clareo	inicio a los 50-60 años o 13-15 m de Ho dejar N=2500 pies/ha
Inicio plan de claras/podas	3 o 4 claras extrayendo unos de 40 m^3/ha. Iniciando con una clara por lo bajo y siguiendo con selectivas
Cortas de regeneración	Aclareo Sucesivo Uniforme
Corta final	90-140 años; 250 pies/ha

ITINERARIO H6: Sin Gestión

El último objetivo de gestión corresponde a la referencia de No Gestión, en donde dejamos que la masa evolucione de forma natural y las únicas intervenciones correspondan a mortalidad natural, en donde no se aprovecha nada de la masa hasta el final del turno.

3. Modelos de crecimiento aplicados a los Itinerarios selvícolas

Para la elaboración de los diferentes escenarios selvícolas se utilizaron Diagramas de Manejo de Densidad (DMD) construidos *adhoc*, a partir de las parcelas de 3er Inventario Forestal Nacional, en donde se ajustaron tanto para masas regulares como para masas no regulares. En los DMD se utiliza la gestión de la densidad como base para el control del espaciamiento y el crecimiento mediante la densidad inicial y las claras posteriores. Los DMD son modelos estáticos que representan gráficamente la relación entre producción y densidad Permite comparación sencilla de alternativas selvícolas Un nivel adecuado de densidad depende de: factores biológicos, factores tecnológicos, factores económicos y factores operacionales, y normalmente su punto óptimo es entre dos límites de densidad: (a) límite superior: a partir del cual hay mortalidad natural por competencia, y (b) límite inferior: por debajo del cual se pierde capacidad productiva.

Las principales diferencias con las tablas de producción es que:

- Representan gráficamente toda la información
- No requieren uso de ecuaciones de calidad de estación
- No fija evolución a priori de una densidad (nºpies/ha) concreta
- Son independientes de la calidad de estación y de la edad
- Requiere un índice de caracterización de la densidad (Índice de Reineke o Índice de Hart-Becking).

Las principales ventajas de los DMD son:

- Sencillos de aplicar y requieren variables normales de inventario
- Permite simular distintas alternativas de gestión
- Elaboración rápida de esquemas de claras
- Independientes de la edad (aunque permite el cálculo)

En nuestro caso se empleó el Índice de Hart-Becking para definir el espacio óptimo de densidad, y se utilizó como límite superior e inferior los observados en las parcelas de campo $\pm$ 2 veces la desviación estándar.

Para su construcción se utilizaron las siguientes funciones:

1. La primera de las funciones permite predecir el diámetro medio cuadrático (dg) a partir del número de pies por hectárea (N) y de la altura dominante (Ho) del rodal, y coincide con la tercera relación fundamental empleada en la construcción de las tablas de producción

$$DG \sim a_0 \cdot N^{a1} \cdot Ho^{a2}$$

2. La segunda de las funciones debe permitir estimar la productividad del rodal, expresada como el volumen total (V) a partir del Diámetro cuadrático medio (Dg) y del Número de pies (N). En el caso de que la variable elegida para incluir en el diagrama sea e l volumen, la segunda de las funciones coincide con la cuarta relación fundamental de las tablas de producción:

$$V \sim a_3 \cdot Dg^{a4} \cdot Ho^{a5} \cdot N^{a6}$$

Los DMD siempre tienen la misma estructura de tres tipos de isolíneas:

- Isolíneas de espaciamiento (Hart-Becking)
- Isolíneas de Volumen total en pie (V, en m^3/ha)
- Isolíneas de Diámetro cuadrático medio (Dg, en cm)

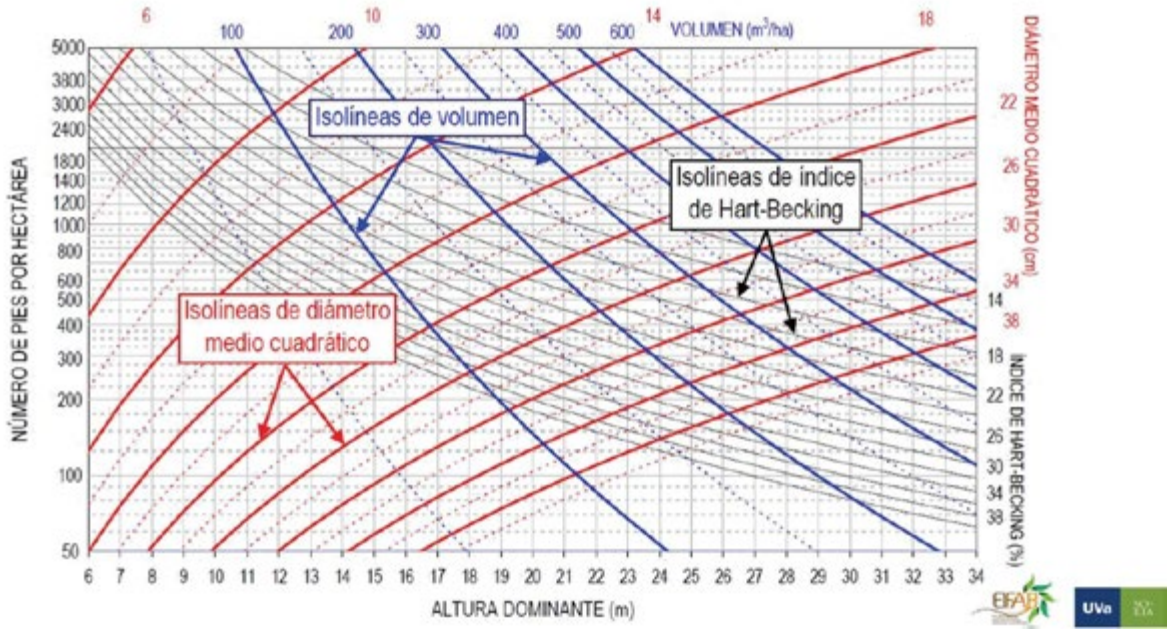


Figura 1. Esquema general de una Diagrama de Manejo de Densidad.

Utilizando DMD se puede predecir en cada punto las condiciones selvícolas de la masa, por lo que es fácil adaptar los resultados a estado tabular tipo tabla de producción.

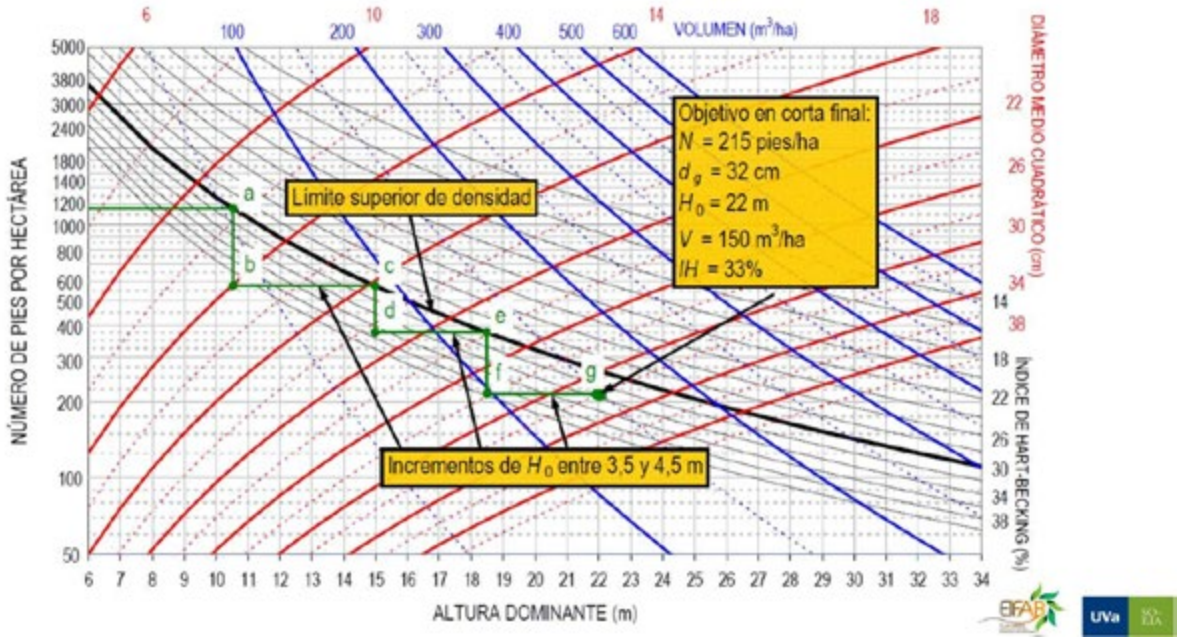


Figura 2. Ejemplo de un escenario selvícola aplicado en un DMD

En las siguientes tablas se muestran los principales estadísticos de la muestra de ajuste de los modelos del DMD (Tabla 16), los parámetros obtenidos tras el ajuste de los modelos del DMD (Tabla 17), y los estadísticos de bondad de ajuste de los modelos (Tabla 18).

Tabla 16. Estadísticos básicos de la muestra utilizada para el ajuste de los modelos del DMD.

FPM	n	N (pies/ha)		Ho (m)		Dg (cm)		V (m^3)	
		Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max
REG	628.0	15.3	2942.6	6.0	36.5	8.7	101.0	8.1	461.4
NOREG	682.0	15.3	3439.3	3.7	32.0	9.5	128.0	3.6	339.9

Tabla 17. Parámetros obtenidos tras el ajuste de los modelos del DMD.

FPM	a0	a1	a2	a3	a4	a5	a6
REG	54.276	-0.3352	0.4696	0.00023	1.5693	0.9738	0.9014
NOREG	52.717	-0.3259	0.4429	0.00056	1.4436	0.9143	0.8416

Tabla 18. Estadísticos de bondad de ajuste de los modelos obtenidos tras el ajuste del DMD.

FPM	Dg (cm)					V (m^3)				
	RMSE	RMSE (%)	ME	ME (%)	R2	RMSE	RMSE (%)	ME	ME (%)	R2
REG	6.373	18.7	-0.029	0.91	0.89	21.01	10.9	-0.224	0.79	0.97
NOREG	6.619	23.7	-0.137	0.58	0.87	24.09	17.2	-0.026	0.97	0.94

4. Simulaciones realizadas.

Los escenarios de calidad de estación a simular se determinaron tras analizar las ecuaciones de calidad de estación. Así, se decidió ejecutar las simulaciones para para las calidades de estación IS=13, IS=16, IS=19, IS=22 y IS=25 m a la edad de referencia (80 años). Para ello se utilizó la ecuación de calidad de estación de Ochoa (2000) creada originalmente para Navarra y con un IS máximo de 29.5:

$$H_2 = H_1 \cdot \left(\frac{1 - \frac{1}{e^{0.02 * t_2}}}{1 - \frac{1}{e^{0.02 * t_1}}} \right)^{1.4823}$$

Para cada itinerario, se generó un gráfico del DMD en donde se incorporaron cada una de las intervenciones. Se creo una tabla de producción con un intervalo de 5 años y se calcularon las variables habituales en las tablas de producción: Altura dominante (Ho), Número de pies por hectárea (N), Diámetro cuadrático medio (Dg), Área Basimétrica (G), Volumen (V), la Esbeltez (H/D) y el Índice de Hart (IH) tanto antes de la intervención, como después de la intervención como lo extraído en la intervención. También se calculó el Volumen Total Acumulado (VT) el crecimiento medio (CM) y el crecimiento corriente (CC) en volumen.

Se decidió que la simulación fuera a nivel de rodal puesto que las ecuaciones para estimar la clasificación de los distintos productos también se construyeron a nivel de rodal, por lo que a los resultados de las tablas de producción se les concatenó la estimación de los distintos productos.

Los Diagramas de Manejo de Densidad de cada uno de los itinerarios y las respectivas tablas de producción para las diferentes calidades de estación se muestran en las siguientes Figuras (3 – 8) y Tablas (19-44). En el caso del escenario H4 (masa irregular) se simuló la curva de equilibrio para las distintas calidades, de tal manera que estas últimas implican simplemente diferentes periodos de rotación. En el caso del escenario H6 (sin gestión) la masa extraída se corresponde en realidad con la masa muerta.

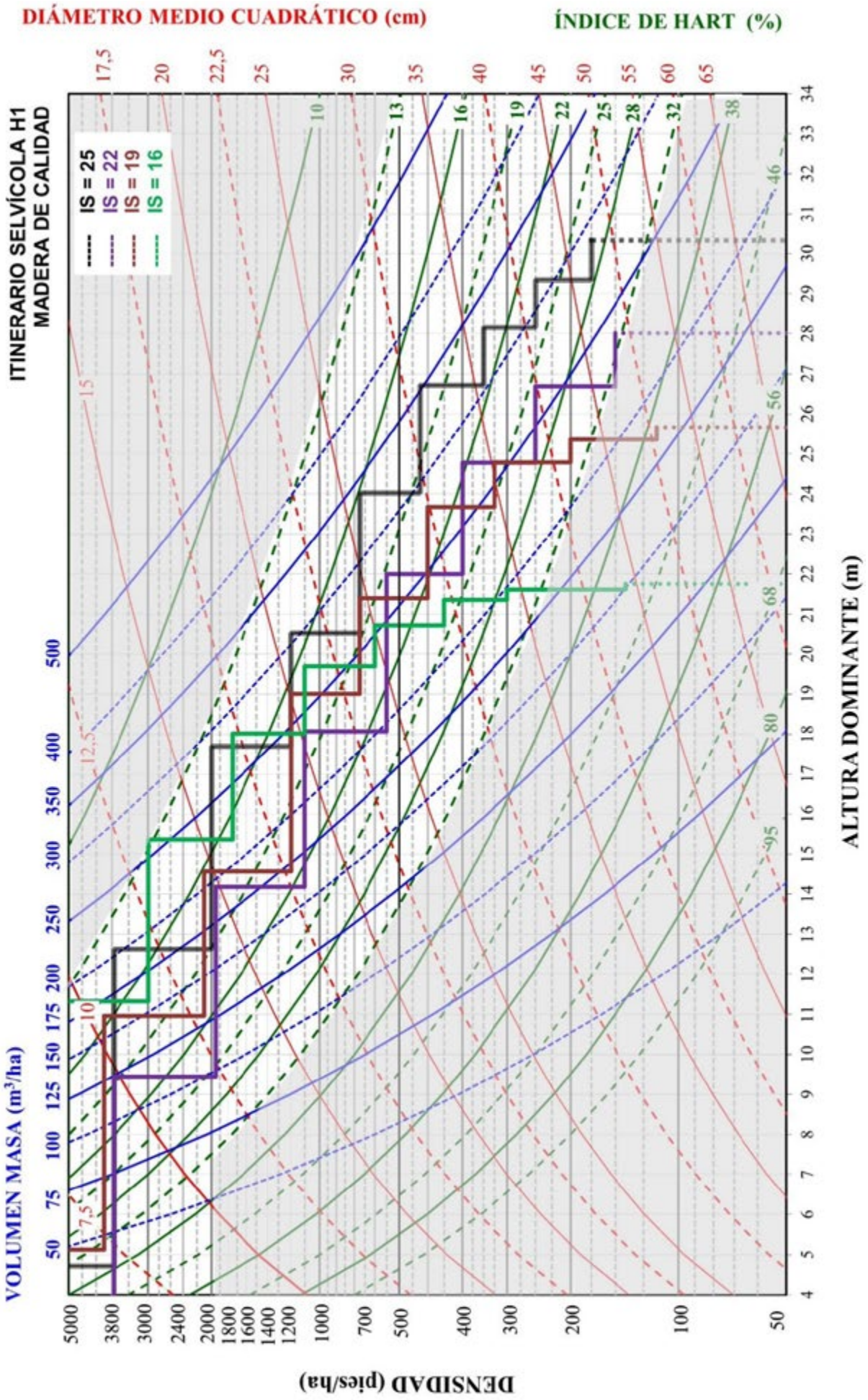


Figura 3. Diagrama de Manejo de Densidad del Itinerario H1 en función de las distintas calidades de estación

Tabla 19. Tabla de producción para la Calidad 25 del Itinerario H1

IS	EDAD	Ho	N	Dg	G	V	vi	H/D	IH	N	Dg	G	IH	V	N	Dg	G	V	H/D	IH	VT	CM	CC
ESTADO			ANTES DE LA CLARA							EXTRAIDO EN LA CLARA					DESPUÉS DE LA CLARA						CRECIMIENTO		
25	5	1,1	7000	2,9	4,6	3,8	0,0	37,1	120,2	0	0,0	0,0	0,0	0,0	7000	2,9	4,6	3,8	37,1	120,2	3,8	0,8	
25	10	2,8	7000	4,5	11,2	19,4	0,0	61,6	46,2	0	0,0	0,0	0,0	0,0	7000	4,5	11,2	19,4	61,6	46,2	19,4	1,9	3,1
25	15	4,7	7000	5,8	18,4	48,1	0,0	81,6	27,2	3250	3,7	3,4	10,0	10,1	3750	7,1	15,0	38,1	66,2	37,2	48,1	3,2	5,7
25	20	6,7	3750	8,4	20,9	70,1	0,0	80,0	26,0	0	0,0	0,0	0,0	0,0	3750	8,4	20,9	70,1	80,0	26,0	80,1	4,0	6,4
25	25	8,8	3750	9,5	26,8	109,8	0,0	91,9	20,0	0	0,0	0,0	0,0	0,0	3750	9,5	26,8	109,8	91,9	20,0	119,8	4,8	7,9
25	30	10,7	3750	10,5	32,4	155,3	0,0	102,4	16,3	0	0,0	0,0	0,0	0,0	3750	10,5	32,4	155,3	102,4	16,3	165,4	5,5	9,1
25	35	12,6	3750	11,3	37,7	205,0	0,1	111,6	13,9	1750	7,2	7,1	5,1	43,1	2000	14,0	30,7	161,9	90,4	19,0	215,1	6,1	9,9
25	40	14,4	2000	14,9	34,7	203,3	0,1	97,0	16,7	0	0,0	0,0	0,0	0,0	2000	14,9	34,7	203,3	97,0	16,7	256,4	6,4	8,3
25	45	16,1	2000	15,7	38,6	245,7	0,1	102,9	14,9	0	0,0	0,0	0,0	0,0	2000	15,7	38,6	245,7	102,9	14,9	298,9	6,6	8,5
25	50	17,7	2000	16,4	42,1	288,4	0,1	108,1	13,6	800	10,2	6,5	4,0	50,3	1200	19,4	35,6	238,1	91,1	17,5	341,6	6,8	8,5
25	55	19,2	1200	20,2	38,3	273,0	0,2	95,0	16,2	0	0,0	0,0	0,0	0,0	1200	20,2	38,3	273,0	95,0	16,2	376,5	6,8	7,0
25	60	20,5	1200	20,8	40,9	307,1	0,3	98,6	15,1	425	12,8	5,5	3,7	46,5	775	24,1	35,4	260,6	85,1	18,8	410,5	6,8	6,8
25	65	21,8	775	24,8	37,5	288,5	0,4	87,9	17,7	0	0,0	0,0	0,0	0,0	775	24,8	37,5	288,5	87,9	17,7	438,5	6,7	5,6
25	70	23,0	775	25,4	39,3	315,3	0,4	90,3	16,8	0	0,0	0,0	0,0	0,0	775	25,4	39,3	315,3	90,3	16,8	465,3	6,6	5,4
25	75	24,0	775	26,0	41,0	340,8	0,4	92,5	16,1	250	15,9	4,9	3,5	46,4	525	29,6	36,1	294,5	81,2	19,5	490,8	6,5	5,1
25	80	25,0	525	30,1	37,5	315,3	0,6	82,9	18,8	0	0,0	0,0	0,0	0,0	525	30,1	37,5	315,3	82,9	18,8	511,7	6,4	4,2
25	85	25,9	525	30,7	38,7	334,9	0,6	84,5	18,1	0	0,0	0,0	0,0	0,0	525	30,7	38,7	334,9	84,5	18,1	531,3	6,3	3,9
25	90	26,7	525	31,1	39,9	353,3	0,7	85,9	17,6	175	19,1	5,0	3,9	49,9	350	35,6	34,9	303,4	75,0	21,5	549,6	6,1	3,7
25	95	27,5	350	36,1	35,8	318,1	0,9	76,1	20,9	0	0,0	0,0	0,0	0,0	350	36,1	35,8	318,1	76,1	20,9	564,3	5,9	2,9
25	100	28,2	350	36,5	36,7	331,8	0,9	77,1	20,4	100	22,1	3,8	3,7	39,4	250	40,9	32,8	292,4	68,9	24,1	578,0	5,8	2,7
25	105	28,8	250	41,3	33,5	303,6	1,2	69,7	23,6	0	0,0	0,0	0,0	0,0	250	41,3	33,5	303,6	69,7	23,6	589,2	5,6	2,2
25	110	29,3	250	41,7	34,1	313,9	1,3	70,4	23,2	75	25,3	3,8	4,5	39,3	175	47,0	30,3	274,6	62,5	27,7	599,5	5,5	2,1
25	115	29,9	175	47,4	30,8	282,9	1,6	63,0	27,2	0	0,0	0,0	0,0	0,0	175	47,4	30,8	282,9	63,0	27,2	607,8	5,3	1,7
25	120	30,3	175	47,7	31,3	290,6	1,7	63,6	26,8	175	47,7	31,3	0,0	290,6	0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	615,5	5,1	1,5

Tabla 20. Tabla de producción para la Calidad 23 del Itinerario H1

IS	EDAD	Ho	N	Dg	G	V	vi	H/D	IH	N	Dg	G	IH	V	N	Dg	G	V	H/D	IH	VT	CM	CC
ESTADO			ANTES DE LA CLARA							EXTRAIDO EN LA CLARA					DESPUÉS DE LA CLARA						CRECIMIENTO		
22	5	0,9	7000	2,7	4,0	3,0	0,0	34,7	136,6	0	0,0	0,0	0,0	0,0	7000	2,7	4,0	3,0	34,7	136,6	3,0	0,6	
22	10	2,4	7000	4,2	9,9	15,6	0,0	57,6	52,5	3250	2,7	1,8	19,2	3,3	3750	5,2	8,1	12,4	46,7	71,8	18,9	1,9	3,2
22	15	4,2	3750	6,7	13,3	30,6	0,0	61,9	42,3	0	0,0	0,0	0,0	0,0	3750	6,7	13,3	30,6	61,9	42,3	33,9	2,3	3,0
22	20	5,9	3750	7,9	18,6	56,3	0,0	74,7	29,6	0	0,0	0,0	0,0	0,0	3750	7,9	18,6	56,3	74,7	29,6	59,6	3,0	5,1
22	25	7,7	3750	9,0	23,7	88,2	0,0	85,9	22,8	0	0,0	0,0	0,0	0,0	3750	9,0	23,7	88,2	85,9	22,8	91,5	3,7	6,4
22	30	9,4	3750	9,9	28,7	124,8	0,0	95,7	18,6	1800	6,3	5,6	7,2	27,2	1950	12,3	23,2	97,6	76,8	25,8	128,1	4,3	7,3
22	35	11,1	1950	13,3	27,0	128,9	0,1	83,7	21,9	0	0,0	0,0	0,0	0,0	1950	13,3	27,0	128,9	83,7	21,9	159,3	4,6	6,3
22	40	12,7	1950	14,1	30,6	161,8	0,1	89,9	19,2	0	0,0	0,0	0,0	0,0	1950	14,1	30,6	161,8	89,9	19,2	192,2	4,8	6,6
22	45	14,2	1950	14,9	33,9	195,6	0,1	95,3	17,2	850	9,3	5,8	5,7	37,8	1100	18,0	28,1	157,8	78,7	22,8	226,0	5,0	6,8
22	50	15,6	1100	18,8	30,7	185,2	0,2	82,7	20,8	0	0,0	0,0	0,0	0,0	1100	18,8	30,7	185,2	82,7	20,8	253,4	5,1	5,5
22	55	16,9	1100	19,6	33,0	212,3	0,2	86,2	19,2	0	0,0	0,0	0,0	0,0	1100	19,6	33,0	212,3	86,2	19,2	280,6	5,1	5,4
22	60	18,1	1100	20,2	35,2	238,8	0,2	89,4	17,9	450	12,6	5,6	5,4	42,8	650	24,1	29,6	196,0	75,0	23,3	307,1	5,1	5,3
22	65	19,2	650	24,8	31,3	217,0	0,3	77,4	22,0	0	0,0	0,0	0,0	0,0	650	24,8	31,3	217,0	77,4	22,0	328,1	5,0	4,2
22	70	20,2	650	25,4	32,9	237,2	0,4	79,6	20,9	0	0,0	0,0	0,0	0,0	650	25,4	32,9	237,2	79,6	20,9	348,3	5,0	4,0
22	75	21,1	650	25,9	34,3	256,4	0,4	81,5	19,9	0	0,0	0,0	0,0	0,0	650	25,9	34,3	256,4	81,5	19,9	367,5	4,9	3,8
22	80	22,0	650	26,4	35,7	274,5	0,4	83,2	19,2	250	16,4	5,3	5,3	45,7	400	31,1	30,4	228,8	70,7	24,4	385,6	4,8	3,6
22	85	22,8	400	31,6	31,4	243,0	0,6	72,1	23,6	0	0,0	0,0	0,0	0,0	400	31,6	31,4	243,0	72,1	23,6	399,8	4,7	2,8
22	90	23,5	400	32,1	32,3	256,3	0,6	73,3	22,9	0	0,0	0,0	0,0	0,0	400	32,1	32,3	256,3	73,3	22,9	413,1	4,6	2,7
22	95	24,2	400	32,5	33,2	268,8	0,7	74,4	22,2	0	0,0	0,0	0,0	0,0	400	32,5	33,2	268,8	74,4	22,2	425,6	4,5	2,5
22	100	24,8	400	32,9	34,0	280,3	0,7	75,3	21,7	150	20,3	4,9	5,7	45,3	250	38,5	29,1	235,0	64,4	27,4	437,1	4,4	2,3
22	105	25,3	250	38,9	29,7	244,0	1,0	65,1	26,8	0	0,0	0,0	0,0	0,0	250	38,9	29,7	244,0	65,1	26,8	446,1	4,2	1,8
22	110	25,8	250	39,3	30,3	252,3	1,0	65,8	26,3	0	0,0	0,0	0,0	0,0	250	39,3	30,3	252,3	65,8	26,3	454,4	4,1	1,7
22	115	26,3	250	39,6	30,8	259,9	1,0	66,4	25,9	0	0,0	0,0	0,0	0,0	250	39,6	30,8	259,9	66,4	25,9	462,1	4,0	1,5
22	120	26,7	250	39,9	31,2	267,0	1,1	67,0	25,5	100	24,8	4,8	7,4	46,6	150	47,3	26,4	220,4	56,4	32,9	469,1	3,9	1,4
22	125	27,1	150	47,6	26,7	225,7	1,5	56,8	32,4	0	0,0	0,0	0,0	0,0	150	47,6	26,7	225,7	56,8	32,4	474,5	3,8	1,1
22	130	27,4	150	47,9	27,0	230,6	1,5	57,2	32,0	0	0,0	0,0	0,0	0,0	150	47,9	27,0	230,6	57,2	32,0	479,4	3,7	1,0
22	135	27,7	150	48,2	27,3	235,1	1,6	57,6	31,7	0	0,0	0,0	0,0	0,0	150	48,2	27,3	235,1	57,6	31,7	483,8	3,6	0,9
22	140	28,0	150	48,4	27,6	239,2	1,6	57,9	31,3	150	48,4	27,6	0,0	239,2	0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	488,0	3,5	0,8

Tabla 21. Tabla de producción para la Calidad 19 del Itinerario H1

IS	EDAD	Ho	N	Dg	G	V	vi	H/D	IH	N	Dg	G	IH	V	N	Dg	G	V	H/D	IH	VT	CM	CC
ESTADO			ANTES DE LA CLARA							EXTRAIDO EN LA CLARA					DESPUÉS DE LA CLARA						CRECIMIENTO		
19	5	0,8	7000	2,5	3,5	2,4	0,0	32,1	158,1	0	0,0	0,0	0,0	0,0	7000	2,5	3,5	2,4	32,1	158,1	2,4	0,5	
19	10	2,1	7000	4,0	8,6	12,2	0,0	53,3	60,8	0	0,0	0,0	0,0	0,0	7000	4,0	8,6	12,2	53,3	60,8	12,2	1,2	2,0
19	15	3,6	7000	5,1	14,2	30,1	0,0	70,6	35,8	0	0,0	0,0	0,0	0,0	7000	5,1	14,2	30,1	70,6	35,8	30,1	2,0	3,6
19	20	5,1	7000	6,0	19,9	55,4	0,0	85,2	25,1	3000	3,8	3,3	8,1	10,5	4000	7,3	16,5	44,9	70,7	33,2	55,4	2,8	5,1
19	25	6,7	4000	8,2	21,1	70,3	0,0	81,2	25,5	0	0,0	0,0	0,0	0,0	4000	8,2	21,1	70,3	81,2	25,5	80,8	3,2	5,1
19	30	8,2	4000	9,0	25,6	99,5	0,0	90,4	20,8	0	0,0	0,0	0,0	0,0	4000	9,0	25,6	99,5	90,4	20,8	110,0	3,7	5,8
19	35	9,6	4000	9,7	29,8	131,3	0,0	98,6	17,7	0	0,0	0,0	0,0	0,0	4000	9,7	29,8	131,3	98,6	17,7	141,8	4,1	6,4
19	40	11,0	4000	10,4	33,7	164,9	0,0	105,8	15,5	1900	6,6	6,5	5,9	35,4	2100	12,9	27,3	129,5	85,2	21,4	175,4	4,4	6,7
19	45	12,2	2100	13,5	30,3	156,5	0,1	90,4	19,1	0	0,0	0,0	0,0	0,0	2100	13,5	30,3	156,5	90,4	19,1	202,4	4,5	5,4
19	50	13,4	2100	14,2	33,1	183,7	0,1	95,0	17,4	0	0,0	0,0	0,0	0,0	2100	14,2	33,1	183,7	95,0	17,4	229,6	4,6	5,4
19	55	14,6	2100	14,7	35,6	210,6	0,1	99,1	16,1	900	9,2	6,0	5,2	39,9	1200	17,7	29,6	170,7	82,2	21,3	256,5	4,7	5,4
19	60	15,6	1200	18,3	31,6	192,0	0,2	85,2	19,9	0	0,0	0,0	0,0	0,0	1200	18,3	31,6	192,0	85,2	19,9	277,8	4,6	4,3
19	65	16,6	1200	18,8	33,4	212,6	0,2	87,9	18,7	0	0,0	0,0	0,0	0,0	1200	18,8	33,4	212,6	87,9	18,7	298,4	4,6	4,1
19	70	17,4	1200	19,3	35,1	232,4	0,2	90,4	17,8	0	0,0	0,0	0,0	0,0	1200	19,3	35,1	232,4	90,4	17,8	318,2	4,5	4,0
19	75	18,3	1200	19,7	36,6	251,2	0,2	92,6	17,0	0	0,0	0,0	0,0	0,0	1200	19,7	36,6	251,2	92,6	17,0	337,0	4,5	3,8
19	80	19,0	1200	20,1	38,0	268,9	0,2	94,6	16,3	425	12,4	5,1	4,0	40,7	775	23,3	32,9	228,2	81,7	20,3	354,8	4,4	3,6
19	85	19,7	775	23,6	34,0	242,4	0,3	83,2	19,6	0	0,0	0,0	0,0	0,0	775	23,6	34,0	242,4	83,2	19,6	369,0	4,3	2,8
19	90	20,3	775	24,0	35,0	255,7	0,3	84,6	19,0	0	0,0	0,0	0,0	0,0	775	24,0	35,0	255,7	84,6	19,0	382,2	4,2	2,7
19	95	20,9	775	24,3	36,0	268,1	0,3	85,9	18,5	0	0,0	0,0	0,0	0,0	775	24,3	36,0	268,1	85,9	18,5	394,6	4,2	2,5
19	100	21,4	775	24,6	36,8	279,6	0,4	87,0	18,0	275	15,1	5,0	4,4	42,4	500	28,5	31,9	237,2	75,1	22,5	406,2	4,1	2,3
19	105	21,9	500	28,8	32,5	246,3	0,5	76,0	22,0	0	0,0	0,0	0,0	0,0	500	28,8	32,5	246,3	76,0	22,0	415,2	4,0	1,8
19	110	22,3	500	29,0	33,1	254,6	0,5	76,8	21,5	0	0,0	0,0	0,0	0,0	500	29,0	33,1	254,6	76,8	21,5	423,6	3,9	1,7
19	115	22,7	500	29,3	33,7	262,4	0,5	77,5	21,2	0	0,0	0,0	0,0	0,0	500	29,3	33,7	262,4	77,5	21,2	431,3	3,8	1,5
19	120	23,1	500	29,5	34,2	269,5	0,5	78,1	20,8	0	0,0	0,0	0,0	0,0	500	29,5	34,2	269,5	78,1	20,8	438,4	3,7	1,4
19	125	23,4	500	29,7	34,6	276,0	0,6	78,7	20,6	0	0,0	0,0	0,0	0,0	500	29,7	34,6	276,0	78,7	20,6	445,0	3,6	1,3
19	130	23,7	500	29,9	35,0	282,0	0,6	79,3	20,3	175	18,4	4,6	4,9	42,1	325	34,5	30,4	239,9	68,6	25,2	451,0	3,5	1,2
19	135	23,9	325	34,7	30,7	244,6	0,8	69,0	24,9	0	0,0	0,0	0,0	0,0	325	34,7	30,7	244,6	69,0	24,9	455,7	3,4	0,9
19	140	24,2	325	34,9	31,0	248,9	0,8	69,4	24,6	0	0,0	0,0	0,0	0,0	325	34,9	31,0	248,9	69,4	24,6	459,9	3,3	0,9
19	145	24,4	325	35,0	31,3	252,8	0,8	69,7	24,4	0	0,0	0,0	0,0	0,0	325	35,0	31,3	252,8	69,7	24,4	463,8	3,2	0,8
19	150	24,6	325	35,1	31,5	256,3	0,8	70,0	24,2	0	0,0	0,0	0,0	0,0	325	35,1	31,5	256,3	70,0	24,2	467,4	3,1	0,7
19	155	24,8	325	35,3	31,7	259,6	0,8	70,3	24,0	125	21,9	4,7	6,6	43,3	200	41,5	27,0	216,3	59,7	30,7	470,7	3,0	0,7
19	160	25,0	200	41,6	27,2	218,8	1,1	59,9	30,4	0	0,0	0,0	0,0	0,0	200	41,6	27,2	218,8	59,9	30,4	473,1	3,0	0,5
19	165	25,1	200	41,7	27,4	221,1	1,1	60,1	30,3	0	0,0	0,0	0,0	0,0	200	41,7	27,4	221,1	60,1	30,3	475,4	2,9	0,5
19	170	25,2	200	41,8	27,5	223,1	1,1	60,3	30,1	0	0,0	0,0	0,0	0,0	200	41,8	27,5	223,1	60,3	30,1	477,4	2,8	0,4
19	175	25,4	200	41,9	27,6	225,0	1,1	60,5	30,0	85	26,3	4,6	9,5	42,2	115	50,5	23,0	182,8	50,2	39,5	479,3	2,7	0,4
19	180	25,5	115	50,6	23,1	184,1	1,6	50,3	39,3	0	0,0	0,0	0,0	0,0	115	50,6	23,1	184,1	50,3	39,3	480,7	2,7	0,3
19	185	25,6	115	50,7	23,2	185,4	1,6	50,5	39,2	0	0,0	0,0	0,0	0,0	115	50,7	23,2	185,4	50,5	39,2	481,9	2,6	0,3
19	190	25,7	115	50,8	23,3	186,5	1,6	50,5	39,0	115	50,8	23,3	0,0	186,5	0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	483,1	2,5	0,2

Tabla 22. Tabla de producción para la Calidad 16 del Itinerario H1

IS	EDAD	Ho	N	Dg	G	V	vi	H/D	IH	N	Dg	G	IH	V	N	Dg	G	V	H/D	IH	VT	CM	CC
ESTADO			ANTES DE LA CLARA							EXTRAIDO EN LA CLARA					DESPUÉS DE LA CLARA						CRECIMIENTO		
16	5	0,7	7000	2,3	3,0	1,8	0,0	29,3	187,8	0	0,0	0,0	0,0	0,0	7000	2,3	3,0	1,8	29,3	187,8	1,8	0,4	
16	10	1,8	7000	3,7	7,3	9,1	0,0	48,6	72,2	0	0,0	0,0	0,0	0,0	7000	3,7	7,3	9,1	48,6	72,2	9,1	0,9	1,5
16	15	3,0	7000	4,7	12,1	22,4	0,0	64,4	42,5	0	0,0	0,0	0,0	0,0	7000	4,7	12,1	22,4	64,4	42,5	22,4	1,5	2,7
16	20	4,3	7000	5,5	16,9	41,3	0,0	77,8	29,8	0	0,0	0,0	0,0	0,0	7000	5,5	16,9	41,3	77,8	29,8	41,3	2,1	3,8
16	25	5,6	7000	6,3	21,6	64,7	0,0	89,4	22,9	3200	4,0	3,9	8,2	13,3	3800	7,7	17,7	51,4	72,9	31,1	64,7	2,6	4,7
16	30	6,9	3800	8,5	21,4	72,7	0,0	81,2	25,4	0	0,0	0,0	0,0	0,0	3800	8,5	21,4	72,7	81,2	25,4	86,0	2,9	4,3
16	35	8,1	3800	9,1	24,9	96,0	0,0	88,5	21,6	0	0,0	0,0	0,0	0,0	3800	9,1	24,9	96,0	88,5	21,6	109,3	3,1	4,7
16	40	9,2	3800	9,7	28,2	120,6	0,0	94,9	18,9	0	0,0	0,0	0,0	0,0	3800	9,7	28,2	120,6	94,9	18,9	133,8	3,3	4,9
16	45	10,3	3800	10,2	31,3	145,7	0,0	100,7	16,9	0	0,0	0,0	0,0	0,0	3800	10,2	31,3	145,7	100,7	16,9	159,0	3,5	5,0
16	50	11,3	3800	10,7	34,2	171,0	0,0	105,8	15,4	1850	6,8	6,8	6,1	37,9	1950	13,4	27,5	133,1	84,6	21,5	184,3	3,7	5,1
16	55	12,3	1950	13,9	29,6	152,7	0,1	88,2	19,8	0	0,0	0,0	0,0	0,0	1950	13,9	29,6	152,7	88,2	19,8	203,8	3,7	3,9
16	60	13,1	1950	14,4	31,6	171,7	0,1	91,5	18,5	0	0,0	0,0	0,0	0,0	1950	14,4	31,6	171,7	91,5	18,5	222,9	3,7	3,8
16	65	13,9	1950	14,8	33,4	190,1	0,1	94,5	17,4	0	0,0	0,0	0,0	0,0	1950	14,8	33,4	190,1	94,5	17,4	241,3	3,7	3,7
16	70	14,7	1950	15,1	35,0	207,8	0,1	97,1	16,6	0	0,0	0,0	0,0	0,0	1950	15,1	35,0	207,8	97,1	16,6	258,9	3,7	3,5
16	75	15,4	1950	15,5	36,6	224,6	0,1	99,5	15,8	750	9,6	5,4	4,3	37,4	1200	18,2	31,2	187,2	84,5	20,2	275,8	3,7	3,4
16	80	16,0	1200	18,5	32,4	200,4	0,2	86,3	19,4	0	0,0	0,0	0,0	0,0	1200	18,5	32,4	200,4	86,3	19,4	289,0	3,6	2,6
16	85	16,6	1200	18,8	33,5	212,9	0,2	88,0	18,7	0	0,0	0,0	0,0	0,0	1200	18,8	33,5	212,9	88,0	18,7	301,5	3,5	2,5
16	90	17,1	1200	19,1	34,4	224,6	0,2	89,4	18,1	0	0,0	0,0	0,0	0,0	1200	19,1	34,4	224,6	89,4	18,1	313,1	3,5	2,3
16	95	17,6	1200	19,4	35,4	235,5	0,2	90,8	17,6	0	0,0	0,0	0,0	0,0	1200	19,4	35,4	235,5	90,8	17,6	324,0	3,4	2,2
16	100	18,0	1200	19,6	36,2	245,6	0,2	92,0	17,2	475	12,2	5,5	4,9	42,3	725	23,2	30,6	203,2	77,7	22,2	334,1	3,3	2,0
16	105	18,4	725	23,4	31,3	211,0	0,3	78,6	21,7	0	0,0	0,0	0,0	0,0	725	23,4	31,3	211,0	78,6	21,7	341,9	3,3	1,6
16	110	18,8	725	23,7	31,9	218,2	0,3	79,4	21,3	0	0,0	0,0	0,0	0,0	725	23,7	31,9	218,2	79,4	21,3	349,1	3,2	1,4
16	115	19,1	725	23,8	32,4	224,8	0,3	80,1	20,9	0	0,0	0,0	0,0	0,0	725	23,8	32,4	224,8	80,1	20,9	355,7	3,1	1,3
16	120	19,4	725	24,0	32,9	230,9	0,3	80,8	20,6	0	0,0	0,0	0,0	0,0	725	24,0	32,9	230,9	80,8	20,6	361,8	3,0	1,2
16	125	19,7	725	24,2	33,3	236,5	0,3	81,4	20,3	275	15,0	4,8	5,5	38,8	450	28,4	28,5	197,7	69,4	25,7	367,4	2,9	1,1
16	130	19,9	450	28,5	28,8	202,0	0,4	69,8	25,4	0	0,0	0,0	0,0	0,0	450	28,5	28,8	202,0	69,8	25,4	371,7	2,9	0,9
16	135	20,2	450	28,7	29,1	206,0	0,5	70,3	25,1	0	0,0	0,0	0,0	0,0	450	28,7	29,1	206,0	70,3	25,1	375,6	2,8	0,8
16	140	20,4	450	28,8	29,4	209,6	0,5	70,6	24,9	0	0,0	0,0	0,0	0,0	450	28,8	29,4	209,6	70,6	24,9	379,2	2,7	0,7
16	145	20,6	450	29,0	29,6	212,9	0,5	71,0	24,6	0	0,0	0,0	0,0	0,0	450	29,0	29,6	212,9	71,0	24,6	382,5	2,6	0,7
16	150	20,7	450	29,1	29,9	215,9	0,5	71,3	24,4	175	18,0	4,5	6,8	36,4	275	34,3	25,4	179,4	60,4	31,3	385,5	2,6	0,6
16	155	20,9	275	34,4	25,6	181,7	0,7	60,7	31,0	0	0,0	0,0	0,0	0,0	275	34,4	25,6	181,7	60,7	31,0	387,8	2,5	0,5
16	160	21,0	275	34,5	25,7	183,8	0,7	60,9	30,8	0	0,0	0,0	0,0	0,0	275	34,5	25,7	183,8	60,9	30,8	389,9	2,4	0,4
16	165	21,1	275	34,6	25,9	185,7	0,7	61,1	30,7	0	0,0	0,0	0,0	0,0	275	34,6	25,9	185,7	61,1	30,7	391,8	2,4	0,4
16	170	21,3	275	34,7	26,0	187,4	0,7	61,3	30,5	0	0,0	0,0	0,0	0,0	275	34,7	26,0	187,4	61,3	30,5	393,5	2,3	0,3
16	175	21,4	275	34,8	26,1	189,0	0,7	61,4	30,3	125	21,9	4,7	10,7	38,5	150	42,6	21,4	150,5	50,1	41,1	395,1	2,3	0,3
16	180	21,5	150	42,7	21,5	151,6	1,0	50,2	40,9	0	0,0	0,0	0,0	0,0	150	42,7	21,5	151,6	50,2	40,9	396,2	2,2	0,2
16	185	21,5	150	42,8	21,6	152,7	1,0	50,3	40,7	0	0,0	0,0	0,0	0,0	150	42,8	21,6	152,7	50,3	40,7	397,2	2,1	0,2
16	190	21,6	150	42,8	21,6	153,6	1,0	50,4	40,6	60	26,7	3,4	11,8	26,8	90	50,9	18,3	126,8	42,5	52,4	398,2	2,1	0,2
16	195	21,7	90	50,9	18,3	127,5	1,4	42,6	52,2	0	0,0	0,0	0,0	0,0	90	50,9	18,3	127,5	42,6	52,2	398,9	2,0	0,1
16	200	21,7	90	51,0	18,4	128,1	1,4	42,6	52,1	90	51,0	18,4	0,0	128,1	0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	399,5	2,0	0,1

Tabla 23. Tabla de producción para la Calidad 13 del Itinerario H1

IS	EDAD	Ho	N	Dg	G	V	vi	H/D	IH	N	Dg	G	IH	V	N	Dg	G	V	H/D	IH	VT	CM	CC
ESTADO			ANTES DE LA CLARA							EXTRAIDO EN LA CLARA					DESPUÉS DE LA CLARA						CRECIMIENTO		
13	5	0,6	7000	2,1	2,5	1,2	0,0	26,2	231,1	0	0,0	0,0	0,0	0,0	7000	2,1	2,5	1,2	26,2	231,1	1,2	0,2	
13	10	1,4	7000	3,3	6,0	6,4	0,0	43,6	88,9	0	0,0	0,0	0,0	0,0	7000	3,3	6,0	6,4	43,6	88,9	6,4	0,6	1,0
13	15	2,5	7000	4,3	9,9	15,7	0,0	57,7	52,3	0	0,0	0,0	0,0	0,0	7000	4,3	9,9	15,7	57,7	52,3	15,7	1,0	1,9
13	20	3,5	7000	5,0	13,9	28,9	0,0	69,7	36,6	0	0,0	0,0	0,0	0,0	7000	5,0	13,9	28,9	69,7	36,6	28,9	1,4	2,6
13	25	4,6	7000	5,7	17,8	45,3	0,0	80,1	28,2	3400	3,6	3,5	11,1	10,0	3600	7,1	14,3	35,3	64,1	39,3	45,3	1,8	3,3
13	30	5,6	3600	7,8	17,3	50,0	0,0	71,4	32,1	0	0,0	0,0	0,0	0,0	3600	7,8	17,3	50,0	71,4	32,1	60,0	2,0	2,9
13	35	6,6	3600	8,4	20,1	66,0	0,0	77,8	27,3	0	0,0	0,0	0,0	0,0	3600	8,4	20,1	66,0	77,8	27,3	76,0	2,2	3,2
13	40	7,5	3600	9,0	22,8	82,8	0,0	83,5	23,9	0	0,0	0,0	0,0	0,0	3600	9,0	22,8	82,8	83,5	23,9	92,8	2,3	3,4
13	45	8,4	3600	9,5	25,3	100,1	0,0	88,5	21,4	0	0,0	0,0	0,0	0,0	3600	9,5	25,3	100,1	88,5	21,4	110,1	2,4	3,5
13	50	9,2	3600	9,9	27,6	117,5	0,0	93,1	19,5	1850	6,3	5,8	8,5	27,9	1750	12,6	21,8	89,6	73,1	27,9	127,5	2,6	3,5
13	55	10,0	1750	13,1	23,5	102,8	0,1	76,2	25,8	0	0,0	0,0	0,0	0,0	1750	13,1	23,5	102,8	76,2	25,8	140,6	2,6	2,6
13	60	10,7	1750	13,5	25,1	115,6	0,1	79,1	24,1	0	0,0	0,0	0,0	0,0	1750	13,5	25,1	115,6	79,1	24,1	153,5	2,6	2,6
13	65	11,3	1750	13,9	26,5	128,0	0,1	81,6	22,7	0	0,0	0,0	0,0	0,0	1750	13,9	26,5	128,0	81,6	22,7	165,9	2,6	2,5
13	70	11,9	1750	14,2	27,8	139,9	0,1	83,9	21,5	0	0,0	0,0	0,0	0,0	1750	14,2	27,8	139,9	83,9	21,5	177,8	2,5	2,4
13	75	12,5	1750	14,5	29,0	151,2	0,1	85,9	20,6	850	9,3	5,7	8,1	33,4	900	18,2	23,3	117,8	68,8	28,7	189,1	2,5	2,3
13	80	13,0	900	18,5	24,2	126,1	0,1	70,2	27,6	0	0,0	0,0	0,0	0,0	900	18,5	24,2	126,1	70,2	27,6	197,4	2,5	1,7
13	85	13,5	900	18,8	25,0	134,0	0,1	71,6	26,6	0	0,0	0,0	0,0	0,0	900	18,8	25,0	134,0	71,6	26,6	205,2	2,4	1,6
13	90	13,9	900	19,1	25,8	141,3	0,2	72,8	25,8	0	0,0	0,0	0,0	0,0	900	19,1	25,8	141,3	72,8	25,8	212,6	2,4	1,5
13	95	14,3	900	19,3	26,5	148,2	0,2	73,8	25,1	0	0,0	0,0	0,0	0,0	900	19,3	26,5	148,2	73,8	25,1	219,4	2,3	1,4
13	100	14,6	900	19,6	27,1	154,5	0,2	74,8	24,5	400	12,3	4,8	8,4	30,6	500	23,8	22,3	123,9	61,4	32,8	225,8	2,3	1,3
13	105	15,0	500	24,1	22,8	128,7	0,3	62,1	32,1	0	0,0	0,0	0,0	0,0	500	24,1	22,8	128,7	62,1	32,1	230,5	2,2	0,9
13	110	15,3	500	24,3	23,2	133,0	0,3	62,8	31,5	0	0,0	0,0	0,0	0,0	500	24,3	23,2	133,0	62,8	31,5	234,9	2,1	0,9
13	115	15,5	500	24,5	23,6	137,1	0,3	63,4	30,9	0	0,0	0,0	0,0	0,0	500	24,5	23,6	137,1	63,4	30,9	239,0	2,1	0,8
13	120	15,8	500	24,7	23,9	140,8	0,3	63,9	30,5	0	0,0	0,0	0,0	0,0	500	24,7	23,9	140,8	63,9	30,5	242,7	2,0	0,7
13	125	16,0	500	24,8	24,2	144,2	0,3	64,4	30,0	0	0,0	0,0	0,0	0,0	500	24,8	24,2	144,2	64,4	30,0	246,1	2,0	0,7
13	130	16,2	500	25,0	24,5	147,3	0,3	64,8	29,7	0	0,0	0,0	0,0	0,0	500	25,0	24,5	147,3	64,8	29,7	249,2	1,9	0,6
13	135	16,4	500	25,1	24,8	150,2	0,3	65,2	29,3	200	15,6	3,8	8,5	26,2	300	29,8	21,0	124,0	54,9	37,9	252,1	1,9	0,6
13	140	16,5	300	30,0	21,2	126,2	0,4	55,2	37,5	0	0,0	0,0	0,0	0,0	300	30,0	21,2	126,2	55,2	37,5	254,3	1,8	0,4
13	145	16,7	300	30,1	21,3	128,1	0,4	55,5	37,2	0	0,0	0,0	0,0	0,0	300	30,1	21,3	128,1	55,5	37,2	256,2	1,8	0,4
13	150	16,8	300	30,2	21,5	130,0	0,4	55,7	36,8	0	0,0	0,0	0,0	0,0	300	30,2	21,5	130,0	55,7	36,8	258,0	1,7	0,4
13	155	17,0	300	30,3	21,6	131,6	0,4	56,0	36,6	0	0,0	0,0	0,0	0,0	300	30,3	21,6	131,6	56,0	36,6	259,7	1,7	0,3
13	160	17,1	300	30,4	21,8	133,1	0,4	56,2	36,3	0	0,0	0,0	0,0	0,0	300	30,4	21,8	133,1	56,2	36,3	261,2	1,6	0,3
13	165	17,2	300	30,5	21,9	134,5	0,4	56,3	36,1	0	0,0	0,0	0,0	0,0	300	30,5	21,9	134,5	56,3	36,1	262,6	1,6	0,3
13	170	17,3	300	30,6	22,0	135,7	0,5	56,5	35,9	130	19,2	3,8	11,8	26,1	170	37,0	18,3	109,7	46,7	47,7	263,8	1,6	0,2
13	175	17,4	170	37,1	18,3	110,6	0,7	46,8	47,5	0	0,0	0,0	0,0	0,0	170	37,1	18,3	110,6	46,8	47,5	264,7	1,5	0,2
13	180	17,4	170	37,1	18,4	111,4	0,7	46,9	47,3	0	0,0	0,0	0,0	0,0	170	37,1	18,4	111,4	46,9	47,3	265,6	1,5	0,2
13	185	17,5	170	37,2	18,5	112,2	0,7	47,0	47,1	60	22,9	2,5	11,5	16,9	110	43,1	16,0	95,3	40,6	58,6	266,3	1,4	0,2
13	190	17,6	110	43,1	16,1	95,8	0,9	40,7	58,3	0	0,0	0,0	0,0	0,0	110	43,1	16,1	95,8	40,7	58,3	266,9	1,4	0,1
13	195	17,6	110	43,2	16,1	96,4	0,9	40,8	58,2	0	0,0	0,0	0,0	0,0	110	43,2	16,1	96,4	40,8	58,2	267,4	1,4	0,1
13	200	17,7	110	43,3	16,2	96,9	0,9	40,9	58,0	110	43,3	16,2	0,0	96,9	0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	267,9	1,3	0,1

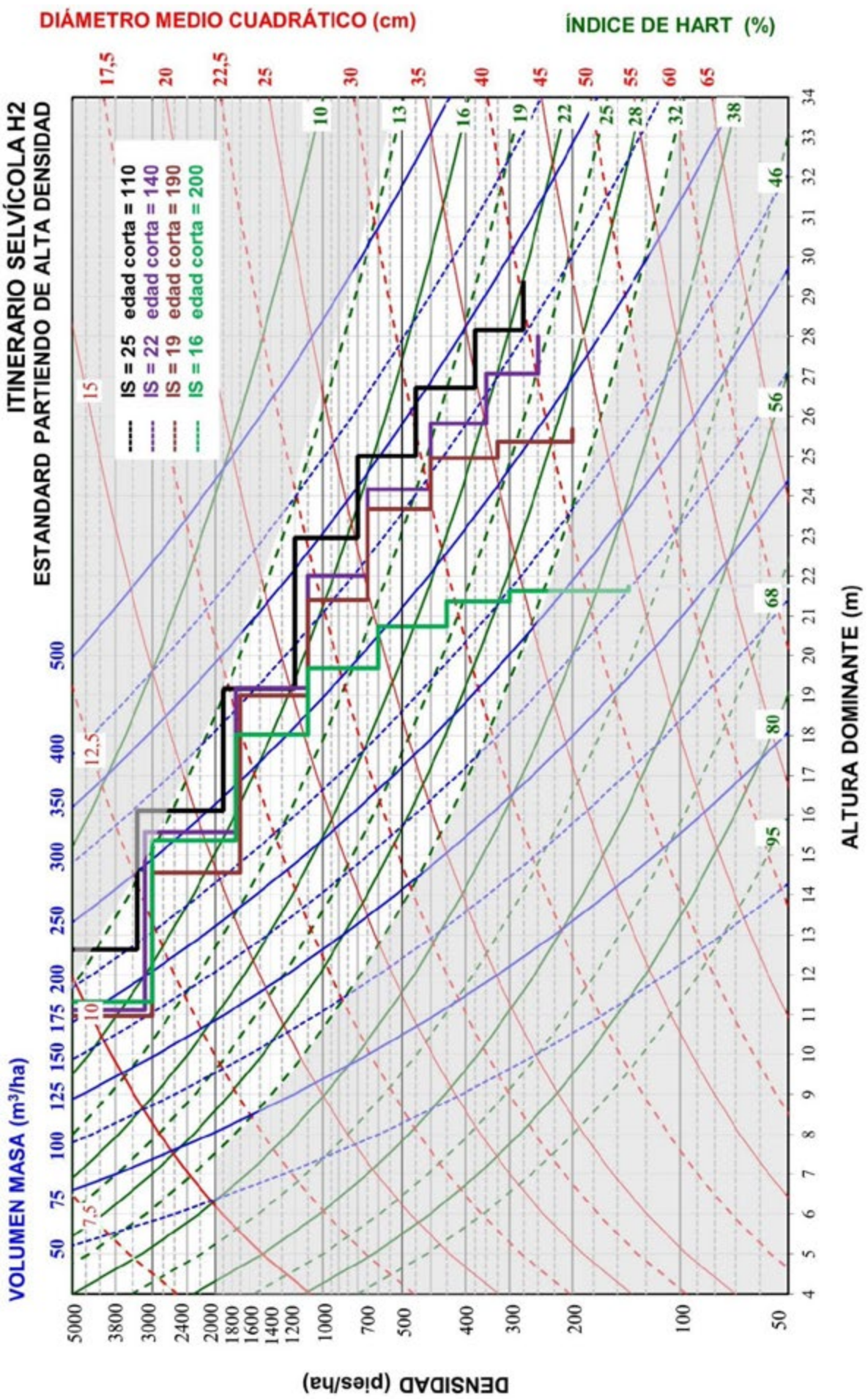


Figura 4. Diagrama de Manejo de Densidad del Itinerario H2 en función de las distintas calidades de estación

Tabla 24. Tabla de producción para la Calidad 25 del Itinerario H2

IS	EDAD	Ho	N	Dg	G	V	vi	H/D	IH	N	Dg	G	IH	V	N	Dg	G	V	H/D	IH	VT	CM	CC
ESTADO			ANTES DE LA CLARA							EXTRAIDO EN LA CLARA					DESPUÉS DE LA CLARA						CRECIMIENTO		
25	5	1,1	10000	2,6	5,1	4,3	0,0	41,8	100,5	0	0,0	0,0	0,0	0,0	10000	2,6	5,1	4,3	41,8	100,5	4,3	0,9	
25	10	2,8	10000	4,0	12,6	22,2	0,0	69,4	38,7	0	0,0	0,0	0,0	0,0	10000	4,0	12,6	22,2	69,4	38,7	22,2	2,2	3,6
25	15	4,7	10000	5,1	20,7	55,0	0,0	92,0	22,8	4000	3,2	3,2	6,6	9,6	6000	6,1	17,5	45,4	77,5	29,4	55,0	3,7	6,6
25	20	6,7	6000	7,2	24,4	83,6	0,0	93,6	20,6	0	0,0	0,0	0,0	0,0	6000	7,2	24,4	83,6	93,6	20,6	93,2	4,7	7,6
25	25	8,8	6000	8,1	31,2	130,9	0,0	107,6	15,8	0	0,0	0,0	0,0	0,0	6000	8,1	31,2	130,9	107,6	15,8	140,5	5,6	9,5
25	30	10,7	6000	9,0	37,8	185,3	0,0	119,8	12,9	0	0,0	0,0	0,0	0,0	6000	9,0	37,8	185,3	119,8	12,9	194,9	6,5	10,9
25	35	12,6	6000	9,7	44,0	244,6	0,0	130,6	11,0	2700	6,1	7,9	3,8	49,2	3300	11,8	36,2	195,4	106,9	14,8	254,2	7,3	11,9
25	40	14,4	3300	12,6	41,0	245,3	0,1	114,7	13,0	0	0,0	0,0	0,0	0,0	3300	12,6	41,0	245,3	114,7	13,0	304,1	7,6	10,0
25	45	16,1	3300	13,2	45,5	296,6	0,1	121,7	11,6	1400	8,3	7,6	3,7	55,5	1900	15,9	37,9	241,1	101,1	15,3	355,3	7,9	10,2
25	50	17,7	1900	16,7	41,4	282,9	0,1	106,2	13,9	0	0,0	0,0	0,0	0,0	1900	16,7	41,4	282,9	106,2	13,9	397,2	7,9	8,4
25	55	19,2	1900	17,3	44,6	324,4	0,2	110,8	12,9	700	10,7	6,3	3,3	51,4	1200	20,2	38,3	273,0	95,0	16,2	438,7	8,0	8,3
25	60	20,5	1200	20,8	40,9	307,1	0,3	98,6	15,1	0	0,0	0,0	0,0	0,0	1200	20,8	40,9	307,1	98,6	15,1	472,7	7,9	6,8
25	65	21,8	1200	21,4	43,3	340,0	0,3	101,7	14,2	0	0,0	0,0	0,0	0,0	1200	21,4	43,3	340,0	101,7	14,2	505,7	7,8	6,6
25	70	23,0	1200	22,0	45,4	371,6	0,3	104,6	13,5	400	13,4	5,7	3,0	52,5	800	25,1	39,7	319,1	91,3	16,6	537,3	7,7	6,3
25	75	24,0	800	25,7	41,5	344,9	0,4	93,5	15,8	0	0,0	0,0	0,0	0,0	800	25,7	41,5	344,9	93,5	15,8	563,1	7,5	5,2
25	80	25,0	800	26,2	43,1	369,3	0,5	95,5	15,2	250	16,0	5,0	3,1	48,5	550	29,7	38,1	320,9	84,2	18,3	587,5	7,3	4,9
25	85	25,9	550	30,2	39,3	340,8	0,6	85,8	17,7	0	0,0	0,0	0,0	0,0	550	30,2	39,3	340,8	85,8	17,7	607,4	7,1	4,0
25	90	26,7	550	30,6	40,5	359,5	0,7	87,3	17,1	175	18,7	4,8	3,6	48,1	375	34,8	35,7	311,4	76,7	20,8	626,1	7,0	3,7
25	95	27,5	375	35,3	36,6	326,5	0,9	77,9	20,2	0	0,0	0,0	0,0	0,0	375	35,3	36,6	326,5	77,9	20,2	641,2	6,7	3,0
25	100	28,2	375	35,7	37,5	340,5	0,9	78,9	19,7	100	21,5	3,6	3,3	37,4	275	39,6	33,9	303,1	71,1	23,0	655,3	6,6	2,8
25	105	28,8	275	40,0	34,6	314,7	1,1	71,9	22,5	0	0,0	0,0	0,0	0,0	275	40,0	34,6	314,7	71,9	22,5	666,8	6,4	2,3
25	110	29,3	275	40,4	35,2	325,4	1,2	72,7	22,1	275	40,4	35,2	0,0	325,4	0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	677,5	6,2	2,1

Tabla 25. Tabla de producción para la Calidad 22 del Itinerario H2

IS	EDAD	Ho	N	Dg	G	V	vi	H/D	IH	N	Dg	G	IH	V	N	Dg	G	V	H/D	IH	VT	CM	CC
ESTADO			ANTES DE LA CLARA							EXTRAIDO EN LA CLARA					DESPUÉS DE LA CLARA						CRECIMIENTO		
22	5	0,9	10000	2,4	4,5	3,5	0,0	39,1	114,2	0	0,0	0,0	0,0	0,0	10000	2,4	4,5	3,5	39,1	114,2	3,5	0,7	
22	10	2,4	10000	3,8	11,1	17,9	0,0	64,9	44,0	0	0,0	0,0	0,0	0,0	10000	3,8	11,1	17,9	64,9	44,0	17,9	1,8	2,9
22	15	4,2	10000	4,8	18,3	44,2	0,0	85,9	25,9	4000	3,0	2,8	7,5	7,7	6000	5,7	15,5	36,5	72,4	33,4	44,2	2,9	5,3
22	20	5,9	6000	6,8	21,7	67,2	0,0	87,5	23,4	0	0,0	0,0	0,0	0,0	6000	6,8	21,7	67,2	87,5	23,4	74,9	3,7	6,1
22	25	7,7	6000	7,7	27,7	105,2	0,0	100,6	18,0	0	0,0	0,0	0,0	0,0	6000	7,7	27,7	105,2	100,6	18,0	112,9	4,5	7,6
22	30	9,4	6000	8,4	33,5	148,9	0,0	112,0	14,7	0	0,0	0,0	0,0	0,0	6000	8,4	33,5	148,9	112,0	14,7	156,6	5,2	8,7
22	35	11,1	6000	9,1	39,1	196,5	0,0	122,1	12,5	2850	5,8	7,5	4,7	42,2	3150	11,3	31,6	154,3	98,3	17,2	204,3	5,8	9,5
22	40	12,7	3150	12,0	35,8	193,7	0,1	105,5	15,1	0	0,0	0,0	0,0	0,0	3150	12,0	35,8	193,7	105,5	15,1	243,7	6,1	7,9
22	45	14,2	3150	12,7	39,7	234,2	0,1	111,9	13,5	0	0,0	0,0	0,0	0,0	3150	12,7	39,7	234,2	111,9	13,5	284,1	6,3	8,1
22	50	15,6	3150	13,2	43,4	274,9	0,1	117,6	12,3	1400	8,3	7,6	4,2	54,4	1750	16,1	35,7	220,4	96,6	16,5	324,8	6,5	8,1
22	55	16,9	1750	16,7	38,5	252,7	0,1	100,8	15,2	0	0,0	0,0	0,0	0,0	1750	16,7	38,5	252,7	100,8	15,2	357,1	6,5	6,5
22	60	18,1	1750	17,3	41,1	284,3	0,2	104,5	14,2	0	0,0	0,0	0,0	0,0	1750	17,3	41,1	284,3	104,5	14,2	388,7	6,5	6,3
22	65	19,2	1750	17,8	43,4	314,8	0,2	107,9	13,4	650	11,0	6,2	3,5	50,4	1100	20,8	37,3	264,4	92,3	16,9	419,2	6,4	6,1
22	70	20,2	1100	21,3	39,1	289,0	0,3	94,9	16,0	0	0,0	0,0	0,0	0,0	1100	21,3	39,1	289,0	94,9	16,0	443,7	6,3	4,9
22	75	21,1	1100	21,7	40,8	312,4	0,3	97,2	15,3	0	0,0	0,0	0,0	0,0	1100	21,7	40,8	312,4	97,2	15,3	467,1	6,2	4,7
22	80	22,0	1100	22,2	42,4	334,5	0,3	99,3	14,7	350	13,5	5,0	3,1	44,8	750	25,2	37,4	289,7	87,3	17,8	489,2	6,1	4,4
22	85	22,8	750	25,6	38,6	307,7	0,4	89,0	17,2	0	0,0	0,0	0,0	0,0	750	25,6	38,6	307,7	89,0	17,2	507,2	6,0	3,6
22	90	23,5	750	26,0	39,8	324,6	0,4	90,5	16,7	0	0,0	0,0	0,0	0,0	750	26,0	39,8	324,6	90,5	16,7	524,1	5,8	3,4
22	95	24,2	750	26,3	40,8	340,3	0,5	91,8	16,2	250	16,1	5,1	3,6	48,0	500	30,2	35,7	292,3	80,1	19,9	539,8	5,7	3,1
22	100	24,8	500	30,5	36,6	304,8	0,6	81,2	19,4	0	0,0	0,0	0,0	0,0	500	30,5	36,6	304,8	81,2	19,4	552,4	5,5	2,5
22	105	25,3	500	30,8	37,3	316,5	0,6	82,1	19,0	0	0,0	0,0	0,0	0,0	500	30,8	37,3	316,5	82,1	19,0	564,0	5,4	2,3
22	110	25,8	500	31,1	38,0	327,2	0,7	83,0	18,6	150	18,9	4,2	3,6	41,0	350	35,1	33,8	286,2	73,6	22,2	574,8	5,2	2,2
22	115	26,3	350	35,4	34,4	294,9	0,8	74,3	21,9	0	0,0	0,0	0,0	0,0	350	35,4	34,4	294,9	74,3	21,9	583,5	5,1	1,7
22	120	26,7	350	35,6	34,9	302,9	0,9	74,9	21,5	0	0,0	0,0	0,0	0,0	350	35,6	34,9	302,9	74,9	21,5	591,5	4,9	1,6
22	125	27,1	350	35,9	35,3	310,3	0,9	75,5	21,2	100	21,7	3,7	3,9	36,8	250	40,1	31,6	273,4	67,5	25,1	598,8	4,8	1,5
22	130	27,4	250	40,4	32,0	279,4	1,1	67,9	24,8	0	0,0	0,0	0,0	0,0	250	40,4	32,0	279,4	67,9	24,8	604,8	4,7	1,2
22	135	27,7	250	40,6	32,3	284,8	1,1	68,3	24,5	0	0,0	0,0	0,0	0,0	250	40,6	32,3	284,8	68,3	24,5	610,2	4,5	1,1
22	140	28,0	250	40,8	32,6	289,8	1,2	68,7	24,3	250	40,8	32,6	0,0	289,8	0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	615,2	4,4	1,0

Tabla 26. Tabla de producción para la Calidad 19 del Itinerario H2

IS	EDAD	Ho	N	Dg	G	V	vi	H/D	IH	N	Dg	G	IH	V	N	Dg	G	V	H/D	IH	VT	CM	CC
ESTADO			ANTES DE LA CLARA							EXTRAIDO EN LA CLARA					DESPUÉS DE LA CLARA						CRECIMIENTO		
19	5	0,8	10000	2,2	4,0	2,7	0,0	36,2	132,3	0	0,0	0,0	0,0	0,0	10000	2,2	4,0	2,7	36,2	132,3	2,7	0,5	
19	10	2,1	10000	3,5	9,7	13,9	0,0	60,0	50,9	0	0,0	0,0	0,0	0,0	10000	3,5	9,7	13,9	60,0	50,9	13,9	1,4	2,2
19	15	3,6	10000	4,5	16,0	34,4	0,0	79,5	30,0	0	0,0	0,0	0,0	0,0	10000	4,5	16,0	34,4	79,5	30,0	34,4	2,3	4,1
19	20	5,1	10000	5,3	22,3	63,3	0,0	96,1	21,0	4000	3,3	3,5	6,1	11,1	6000	6,3	18,9	52,3	81,0	27,1	63,3	3,2	5,8
19	25	6,7	6000	7,2	24,1	81,9	0,0	93,0	20,8	0	0,0	0,0	0,0	0,0	6000	7,2	24,1	81,9	93,0	20,8	92,9	3,7	5,9
19	30	8,2	6000	7,9	29,2	115,9	0,0	103,6	17,0	0	0,0	0,0	0,0	0,0	6000	7,9	29,2	115,9	103,6	17,0	126,9	4,2	6,8
19	35	9,6	6000	8,5	34,0	152,9	0,0	112,9	14,5	0	0,0	0,0	0,0	0,0	6000	8,5	34,0	152,9	112,9	14,5	164,0	4,7	7,4
19	40	11,0	6000	9,0	38,6	192,0	0,0	121,2	12,7	3000	5,8	7,9	5,2	44,0	3000	11,4	30,7	148,0	96,1	17,9	203,1	5,1	7,8
19	45	12,2	3000	12,0	34,1	178,9	0,1	101,9	16,0	0	0,0	0,0	0,0	0,0	3000	12,0	34,1	178,9	101,9	16,0	234,0	5,2	6,2
19	50	13,4	3000	12,6	37,2	210,0	0,1	107,1	14,6	0	0,0	0,0	0,0	0,0	3000	12,6	37,2	210,0	107,1	14,6	265,1	5,3	6,2
19	55	14,6	3000	13,0	40,1	240,8	0,1	111,7	13,5	1300	8,2	6,8	4,4	46,2	1700	15,8	33,2	194,5	92,3	17,9	295,8	5,4	6,2
19	60	15,6	1700	16,3	35,5	218,8	0,1	95,8	16,7	0	0,0	0,0	0,0	0,0	1700	16,3	35,5	218,8	95,8	16,7	320,1	5,3	4,9
19	65	16,6	1700	16,8	37,5	242,3	0,1	98,8	15,7	0	0,0	0,0	0,0	0,0	1700	16,8	37,5	242,3	98,8	15,7	343,6	5,3	4,7
19	70	17,4	1700	17,2	39,4	264,8	0,2	101,6	14,9	0	0,0	0,0	0,0	0,0	1700	17,2	39,4	264,8	101,6	14,9	366,1	5,2	4,5
19	75	18,3	1700	17,5	41,1	286,2	0,2	104,1	14,3	0	0,0	0,0	0,0	0,0	1700	17,5	41,1	286,2	104,1	14,3	387,5	5,2	4,3
19	80	19,0	1700	17,9	42,7	306,5	0,2	106,3	13,7	600	11,0	5,7	3,3	46,2	1100	20,7	37,0	260,3	91,9	17,1	407,8	5,1	4,1
19	85	19,7	1100	21,0	38,2	276,5	0,3	93,6	16,5	0	0,0	0,0	0,0	0,0	1100	21,0	38,2	276,5	93,6	16,5	424,0	5,0	3,2
19	90	20,3	1100	21,3	39,3	291,6	0,3	95,2	16,0	0	0,0	0,0	0,0	0,0	1100	21,3	39,3	291,6	95,2	16,0	439,1	4,9	3,0
19	95	20,9	1100	21,6	40,4	305,8	0,3	96,6	15,5	0	0,0	0,0	0,0	0,0	1100	21,6	40,4	305,8	96,6	15,5	453,3	4,8	2,8
19	100	21,4	1100	21,9	41,3	318,9	0,3	97,8	15,1	350	13,4	4,9	3,2	42,7	750	24,9	36,4	276,2	86,1	18,3	466,4	4,7	2,6
19	105	21,9	750	25,1	37,2	286,8	0,4	87,1	17,9	0	0,0	0,0	0,0	0,0	750	25,1	37,2	286,8	87,1	17,9	477,0	4,5	2,1
19	110	22,3	750	25,4	37,9	296,5	0,4	88,0	17,6	0	0,0	0,0	0,0	0,0	750	25,4	37,9	296,5	88,0	17,6	486,7	4,4	2,0
19	115	22,7	750	25,6	38,5	305,5	0,4	88,8	17,3	0	0,0	0,0	0,0	0,0	750	25,6	38,5	305,5	88,8	17,3	495,7	4,3	1,8
19	120	23,1	750	25,8	39,1	313,8	0,4	89,5	17,0	0	0,0	0,0	0,0	0,0	750	25,8	39,1	313,8	89,5	17,0	504,0	4,2	1,7
19	125	23,4	750	25,9	39,6	321,4	0,4	90,2	16,8	0	0,0	0,0	0,0	0,0	750	25,9	39,6	321,4	90,2	16,8	511,6	4,1	1,5
19	130	23,7	750	26,1	40,0	328,4	0,4	90,8	16,6	250	16,0	5,0	3,7	46,4	500	29,9	35,0	282,0	79,3	20,3	518,6	4,0	1,4
19	135	23,9	500	30,0	35,4	287,5	0,6	79,7	20,1	0	0,0	0,0	0,0	0,0	500	30,0	35,4	287,5	79,7	20,1	524,1	3,9	1,1
19	140	24,2	500	30,2	35,7	292,5	0,6	80,2	19,9	0	0,0	0,0	0,0	0,0	500	30,2	35,7	292,5	80,2	19,9	529,1	3,8	1,0
19	145	24,4	500	30,3	36,1	297,1	0,6	80,5	19,7	0	0,0	0,0	0,0	0,0	500	30,3	36,1	297,1	80,5	19,7	533,7	3,7	0,9
19	150	24,6	500	30,4	36,3	301,3	0,6	80,9	19,5	0	0,0	0,0	0,0	0,0	500	30,4	36,3	301,3	80,9	19,5	537,9	3,6	0,8
19	155	24,8	500	30,5	36,6	305,1	0,6	81,2	19,4	0	0,0	0,0	0,0	0,0	500	30,5	36,6	305,1	81,2	19,4	541,7	3,5	0,8
19	160	25,0	500	30,6	36,8	308,6	0,6	81,5	19,3	175	18,8	4,9	4,6	46,1	325	35,4	31,9	262,5	70,5	23,9	545,2	3,4	0,7
19	165	25,1	325	35,5	32,1	265,2	0,8	70,8	23,7	0	0,0	0,0	0,0	0,0	325	35,5	32,1	265,2	70,8	23,7	547,9	3,3	0,5
19	170	25,2	325	35,6	32,3	267,7	0,8	71,0	23,6	0	0,0	0,0	0,0	0,0	325	35,6	32,3	267,7	71,0	23,6	550,4	3,2	0,5
19	175	25,4	325	35,6	32,4	269,9	0,8	71,2	23,5	125	22,1	4,8	6,5	45,0	200	41,9	27,6	225,0	60,5	30,0	552,6	3,2	0,4
19	180	25,5	200	42,0	27,8	226,7	1,1	60,6	29,8	0	0,0	0,0	0,0	0,0	200	42,0	27,8	226,7	60,6	29,8	554,3	3,1	0,3
19	185	25,6	200	42,1	27,9	228,2	1,1	60,7	29,7	0	0,0	0,0	0,0	0,0	200	42,1	27,9	228,2	60,7	29,7	555,8	3,0	0,3
19	190	25,7	200	42,2	27,9	229,6	1,1	60,8	29,6	200	42,2	27,9	0,0	229,6	0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	557,2	2,9	0,3

Tabla 27. Tabla de producción para la Calidad 16 del Itinerario H2

IS	EDAD	Ho	N	Dg	G	V	vi	H/D	IH	N	Dg	G	IH	V	N	Dg	G	V	H/D	IH	VT	CM	CC
ESTADO			ANTES DE LA CLARA							EXTRAIDO EN LA CLARA					DESPUÉS DE LA CLARA						CRECIMIENTO		
16	5	0,7	10000	2,1	3,4	2,0	0,0	33,0	157,1	0	0,0	0,0	0,0	0,0	10000	2,1	3,4	2,0	33,0	157,1	2,0	0,4	
16	10	1,8	10000	3,2	8,3	10,4	0,0	54,8	60,4	0	0,0	0,0	0,0	0,0	10000	3,2	8,3	10,4	54,8	60,4	10,4	1,0	1,7
16	15	3,0	10000	4,2	13,6	25,6	0,0	72,6	35,6	0	0,0	0,0	0,0	0,0	10000	4,2	13,6	25,6	72,6	35,6	25,6	1,7	3,1
16	20	4,3	10000	4,9	19,0	47,2	0,0	87,7	24,9	0	0,0	0,0	0,0	0,0	10000	4,9	19,0	47,2	87,7	24,9	47,2	2,4	4,3
16	25	5,6	10000	5,6	24,3	73,9	0,0	100,8	19,2	4000	3,5	3,8	5,6	12,9	6000	6,6	20,5	61,0	84,9	24,7	73,9	3,0	5,3
16	30	6,9	6000	7,3	24,9	86,3	0,0	94,6	20,2	0	0,0	0,0	0,0	0,0	6000	7,3	24,9	86,3	94,6	20,2	99,2	3,3	5,1
16	35	8,1	6000	7,8	29,0	114,0	0,0	103,1	17,2	0	0,0	0,0	0,0	0,0	6000	7,8	29,0	114,0	103,1	17,2	126,9	3,6	5,5
16	40	9,2	6000	8,3	32,8	143,1	0,0	110,6	15,0	0	0,0	0,0	0,0	0,0	6000	8,3	32,8	143,1	110,6	15,0	156,0	3,9	5,8
16	45	10,3	6000	8,8	36,4	173,0	0,0	117,3	13,5	0	0,0	0,0	0,0	0,0	6000	8,8	36,4	173,0	117,3	13,5	185,9	4,1	6,0
16	50	11,3	6000	9,2	39,8	203,0	0,0	123,3	12,2	3000	5,9	8,1	5,1	46,5	3000	11,6	31,6	156,5	97,7	17,3	215,9	4,3	6,0
16	55	12,3	3000	12,0	34,1	179,4	0,1	102,0	16,0	0	0,0	0,0	0,0	0,0	3000	12,0	34,1	179,4	102,0	16,0	238,9	4,3	4,6
16	60	13,1	3000	12,4	36,4	201,8	0,1	105,7	14,9	0	0,0	0,0	0,0	0,0	3000	12,4	36,4	201,8	105,7	14,9	261,3	4,4	4,5
16	65	13,9	3000	12,8	38,5	223,5	0,1	109,1	14,1	0	0,0	0,0	0,0	0,0	3000	12,8	38,5	223,5	109,1	14,1	282,9	4,4	4,3
16	70	14,7	3000	13,1	40,4	244,3	0,1	112,2	13,4	0	0,0	0,0	0,0	0,0	3000	13,1	40,4	244,3	112,2	13,4	303,7	4,3	4,2
16	75	15,4	3000	13,4	42,2	264,0	0,1	114,9	12,8	1250	8,4	6,9	3,9	48,4	1750	16,0	35,3	215,7	95,9	16,7	323,4	4,3	4,0
16	80	16,0	1750	16,3	36,6	230,9	0,1	98,0	16,1	0	0,0	0,0	0,0	0,0	1750	16,3	36,6	230,9	98,0	16,1	338,7	4,2	3,1
16	85	16,6	1750	16,6	37,9	245,3	0,1	99,8	15,5	0	0,0	0,0	0,0	0,0	1750	16,6	37,9	245,3	99,8	15,5	353,1	4,2	2,9
16	90	17,1	1750	16,8	39,0	258,7	0,1	101,5	15,0	0	0,0	0,0	0,0	0,0	1750	16,8	39,0	258,7	101,5	15,0	366,5	4,1	2,7
16	95	17,6	1750	17,1	40,0	271,3	0,2	103,0	14,6	0	0,0	0,0	0,0	0,0	1750	17,1	40,0	271,3	103,0	14,6	379,1	4,0	2,5
16	100	18,0	1750	17,3	41,0	282,9	0,2	104,4	14,3	650	10,7	5,8	3,7	45,3	1100	20,2	35,2	237,7	89,3	18,0	390,7	3,9	2,3
16	105	18,4	1100	20,4	35,9	246,8	0,2	90,4	17,6	0	0,0	0,0	0,0	0,0	1100	20,4	35,9	246,8	90,4	17,6	399,8	3,8	1,8
16	110	18,8	1100	20,6	36,6	255,2	0,2	91,3	17,3	0	0,0	0,0	0,0	0,0	1100	20,6	36,6	255,2	91,3	17,3	408,2	3,7	1,7
16	115	19,1	1100	20,7	37,2	262,9	0,2	92,2	17,0	0	0,0	0,0	0,0	0,0	1100	20,7	37,2	262,9	92,2	17,0	415,9	3,6	1,5
16	120	19,4	1100	20,9	37,7	270,0	0,2	92,9	16,7	0	0,0	0,0	0,0	0,0	1100	20,9	37,7	270,0	92,9	16,7	423,1	3,5	1,4
16	125	19,7	1100	21,0	38,2	276,6	0,3	93,6	16,5	400	13,0	5,3	4,2	43,2	700	24,5	32,9	233,4	80,5	20,6	429,6	3,4	1,3
16	130	19,9	700	24,6	33,3	238,5	0,3	81,0	20,4	0	0,0	0,0	0,0	0,0	700	24,6	33,3	238,5	81,0	20,4	434,7	3,3	1,0
16	135	20,2	700	24,7	33,7	243,1	0,3	81,5	20,1	0	0,0	0,0	0,0	0,0	700	24,7	33,7	243,1	81,5	20,1	439,3	3,3	0,9
16	140	20,4	700	24,9	34,0	247,4	0,4	81,9	19,9	0	0,0	0,0	0,0	0,0	700	24,9	34,0	247,4	81,9	19,9	443,6	3,2	0,8
16	145	20,6	700	25,0	34,3	251,3	0,4	82,3	19,8	0	0,0	0,0	0,0	0,0	700	25,0	34,3	251,3	82,3	19,8	447,5	3,1	0,8
16	150	20,7	700	25,1	34,5	254,8	0,4	82,7	19,6	250	15,4	4,7	4,8	38,9	450	29,1	29,9	215,9	71,3	24,4	451,0	3,0	0,7
16	155	20,9	450	29,2	30,1	218,6	0,5	71,6	24,3	0	0,0	0,0	0,0	0,0	450	29,2	30,1	218,6	71,6	24,3	453,7	2,9	0,5
16	160	21,0	450	29,3	30,3	221,1	0,5	71,8	24,1	0	0,0	0,0	0,0	0,0	450	29,3	30,3	221,1	71,8	24,1	456,2	2,9	0,5
16	165	21,1	450	29,3	30,4	223,4	0,5	72,0	24,0	0	0,0	0,0	0,0	0,0	450	29,3	30,4	223,4	72,0	24,0	458,5	2,8	0,5
16	170	21,3	450	29,4	30,6	225,4	0,5	72,3	23,8	0	0,0	0,0	0,0	0,0	450	29,4	30,6	225,4	72,3	23,8	460,6	2,7	0,4
16	175	21,4	450	29,5	30,7	227,3	0,5	72,4	23,7	150	18,1	3,8	5,3	32,1	300	33,8	26,9	195,2	63,2	29,0	462,5	2,6	0,4
16	180	21,5	300	33,8	27,0	196,7	0,7	63,4	28,9	0	0,0	0,0	0,0	0,0	300	33,8	27,0	196,7	63,4	28,9	463,9	2,6	0,3
16	185	21,5	300	33,9	27,1	198,0	0,7	63,5	28,8	0	0,0	0,0	0,0	0,0	300	33,9	27,1	198,0	63,5	28,8	465,3	2,5	0,3
16	190	21,6	300	34,0	27,2	199,2	0,7	63,6	28,7	160	21,9	6,0	13,3	49,6	140	43,9	21,1	149,7	49,3	42,0	466,5	2,5	0,2
16	195	21,7	140	43,9	21,2	150,5	1,1	49,4	41,9	0	0,0	0,0	0,0	0,0	140	43,9	21,2	150,5	49,4	41,9	467,3	2,4	0,2
16	200	21,7	140	44,0	21,3	151,3	1,1	49,4	41,8	140	44,0	21,3	0,0	151,3	0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	468,1	2,3	0,2

Tabla 28. Tabla de producción para la Calidad 13 del Itinerario H2

IS	EDAD	Ho	N	Dg	G	V	vi	H/D	IH	N	Dg	G	IH	V	N	Dg	G	V	H/D	IH	VT	CM	CC
	ESTADO		ANTES DE LA CLARA							EXTRAIDO EN LA CLARA					DESPUÉS DE LA CLARA						CRECIMIENTO		
13	5	0,6	10000	1,9	2,8	1,4	0,0	29,6	193,3	0	0,0	0,0	0,0	0,0	10000	1,9	2,8	1,4	29,6	193,3	1,4	0,3	
13	10	1,4	10000	2,9	6,8	7,3	0,0	49,1	74,4	0	0,0	0,0	0,0	0,0	10000	2,9	6,8	7,3	49,1	74,4	7,3	0,7	1,2
13	15	2,5	10000	3,8	11,2	18,0	0,0	65,0	43,8	0	0,0	0,0	0,0	0,0	10000	3,8	11,2	18,0	65,0	43,8	18,0	1,2	2,1
13	20	3,5	10000	4,5	15,6	33,1	0,0	78,6	30,7	0	0,0	0,0	0,0	0,0	10000	4,5	15,6	33,1	78,6	30,7	33,1	1,7	3,0
13	25	4,6	10000	5,0	20,0	51,8	0,0	90,3	23,6	5000	3,2	4,1	9,8	11,9	5000	6,4	15,9	39,9	71,6	33,3	51,8	2,1	3,7
13	30	5,6	5000	7,0	19,3	56,5	0,0	79,7	27,2	0	0,0	0,0	0,0	0,0	5000	7,0	19,3	56,5	79,7	27,2	68,4	2,3	3,3
13	35	6,6	5000	7,6	22,4	74,6	0,0	86,9	23,1	0	0,0	0,0	0,0	0,0	5000	7,6	22,4	74,6	86,9	23,1	86,5	2,5	3,6
13	40	7,5	5000	8,0	25,4	93,7	0,0	93,2	20,3	0	0,0	0,0	0,0	0,0	5000	8,0	25,4	93,7	93,2	20,3	105,6	2,6	3,8
13	45	8,4	5000	8,5	28,2	113,2	0,0	98,9	18,1	0	0,0	0,0	0,0	0,0	5000	8,5	28,2	113,2	98,9	18,1	125,1	2,8	3,9
13	50	9,2	5000	8,9	30,8	132,9	0,0	103,9	16,5	2250	5,6	5,5	5,8	26,7	2750	10,8	25,3	106,2	85,0	22,3	144,8	2,9	3,9
13	55	10,0	2750	11,2	27,3	121,8	0,0	88,7	20,6	0	0,0	0,0	0,0	0,0	2750	11,2	27,3	121,8	88,7	20,6	160,3	2,9	3,1
13	60	10,7	2750	11,6	29,1	137,0	0,0	92,0	19,2	0	0,0	0,0	0,0	0,0	2750	11,6	29,1	137,0	92,0	19,2	175,5	2,9	3,0
13	65	11,3	2750	11,9	30,8	151,6	0,1	95,0	18,1	0	0,0	0,0	0,0	0,0	2750	11,9	30,8	151,6	95,0	18,1	190,2	2,9	2,9
13	70	11,9	2750	12,2	32,3	165,7	0,1	97,6	17,2	0	0,0	0,0	0,0	0,0	2750	12,2	32,3	165,7	97,6	17,2	204,3	2,9	2,8
13	75	12,5	2750	12,5	33,7	179,1	0,1	100,0	16,4	1450	8,0	7,4	7,5	43,9	1300	16,1	26,3	135,2	77,8	23,9	217,7	2,9	2,7
13	80	13,0	1300	16,4	27,3	144,8	0,1	79,4	22,9	0	0,0	0,0	0,0	0,0	1300	16,4	27,3	144,8	79,4	22,9	227,3	2,8	1,9
13	85	13,5	1300	16,6	28,3	153,8	0,1	80,9	22,1	0	0,0	0,0	0,0	0,0	1300	16,6	28,3	153,8	80,9	22,1	236,3	2,8	1,8
13	90	13,9	1300	16,9	29,1	162,2	0,1	82,3	21,5	0	0,0	0,0	0,0	0,0	1300	16,9	29,1	162,2	82,3	21,5	244,7	2,7	1,7
13	95	14,3	1300	17,1	29,9	170,1	0,1	83,5	20,9	0	0,0	0,0	0,0	0,0	1300	17,1	29,9	170,1	83,5	20,9	252,6	2,7	1,6
13	100	14,6	1300	17,3	30,6	177,4	0,1	84,6	20,4	550	10,8	5,1	6,4	33,1	750	20,8	25,5	144,3	70,4	26,8	259,9	2,6	1,5
13	105	15,0	750	21,0	26,0	149,8	0,2	71,2	26,2	0	0,0	0,0	0,0	0,0	750	21,0	26,0	149,8	71,2	26,2	265,4	2,5	1,1
13	110	15,3	750	21,2	26,5	154,9	0,2	71,9	25,7	0	0,0	0,0	0,0	0,0	750	21,2	26,5	154,9	71,9	25,7	270,5	2,5	1,0
13	115	15,5	750	21,4	26,9	159,6	0,2	72,6	25,3	0	0,0	0,0	0,0	0,0	750	21,4	26,9	159,6	72,6	25,3	275,2	2,4	0,9
13	120	15,8	750	21,5	27,3	163,9	0,2	73,2	24,9	0	0,0	0,0	0,0	0,0	750	21,5	27,3	163,9	73,2	24,9	279,6	2,3	0,9
13	125	16,0	750	21,7	27,7	167,9	0,2	73,7	24,5	0	0,0	0,0	0,0	0,0	750	21,7	27,7	167,9	73,7	24,5	283,5	2,3	0,8
13	130	16,2	750	21,8	28,0	171,6	0,2	74,2	24,2	0	0,0	0,0	0,0	0,0	750	21,8	28,0	171,6	74,2	24,2	287,2	2,2	0,7
13	135	16,4	750	21,9	28,3	174,9	0,2	74,7	24,0	300	13,7	4,4	7,0	30,5	450	26,0	23,9	144,4	62,9	30,9	290,5	2,2	0,7
13	140	16,5	450	26,2	24,2	146,9	0,3	63,3	30,6	0	0,0	0,0	0,0	0,0	450	26,2	24,2	146,9	63,3	30,6	293,0	2,1	0,5
13	145	16,7	450	26,3	24,4	149,2	0,3	63,6	30,3	0	0,0	0,0	0,0	0,0	450	26,3	24,4	149,2	63,6	30,3	295,3	2,0	0,5
13	150	16,8	450	26,4	24,6	151,3	0,3	63,9	30,1	0	0,0	0,0	0,0	0,0	450	26,4	24,6	151,3	63,9	30,1	297,5	2,0	0,4
13	155	17,0	450	26,5	24,7	153,2	0,3	64,1	29,9	0	0,0	0,0	0,0	0,0	450	26,5	24,7	153,2	64,1	29,9	299,4	1,9	0,4
13	160	17,1	450	26,5	24,9	155,0	0,3	64,3	29,7	0	0,0	0,0	0,0	0,0	450	26,5	24,9	155,0	64,3	29,7	301,1	1,9	0,4
13	165	17,2	450	26,6	25,0	156,6	0,3	64,5	29,5	0	0,0	0,0	0,0	0,0	450	26,6	25,0	156,6	64,5	29,5	302,7	1,8	0,3
13	170	17,3	450	26,7	25,2	158,0	0,4	64,7	29,3	175	16,6	3,8	8,2	26,7	275	31,5	21,4	131,4	54,9	37,5	304,2	1,8	0,3
13	175	17,4	275	31,5	21,5	132,5	0,5	55,0	37,3	0	0,0	0,0	0,0	0,0	275	31,5	21,5	132,5	55,0	37,3	305,3	1,7	0,2
13	180	17,4	275	31,6	21,6	133,5	0,5	55,1	37,2	0	0,0	0,0	0,0	0,0	275	31,6	21,6	133,5	55,1	37,2	306,3	1,7	0,2
13	185	17,5	275	31,7	21,7	134,4	0,5	55,3	37,0	125	20,0	3,9	13,1	27,3	150	38,8	17,7	107,0	45,1	50,1	307,2	1,7	0,2
13	190	17,6	150	38,9	17,8	107,7	0,7	45,2	50,0	0	0,0	0,0	0,0	0,0	150	38,9	17,8	107,7	45,2	50,0	307,8	1,6	0,1
13	195	17,6	150	38,9	17,9	108,3	0,7	45,3	49,8	0	0,0	0,0	0,0	0,0	150	38,9	17,9	108,3	45,3	49,8	308,4	1,6	0,1
13	200	17,7	150	39,0	17,9	108,8	0,7	45,3	49,7	150	39,0	17,9	0,0	108,8	0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	309,0	1,5	0,1

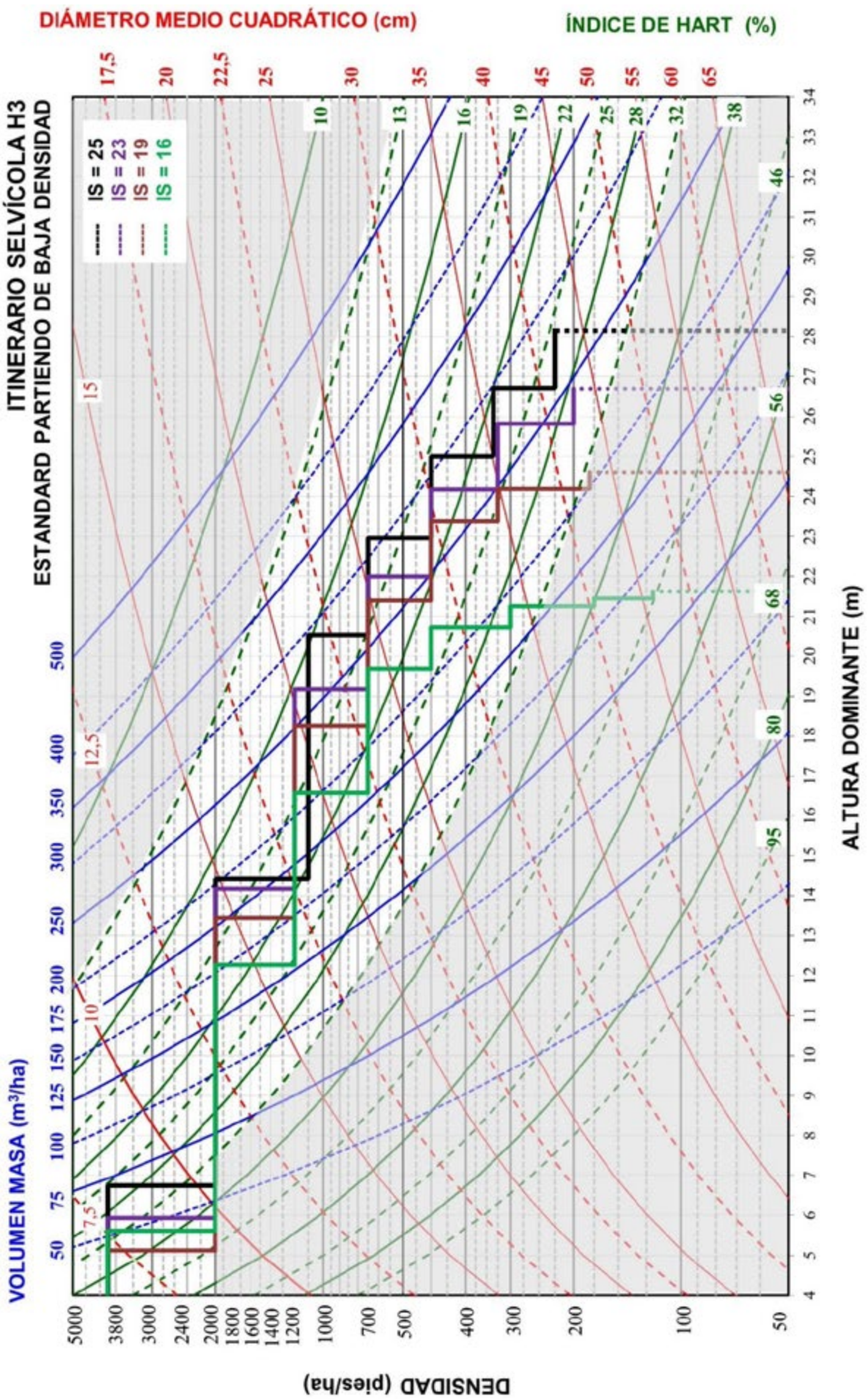


Figura 5. Diagrama de Manejo de Densidad del Itinerario H3 en función de las distintas calidades de estación

Tabla 29 Tabla de producción para la Calidad 25 del Itinerario H3

IS	EDAD	Ho	N	Dg	G	V	vi	H/D	IH	N	Dg	G	IH	V	N	Dg	G	V	H/D	IH	VT	CM	CC
	ESTADO		ANTES DE LA CLARA							EXTRAIDO EN LA CLARA					DESPUÉS DE LA CLARA						CRECIMIENTO		
25	5	1,1	4000	3,5	3,8	3,1	0,0	30,8	159,0	0	0,0	0,0	0,0	0,0	4000	3,5	3,8	3,1	30,8	159,0	3,1	0,6	
25	10	2,8	4000	5,4	9,3	15,8	0,0	51,1	61,2	0	0,0	0,0	0,0	0,0	4000	5,4	9,3	15,8	51,1	61,2	15,8	1,6	2,5
25	15	4,7	4000	7,0	15,3	39,0	0,0	67,7	36,0	0	0,0	0,0	0,0	0,0	4000	7,0	15,3	39,0	67,7	36,0	39,0	2,6	4,7
25	20	6,7	4000	8,2	21,4	71,8	0,0	81,7	25,2	2000	5,3	4,4	10,4	16,5	2000	10,4	17,0	55,4	64,8	35,6	71,8	3,6	6,6
25	25	8,8	2000	11,8	21,8	86,7	0,0	74,5	27,4	0	0,0	0,0	0,0	0,0	2000	11,8	21,8	86,7	74,5	27,4	103,1	4,1	6,3
25	30	10,7	2000	12,9	26,3	122,7	0,1	82,9	22,4	0	0,0	0,0	0,0	0,0	2000	12,9	26,3	122,7	82,9	22,4	139,1	4,6	7,2
25	35	12,6	2000	14,0	30,7	161,9	0,1	90,4	19,0	0	0,0	0,0	0,0	0,0	2000	14,0	30,7	161,9	90,4	19,0	178,4	5,1	7,9
25	40	14,4	2000	14,9	34,7	203,3	0,1	97,0	16,7	900	9,4	6,2	5,8	40,9	1100	18,2	28,5	162,4	79,4	22,5	219,7	5,5	8,3
25	45	16,1	1100	19,1	31,7	196,3	0,2	84,2	20,1	0	0,0	0,0	0,0	0,0	1100	19,1	31,7	196,3	84,2	20,1	253,7	5,6	6,8
25	50	17,7	1100	20,0	34,6	230,4	0,2	88,5	18,3	0	0,0	0,0	0,0	0,0	1100	20,0	34,6	230,4	88,5	18,3	287,8	5,8	6,8
25	55	19,2	1100	20,8	37,3	264,2	0,2	92,3	16,9	0	0,0	0,0	0,0	0,0	1100	20,8	37,3	264,2	92,3	16,9	321,5	5,8	6,8
25	60	20,5	1100	21,4	39,7	297,2	0,3	95,7	15,8	350	13,1	4,7	3,3	39,8	750	24,4	35,0	257,4	84,2	19,1	354,5	5,9	6,6
25	65	21,8	750	25,1	37,0	285,0	0,4	86,9	18,0	0	0,0	0,0	0,0	0,0	750	25,1	37,0	285,0	86,9	18,0	382,1	5,9	5,5
25	70	23,0	750	25,7	38,9	311,5	0,4	89,3	17,1	250	15,7	4,9	3,8	44,0	500	29,4	34,0	267,5	78,0	20,9	408,6	5,8	5,3
25	75	24,0	500	30,1	35,5	289,1	0,6	79,9	20,0	0	0,0	0,0	0,0	0,0	500	30,1	35,5	289,1	79,9	20,0	430,2	5,7	4,3
25	80	25,0	500	30,6	36,9	309,6	0,6	81,6	19,2	165	18,8	4,6	4,3	43,2	335	35,0	32,3	266,4	71,3	23,5	450,7	5,6	4,1
25	85	25,9	335	35,6	33,4	283,0	0,8	72,7	22,7	0	0,0	0,0	0,0	0,0	335	35,6	33,4	283,0	72,7	22,7	467,3	5,5	3,3
25	90	26,7	335	36,2	34,4	298,5	0,9	73,9	22,0	110	22,1	4,2	4,8	41,4	225	41,3	30,2	257,0	64,7	26,8	482,8	5,4	3,1
25	95	27,5	225	41,9	31,0	269,5	1,2	65,6	26,1	0	0,0	0,0	0,0	0,0	225	41,9	31,0	269,5	65,6	26,1	495,2	5,2	2,5
25	100	28,2	225	42,3	31,7	281,1	1,2	66,5	25,4	225	42,3	31,7	0,0	281,1	0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	506,8	5,1	2,3

Tabla 30 Tabla de producción para la Calidad 22 del Itinerario H3

IS	EDAD	Ho	N	Dg	G	V	vi	H/D	IH	N	Dg	G	IH	V	N	Dg	G	V	H/D	IH	VT	CM	CC
ESTADO			ANTES DE LA CLARA							EXTRAIDO EN LA CLARA					DESPUÉS DE LA CLARA						CRECIMIENTO		
22	5	0,9	4000	3,3	3,4	2,5	0,0	28,8	180,6	0	0,0	0,0	0,0	0,0	4000	3,3	3,4	2,5	28,8	180,6	2,5	0,5	
22	10	2,4	4000	5,1	8,2	12,7	0,0	47,7	69,5	0	0,0	0,0	0,0	0,0	4000	5,1	8,2	12,7	47,7	69,5	12,7	1,3	2,0
22	15	4,2	4000	6,6	13,6	31,3	0,0	63,2	40,9	0	0,0	0,0	0,0	0,0	4000	6,6	13,6	31,3	63,2	40,9	31,3	2,1	3,7
22	20	5,9	4000	7,8	19,0	57,7	0,0	76,4	28,6	2000	5,0	3,9	11,9	13,2	2000	9,8	15,1	44,5	60,5	40,5	57,7	2,9	5,3
22	25	7,7	2000	11,1	19,3	69,7	0,0	69,6	31,2	0	0,0	0,0	0,0	0,0	2000	11,1	19,3	69,7	69,6	31,2	82,9	3,3	5,0
22	30	9,4	2000	12,2	23,3	98,6	0,0	77,5	25,4	0	0,0	0,0	0,0	0,0	2000	12,2	23,3	98,6	77,5	25,4	111,8	3,7	5,8
22	35	11,1	2000	13,2	27,2	130,1	0,1	84,5	21,6	0	0,0	0,0	0,0	0,0	2000	13,2	27,2	130,1	84,5	21,6	143,3	4,1	6,3
22	40	12,7	2000	14,0	30,8	163,4	0,1	90,6	18,9	0	0,0	0,0	0,0	0,0	2000	14,0	30,8	163,4	90,6	18,9	176,6	4,4	6,6
22	45	14,2	2000	14,8	34,2	197,5	0,1	96,1	16,9	800	9,2	5,3	4,9	34,5	1200	17,5	28,9	163,0	81,0	21,9	210,7	4,7	6,8
22	50	15,6	1200	18,3	31,5	191,3	0,2	85,1	19,9	0	0,0	0,0	0,0	0,0	1200	18,3	31,5	191,3	85,1	19,9	239,0	4,8	5,7
22	55	16,9	1200	19,0	34,0	219,4	0,2	88,8	18,4	0	0,0	0,0	0,0	0,0	1200	19,0	34,0	219,4	88,8	18,4	267,0	4,9	5,6
22	60	18,1	1200	19,6	36,3	246,7	0,2	92,1	17,2	0	0,0	0,0	0,0	0,0	1200	19,6	36,3	246,7	92,1	17,2	294,4	4,9	5,5
22	65	19,2	1200	20,2	38,4	273,2	0,2	95,1	16,2	450	12,5	5,5	4,3	44,2	750	23,6	32,9	229,0	81,2	20,5	320,9	4,9	5,3
22	70	20,2	750	24,2	34,5	250,3	0,3	83,5	19,4	0	0,0	0,0	0,0	0,0	750	24,2	34,5	250,3	83,5	19,4	342,2	4,9	4,3
22	75	21,1	750	24,7	36,0	270,5	0,4	85,5	18,6	0	0,0	0,0	0,0	0,0	750	24,7	36,0	270,5	85,5	18,6	362,4	4,8	4,0
22	80	22,0	750	25,2	37,4	289,7	0,4	87,3	17,8	250	15,4	4,7	4,0	40,9	500	28,9	32,7	248,8	76,2	21,8	381,6	4,8	3,8
22	85	22,8	500	29,3	33,8	264,3	0,5	77,7	21,1	0	0,0	0,0	0,0	0,0	500	29,3	33,8	264,3	77,7	21,1	397,0	4,7	3,1
22	90	23,5	500	29,8	34,8	278,7	0,6	79,0	20,4	0	0,0	0,0	0,0	0,0	500	29,8	34,8	278,7	79,0	20,4	411,5	4,6	2,9
22	95	24,2	500	30,2	35,7	292,3	0,6	80,1	19,9	175	18,5	4,7	4,8	43,6	325	34,8	31,0	248,6	69,4	24,7	425,0	4,5	2,7
22	100	24,8	325	35,3	31,7	259,3	0,8	70,3	24,1	0	0,0	0,0	0,0	0,0	325	35,3	31,7	259,3	70,3	24,1	435,7	4,4	2,1
22	105	25,3	325	35,6	32,4	269,2	0,8	71,1	23,5	0	0,0	0,0	0,0	0,0	325	35,6	32,4	269,2	71,1	23,5	445,6	4,2	2,0
22	110	25,8	325	35,9	33,0	278,4	0,9	71,8	23,1	125	22,3	4,9	6,3	46,4	200	42,3	28,1	232,0	61,0	29,4	454,8	4,1	1,8
22	115	26,3	200	42,6	28,6	239,0	1,2	61,6	28,9	0	0,0	0,0	0,0	0,0	200	42,6	28,6	239,0	61,6	28,9	461,8	4,0	1,4
22	120	26,7	200	43,0	29,0	245,5	1,2	62,1	28,5	200	43,0	29,0	0,0	245,5	0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	468,3	3,9	1,3

Tabla 31 Tabla de producción para la Calidad 19 del Itinerario H3

IS	EDAD	Ho	N	Dg	G	V	vi	H/D	IH	N	Dg	G	IH	V	N	Dg	G	V	H/D	IH	VT	CM	CC
	ESTADO		ANTES DE LA CLARA							EXTRAIDO EN LA CLARA					DESPUÉS DE LA CLARA						CRECIMIENTO		
19	5	0,8	4000	3,1	2,9	1,9	0,0	26,6	209,2	0	0,0	0,0	0,0	0,0	4000	3,1	2,9	1,9	26,6	209,2	1,9	0,4	
19	10	2,1	4000	4,8	7,2	9,9	0,0	44,2	80,5	0	0,0	0,0	0,0	0,0	4000	4,8	7,2	9,9	44,2	80,5	9,9	1,0	1,6
19	15	3,6	4000	6,1	11,8	24,4	0,0	58,5	47,4	0	0,0	0,0	0,0	0,0	4000	6,1	11,8	24,4	58,5	47,4	24,4	1,6	2,9
19	20	5,1	4000	7,3	16,5	44,9	0,0	70,7	33,2	2000	4,6	3,4	13,7	10,3	2000	9,1	13,1	34,6	56,0	46,9	44,9	2,2	4,1
19	25	6,7	2000	10,3	16,8	54,2	0,0	64,4	36,1	0	0,0	0,0	0,0	0,0	2000	10,3	16,8	54,2	64,4	36,1	64,5	2,6	3,9
19	30	8,2	2000	11,4	20,3	76,7	0,0	71,7	29,5	0	0,0	0,0	0,0	0,0	2000	11,4	20,3	76,7	71,7	29,5	87,0	2,9	4,5
19	35	9,6	2000	12,3	23,7	101,3	0,1	78,1	25,0	0	0,0	0,0	0,0	0,0	2000	12,3	23,7	101,3	78,1	25,0	111,5	3,2	4,9
19	40	11,0	2000	13,1	26,8	127,1	0,1	83,8	21,9	0	0,0	0,0	0,0	0,0	2000	13,1	26,8	127,1	83,8	21,9	137,4	3,4	5,2
19	45	12,2	2000	13,8	29,8	153,7	0,1	88,9	19,6	0	0,0	0,0	0,0	0,0	2000	13,8	29,8	153,7	88,9	19,6	164,0	3,6	5,3
19	50	13,4	2000	14,4	32,5	180,4	0,1	93,5	17,9	800	9,0	5,0	5,2	31,5	1200	17,1	27,5	148,9	78,7	23,1	190,6	3,8	5,3
19	55	14,6	1200	17,7	29,6	170,7	0,1	82,2	21,3	0	0,0	0,0	0,0	0,0	1200	17,7	29,6	170,7	82,2	21,3	212,5	3,9	4,4
19	60	15,6	1200	18,3	31,6	192,0	0,2	85,2	19,9	0	0,0	0,0	0,0	0,0	1200	18,3	31,6	192,0	85,2	19,9	233,8	3,9	4,3
19	65	16,6	1200	18,8	33,4	212,6	0,2	87,9	18,7	0	0,0	0,0	0,0	0,0	1200	18,8	33,4	212,6	87,9	18,7	254,4	3,9	4,1
19	70	17,4	1200	19,3	35,1	232,4	0,2	90,4	17,8	0	0,0	0,0	0,0	0,0	1200	19,3	35,1	232,4	90,4	17,8	274,1	3,9	4,0
19	75	18,3	1200	19,7	36,6	251,2	0,2	92,6	17,0	450	12,2	5,3	4,5	40,6	750	23,1	31,4	210,5	79,1	21,5	292,9	3,9	3,8
19	80	19,0	750	23,5	32,6	225,4	0,3	80,8	20,7	0	0,0	0,0	0,0	0,0	750	23,5	32,6	225,4	80,8	20,7	307,8	3,8	3,0
19	85	19,7	750	23,9	33,7	239,4	0,3	82,3	19,9	0	0,0	0,0	0,0	0,0	750	23,9	33,7	239,4	82,3	19,9	321,8	3,8	2,8
19	90	20,3	750	24,3	34,7	252,6	0,3	83,7	19,3	0	0,0	0,0	0,0	0,0	750	24,3	34,7	252,6	83,7	19,3	335,0	3,7	2,6
19	95	20,9	750	24,6	35,6	264,8	0,4	84,9	18,8	0	0,0	0,0	0,0	0,0	750	24,6	35,6	264,8	84,9	18,8	347,2	3,7	2,4
19	100	21,4	750	24,9	36,4	276,2	0,4	86,1	18,3	250	15,2	4,6	4,1	39,0	500	28,5	31,9	237,2	75,1	22,5	358,6	3,6	2,3
19	105	21,9	500	28,8	32,5	246,3	0,5	76,0	22,0	0	0,0	0,0	0,0	0,0	500	28,8	32,5	246,3	76,0	22,0	367,7	3,5	1,8
19	110	22,3	500	29,0	33,1	254,6	0,5	76,8	21,5	0	0,0	0,0	0,0	0,0	500	29,0	33,1	254,6	76,8	21,5	376,0	3,4	1,7
19	115	22,7	500	29,3	33,7	262,4	0,5	77,5	21,2	0	0,0	0,0	0,0	0,0	500	29,3	33,7	262,4	77,5	21,2	383,8	3,3	1,5
19	120	23,1	500	29,5	34,2	269,5	0,5	78,1	20,8	0	0,0	0,0	0,0	0,0	500	29,5	34,2	269,5	78,1	20,8	390,9	3,3	1,4
19	125	23,4	500	29,7	34,6	276,0	0,6	78,7	20,6	175	18,3	4,6	4,9	41,2	325	34,3	30,0	234,8	68,1	25,5	397,4	3,2	1,3
19	130	23,7	325	34,5	30,4	239,9	0,7	68,6	25,2	0	0,0	0,0	0,0	0,0	325	34,5	30,4	239,9	68,6	25,2	402,5	3,1	1,0
19	135	23,9	325	34,7	30,7	244,6	0,8	69,0	24,9	0	0,0	0,0	0,0	0,0	325	34,7	30,7	244,6	69,0	24,9	407,2	3,0	0,9
19	140	24,2	325	34,9	31,0	248,9	0,8	69,4	24,6	145	22,0	5,5	8,5	49,5	180	42,5	25,5	199,4	56,9	33,1	411,5	2,9	0,9
19	145	24,4	180	42,7	25,7	202,5	1,1	57,2	32,8	0	0,0	0,0	0,0	0,0	180	42,7	25,7	202,5	57,2	32,8	414,6	2,9	0,6
19	150	24,6	180	42,8	25,9	205,3	1,1	57,4	32,5	180	42,8	25,9	0,0	205,3	0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	417,4	2,8	0,6

Tabla 32 Tabla de producción para la Calidad 16 del Itinerario H3

IS	EDAD	Ho	N	Dg	G	V	vi	H/D	IH	N	Dg	G	IH	V	N	Dg	G	V	H/D	IH	VT	CM	CC
ESTADO			ANTES DE LA CLARA							EXTRAIDO EN LA CLARA					DESPUÉS DE LA CLARA						CRECIMIENTO		
16	5	0,7	4000	2,8	2,5	1,4	0,0	24,3	248,4	0	0,0	0,0	0,0	0,0	4000	2,8	2,5	1,4	24,3	248,4	1,4	0,3	
16	10	1,8	4000	4,4	6,1	7,3	0,0	40,3	95,6	0	0,0	0,0	0,0	0,0	4000	4,4	6,1	7,3	40,3	95,6	7,3	0,7	1,2
16	15	3,0	4000	5,7	10,1	18,2	0,0	53,4	56,2	0	0,0	0,0	0,0	0,0	4000	5,7	10,1	18,2	53,4	56,2	18,2	1,2	2,2
16	20	4,3	4000	6,7	14,1	33,5	0,0	64,5	39,4	0	0,0	0,0	0,0	0,0	4000	6,7	14,1	33,5	64,5	39,4	33,5	1,7	3,1
16	25	5,6	4000	7,6	18,0	52,4	0,0	74,1	30,3	2000	4,8	3,7	12,5	12,0	2000	9,5	14,3	40,4	58,8	42,8	52,4	2,1	3,8
16	30	6,9	2000	10,5	17,3	57,2	0,0	65,4	35,0	0	0,0	0,0	0,0	0,0	2000	10,5	17,3	57,2	65,4	35,0	69,2	2,3	3,4
16	35	8,1	2000	11,3	20,2	75,5	0,0	71,3	29,7	0	0,0	0,0	0,0	0,0	2000	11,3	20,2	75,5	71,3	29,7	87,5	2,5	3,7
16	40	9,2	2000	12,1	22,8	94,7	0,0	76,5	26,0	0	0,0	0,0	0,0	0,0	2000	12,1	22,8	94,7	76,5	26,0	106,7	2,7	3,9
16	45	10,3	2000	12,7	25,4	114,5	0,1	81,2	23,3	0	0,0	0,0	0,0	0,0	2000	12,7	25,4	114,5	81,2	23,3	126,5	2,8	4,0
16	50	11,3	2000	13,3	27,7	134,4	0,1	85,3	21,2	0	0,0	0,0	0,0	0,0	2000	13,3	27,7	134,4	85,3	21,2	146,4	2,9	4,0
16	55	12,3	2000	13,8	29,8	154,1	0,1	89,0	19,6	800	8,6	4,6	5,7	26,9	1200	16,4	25,2	127,2	75,0	25,3	166,1	3,0	3,9
16	60	13,1	1200	16,9	26,9	143,1	0,1	77,8	23,6	0	0,0	0,0	0,0	0,0	1200	16,9	26,9	143,1	77,8	23,6	182,0	3,0	3,2
16	65	13,9	1200	17,4	28,4	158,5	0,1	80,3	22,2	0	0,0	0,0	0,0	0,0	1200	17,4	28,4	158,5	80,3	22,2	197,4	3,0	3,1
16	70	14,7	1200	17,8	29,9	173,2	0,1	82,5	21,1	0	0,0	0,0	0,0	0,0	1200	17,8	29,9	173,2	82,5	21,1	212,1	3,0	2,9
16	75	15,4	1200	18,2	31,2	187,2	0,2	84,5	20,2	0	0,0	0,0	0,0	0,0	1200	18,2	31,2	187,2	84,5	20,2	226,1	3,0	2,8
16	80	16,0	1200	18,5	32,4	200,4	0,2	86,3	19,4	0	0,0	0,0	0,0	0,0	1200	18,5	32,4	200,4	86,3	19,4	239,3	3,0	2,6
16	85	16,6	1200	18,8	33,5	212,9	0,2	88,0	18,7	450	11,7	4,8	5,0	34,4	750	22,1	28,7	178,5	75,2	23,7	251,8	3,0	2,5
16	90	17,1	750	22,4	29,5	188,2	0,3	76,4	22,9	0	0,0	0,0	0,0	0,0	750	22,4	29,5	188,2	76,4	22,9	261,6	2,9	2,0
16	95	17,6	750	22,7	30,3	197,4	0,3	77,5	22,3	0	0,0	0,0	0,0	0,0	750	22,7	30,3	197,4	77,5	22,3	270,7	2,8	1,8
16	100	18,0	750	22,9	31,0	205,9	0,3	78,6	21,8	0	0,0	0,0	0,0	0,0	750	22,9	31,0	205,9	78,6	21,8	279,2	2,8	1,7
16	105	18,4	750	23,2	31,6	213,7	0,3	79,5	21,3	0	0,0	0,0	0,0	0,0	750	23,2	31,6	213,7	79,5	21,3	287,0	2,7	1,6
16	110	18,8	750	23,4	32,2	221,0	0,3	80,3	20,9	0	0,0	0,0	0,0	0,0	750	23,4	32,2	221,0	80,3	20,9	294,3	2,7	1,5
16	115	19,1	750	23,6	32,8	227,7	0,3	81,0	20,5	0	0,0	0,0	0,0	0,0	750	23,6	32,8	227,7	81,0	20,5	301,0	2,6	1,3
16	120	19,4	750	23,8	33,2	233,9	0,3	81,7	20,2	0	0,0	0,0	0,0	0,0	750	23,8	33,2	233,9	81,7	20,2	307,2	2,6	1,2
16	125	19,7	750	23,9	33,7	239,5	0,3	82,3	19,9	250	14,6	4,2	4,5	33,8	500	27,4	29,5	205,7	71,9	24,4	312,9	2,5	1,1
16	130	19,9	500	27,6	29,8	210,2	0,4	72,3	24,1	0	0,0	0,0	0,0	0,0	500	27,6	29,8	210,2	72,3	24,1	317,3	2,4	0,9
16	135	20,2	500	27,7	30,1	214,3	0,4	72,8	23,8	0	0,0	0,0	0,0	0,0	500	27,7	30,1	214,3	72,8	23,8	321,4	2,4	0,8
16	140	20,4	500	27,8	30,4	218,0	0,4	73,2	23,6	0	0,0	0,0	0,0	0,0	500	27,8	30,4	218,0	73,2	23,6	325,2	2,3	0,7
16	145	20,6	500	28,0	30,7	221,4	0,4	73,5	23,4	0	0,0	0,0	0,0	0,0	500	28,0	30,7	221,4	73,5	23,4	328,6	2,3	0,7
16	150	20,7	500	28,1	30,9	224,6	0,4	73,9	23,2	200	17,5	4,8	6,7	39,2	300	33,3	26,1	185,4	62,2	29,9	331,7	2,2	0,6
16	155	20,9	300	33,4	26,3	187,7	0,6	62,5	29,7	0	0,0	0,0	0,0	0,0	300	33,4	26,3	187,7	62,5	29,7	334,1	2,2	0,5
16	160	21,0	300	33,5	26,5	189,9	0,6	62,7	29,5	0	0,0	0,0	0,0	0,0	300	33,5	26,5	189,9	62,7	29,5	336,2	2,1	0,4
16	165	21,1	300	33,6	26,6	191,8	0,6	62,9	29,3	0	0,0	0,0	0,0	0,0	300	33,6	26,6	191,8	62,9	29,3	338,2	2,0	0,4
16	170	21,3	300	33,7	26,8	193,6	0,6	63,1	29,2	125	21,1	4,4	9,0	35,5	175	40,4	22,4	158,1	52,6	38,2	340,0	2,0	0,4
16	175	21,4	175	40,5	22,5	159,5	0,9	52,8	38,0	0	0,0	0,0	0,0	0,0	175	40,5	22,5	159,5	52,8	38,0	341,3	2,0	0,3
16	180	21,5	175	40,5	22,6	160,7	0,9	52,9	37,9	55	24,7	2,6	7,9	21,2	120	46,0	20,0	139,4	46,6	45,7	342,5	1,9	0,2
16	185	21,5	120	46,1	20,0	140,4	1,2	46,7	45,5	0	0,0	0,0	0,0	0,0	120	46,1	20,0	140,4	46,7	45,5	343,4	1,9	0,2
16	190	21,6	120	46,2	20,1	141,3	1,2	46,8	45,4	120	46,2	20,1	0,0	141,3	0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	344,3	1,8	0,2

Tabla 33 Tabla de producción para la Calidad 13 del Itinerario H3

IS	EDAD	Ho	N	Dg	G	V	vi	H/D	IH	N	Dg	G	IH	V	N	Dg	G	V	H/D	IH	VT	CM	CC
ESTADO			ANTES DE LA CLARA							EXTRAIDO EN LA CLARA					DESPUÉS DE LA CLARA						CRECIMIENTO		
13	5	0,6	4000	2,6	2,1	1,0	0,0	21,8	305,7	0	0,0	0,0	0,0	0,0	4000	2,6	2,1	1,0	21,8	305,7	1,0	0,2	
13	10	1,4	4000	4,0	5,0	5,1	0,0	36,1	117,6	0	0,0	0,0	0,0	0,0	4000	4,0	5,0	5,1	36,1	117,6	5,1	0,5	0,8
13	15	2,5	4000	5,1	8,3	12,7	0,0	47,8	69,2	0	0,0	0,0	0,0	0,0	4000	5,1	8,3	12,7	47,8	69,2	12,7	0,8	1,5
13	20	3,5	4000	6,1	11,6	23,5	0,0	57,8	48,5	0	0,0	0,0	0,0	0,0	4000	6,1	11,6	23,5	57,8	48,5	23,5	1,2	2,1
13	25	4,6	4000	6,9	14,8	36,7	0,0	66,4	37,3	0	0,0	0,0	0,0	0,0	4000	6,9	14,8	36,7	66,4	37,3	36,7	1,5	2,7
13	30	5,6	4000	7,5	17,9	52,0	0,0	74,0	30,4	2000	4,8	3,7	12,6	11,9	2000	9,5	14,2	40,1	58,6	43,0	52,0	1,7	3,0
13	35	6,6	2000	10,3	16,6	52,9	0,0	63,9	36,6	0	0,0	0,0	0,0	0,0	2000	10,3	16,6	52,9	63,9	36,6	64,8	1,9	2,6
13	40	7,5	2000	10,9	18,8	66,4	0,0	68,6	32,0	0	0,0	0,0	0,0	0,0	2000	10,9	18,8	66,4	68,6	32,0	78,3	2,0	2,7
13	45	8,4	2000	11,5	20,9	80,3	0,0	72,7	28,7	0	0,0	0,0	0,0	0,0	2000	11,5	20,9	80,3	72,7	28,7	92,2	2,0	2,8
13	50	9,2	2000	12,0	22,8	94,2	0,0	76,4	26,1	0	0,0	0,0	0,0	0,0	2000	12,0	22,8	94,2	76,4	26,1	106,1	2,1	2,8
13	55	10,0	2000	12,5	24,6	108,0	0,1	79,7	24,1	0	0,0	0,0	0,0	0,0	2000	12,5	24,6	108,0	79,7	24,1	119,9	2,2	2,8
13	60	10,7	2000	12,9	26,2	121,5	0,1	82,7	22,5	800	8,0	4,1	6,5	21,2	1200	15,3	22,1	100,3	69,7	29,1	133,4	2,2	2,7
13	65	11,3	1200	15,8	23,4	111,1	0,1	71,9	27,4	0	0,0	0,0	0,0	0,0	1200	15,8	23,4	111,1	71,9	27,4	144,2	2,2	2,2
13	70	11,9	1200	16,1	24,6	121,4	0,1	73,9	26,0	0	0,0	0,0	0,0	0,0	1200	16,1	24,6	121,4	73,9	26,0	154,5	2,2	2,1
13	75	12,5	1200	16,5	25,6	131,2	0,1	75,7	24,8	0	0,0	0,0	0,0	0,0	1200	16,5	25,6	131,2	75,7	24,8	164,3	2,2	2,0
13	80	13,0	1200	16,8	26,6	140,5	0,1	77,3	23,9	0	0,0	0,0	0,0	0,0	1200	16,8	26,6	140,5	77,3	23,9	173,6	2,2	1,9
13	85	13,5	1200	17,1	27,5	149,2	0,1	78,8	23,0	0	0,0	0,0	0,0	0,0	1200	17,1	27,5	149,2	78,8	23,0	182,4	2,1	1,7
13	90	13,9	1200	17,3	28,3	157,4	0,1	80,1	22,3	0	0,0	0,0	0,0	0,0	1200	17,3	28,3	157,4	80,1	22,3	190,5	2,1	1,6
13	95	14,3	1200	17,6	29,1	165,1	0,1	81,3	21,7	0	0,0	0,0	0,0	0,0	1200	17,6	29,1	165,1	81,3	21,7	198,2	2,1	1,5
13	100	14,6	1200	17,8	29,8	172,2	0,1	82,4	21,2	450	11,0	4,3	5,6	27,8	750	20,8	25,5	144,3	70,4	26,8	205,3	2,1	1,4
13	105	15,0	750	21,0	26,0	149,8	0,2	71,2	26,2	0	0,0	0,0	0,0	0,0	750	21,0	26,0	149,8	71,2	26,2	210,8	2,0	1,1
13	110	15,3	750	21,2	26,5	154,9	0,2	71,9	25,7	0	0,0	0,0	0,0	0,0	750	21,2	26,5	154,9	71,9	25,7	215,9	2,0	1,0
13	115	15,5	750	21,4	26,9	159,6	0,2	72,6	25,3	0	0,0	0,0	0,0	0,0	750	21,4	26,9	159,6	72,6	25,3	220,6	1,9	0,9
13	120	15,8	750	21,5	27,3	163,9	0,2	73,2	24,9	0	0,0	0,0	0,0	0,0	750	21,5	27,3	163,9	73,2	24,9	224,9	1,9	0,9
13	125	16,0	750	21,7	27,7	167,9	0,2	73,7	24,5	0	0,0	0,0	0,0	0,0	750	21,7	27,7	167,9	73,7	24,5	228,9	1,8	0,8
13	130	16,2	750	21,8	28,0	171,6	0,2	74,2	24,2	0	0,0	0,0	0,0	0,0	750	21,8	28,0	171,6	74,2	24,2	232,5	1,8	0,7
13	135	16,4	750	21,9	28,3	174,9	0,2	74,7	24,0	0	0,0	0,0	0,0	0,0	750	21,9	28,3	174,9	74,7	24,0	235,9	1,7	0,7
13	140	16,5	750	22,0	28,6	178,0	0,2	75,1	23,7	0	0,0	0,0	0,0	0,0	750	22,0	28,6	178,0	75,1	23,7	238,9	1,7	0,6
13	145	16,7	750	22,1	28,9	180,8	0,2	75,5	23,5	0	0,0	0,0	0,0	0,0	750	22,1	28,9	180,8	75,5	23,5	241,7	1,7	0,6
13	150	16,8	750	22,2	29,1	183,3	0,2	75,8	23,3	250	13,6	3,6	5,2	25,9	500	25,5	25,4	157,4	66,1	28,5	244,3	1,6	0,5
13	155	17,0	500	25,5	25,6	159,4	0,3	66,4	28,3	0	0,0	0,0	0,0	0,0	500	25,5	25,6	159,4	66,4	28,3	246,3	1,6	0,4
13	160	17,1	500	25,6	25,8	161,2	0,3	66,6	28,1	0	0,0	0,0	0,0	0,0	500	25,6	25,8	161,2	66,6	28,1	248,1	1,6	0,4
13	165	17,2	500	25,7	25,9	162,9	0,3	66,9	28,0	200	16,0	4,0	8,1	28,4	300	30,5	21,9	134,5	56,3	36,1	249,7	1,5	0,3
13	170	17,3	300	30,6	22,0	135,7	0,5	56,5	35,9	0	0,0	0,0	0,0	0,0	300	30,6	22,0	135,7	56,5	35,9	251,0	1,5	0,2
13	175	17,4	300	30,6	22,1	136,9	0,5	56,6	35,8	125	19,1	3,6	11,1	25,1	175	36,7	18,5	111,8	47,3	46,8	252,1	1,4	0,2
13	180	17,4	175	36,8	18,6	112,6	0,6	47,4	46,6	0	0,0	0,0	0,0	0,0	175	36,8	18,6	112,6	47,4	46,6	253,0	1,4	0,2
13	185	17,5	175	36,8	18,7	113,4	0,6	47,5	46,4	0	0,0	0,0	0,0	0,0	175	36,8	18,7	113,4	47,5	46,4	253,7	1,4	0,2
13	190	17,6	175	36,9	18,7	114,1	0,7	47,6	46,3	50	22,4	2,0	8,5	13,5	125	41,3	16,8	100,6	42,5	54,7	254,4	1,3	0,1
13	195	17,6	125	41,4	16,8	101,1	0,8	42,6	54,6	0	0,0	0,0	0,0	0,0	125	41,4	16,8	101,1	42,6	54,6	255,0	1,3	0,1
13	200	17,7	125	41,4	16,9	101,6	0,8	42,6	54,4	125	41,4	16,9	0,0	101,6	0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	255,5	1,3	0,1

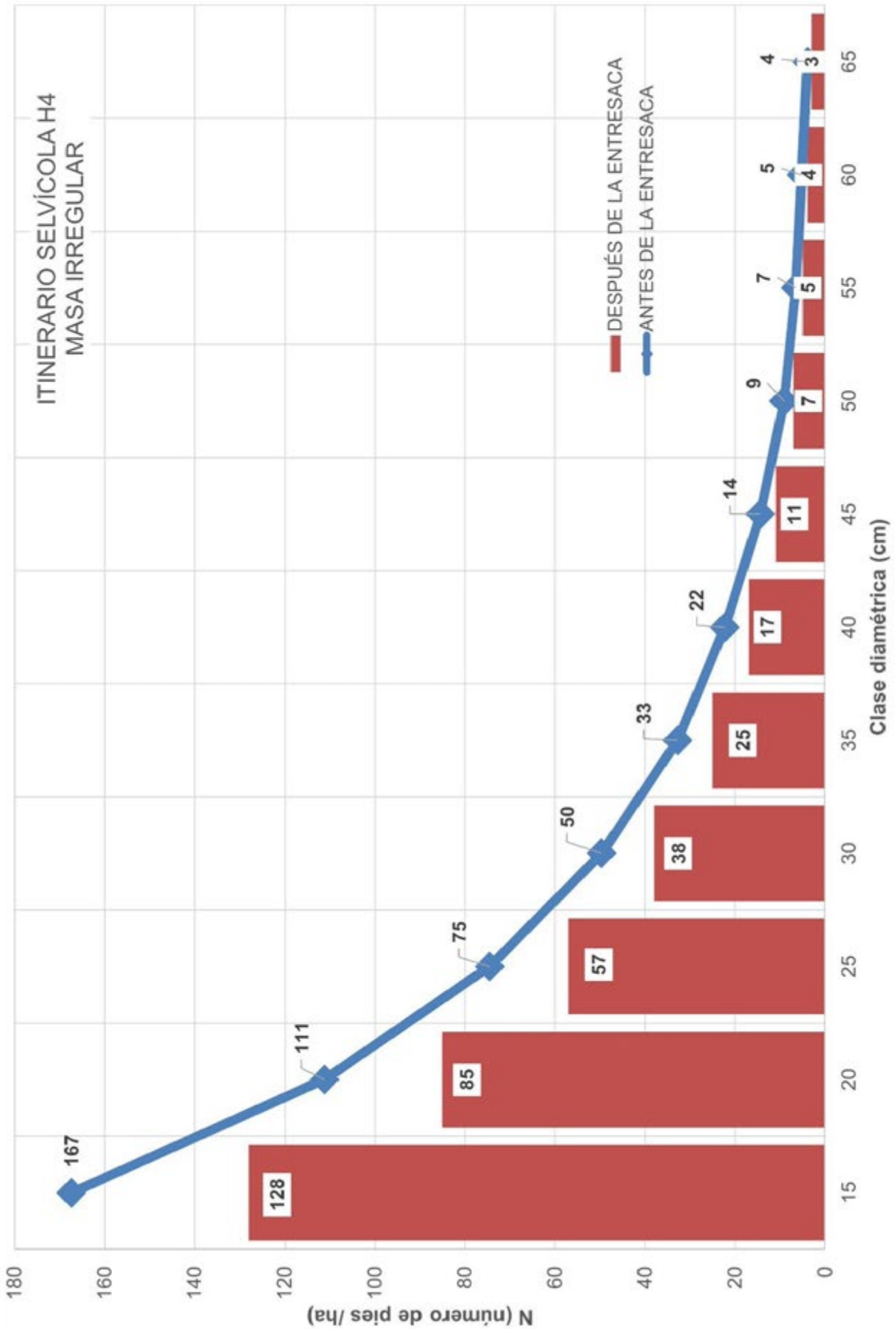


Figura 6. Resumen del Itinerario H4.

Tabla 34. Norma selvícola y curva de equilibrio para el itinerario H4.

ANTES DE LA ENTRESACA				
Ho (m)	N (pies/ha)	CD (cm)	G (m^2/ha)	V (m^3/ha)
11,5	167	15	2,96	19,5
13,7	111	20	3,49	24,6
15,9	75	25	3,66	27,8
20,1	50	30	3,51	31,8
21,9	33	35	3,15	30,2
22,8	22	40	2,79	27,5
23,6	14	45	2,29	23,3
25,4	9	50	1,80	19,9
26,8	7	55	1,55	18,0
27,3	5	60	1,48	17,2
29,6	4	65	1,30	16,3
∑	**497**		**28,0**	**256,3**
EXTRAÍDO EN LA ENTRESACA				
Ho (m)	N (pies/ha)	CD (cm)	G (m^2/ha)	V (m^3/ha)
11,5	39	15	0,70	5,8
13,7	26	20	0,82	7,3
15,9	18	25	0,86	8,2
20,1	12	30	0,83	9,4
21,9	8	35	0,74	8,9
22,8	5	40	0,66	8,1
23,6	3	45	0,54	6,9
25,4	2	50	0,42	5,9
26,8	2	55	0,37	5,3
27,3	1	60	0,35	5,1
29,6	1	65	0,31	4,8
∑	**117**		**6,58**	**75,8**
DESPUÉS DE LA ENTRESACA				
Ho (m)	N (pies/ha)	CD (cm)	G (m^2/ha)	V (m^3/ha)
11,5	128	15	2,26	15,6
13,7	85	20	2,67	19,6
15,9	57	25	2,80	22,2
20,1	38	30	2,69	25,4
21,9	25	35	2,41	24,1
22,8	17	40	2,14	21,9
23,6	11	45	1,75	18,6
25,4	7	50	1,37	15,8
26,8	5	55	1,19	14,4
27,3	4	60	1,13	13,7
29,6	3	65	1,00	13,0
∑	**380**		**21,4**	**204,5**

Tabla 35 Tabla de producción para la Calidad 25 del Itinerario H5

IS	EDAD	Ho	N	Dg	G	V	vi	H/D	IH	N	Dg	G	IH	V	N	Dg	G	V	H/D	IH	VT	CM	CC
ESTADO			ANTES DE LA CLARA							EXTRAIDO EN LA CLARA					DESPUÉS DE LA CLARA						CRECIMIENTO		
25	5	1,1	5000	3,2	4,1	3,3	0,0	33,2	142,2	0	0,0	0,0	0,0	0,0	5000	3,2	4,1	3,3	33,2	142,2	3,3	0,7	
25	10	2,8	5000	5,0	10,0	17,1	0,0	55,0	54,7	100	2,9	0,1	0,6	0,1	4900	5,1	9,9	17,0	54,7	55,3	17,1	1,7	2,8
25	15	4,7	4900	6,5	16,3	42,1	0,0	72,4	32,5	98	3,8	0,1	0,3	0,3	4802	6,6	16,2	41,8	71,9	32,9	42,2	2,8	5,0
25	20	6,7	4802	7,8	22,7	76,9	0,0	86,9	23,0	96	4,5	0,2	0,2	0,6	4706	7,8	22,5	76,3	86,3	23,2	77,3	3,9	7,0
25	25	8,8	4706	8,8	28,8	119,5	0,0	99,2	17,9	94	5,1	0,2	0,2	0,9	4612	8,9	28,7	118,6	98,5	18,1	120,5	4,8	8,6
25	30	10,7	4612	9,8	34,7	167,8	0,0	109,7	14,7	92	5,6	0,2	0,1	1,3	4520	9,8	34,4	166,6	109,0	14,9	169,8	5,7	9,8
25	35	12,6	4520	10,6	40,1	219,9	0,0	118,8	12,7	90	6,1	0,3	0,1	1,7	4429	10,7	39,8	218,2	118,0	12,8	223,1	6,4	10,7
25	40	14,4	4429	11,4	45,1	274,0	0,1	126,6	11,2	89	6,6	0,3	0,1	2,1	4341	11,5	44,8	271,9	125,7	11,3	278,9	7,0	11,2
25	45	16,1	4341	12,1	49,8	328,7	0,1	133,4	10,1	87	7,0	0,3	0,1	2,5	4254	12,2	49,4	326,2	132,5	10,2	335,6	7,5	11,4
25	50	17,7	4254	12,7	54,0	382,9	0,1	139,2	9,3	1704	7,9	8,4	2,7	66,9	2550	15,1	45,6	316,0	117,3	12,0	392,3	7,8	11,3
25	55	19,2	2550	15,7	49,2	362,3	0,1	122,3	11,1	800	9,6	5,7	2,3	47,7	1750	17,8	43,4	314,5	107,8	13,4	438,6	8,0	9,3
25	60	20,5	1750	18,4	46,3	353,8	0,2	111,8	12,5	0	0,0	0,0	0,0	0,0	1750	18,4	46,3	353,8	111,8	12,5	477,9	8,0	7,9
25	65	21,8	1750	18,9	49,0	391,7	0,2	115,4	11,8	550	11,5	5,7	2,4	51,7	1200	21,4	43,3	340,0	101,7	14,2	515,8	7,9	7,6
25	70	23,0	1200	22,0	45,4	371,6	0,3	104,6	13,5	400	13,4	5,7	3,0	52,5	800	25,1	39,7	319,1	91,3	16,6	547,4	7,8	6,3
25	75	24,0	800	25,7	41,5	344,9	0,4	93,5	15,8	0	0,0	0,0	0,0	0,0	800	25,7	41,5	344,9	93,5	15,8	573,2	7,6	5,2
25	80	25,0	800	26,2	43,1	369,3	0,5	95,5	15,2	275	16,1	5,6	3,6	54,0	525	30,1	37,5	315,3	82,9	18,8	597,6	7,5	4,9
25	85	25,9	525	30,7	38,7	334,9	0,6	84,5	18,1	0	0,0	0,0	0,0	0,0	525	30,7	38,7	334,9	84,5	18,1	617,2	7,3	3,9
25	90	26,7	525	31,1	39,9	353,3	0,7	85,9	17,6	175	19,1	5,0	3,9	49,9	350	35,6	34,9	303,4	75,0	21,5	635,6	7,1	3,7
25	95	27,5	350	36,1	35,8	318,1	0,9	76,1	20,9	0	0,0	0,0	0,0	0,0	350	36,1	35,8	318,1	76,1	20,9	650,3	6,8	2,9
25	100	28,2	350	36,5	36,7	331,8	0,9	77,1	20,4	125	22,5	5,0	5,0	50,7	225	42,3	31,7	281,1	66,5	25,4	664,0	6,6	2,7
25	105	28,8	225	42,8	32,3	291,8	1,3	67,3	24,9	25	25,0	1,2	1,5	12,6	200	44,5	31,1	279,2	64,7	26,4	674,7	6,4	2,1
25	110	29,3	200	44,9	31,7	288,7	1,4	65,3	25,9	75	27,8	4,5	6,9	46,7	125	52,6	27,1	242,0	55,8	32,8	684,2	6,2	1,9
25	115	29,9	125	53,0	27,6	249,4	2,0	56,3	32,2	125	53,0	27,6	0,0	249,4	0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	691,6	6,0	1,5

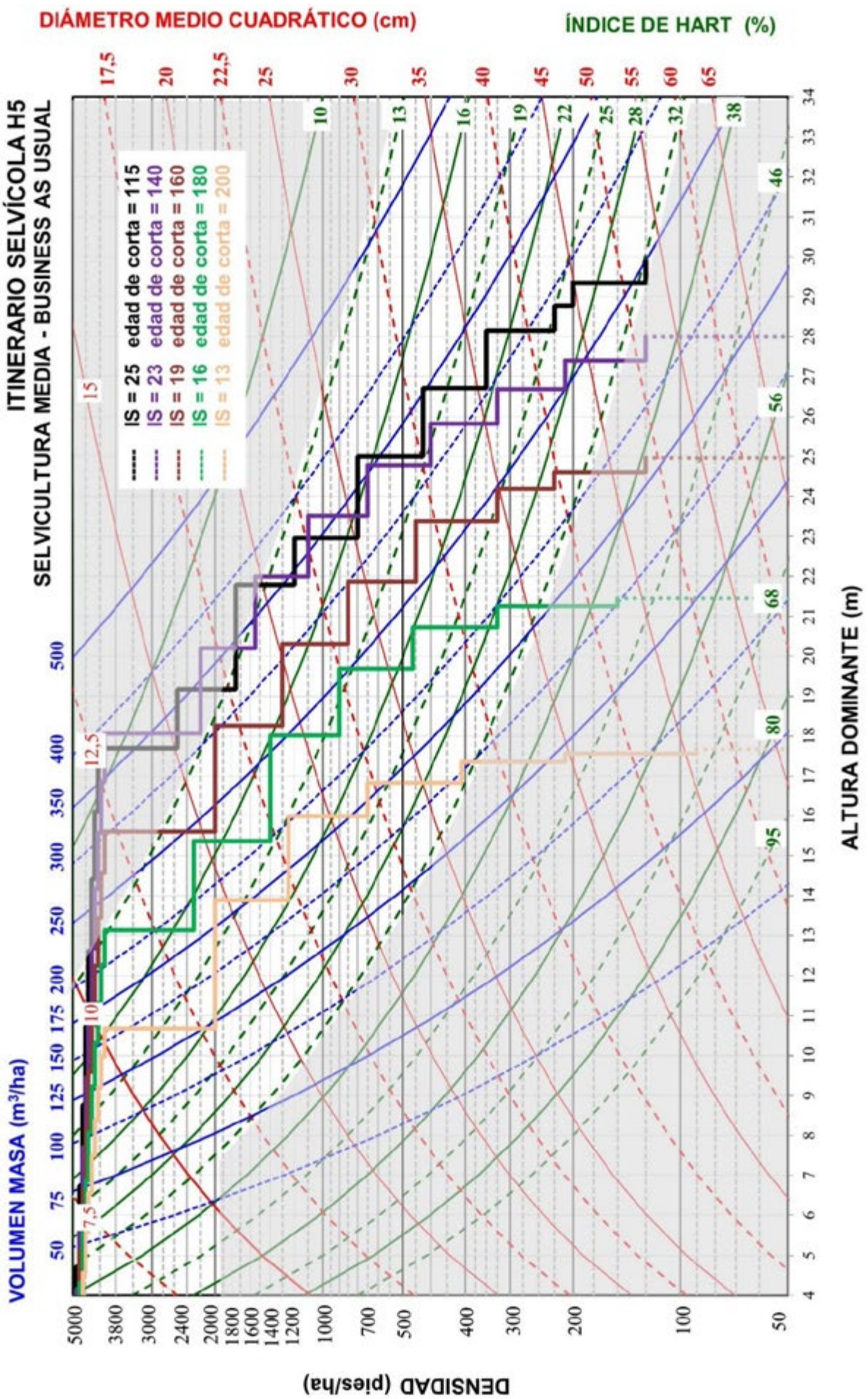


Figura 7. Resumen del Itinerario H5 en función de las distintas calidades de estación

Tabla 36 Tabla de producción para la Calidad 22 del Itinerario H5

IS	EDAD	Ho	N	Dg	G	V	vi	H/D	IH	N	Dg	G	IH	V	N	Dg	G	V	H/D	IH	VT	CM	CC
ESTADO			ANTES DE LA CLARA							EXTRAIDO EN LA CLARA					DESPUÉS DE LA CLARA						CRECIMIENTO		
25	5	1,1	5000	3,2	4,1	3,3	0,0	33,2	142,2	0	0,0	0,0	0,0	0,0	5000	3,2	4,1	3,3	33,2	142,2	3,3	0,7	
25	10	2,8	5000	5,0	10,0	17,1	0,0	55,0	54,7	100	2,9	0,1	0,6	0,1	4900	5,1	9,9	17,0	54,7	55,3	17,1	1,7	2,8
25	15	4,7	4900	6,5	16,3	42,1	0,0	72,4	32,5	98	3,8	0,1	0,3	0,3	4802	6,6	16,2	41,8	71,9	32,9	42,2	2,8	5,0
25	20	6,7	4802	7,8	22,7	76,9	0,0	86,9	23,0	96	4,5	0,2	0,2	0,6	4706	7,8	22,5	76,3	86,3	23,2	77,3	3,9	7,0
25	25	8,8	4706	8,8	28,8	119,5	0,0	99,2	17,9	94	5,1	0,2	0,2	0,9	4612	8,9	28,7	118,6	98,5	18,1	120,5	4,8	8,6
25	30	10,7	4612	9,8	34,7	167,8	0,0	109,7	14,7	92	5,6	0,2	0,1	1,3	4520	9,8	34,4	166,6	109,0	14,9	169,8	5,7	9,8
25	35	12,6	4520	10,6	40,1	219,9	0,0	118,8	12,7	90	6,1	0,3	0,1	1,7	4429	10,7	39,8	218,2	118,0	12,8	223,1	6,4	10,7
25	40	14,4	4429	11,4	45,1	274,0	0,1	126,6	11,2	89	6,6	0,3	0,1	2,1	4341	11,5	44,8	271,9	125,7	11,3	278,9	7,0	11,2
25	45	16,1	4341	12,1	49,8	328,7	0,1	133,4	10,1	87	7,0	0,3	0,1	2,5	4254	12,2	49,4	326,2	132,5	10,2	335,6	7,5	11,4
25	50	17,7	4254	12,7	54,0	382,9	0,1	139,2	9,3	1704	7,9	8,4	2,7	66,9	2550	15,1	45,6	316,0	117,3	12,0	392,3	7,8	11,3
25	55	19,2	2550	15,7	49,2	362,3	0,1	122,3	11,1	800	9,6	5,7	2,3	47,7	1750	17,8	43,4	314,5	107,8	13,4	438,6	8,0	9,3
25	60	20,5	1750	18,4	46,3	353,8	0,2	111,8	12,5	0	0,0	0,0	0,0	0,0	1750	18,4	46,3	353,8	111,8	12,5	477,9	8,0	7,9
25	65	21,8	1750	18,9	49,0	391,7	0,2	115,4	11,8	550	11,5	5,7	2,4	51,7	1200	21,4	43,3	340,0	101,7	14,2	515,8	7,9	7,6
25	70	23,0	1200	22,0	45,4	371,6	0,3	104,6	13,5	400	13,4	5,7	3,0	52,5	800	25,1	39,7	319,1	91,3	16,6	547,4	7,8	6,3
25	75	24,0	800	25,7	41,5	344,9	0,4	93,5	15,8	0	0,0	0,0	0,0	0,0	800	25,7	41,5	344,9	93,5	15,8	573,2	7,6	5,2
25	80	25,0	800	26,2	43,1	369,3	0,5	95,5	15,2	275	16,1	5,6	3,6	54,0	525	30,1	37,5	315,3	82,9	18,8	597,6	7,5	4,9
25	85	25,9	525	30,7	38,7	334,9	0,6	84,5	18,1	0	0,0	0,0	0,0	0,0	525	30,7	38,7	334,9	84,5	18,1	617,2	7,3	3,9
25	90	26,7	525	31,1	39,9	353,3	0,7	85,9	17,6	175	19,1	5,0	3,9	49,9	350	35,6	34,9	303,4	75,0	21,5	635,6	7,1	3,7
25	95	27,5	350	36,1	35,8	318,1	0,9	76,1	20,9	0	0,0	0,0	0,0	0,0	350	36,1	35,8	318,1	76,1	20,9	650,3	6,8	2,9
25	100	28,2	350	36,5	36,7	331,8	0,9	77,1	20,4	125	22,5	5,0	5,0	50,7	225	42,3	31,7	281,1	66,5	25,4	664,0	6,6	2,7
25	105	28,8	225	42,8	32,3	291,8	1,3	67,3	24,9	25	25,0	1,2	1,5	12,6	200	44,5	31,1	279,2	64,7	26,4	674,7	6,4	2,1
25	110	29,3	200	44,9	31,7	288,7	1,4	65,3	25,9	75	27,8	4,5	6,9	46,7	125	52,6	27,1	242,0	55,8	32,8	684,2	6,2	1,9
25	115	29,9	125	53,0	27,6	249,4	2,0	56,3	32,2	125	53,0	27,6	0,0	249,4	0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	691,6	6,0	1,5

Tabla 36 Tabla de producción para la Calidad 22 del Itinerario H5

IS	EDAD	Ho	N	Dg	G	V	vi	H/D	IH	N	Dg	G	IH	V	N	Dg	G	V	H/D	IH	VT	CM	CC
	ESTADO		ANTES DE LA CLARA							EXTRAIDO EN LA CLARA					DESPUÉS DE LA CLARA						CRECIMIENTO		
22	5	0,9	5000	3,0	3,6	2,7	0,0	31,0	161,6	0	0,0	0,0	0,0	0,0	5000	3,0	3,6	2,7	31,0	161,6	2,7	0,5	
22	10	2,4	5000	4,8	8,9	13,8	0,0	51,4	62,2	100	2,7	0,1	0,6	0,1	4900	4,8	8,8	13,7	51,1	62,8	13,8	1,4	2,2
22	15	4,2	4900	6,1	14,5	33,8	0,0	67,7	37,0	98	3,5	0,1	0,4	0,3	4802	6,2	14,4	33,6	67,2	37,3	33,9	2,3	4,0
22	20	5,9	4802	7,3	20,1	61,8	0,0	81,2	26,1	96	4,2	0,1	0,3	0,5	4706	7,4	20,0	61,3	80,7	26,4	62,2	3,1	5,6
22	25	7,7	4706	8,3	25,6	96,0	0,0	92,7	20,3	94	4,8	0,2	0,2	0,7	4612	8,4	25,4	95,3	92,1	20,5	96,9	3,9	6,9
22	30	9,4	4612	9,2	30,7	134,9	0,0	102,5	16,8	92	5,3	0,2	0,2	1,0	4520	9,3	30,5	133,9	101,8	16,9	136,4	4,5	7,9
22	35	11,1	4520	10,0	35,6	176,7	0,0	111,0	14,4	90	5,8	0,2	0,1	1,3	4429	10,1	35,3	175,4	110,2	14,5	179,3	5,1	8,6
22	40	12,7	4429	10,7	40,0	220,2	0,0	118,3	12,7	89	6,2	0,3	0,1	1,7	4341	10,8	39,8	218,5	117,5	12,9	224,1	5,6	9,0
22	45	14,2	4341	11,4	44,1	264,1	0,1	124,6	11,5	87	6,6	0,3	0,1	2,0	4254	11,5	43,8	262,1	123,8	11,6	269,7	6,0	9,1
22	50	15,6	4254	12,0	47,9	307,7	0,1	130,1	10,6	85	6,9	0,3	0,1	2,3	4169	12,1	47,6	305,4	129,2	10,7	315,2	6,3	9,1
22	55	16,9	4169	12,5	51,3	350,1	0,1	134,8	9,9	83	7,2	0,3	0,1	2,6	4085	12,6	50,9	347,4	133,9	10,0	360,0	6,5	8,9
22	60	18,1	4085	13,0	54,3	390,8	0,1	138,9	9,3	1885	8,2	10,0	3,4	81,0	2200	16,0	44,3	309,8	112,8	12,7	403,3	6,7	8,7
22	65	19,2	2200	16,5	46,8	343,0	0,2	116,5	11,9	0	0,0	0,0	0,0	0,0	2200	16,5	46,8	343,0	116,5	11,9	436,6	6,7	6,6
22	70	20,2	2200	16,9	49,2	374,9	0,2	119,7	11,3	650	10,2	5,4	2,2	46,2	1550	19,0	43,8	328,7	106,5	13,5	468,5	6,7	6,4
22	75	21,1	1550	19,4	45,7	355,3	0,2	109,1	12,9	0	0,0	0,0	0,0	0,0	1550	19,4	45,7	355,3	109,1	12,9	495,0	6,6	5,3
22	80	22,0	1550	19,8	47,5	380,4	0,2	111,4	12,4	450	12,0	5,1	2,3	46,0	1100	22,2	42,4	334,5	99,3	14,7	520,2	6,5	5,0
22	85	22,8	1100	22,5	43,8	355,3	0,3	101,2	14,2	0	0,0	0,0	0,0	0,0	1100	22,5	43,8	355,3	101,2	14,2	541,0	6,4	4,2
22	90	23,5	1100	22,9	45,1	374,8	0,3	102,9	13,8	350	14,0	5,4	2,9	50,2	750	26,0	39,8	324,6	90,5	16,7	560,5	6,2	3,9
22	95	24,2	750	26,3	40,8	340,3	0,5	91,8	16,2	0	0,0	0,0	0,0	0,0	750	26,3	40,8	340,3	91,8	16,2	576,2	6,1	3,1
22	100	24,8	750	26,6	41,8	354,9	0,5	93,0	15,8	250	16,3	5,2	3,6	50,1	500	30,5	36,6	304,8	81,2	19,4	590,8	5,9	2,9
22	105	25,3	500	30,8	37,3	316,5	0,6	82,1	19,0	0	0,0	0,0	0,0	0,0	500	30,8	37,3	316,5	82,1	19,0	602,5	5,7	2,3
22	110	25,8	500	31,1	38,0	327,2	0,7	83,0	18,6	175	19,1	5,0	4,5	48,9	325	35,9	33,0	278,4	71,8	23,1	613,2	5,6	2,2
22	115	26,3	325	36,2	33,5	286,8	0,9	72,5	22,7	0	0,0	0,0	0,0	0,0	325	36,2	33,5	286,8	72,5	22,7	621,7	5,4	1,7
22	120	26,7	325	36,5	34,0	294,6	0,9	73,1	22,3	115	22,5	4,6	5,4	44,5	210	42,3	29,5	250,1	63,2	27,8	629,5	5,2	1,6
22	125	27,1	210	42,5	29,9	256,1	1,2	63,6	27,4	0	0,0	0,0	0,0	0,0	210	42,5	29,9	256,1	63,6	27,4	635,5	5,1	1,2
22	130	27,4	210	42,8	30,2	261,7	1,2	64,0	27,1	85	26,7	4,7	8,0	46,3	125	50,9	25,5	215,4	53,8	35,1	641,1	4,9	1,1
22	135	27,7	125	51,2	25,7	219,6	1,8	54,1	34,7	0	0,0	0,0	0,0	0,0	125	51,2	25,7	219,6	54,1	34,7	645,3	4,8	0,8
22	140	28,0	125	51,4	26,0	223,4	1,8	54,4	34,3	125	51,4	26,0	0,0	223,4	0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	649,1	4,6	0,8

Tabla 37 Tabla de producción para la Calidad 19 del Itinerario H5

IS	EDAD	Ho	N	Dg	G	V	vi	H/D	IH	N	Dg	G	IH	V	N	Dg	G	V	H/D	IH	VT	CM	CC
ESTADO			ANTES DE LA CLARA							EXTRAIDO EN LA CLARA					DESPUÉS DE LA CLARA						CRECIMIENTO		
19	5	0,8	5000	2,8	3,2	2,1	0,0	28,7	187,1	0	0,0	0,0	0,0	0,0	5000	2,8	3,2	2,1	28,7	187,1	2,1	0,4	
19	10	2,1	5000	4,4	7,7	10,7	0,0	47,6	72,0	100	2,6	0,1	0,7	0,1	4900	4,5	7,7	10,6	47,3	72,7	10,7	1,1	1,7
19	15	3,6	4900	5,7	12,6	26,3	0,0	62,6	42,8	98	3,3	0,1	0,4	0,2	4802	5,8	12,5	26,1	62,2	43,2	26,4	1,8	3,1
19	20	5,1	4802	6,8	17,5	48,1	0,0	75,1	30,3	96	3,9	0,1	0,3	0,4	4706	6,9	17,4	47,7	74,6	30,6	48,4	2,4	4,4
19	25	6,7	4706	7,8	22,3	74,7	0,0	85,8	23,5	94	4,5	0,1	0,2	0,6	4612	7,8	22,1	74,2	85,2	23,8	75,4	3,0	5,4
19	30	8,2	4612	8,6	26,8	105,0	0,0	94,9	19,4	92	5,0	0,2	0,2	0,8	4520	8,7	26,6	104,2	94,2	19,6	106,2	3,5	6,2
19	35	9,6	4520	9,3	31,0	137,5	0,0	102,7	16,7	90	5,4	0,2	0,2	1,0	4429	9,4	30,8	136,5	102,0	16,8	139,5	4,0	6,7
19	40	11,0	4429	10,0	34,9	171,3	0,0	109,5	14,7	89	5,8	0,2	0,1	1,3	4341	10,1	34,7	170,0	108,7	14,9	174,4	4,4	7,0
19	45	12,2	4341	10,6	38,5	205,5	0,0	115,3	13,3	87	6,1	0,3	0,1	1,6	4254	10,7	38,2	204,0	114,5	13,5	209,9	4,7	7,1
19	50	13,4	4254	11,2	41,7	239,4	0,1	120,3	12,3	85	6,4	0,3	0,1	1,8	4169	11,2	41,4	237,6	119,5	12,4	245,3	4,9	7,1
19	55	14,6	4169	11,7	44,7	272,4	0,1	124,7	11,4	83	6,7	0,3	0,1	2,1	4085	11,8	44,4	270,4	123,9	11,5	280,1	5,1	7,0
19	60	15,6	4085	12,1	47,3	304,1	0,1	128,5	10,8	2085	7,8	9,9	4,6	71,5	2000	15,4	37,4	232,6	101,1	15,4	313,9	5,2	6,8
19	65	16,6	2000	15,9	39,6	257,6	0,1	104,4	14,5	0	0,0	0,0	0,0	0,0	2000	15,9	39,6	257,6	104,4	14,5	338,8	5,2	5,0
19	70	17,4	2000	16,3	41,5	281,5	0,1	107,3	13,8	0	0,0	0,0	0,0	0,0	2000	16,3	41,5	281,5	107,3	13,8	362,8	5,2	4,8
19	75	18,3	2000	16,6	43,3	304,2	0,2	109,9	13,2	700	10,2	5,7	3,2	45,4	1300	19,2	37,6	258,8	95,1	16,3	385,5	5,1	4,6
19	80	19,0	1300	19,6	39,0	277,1	0,2	97,2	15,7	0	0,0	0,0	0,0	0,0	1300	19,6	39,0	277,1	97,2	15,7	403,8	5,0	3,7
19	85	19,7	1300	19,9	40,4	294,4	0,2	99,0	15,1	0	0,0	0,0	0,0	0,0	1300	19,9	40,4	294,4	99,0	15,1	421,1	5,0	3,4
19	90	20,3	1300	20,2	41,6	310,5	0,2	100,6	14,7	450	12,4	5,4	3,5	45,8	850	23,3	36,1	264,7	87,3	18,2	437,2	4,9	3,2
19	95	20,9	850	23,6	37,1	277,6	0,3	88,6	17,7	0	0,0	0,0	0,0	0,0	850	23,6	37,1	277,6	88,6	17,7	450,1	4,7	2,6
19	100	21,4	850	23,8	37,9	289,5	0,3	89,7	17,2	0	0,0	0,0	0,0	0,0	850	23,8	37,9	289,5	89,7	17,2	462,0	4,6	2,4
19	105	21,9	850	24,1	38,7	300,6	0,4	90,8	16,9	300	14,8	5,2	4,1	45,3	550	27,9	33,6	255,2	78,5	21,0	473,0	4,5	2,2
19	110	22,3	550	28,1	34,2	263,9	0,5	79,3	20,5	0	0,0	0,0	0,0	0,0	550	28,1	34,2	263,9	79,3	20,5	481,7	4,4	1,7
19	115	22,7	550	28,4	34,7	271,9	0,5	80,0	20,2	0	0,0	0,0	0,0	0,0	550	28,4	34,7	271,9	80,0	20,2	489,7	4,3	1,6
19	120	23,1	550	28,6	35,3	279,3	0,5	80,7	19,9	0	0,0	0,0	0,0	0,0	550	28,6	35,3	279,3	80,7	19,9	497,1	4,1	1,5
19	125	23,4	550	28,8	35,7	286,1	0,5	81,3	19,6	225	17,9	5,7	5,9	51,3	325	34,3	30,0	234,8	68,1	25,5	503,9	4,0	1,4
19	130	23,7	325	34,5	30,4	239,9	0,7	68,6	25,2	0	0,0	0,0	0,0	0,0	325	34,5	30,4	239,9	68,6	25,2	509,0	3,9	1,0
19	135	23,9	325	34,7	30,7	244,6	0,8	69,0	24,9	0	0,0	0,0	0,0	0,0	325	34,7	30,7	244,6	69,0	24,9	513,7	3,8	0,9
19	140	24,2	325	34,9	31,0	248,9	0,8	69,4	24,6	100	21,2	3,5	5,0	32,1	225	39,4	27,5	216,8	61,3	29,6	517,9	3,7	0,9
19	145	24,4	225	39,6	27,7	220,2	1,0	61,6	29,4	0	0,0	0,0	0,0	0,0	225	39,6	27,7	220,2	61,6	29,4	521,3	3,6	0,7
19	150	24,6	225	39,8	27,9	223,3	1,0	61,9	29,1	100	25,0	4,9	9,9	44,2	125	48,4	23,0	179,1	50,8	39,1	524,4	3,5	0,6
19	155	24,8	125	48,6	23,2	181,3	1,5	51,0	38,8	0	0,0	0,0	0,0	0,0	125	48,6	23,2	181,3	51,0	38,8	526,7	3,4	0,5
19	160	25,0	125	48,7	23,3	183,4	1,5	51,2	38,5	125	48,7	23,3	0,0	183,4	0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	528,8	3,3	0,4

Tabla 38 Tabla de producción para la Calidad 16 del Itinerario H5

IS	EDAD	Ho	N	Dg	G	V	vi	H/D	IH	N	Dg	G	IH	V	N	Dg	G	V	H/D	IH	VT	CM	CC
ESTADO			ANTES DE LA CLARA							EXTRAIDO EN LA CLARA					DESPUÉS DE LA CLARA						CRECIMIENTO		
16	5	0,7	5000	2,6	2,7	1,6	0,0	26,2	222,2	0	0,0	0,0	0,0	0,0	5000	2,6	2,7	1,6	26,2	222,2	1,6	0,3	
16	10	1,8	5000	4,1	6,6	8,0	0,0	43,4	85,5	100	2,4	0,0	0,9	0,1	4900	4,1	6,5	7,9	43,1	86,3	8,0	0,8	1,3
16	15	3,0	4900	5,3	10,7	19,6	0,0	57,2	50,8	98	3,0	0,1	0,5	0,1	4802	5,3	10,7	19,5	56,8	51,3	19,7	1,3	2,3
16	20	4,3	4802	6,3	14,9	35,8	0,0	68,6	35,9	96	3,6	0,1	0,4	0,3	4706	6,3	14,8	35,6	68,1	36,3	36,0	1,8	3,3
16	25	5,6	4706	7,2	19,0	55,7	0,0	78,3	27,9	94	4,1	0,1	0,3	0,4	4612	7,2	18,8	55,3	77,8	28,2	56,2	2,2	4,0
16	30	6,9	4612	7,9	22,8	78,2	0,0	86,6	23,0	92	4,6	0,2	0,2	0,6	4520	8,0	22,6	77,6	86,0	23,3	79,1	2,6	4,6
16	35	8,1	4520	8,6	26,4	102,5	0,0	93,7	19,8	90	5,0	0,2	0,2	0,8	4429	8,7	26,2	101,7	93,1	20,0	104,0	3,0	5,0
16	40	9,2	4429	9,2	29,7	127,7	0,0	99,9	17,5	89	5,3	0,2	0,2	1,0	4341	9,3	29,5	126,7	99,2	17,7	130,0	3,2	5,2
16	45	10,3	4341	9,8	32,7	153,2	0,0	105,3	15,8	87	5,6	0,2	0,2	1,2	4254	9,9	32,5	152,0	104,5	16,0	156,4	3,5	5,3
16	50	11,3	4254	10,3	35,5	178,4	0,0	109,9	14,5	85	5,9	0,2	0,1	1,3	4169	10,4	35,3	177,1	109,1	14,7	182,8	3,7	5,3
16	55	12,3	4169	10,8	38,0	203,0	0,0	113,8	13,6	83	6,2	0,3	0,1	1,5	4085	10,8	37,8	201,5	113,1	13,7	208,8	3,8	5,2
16	60	13,1	4085	11,2	40,3	226,7	0,1	117,3	12,8	1785	7,0	6,9	4,3	44,0	2300	13,6	33,3	182,7	96,7	17,1	233,9	3,9	5,0
16	65	13,9	2300	14,0	35,2	202,3	0,1	99,8	16,1	0	0,0	0,0	0,0	0,0	2300	14,0	35,2	202,3	99,8	16,1	253,5	3,9	3,9
16	70	14,7	2300	14,3	37,0	221,1	0,1	102,6	15,3	0	0,0	0,0	0,0	0,0	2300	14,3	37,0	221,1	102,6	15,3	272,3	3,9	3,8
16	75	15,4	2300	14,6	38,6	239,0	0,1	105,1	14,6	900	9,1	5,8	4,1	40,6	1400	17,3	32,8	198,3	89,0	18,7	290,2	3,9	3,6
16	80	16,0	1400	17,6	34,0	212,4	0,2	90,9	17,9	0	0,0	0,0	0,0	0,0	1400	17,6	34,0	212,4	90,9	17,9	304,2	3,8	2,8
16	85	16,6	1400	17,9	35,2	225,6	0,2	92,6	17,3	0	0,0	0,0	0,0	0,0	1400	17,9	35,2	225,6	92,6	17,3	317,4	3,7	2,6
16	90	17,1	1400	18,2	36,2	237,9	0,2	94,2	16,8	0	0,0	0,0	0,0	0,0	1400	18,2	36,2	237,9	94,2	16,8	329,8	3,7	2,5
16	95	17,6	1400	18,4	37,2	249,5	0,2	95,6	16,3	0	0,0	0,0	0,0	0,0	1400	18,4	37,2	249,5	95,6	16,3	341,3	3,6	2,3
16	100	18,0	1400	18,6	38,1	260,2	0,2	96,8	15,9	500	11,5	5,2	3,9	39,8	900	21,6	32,9	220,4	83,5	19,9	352,1	3,5	2,1
16	105	18,4	900	21,8	33,6	228,9	0,3	84,5	19,4	0	0,0	0,0	0,0	0,0	900	21,8	33,6	228,9	84,5	19,4	360,5	3,4	1,7
16	110	18,8	900	22,0	34,2	236,6	0,3	85,4	19,1	0	0,0	0,0	0,0	0,0	900	22,0	34,2	236,6	85,4	19,1	368,3	3,3	1,6
16	115	19,1	900	22,2	34,8	243,8	0,3	86,2	18,7	0	0,0	0,0	0,0	0,0	900	22,2	34,8	243,8	86,2	18,7	375,5	3,3	1,4
16	120	19,4	900	22,3	35,3	250,4	0,3	86,9	18,5	0	0,0	0,0	0,0	0,0	900	22,3	35,3	250,4	86,9	18,5	382,1	3,2	1,3
16	125	19,7	900	22,5	35,8	256,5	0,3	87,5	18,2	340	13,9	5,2	4,9	41,8	560	26,4	30,6	214,7	74,7	23,1	388,1	3,1	1,2
16	130	19,9	560	26,5	30,9	219,3	0,4	75,2	22,8	0	0,0	0,0	0,0	0,0	560	26,5	30,9	219,3	75,2	22,8	392,8	3,0	0,9
16	135	20,2	560	26,7	31,3	223,6	0,4	75,6	22,5	0	0,0	0,0	0,0	0,0	560	26,7	31,3	223,6	75,6	22,5	397,1	2,9	0,9
16	140	20,4	560	26,8	31,6	227,5	0,4	76,0	22,3	0	0,0	0,0	0,0	0,0	560	26,8	31,6	227,5	76,0	22,3	401,0	2,9	0,8
16	145	20,6	560	26,9	31,8	231,1	0,4	76,4	22,1	0	0,0	0,0	0,0	0,0	560	26,9	31,8	231,1	76,4	22,1	404,6	2,8	0,7
16	150	20,7	560	27,0	32,1	234,3	0,4	76,7	21,9	235	16,9	5,3	6,9	43,3	325	32,4	26,8	191,0	63,9	28,8	407,8	2,7	0,7
16	155	20,9	325	32,5	27,0	193,5	0,6	64,2	28,6	0	0,0	0,0	0,0	0,0	325	32,5	27,0	193,5	64,2	28,6	410,2	2,6	0,5
16	160	21,0	325	32,6	27,2	195,7	0,6	64,4	28,4	0	0,0	0,0	0,0	0,0	325	32,6	27,2	195,7	64,4	28,4	412,5	2,6	0,4
16	165	21,1	325	32,7	27,3	197,7	0,6	64,6	28,2	0	0,0	0,0	0,0	0,0	325	32,7	27,3	197,7	64,6	28,2	414,5	2,5	0,4
16	170	21,3	325	32,8	27,5	199,5	0,6	64,8	28,0	175	21,2	6,2	13,2	50,3	150	42,5	21,3	149,3	50,0	41,3	416,3	2,4	0,4
16	175	21,4	150	42,6	21,4	150,5	1,0	50,1	41,1	0	0,0	0,0	0,0	0,0	150	42,6	21,4	150,5	50,1	41,1	417,5	2,4	0,2
16	180	21,5	150	42,7	21,5	151,6	1,0	50,2	40,9	150	42,7	21,5	0,0	151,6	0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	418,7	2,3	0,2

Tabla 39 Tabla de producción para la Calidad 13 del Itinerario H5

IS	EDAD	Ho	N	Dg	G	V	vi	H/D	IH	N	Dg	G	IH	V	N	Dg	G	V	H/D	IH	VT	CM	CC
ESTADO			ANTES DE LA CLARA							EXTRAIDO EN LA CLARA					DESPUÉS DE LA CLARA						CRECIMIENTO		
13	5	0,6	5000	2,4	2,2	1,1	0,0	23,4	273,4	0	0,0	0,0	0,0	0,0	5000	2,4	2,2	1,1	23,4	273,4	1,1	0,2	
13	10	1,4	5000	3,7	5,4	5,6	0,0	38,9	105,2	100	2,1	0,0	1,1	0,0	4900	3,7	5,4	5,6	38,6	106,3	5,6	0,6	0,9
13	15	2,5	4900	4,8	8,8	13,8	0,0	51,2	62,6	98	2,8	0,1	0,6	0,1	4802	4,8	8,8	13,6	50,8	63,2	13,8	0,9	1,6
13	20	3,5	4802	5,7	12,3	25,1	0,0	61,4	44,2	96,04	3,3	0,1	0,4	0,2	4706	5,7	12,2	24,9	61,0	44,7	25,3	1,3	2,3
13	25	4,6	4706	6,5	15,6	39,0	0,0	70,1	34,4	94,119	3,7	0,1	0,3	0,3	4612	6,5	15,5	38,8	69,7	34,7	39,4	1,6	2,8
13	30	5,6	4611,8	7,2	18,8	54,8	0,0	77,6	28,3	92,237	4,1	0,1	0,3	0,4	4520	7,2	18,6	54,4	77,0	28,6	55,5	1,8	3,2
13	35	6,6	4519,6	7,8	21,7	71,8	0,0	84,0	24,3	90,392	4,5	0,1	0,2	0,5	4429	7,9	21,6	71,3	83,4	24,6	72,9	2,1	3,5
13	40	7,5	4429,2	8,4	24,4	89,5	0,0	89,5	21,5	88,584	4,8	0,2	0,2	0,7	4341	8,4	24,3	88,8	88,9	21,7	91,1	2,3	3,6
13	45	8,4	4340,6	8,9	26,9	107,4	0,0	94,3	19,5	86,813	5,1	0,2	0,2	0,8	4254	8,9	26,7	106,6	93,6	19,7	109,7	2,4	3,7
13	50	9,2	4253,8	9,4	29,2	125,1	0,0	98,4	17,9	85,076	5,4	0,2	0,2	0,9	4169	9,4	29,0	124,1	97,7	18,1	128,2	2,6	3,7
13	55	10,0	4168,7	9,8	31,3	142,3	0,0	102,0	16,7	83,375	5,6	0,2	0,2	1,1	4085	9,8	31,1	141,3	101,3	16,9	146,4	2,7	3,6
13	60	10,7	4085,4	10,2	33,1	158,9	0,0	105,0	15,7	2085,4	6,5	7,0	6,8	37,4	2000	12,9	26,2	121,5	82,7	22,5	164,0	2,7	3,5
13	65	11,3	2000	13,3	27,7	134,6	0,1	85,3	21,2	0	0,0	0,0	0,0	0,0	2000	13,3	27,7	134,6	85,3	21,2	177,0	2,7	2,6
13	70	11,9	2000	13,6	29,1	147,1	0,1	87,7	20,1	0	0,0	0,0	0,0	0,0	2000	13,6	29,1	147,1	87,7	20,1	189,5	2,7	2,5
13	75	12,5	2000	13,9	30,3	159,0	0,1	89,9	19,2	0	0,0	0,0	0,0	0,0	2000	13,9	30,3	159,0	89,9	19,2	201,4	2,7	2,4
13	80	13,0	2000	14,2	31,5	170,2	0,1	91,8	18,5	0	0,0	0,0	0,0	0,0	2000	14,2	31,5	170,2	91,8	18,5	212,7	2,7	2,2
13	85	13,5	2000	14,4	32,6	180,8	0,1	93,5	17,8	0	0,0	0,0	0,0	0,0	2000	14,4	32,6	180,8	93,5	17,8	223,3	2,6	2,1
13	90	13,9	2000	14,6	33,5	190,7	0,1	95,1	17,3	750	9,0	4,8	4,6	30,8	1250	17,1	28,7	159,9	81,2	21,9	233,2	2,6	2,0
13	95	14,3	1250	17,3	29,5	167,6	0,1	82,4	21,3	0	0,0	0,0	0,0	0,0	1250	17,3	29,5	167,6	82,4	21,3	240,9	2,5	1,6
13	100	14,6	1250	17,5	30,2	174,8	0,1	83,5	20,8	0	0,0	0,0	0,0	0,0	1250	17,5	30,2	174,8	83,5	20,8	248,1	2,5	1,4
13	105	15,0	1250	17,7	30,8	181,5	0,1	84,5	20,3	0	0,0	0,0	0,0	0,0	1250	17,7	30,8	181,5	84,5	20,3	254,8	2,4	1,3
13	110	15,3	1250	17,9	31,4	187,7	0,2	85,4	19,9	0	0,0	0,0	0,0	0,0	1250	17,9	31,4	187,7	85,4	19,9	261,0	2,4	1,2
13	115	15,5	1250	18,0	31,9	193,4	0,2	86,2	19,6	0	0,0	0,0	0,0	0,0	1250	18,0	31,9	193,4	86,2	19,6	266,7	2,3	1,1
13	120	15,8	1250	18,2	32,4	198,6	0,2	86,9	19,3	0	0,0	0,0	0,0	0,0	1250	18,2	32,4	198,6	86,9	19,3	271,9	2,3	1,0
13	125	16,0	1250	18,3	32,8	203,4	0,2	87,5	19,0	500	11,4	5,1	5,5	35,5	750	21,7	27,7	167,9	73,7	24,5	276,7	2,2	1,0
13	130	16,2	750	21,8	28,0	171,6	0,2	74,2	24,2	0	0,0	0,0	0,0	0,0	750	21,8	28,0	171,6	74,2	24,2	280,4	2,2	0,7
13	135	16,4	750	21,9	28,3	174,9	0,2	74,7	24,0	0	0,0	0,0	0,0	0,0	750	21,9	28,3	174,9	74,7	24,0	283,7	2,1	0,7
13	140	16,5	750	22,0	28,6	178,0	0,2	75,1	23,7	0	0,0	0,0	0,0	0,0	750	22,0	28,6	178,0	75,1	23,7	286,8	2,0	0,6
13	145	16,7	750	22,1	28,9	180,8	0,2	75,5	23,5	0	0,0	0,0	0,0	0,0	750	22,1	28,9	180,8	75,5	23,5	289,6	2,0	0,6
13	150	16,8	750	22,2	29,1	183,3	0,2	75,8	23,3	340	14,0	5,2	8,2	37,2	410	27,2	23,8	146,1	61,9	31,5	292,1	1,9	0,5
13	155	17,0	410	27,3	24,0	148,0	0,4	62,1	31,3	0	0,0	0,0	0,0	0,0	410	27,3	24,0	148,0	62,1	31,3	294,0	1,9	0,4
13	160	17,1	410	27,4	24,1	149,7	0,4	62,4	31,1	0	0,0	0,0	0,0	0,0	410	27,4	24,1	149,7	62,4	31,1	295,7	1,8	0,3
13	165	17,2	410	27,5	24,3	151,2	0,4	62,6	30,9	0	0,0	0,0	0,0	0,0	410	27,5	24,3	151,2	62,6	30,9	297,2	1,8	0,3
13	170	17,3	410	27,5	24,4	152,6	0,4	62,7	30,7	0	0,0	0,0	0,0	0,0	410	27,5	24,4	152,6	62,7	30,7	298,6	1,8	0,3
13	175	17,4	410	27,6	24,5	153,9	0,4	62,9	30,6	200	17,6	4,9	12,1	34,2	210	34,5	19,7	119,7	50,3	42,7	299,9	1,7	0,3
13	180	17,4	210	34,6	19,7	120,6	0,6	50,4	42,5	0	0,0	0,0	0,0	0,0	210	34,6	19,7	120,6	50,4	42,5	300,8	1,7	0,2
13	185	17,5	210	34,7	19,8	121,4	0,6	50,5	42,4	0	0,0	0,0	0,0	0,0	210	34,7	19,8	121,4	50,5	42,4	301,6	1,6	0,2
13	190	17,6	210	34,7	19,9	122,2	0,6	50,6	42,2	120	22,7	4,8	22,3	33,3	90	46,1	15,0	88,9	38,1	64,5	302,3	1,6	0,1
13	195	17,6	90	46,2	15,1	89,4	1,0	38,1	64,3	0	0,0	0,0	0,0	0,0	90	46,2	15,1	89,4	38,1	64,3	302,8	1,6	0,1
13	200	17,7	90	46,3	15,1	89,8	1,0	38,2	64,1	90	46,3	15,1	0,0	89,8	0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	303,3	1,5	0,1

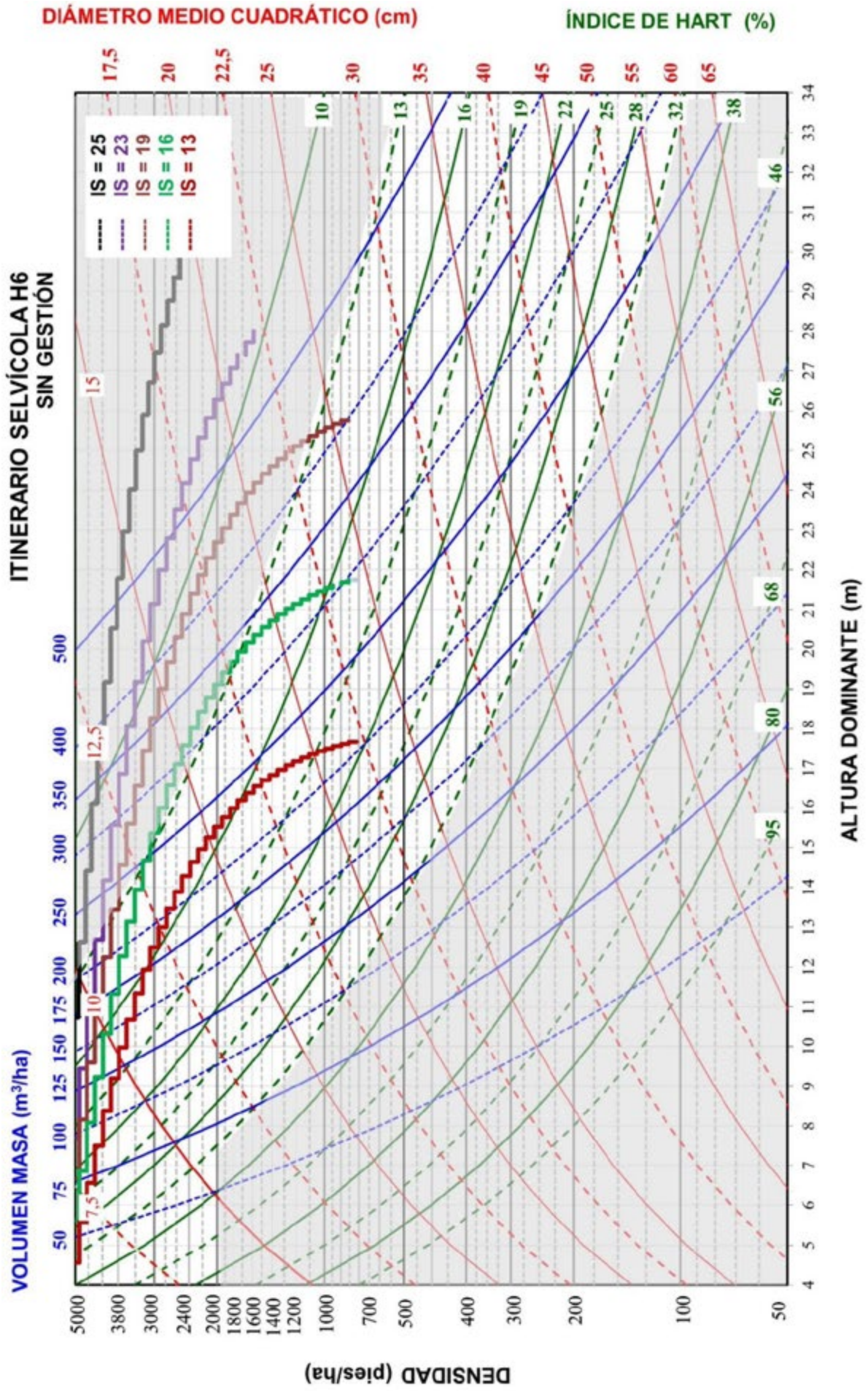


Figura 8. Resumen del Itinerario H6 en función de las distintas calidades de estación.

Tabla 40 Tabla de producción para la Calidad 25 del Itinerario H6

IS	EDAD	Ho	N	Dg	G	V	vi	H/D	IH	N	Dg	G	IH	V	N	Dg	G	V	H/D	IH	VT	CM	CC
ESTADO			ANTES DE LA CLARA							EXTRAIDO EN LA CLARA					DESPUÉS DE LA CLARA						CRECIMIENTO		
25	5	1,1	6000	3,0	4,3	3,6	0,0	35,3	129,8	0	0,0	0,0	0,0	0,0	6000	3,0	4,3	3,6	35,3	129,8	3,6	0,7	
25	10	2,8	6000	4,7	10,6	18,3	0,0	58,5	49,9	240	2,7	0,1	1,0	0,3	5760	4,8	10,5	18,1	57,7	51,0	18,3	1,8	3,0
25	15	4,7	5760	6,2	17,2	44,7	0,0	76,4	30,0	230	3,6	0,2	0,6	0,7	5530	6,3	17,0	44,1	75,4	30,6	45,0	3,0	5,3
25	20	6,7	5530	7,4	23,8	81,1	0,0	91,1	21,4	221	4,3	0,3	0,4	1,2	5308	7,5	23,5	79,9	89,9	21,9	82,0	4,1	7,4
25	25	8,8	5308	8,5	30,0	125,0	0,0	103,3	16,8	212	4,9	0,4	0,3	1,9	5096	8,6	29,6	123,1	101,9	17,2	127,2	5,1	9,0
25	30	10,7	5096	9,5	35,8	174,3	0,0	113,5	14,0	204	5,5	0,5	0,3	2,6	4892	9,6	35,3	171,6	111,9	14,3	178,3	5,9	10,2
25	35	12,6	4892	10,4	41,2	226,5	0,0	122,0	12,2	196	6,0	0,6	0,3	3,4	4697	10,5	40,6	223,1	120,3	12,4	233,3	6,7	11,0
25	40	14,4	4697	11,2	46,0	280,1	0,1	129,1	10,9	188	6,5	0,6	0,2	4,3	4509	11,3	45,4	275,8	127,4	11,1	290,3	7,3	11,4
25	45	16,1	4509	11,9	50,4	333,4	0,1	135,1	9,9	180	6,9	0,7	0,2	5,1	4328	12,1	49,7	328,4	133,2	10,1	347,9	7,7	11,5
25	50	17,7	4328	12,6	54,3	385,4	0,1	140,0	9,2	173	7,3	0,7	0,2	5,9	4155	12,8	53,6	379,5	138,1	9,4	404,9	8,1	11,4
25	55	19,2	4155	13,3	57,7	435,1	0,1	144,1	8,7	166	7,7	0,8	0,2	6,6	3989	13,5	57,0	428,5	142,1	8,9	460,5	8,4	11,1
25	60	20,5	3989	13,9	60,8	482,0	0,1	147,4	8,3	160	8,0	0,8	0,2	7,3	3829	14,1	60,0	474,7	145,4	8,5	514,0	8,6	10,7
25	65	21,8	3829	14,5	63,4	525,6	0,1	150,1	8,0	153	8,4	0,8	0,2	8,0	3676	14,7	62,6	517,6	148,0	8,1	564,9	8,7	10,2
25	70	23,0	3676	15,1	65,7	565,7	0,2	152,2	7,7	147	8,7	0,9	0,2	8,6	3529	15,3	64,8	557,1	150,1	7,9	613,0	8,8	9,6
25	75	24,0	3529	15,6	67,6	602,2	0,2	153,8	7,5	141	9,0	0,9	0,2	9,2	3388	15,8	66,7	593,0	151,7	7,7	658,1	8,8	9,0
25	80	25,0	3388	16,1	69,3	635,0	0,2	154,9	7,4	136	9,3	0,9	0,2	9,7	3253	16,4	68,4	625,3	152,8	7,5	700,1	8,8	8,4
25	85	25,9	3253	16,6	70,7	664,2	0,2	155,7	7,3	130	9,6	0,9	0,2	10,1	3122	16,9	69,7	654,1	153,6	7,4	738,9	8,7	7,8
25	90	26,7	3122	17,1	71,8	690,0	0,2	156,2	7,2	125	9,9	1,0	0,1	10,5	2998	17,3	70,8	679,5	154,0	7,3	774,8	8,6	7,2
25	95	27,5	2998	17,6	72,7	712,4	0,2	156,3	7,1	120	10,2	1,0	0,1	10,8	2878	17,8	71,7	701,6	154,2	7,3	807,7	8,5	6,6
25	100	28,2	2878	18,0	73,4	731,7	0,3	156,2	7,1	115	10,4	1,0	0,1	11,1	2763	18,3	72,4	720,6	154,1	7,3	837,9	8,4	6,0
25	105	28,8	2763	18,5	73,9	748,1	0,3	155,9	7,1	111	10,7	1,0	0,1	11,4	2652	18,7	72,9	736,8	153,8	7,3	865,4	8,2	5,5
25	110	29,3	2652	18,9	74,3	761,8	0,3	155,4	7,1	106	10,9	1,0	0,1	11,6	2546	19,1	73,3	750,2	153,3	7,3	890,5	8,1	5,0
25	115	29,9	2546	19,3	74,5	773,0	0,3	154,7	7,1	102	11,2	1,0	0,1	11,8	2444	19,6	73,5	761,3	152,6	7,3	913,3	0,0	4,6
25	120	30,3	2444	19,7	74,6	781,9	0,3	153,9	7,2	98	11,4	1,0	0,1	11,9	2346	20,0	73,6	770,0	151,8	7,3	933,9	7,8	4,1
25	125	30,8	2346	20,1	74,6	788,7	0,3	152,9	7,2	94	11,6	1,0	0,1	12,0	2252	20,4	73,6	776,7	150,8	7,4	952,6	7,6	3,7
25	130	31,1	2252	20,5	74,5	793,5	0,4	151,8	7,3	90	11,9	1,0	0,1	12,1	2162	20,8	73,5	781,5	149,8	7,4	969,4	7,5	3,4
25	135	31,5	2162	20,9	74,2	796,7	0,4	150,7	7,3	86	12,1	1,0	0,2	12,1	2076	21,2	73,2	784,6	148,6	7,5	984,7	7,3	3,0
25	140	31,8	2076	21,3	73,9	798,3	0,4	149,4	7,4	83	12,3	1,0	0,2	12,1	1993	21,6	73,0	786,2	147,4	7,6	998,4	7,1	2,7

Tabla 41 Tabla de producción para la Calidad 22 del Itinerario H6

IS	EDAD	Ho	N	Dg	G	V	vi	H/D	IH	N	Dg	G	IH	V	N	Dg	G	V	H/D	IH	VT	CM	CC
ESTADO			ANTES DE LA CLARA							EXTRAIDO EN LA CLARA					DESPUÉS DE LA CLARA						CRECIMIENTO		
22	5	0,9	6000	2,9	3,8	2,9	0,0	32,9	147,5	0	0,0	0,0	0,0	0,0	6000	2,9	3,8	2,9	32,9	147,5	2,9	0,6	
22	10	2,4	6000	4,5	9,4	14,7	0,0	54,7	56,7	300	2,6	0,2	1,5	0,3	5700	4,5	9,3	14,5	53,7	58,2	14,7	1,5	2,4
22	15	4,2	5700	5,8	15,2	35,8	0,0	71,2	34,3	285	3,4	0,3	0,9	0,7	5415	5,9	15,0	35,1	70,0	35,2	36,1	2,4	4,3
22	20	5,9	5415	7,0	20,9	64,6	0,0	84,5	24,6	271	4,1	0,4	0,6	1,2	5144	7,1	20,6	63,4	83,1	25,3	65,6	3,3	5,9
22	25	7,7	5144	8,1	26,3	99,3	0,0	95,5	19,4	257	4,7	0,4	0,5	1,9	4887	8,2	25,9	97,4	93,9	19,9	101,5	4,1	7,2
22	30	9,4	4887	9,0	31,3	137,8	0,0	104,5	16,3	244	5,2	0,5	0,4	2,6	4643	9,2	30,8	135,2	102,8	16,7	141,9	4,7	8,1
22	35	11,1	4643	9,9	35,9	178,5	0,0	112,0	14,2	232	5,7	0,6	0,4	3,4	4411	10,1	35,3	175,1	110,1	14,6	185,2	5,3	8,7
22	40	12,7	4411	10,7	40,0	219,8	0,0	118,1	12,7	221	6,2	0,7	0,3	4,2	4190	10,9	39,3	215,6	116,1	13,1	230,0	5,7	8,9
22	45	14,2	4190	11,5	43,6	260,7	0,1	123,2	11,7	210	6,7	0,7	0,3	5,0	3981	11,7	42,9	255,7	121,1	12,0	275,0	6,1	9,0
22	50	15,6	3981	12,2	46,8	300,1	0,1	127,2	10,9	199	7,1	0,8	0,3	5,7	3781	12,5	46,1	294,4	125,0	11,2	319,4	6,4	8,9
22	55	16,9	3781	12,9	49,6	337,5	0,1	130,5	10,4	189	7,5	0,8	0,3	6,4	3592	13,2	48,8	331,1	128,2	10,6	362,5	6,6	8,6
22	60	18,1	3592	13,6	52,1	372,4	0,1	133,0	9,9	180	7,9	0,9	0,3	7,1	3413	13,8	51,2	365,3	130,7	10,2	403,8	6,7	8,3
22	65	19,2	3413	14,2	54,1	404,5	0,1	134,9	9,6	171	8,2	0,9	0,2	7,7	3242	14,5	53,2	396,8	132,6	9,8	443,0	6,8	7,8
22	70	20,2	3242	14,8	55,9	433,6	0,1	136,3	9,3	162	8,6	0,9	0,2	8,3	3080	15,1	55,0	425,4	134,0	9,6	479,9	6,9	7,4
22	75	21,1	3080	15,4	57,4	459,8	0,1	137,3	9,2	154	8,9	1,0	0,2	8,8	2926	15,7	56,4	451,0	134,9	9,4	514,3	6,9	6,9
22	80	22,0	2926	16,0	58,5	482,9	0,2	137,8	9,0	146	9,2	1,0	0,2	9,2	2780	16,2	57,6	473,7	135,5	9,3	546,2	6,8	6,4
22	85	22,8	2780	16,5	59,5	503,2	0,2	138,0	8,9	139	9,6	1,0	0,2	9,6	2641	16,8	58,5	493,6	135,7	9,2	575,7	6,8	5,9
22	90	23,5	2641	17,0	60,2	520,6	0,2	138,0	8,9	132	9,9	1,0	0,2	9,9	2509	17,3	59,2	510,7	135,6	9,1	602,7	6,7	5,4
22	95	24,2	2509	17,6	60,8	535,5	0,2	137,6	8,9	125	10,2	1,0	0,2	10,2	2383	17,9	59,8	525,3	135,3	9,1	627,5	6,6	5,0
22	100	24,8	2383	18,1	61,2	547,8	0,2	137,0	8,9	119	10,5	1,0	0,2	10,4	2264	18,4	60,1	537,4	134,7	9,1	650,1	6,5	4,5
22	105	25,3	2264	18,6	61,4	557,9	0,2	136,3	8,9	113	10,8	1,0	0,2	10,6	2151	18,9	60,4	547,3	134,0	9,1	670,6	6,4	4,1
22	110	25,8	2151	19,1	61,5	565,9	0,3	135,3	9,0	108	11,0	1,0	0,2	10,8	2043	19,4	60,5	555,1	133,0	9,2	689,2	6,3	3,7
22	115	26,3	2043	19,6	61,5	571,9	0,3	134,3	9,0	102	11,3	1,0	0,2	10,9	1941	19,9	60,4	561,0	132,0	9,3	706,1	6,1	3,4
22	120	26,7	1941	20,1	61,3	576,2	0,3	133,1	9,1	97	11,6	1,0	0,2	11,0	1844	20,4	60,3	565,3	130,8	9,4	721,3	6,0	3,0
22	125	27,1	1844	20,5	61,1	579,0	0,3	131,8	9,2	92	11,9	1,0	0,2	11,0	1752	20,9	60,1	567,9	129,6	9,5	735,0	5,9	2,7
22	130	27,4	1752	21,0	60,8	580,3	0,3	130,4	9,4	88	12,2	1,0	0,2	11,1	1664	21,4	59,8	569,2	128,2	9,6	747,3	5,7	2,5
22	135	27,7	1664	21,5	60,4	580,3	0,3	129,0	9,5	83	12,4	1,0	0,2	11,1	1581	21,9	59,4	569,2	126,8	9,7	758,4	5,6	2,2
22	140	28,0	1581	22,0	60,0	579,2	0,4	127,4	9,7	79	12,7	1,0	0,3	11,0	1502	22,4	58,9	568,1	125,3	9,9	768,4	5,5	2,0

Tabla 42 Tabla de producción para la Calidad 19 del Itinerario H6

IS	EDAD	Ho	N	Dg	G	V	vi	H/D	IH	N	Dg	G	IH	V	N	Dg	G	V	H/D	IH	VT	CM	CC
ESTADO			ANTES DE LA CLARA							EXTRAIDO EN LA CLARA					DESPUÉS DE LA CLARA						CRECIMIENTO		
19	5	0,8	6000	2,7	3,3	2,2	0,0	30,5	170,8	0	0,0	0,0	0,0	0,0	6000	2,7	3,3	2,2	30,5	170,8	2,2	0,4	
19	10	2,1	6000	4,2	8,2	11,5	0,0	50,6	65,7	300	2,4	0,1	1,7	0,2	5700	4,2	8,1	11,3	49,7	67,4	11,5	1,1	1,8
19	15	3,6	5700	5,4	13,3	27,9	0,0	65,9	39,7	285	3,2	0,2	1,0	0,5	5415	5,5	13,1	27,3	64,7	40,7	28,1	1,9	3,3
19	20	5,1	5415	6,6	18,2	50,3	0,0	78,2	28,5	271	3,8	0,3	0,7	1,0	5144	6,7	17,9	49,3	76,9	29,2	51,1	2,6	4,6
19	25	6,7	5144	7,5	23,0	77,3	0,0	88,4	22,5	257	4,4	0,4	0,6	1,5	4887	7,7	22,6	75,8	86,9	23,1	79,0	3,2	5,6
19	30	8,2	4887	8,4	27,3	107,3	0,0	96,7	18,8	244	4,9	0,5	0,5	2,0	4643	8,6	26,8	105,2	95,1	19,3	110,4	3,7	6,3
19	35	9,6	4643	9,3	31,3	138,9	0,0	103,6	16,4	232	5,4	0,5	0,4	2,6	4411	9,4	30,7	136,3	101,9	16,9	144,1	4,1	6,7
19	40	11,0	4411	10,0	34,8	171,1	0,0	109,3	14,8	221	5,8	0,6	0,4	3,3	4190	10,2	34,3	167,8	107,4	15,1	178,9	4,5	7,0
19	45	12,2	4190	10,7	38,0	202,8	0,0	113,9	13,6	210	6,2	0,6	0,4	3,9	3981	10,9	37,4	199,0	112,0	13,9	214,0	4,8	7,0
19	50	13,4	3981	11,4	40,8	233,5	0,1	117,7	12,7	199	6,6	0,7	0,3	4,5	3781	11,6	40,1	229,1	115,7	13,0	248,5	5,0	6,9
19	55	14,6	3781	12,1	43,3	262,6	0,1	120,7	12,0	189	7,0	0,7	0,3	5,0	3592	12,3	42,5	257,6	118,6	12,3	282,1	5,1	6,7
19	60	15,6	3592	12,7	45,4	289,8	0,1	123,1	11,5	180	7,3	0,8	0,3	5,5	3413	12,9	44,6	284,3	121,0	11,8	314,3	5,2	6,4
19	65	16,6	3413	13,3	47,2	314,8	0,1	124,8	11,1	171	7,7	0,8	0,3	6,0	3242	13,5	46,4	308,8	122,7	11,4	344,8	5,3	6,1
19	70	17,4	3242	13,8	48,7	337,4	0,1	126,1	10,8	162	8,0	0,8	0,3	6,4	3080	14,1	47,9	331,0	124,0	11,1	373,4	5,3	5,7
19	75	18,3	3080	14,4	50,0	357,8	0,1	127,0	10,6	154	8,3	0,8	0,3	6,8	2926	14,6	49,1	351,0	124,8	10,9	400,2	5,3	5,4
19	80	19,0	2926	14,9	51,0	375,8	0,1	127,5	10,5	146	8,6	0,9	0,3	7,2	2780	15,2	50,2	368,6	125,3	10,7	425,1	5,3	5,0
19	85	19,7	2780	15,4	51,8	391,6	0,1	127,7	10,4	139	8,9	0,9	0,3	7,5	2641	15,7	51,0	384,1	125,5	10,6	448,0	5,3	4,6
19	90	20,3	2641	15,9	52,5	405,1	0,2	127,6	10,3	132	9,2	0,9	0,3	7,7	2509	16,2	51,6	397,4	125,5	10,6	469,0	5,2	4,2
19	95	20,9	2509	16,4	53,0	416,7	0,2	127,3	10,3	125	9,5	0,9	0,3	7,9	2383	16,7	52,1	408,7	125,1	10,5	488,3	5,1	3,9
19	100	21,4	2383	16,9	53,3	426,3	0,2	126,8	10,3	119	9,8	0,9	0,3	8,1	2264	17,2	52,4	418,2	124,6	10,6	505,9	5,1	3,5
19	105	21,9	2264	17,3	53,5	434,2	0,2	126,1	10,3	113	10,0	0,9	0,3	8,3	2151	17,6	52,6	425,9	123,9	10,6	521,9	5,0	3,2
19	110	22,3	2151	17,8	53,6	440,4	0,2	125,2	10,4	108	10,3	0,9	0,3	8,4	2043	18,1	52,7	432,0	123,1	10,7	536,3	4,9	2,9
19	115	22,7	2043	18,3	53,6	445,1	0,2	124,2	10,5	102	10,6	0,9	0,3	8,5	1941	18,6	52,7	436,6	122,1	10,7	549,5	4,8	2,6
19	120	23,1	1941	18,7	53,4	448,4	0,2	123,1	10,6	97	10,8	0,9	0,3	8,6	1844	19,0	52,5	439,9	121,0	10,9	561,3	4,7	2,4
19	125	23,4	1844	19,2	53,2	450,5	0,2	121,9	10,7	92	11,1	0,9	0,3	8,6	1752	19,5	52,3	441,9	119,9	11,0	572,0	4,6	2,1
19	130	23,7	1752	19,6	53,0	451,5	0,3	120,7	10,8	88	11,4	0,9	0,3	8,6	1664	20,0	52,1	442,9	118,6	11,1	581,6	4,5	1,9
19	135	23,9	1664	20,1	52,6	451,6	0,3	119,3	11,0	83	11,6	0,9	0,3	8,6	1581	20,4	51,7	442,9	117,3	11,3	590,2	4,4	1,7
19	140	24,2	1581	20,5	52,2	450,7	0,3	117,9	11,2	79	11,9	0,9	0,3	8,6	1502	20,9	51,4	442,1	115,9	11,5	597,9	4,3	1,5
19	145	24,4	1502	21,0	51,8	449,0	0,3	116,5	11,4	75	12,1	0,9	0,3	8,6	1427	21,3	50,9	440,5	114,5	11,7	604,9	4,2	1,4
19	150	24,6	1427	21,4	51,3	446,7	0,3	115,0	11,6	71	12,4	0,9	0,3	8,5	1356	21,8	50,5	438,2	113,0	11,9	611,1	4,1	1,2
19	155	24,8	1356	21,8	50,8	443,7	0,3	113,5	11,8	68	12,7	0,9	0,3	8,5	1288	22,2	50,0	435,3	111,5	12,1	616,6	4,0	1,1
19	160	25,0	1288	22,3	50,3	440,2	0,3	111,9	12,0	64	12,9	0,8	0,3	8,4	1223	22,7	49,4	431,8	110,0	12,3	621,6	3,9	1,0
19	165	25,1	1223	22,7	49,7	436,3	0,4	110,4	12,2	61	13,2	0,8	0,3	8,3	1162	23,1	48,9	428,0	108,5	12,6	626,1	3,8	0,9
19	170	25,2	1162	23,2	49,1	431,9	0,4	108,8	12,5	58	13,4	0,8	0,3	8,2	1104	23,6	48,3	423,7	106,9	12,8	630,0	3,7	0,8
19	175	25,4	1104	23,7	48,5	427,2	0,4	107,2	12,8	55	13,7	0,8	0,3	8,1	1049	24,1	47,7	419,1	105,4	13,1	633,6	3,6	0,7
19	180	25,5	1049	24,1	47,9	422,2	0,4	105,6	13,0	52	14,0	0,8	0,3	8,1	997	24,5	47,1	414,2	103,8	13,4	636,7	3,5	0,6
19	185	25,6	996,5	24,6	47,3	417,0	0,4	104,0	13,3	50	14,2	0,8	0,3	8,0	947	25,0	46,5	409,1	102,3	13,7	639,5	3,5	0,6
19	190	25,7	946,7	25,0	46,7	411,6	0,4	102,5	13,6	47	14,5	0,8	0,4	7,8	899	25,5	45,9	403,7	100,7	14,0	642,0	3,4	0,5
19	195	25,7	899,3	25,5	46,0	405,9	0,5	100,9	13,9	45	14,8	0,8	0,4	7,7	854	26,0	45,2	398,2	99,2	14,3	644,3	3,3	0,4
19	200	25,8	854,4	26,0	45,4	400,2	0,5	99,3	14,2	43	15,1	0,8	0,4	7,6	812	26,5	44,6	392,6	97,6	14,6	646,3	3,2	0,4

Tabla 43 Tabla de producción para la Calidad 16 del Itinerario H6

IS	EDAD	Ho	N	Dg	G	V	vi	H/D	IH	N	Dg	G	IH	V	N	Dg	G	V	H/D	IH	VT	CM	CC
ESTADO			ANTES DE LA CLARA							EXTRAIDO EN LA CLARA					DESPUÉS DE LA CLARA						CRECIMIENTO		
16	5	0,7	6000	2,5	2,8	1,7	0,0	27,8	202,8	0	0,0	0,0	0,0	0,0	6000	2,5	2,8	1,7	27,8	202,8	1,7	0,3	
16	10	1,8	6000	3,9	7,0	8,5	0,0	46,2	78,0	300	2,2	0,1	2,0	0,2	5700	3,9	6,9	8,4	45,4	80,1	8,5	0,9	1,4
16	15	3,0	5700	5,0	11,3	20,8	0,0	60,1	47,1	285	2,9	0,2	1,2	0,4	5415	5,1	11,1	20,4	59,1	48,3	20,9	1,4	2,5
16	20	4,3	5415	6,0	15,5	37,5	0,0	71,4	33,8	271	3,5	0,3	0,9	0,7	5144	6,1	15,3	36,8	70,2	34,7	38,1	1,9	3,4
16	25	5,6	5144	7,0	19,5	57,6	0,0	80,7	26,7	257	4,0	0,3	0,7	1,1	4887	7,1	19,2	56,5	79,3	27,4	58,9	2,4	4,2
16	30	6,9	4887	7,8	23,2	79,9	0,0	88,3	22,4	244	4,5	0,4	0,6	1,5	4643	7,9	22,8	78,4	86,8	23,0	82,3	2,7	4,7
16	35	8,1	4643	8,5	26,6	103,5	0,0	94,6	19,5	232	4,9	0,4	0,5	2,0	4411	8,7	26,2	101,5	93,0	20,0	107,4	3,1	5,0
16	40	9,2	4411	9,3	29,6	127,5	0,0	99,8	17,5	221	5,4	0,5	0,5	2,4	4190	9,4	29,1	125,1	98,1	18,0	133,4	3,3	5,2
16	45	10,3	4190	9,9	32,3	151,2	0,0	104,0	16,1	210	5,7	0,5	0,4	2,9	3981	10,1	31,8	148,3	102,2	16,5	159,5	3,5	5,2
16	50	11,3	3981	10,5	34,7	174,1	0,0	107,4	15,0	199	6,1	0,6	0,4	3,3	3781	10,7	34,1	170,7	105,6	15,4	185,2	3,7	5,2
16	55	12,3	3781	11,1	36,8	195,7	0,1	110,2	14,2	189	6,4	0,6	0,4	3,7	3592	11,3	36,2	192,0	108,3	14,6	210,2	3,8	5,0
16	60	13,1	3592	11,7	38,6	216,0	0,1	112,3	13,6	180	6,8	0,6	0,4	4,1	3413	11,9	38,0	211,9	110,4	14,0	234,2	3,9	4,8
16	65	13,9	3413	12,2	40,1	234,6	0,1	114,0	13,2	171	7,1	0,7	0,3	4,5	3242	12,5	39,5	230,1	112,0	13,5	256,9	4,0	4,5
16	70	14,7	3242	12,8	41,4	251,5	0,1	115,1	12,8	162	7,4	0,7	0,3	4,8	3080	13,0	40,7	246,7	113,2	13,2	278,3	4,0	4,3
16	75	15,4	3080	13,3	42,5	266,7	0,1	115,9	12,6	154	7,7	0,7	0,3	5,1	2926	13,5	41,8	261,6	114,0	12,9	298,3	4,0	4,0
16	80	16,0	2926	13,7	43,4	280,1	0,1	116,4	12,4	146	8,0	0,7	0,3	5,3	2780	14,0	42,7	274,7	114,4	12,7	316,8	4,0	3,7
16	85	16,6	2780	14,2	44,1	291,8	0,1	116,6	12,3	139	8,2	0,7	0,3	5,6	2641	14,5	43,4	286,3	114,6	12,6	333,9	3,9	3,4
16	90	17,1	2641	14,7	44,7	301,9	0,1	116,5	12,2	132	8,5	0,7	0,3	5,8	2509	14,9	43,9	296,2	114,5	12,5	349,6	3,9	3,1
16	95	17,6	2509	15,1	45,1	310,5	0,1	116,2	12,2	125	8,8	0,8	0,3	5,9	2383	15,4	44,3	304,6	114,2	12,5	363,9	3,8	2,9
16	100	18,0	2383	15,6	45,4	317,7	0,1	115,7	12,2	119	9,0	0,8	0,3	6,1	2264	15,8	44,6	311,7	113,8	12,5	377,0	3,8	2,6
16	105	18,4	2264	16,0	45,5	323,6	0,1	115,1	12,3	113	9,3	0,8	0,3	6,2	2151	16,3	44,8	317,4	113,1	12,6	388,9	3,7	2,4
16	110	18,8	2151	16,4	45,6	328,2	0,2	114,3	12,3	108	9,5	0,8	0,3	6,3	2043	16,7	44,8	321,9	112,4	12,7	399,7	3,6	2,2
16	115	19,1	2043	16,9	45,6	331,7	0,2	113,4	12,4	102	9,8	0,8	0,3	6,3	1941	17,1	44,8	325,4	111,5	12,8	409,5	3,6	2,0
16	120	19,4	1941	17,3	45,5	334,2	0,2	112,4	12,6	97	10,0	0,8	0,3	6,4	1844	17,6	44,7	327,8	110,5	12,9	418,3	3,5	1,8
16	125	19,7	1844	17,7	45,3	335,8	0,2	111,3	12,7	92	10,2	0,8	0,3	6,4	1752	18,0	44,5	329,4	109,4	13,0	426,3	3,4	1,6
16	130	19,9	1752	18,1	45,1	336,5	0,2	110,1	12,9	88	10,5	0,8	0,3	6,4	1664	18,4	44,3	330,1	108,3	13,2	433,4	3,3	1,4
16	135	20,2	1664	18,5	44,8	336,5	0,2	108,9	13,1	83	10,7	0,8	0,3	6,4	1581	18,8	44,0	330,1	107,1	13,4	439,9	3,3	1,3
16	140	20,4	1581	18,9	44,5	335,9	0,2	107,6	13,3	79	11,0	0,7	0,3	6,4	1502	19,2	43,7	329,5	105,8	13,6	445,6	3,2	1,2
16	145	20,6	1502	19,3	44,1	334,7	0,2	106,3	13,5	75	11,2	0,7	0,4	6,4	1427	19,7	43,3	328,3	104,5	13,8	450,8	3,1	1,0
16	150	20,7	1427	19,7	43,7	332,9	0,2	105,0	13,7	71	11,4	0,7	0,4	6,3	1356	20,1	42,9	326,6	103,2	14,1	455,4	3,0	0,9
16	155	20,9	1356	20,2	43,2	330,7	0,2	103,6	14,0	68	11,7	0,7	0,4	6,3	1288	20,5	42,5	324,4	101,8	14,3	459,6	3,0	0,8
16	160	21,0	1288	20,6	42,8	328,1	0,3	102,2	14,2	64	11,9	0,7	0,4	6,3	1223	20,9	42,1	321,8	100,4	14,6	463,3	2,9	0,7
16	165	21,1	1223	21,0	42,3	325,2	0,3	100,7	14,5	61	12,1	0,7	0,4	6,2	1162	21,3	41,6	319,0	99,0	14,9	466,6	2,8	0,7
16	170	21,3	1162	21,4	41,8	321,9	0,3	99,3	14,8	58	12,4	0,7	0,4	6,1	1104	21,8	41,1	315,8	97,6	15,2	469,5	2,8	0,6
16	175	21,4	1104	21,8	41,3	318,4	0,3	97,9	15,1	55	12,6	0,7	0,4	6,1	1049	22,2	40,6	312,3	96,2	15,5	472,2	2,7	0,5
16	180	21,5	1049	22,2	40,8	314,7	0,3	96,4	15,5	52	12,9	0,7	0,4	6,0	997	22,6	40,1	308,7	94,8	15,9	474,5	2,6	0,5
16	185	21,5	996,5	22,7	40,2	310,8	0,3	95,0	15,8	50	13,1	0,7	0,4	5,9	947	23,1	39,6	304,9	93,4	16,2	476,6	2,6	0,4
16	190	21,6	946,7	23,1	39,7	306,7	0,3	93,5	16,2	47	13,4	0,7	0,4	5,8	899	23,5	39,0	300,9	91,9	16,6	478,5	2,5	0,4
16	195	21,7	899,3	23,5	39,2	302,5	0,3	92,1	16,5	45	13,6	0,7	0,4	5,8	854	24,0	38,5	296,8	90,5	17,0	1146,3	5,9	133,6
16	200	21,7	854,4	24,0	38,6	298,3	0,3	90,7	16,9	43	13,9	0,6	0,4	5,7	812	24,4	38,0	292,6	89,1	17,3	1147,8	5,7	0,3

Tabla 44 Tabla de producción para la Calidad 13 del Itinerario H6

IS	EDAD	Ho	N	Dg	G	V	vi	H/D	IH	N	Dg	G	IH	V	N	Dg	G	V	H/D	IH	VT	CM	CC
ESTADO			ANTES DE LA CLARA							EXTRAIDO EN LA CLARA					DESPUÉS DE LA CLARA						CRECIMIENTO		
13	5	0,6	6000	2,2	2,3	1,2	0,0	24,9	249,6	0	0,0	0,0	0,0	0,0	6000	2,2	2,3	1,2	24,9	249,6	1,2	0,2	
13	10	1,4	6000	3,5	5,7	6,0	0,0	41,4	96,0	300	2,0	0,1	2,5	0,1	5700	3,6	5,7	5,9	40,7	98,5	6,0	0,6	1,0
13	15	2,5	5700	4,6	9,3	14,6	0,0	53,9	58,0	285	2,6	0,2	1,5	0,3	5415	4,6	9,1	14,3	52,9	59,5	14,7	1,0	1,7
13	20	3,5	5415	5,5	12,8	26,3	0,0	64,0	41,7	271	3,2	0,2	1,1	0,5	5144	5,6	12,6	25,8	62,9	42,7	26,7	1,3	2,4
13	25	4,6	5144	6,3	16,1	40,4	0,0	72,2	32,9	257	3,7	0,3	0,9	0,8	4887	6,4	15,8	39,6	71,0	33,7	41,3	1,7	2,9
13	30	5,6	4887	7,1	19,1	56,0	0,0	79,1	27,5	244	4,1	0,3	0,7	1,1	4643	7,2	18,8	55,0	77,7	28,3	57,7	1,9	3,3
13	35	6,6	4643	7,7	21,9	72,6	0,0	84,7	24,0	232	4,5	0,4	0,6	1,4	4411	7,9	21,5	71,2	83,3	24,6	75,3	2,2	3,5
13	40	7,5	4411	8,4	24,4	89,4	0,0	89,4	21,6	221	4,9	0,4	0,6	1,7	4190	8,5	24,0	87,7	87,8	22,1	93,5	2,3	3,6
13	45	8,4	4190	9,0	26,6	106,0	0,0	93,2	19,8	210	5,2	0,4	0,5	2,0	3981	9,1	26,2	104,0	91,6	20,3	111,8	2,5	3,7
13	50	9,2	3981	9,6	28,6	122,0	0,0	96,2	18,5	199	5,5	0,5	0,5	2,3	3781	9,7	28,1	119,7	94,6	19,0	129,9	2,6	3,6
13	55	10,0	3781	10,1	30,3	137,2	0,0	98,7	17,5	189	5,8	0,5	0,5	2,6	3592	10,3	29,8	134,6	97,0	18,0	147,4	2,7	3,5
13	60	10,7	3592	10,6	31,8	151,4	0,0	100,6	16,8	180	6,1	0,5	0,4	2,9	3413	10,8	31,2	148,5	98,9	17,2	164,2	2,7	3,4
13	65	11,3	3413	11,1	33,0	164,5	0,0	102,1	16,2	171	6,4	0,6	0,4	3,1	3242	11,3	32,5	161,3	100,3	16,7	180,1	2,8	3,2
13	70	11,9	3242	11,6	34,1	176,3	0,1	103,1	15,8	162	6,7	0,6	0,4	3,4	3080	11,8	33,5	172,9	101,4	16,2	195,1	2,8	3,0
13	75	12,5	3080	12,0	35,0	186,9	0,1	103,9	15,5	154	7,0	0,6	0,4	3,6	2926	12,2	34,4	183,4	102,1	15,9	209,1	2,8	2,8
13	80	13,0	2926	12,5	35,7	196,3	0,1	104,3	15,3	146	7,2	0,6	0,4	3,7	2780	12,7	35,1	192,6	102,5	15,7	222,1	2,8	2,6
13	85	13,5	2780	12,9	36,3	204,6	0,1	104,4	15,1	139	7,5	0,6	0,4	3,9	2641	13,1	35,7	200,7	102,6	15,5	234,1	2,8	2,4
13	90	13,9	2641	13,3	36,8	211,7	0,1	104,4	15,1	132	7,7	0,6	0,4	4,0	2509	13,5	36,1	207,6	102,6	15,4	245,1	2,7	2,2
13	95	14,3	2509	13,7	37,1	217,7	0,1	104,1	15,0	125	7,9	0,6	0,4	4,2	2383	14,0	36,5	213,5	102,3	15,4	255,1	2,7	2,0
13	100	14,6	2383	14,1	37,3	222,7	0,1	103,7	15,0	119	8,2	0,6	0,4	4,2	2264	14,4	36,7	218,5	101,9	15,4	264,3	2,6	1,8
13	105	15,0	2264	14,5	37,5	226,8	0,1	103,1	15,1	113	8,4	0,6	0,4	4,3	2151	14,8	36,8	222,5	101,3	15,5	272,6	2,6	1,7
13	110	15,3	2151	14,9	37,5	230,1	0,1	102,4	15,2	108	8,6	0,6	0,4	4,4	2043	15,2	36,9	225,7	100,6	15,6	280,2	2,5	1,5
13	115	15,5	2043	15,3	37,5	232,5	0,1	101,6	15,3	102	8,9	0,6	0,4	4,4	1941	15,6	36,9	228,1	99,9	15,7	287,1	2,5	1,4
13	120	15,8	1941	15,7	37,4	234,3	0,1	100,7	15,5	97	9,1	0,6	0,4	4,5	1844	15,9	36,8	229,8	99,0	15,9	293,2	2,4	1,2
13	125	16,0	1844	16,0	37,3	235,4	0,1	99,7	15,6	92	9,3	0,6	0,4	4,5	1752	16,3	36,6	230,9	98,0	16,1	298,8	2,4	1,1
13	130	16,2	1752	16,4	37,1	235,9	0,1	98,7	15,9	88	9,5	0,6	0,4	4,5	1664	16,7	36,5	231,4	97,0	16,3	303,8	2,3	1,0
13	135	16,4	1664	16,8	36,9	235,9	0,1	97,6	16,1	83	9,7	0,6	0,4	4,5	1581	17,1	36,2	231,4	95,9	16,5	308,3	2,3	0,9
13	140	16,5	1581	17,2	36,6	235,5	0,1	96,4	16,3	79	9,9	0,6	0,4	4,5	1502	17,5	36,0	231,0	94,8	16,8	312,4	2,2	0,8
13	145	16,7	1502	17,5	36,3	234,6	0,2	95,2	16,6	75	10,2	0,6	0,4	4,5	1427	17,8	35,7	230,1	93,6	17,0	316,0	2,2	0,7
13	150	16,8	1427	17,9	35,9	233,4	0,2	94,0	16,9	71	10,4	0,6	0,4	4,5	1356	18,2	35,3	228,9	92,4	17,3	319,3	2,1	0,6
13	155	17,0	1356	18,3	35,6	231,8	0,2	92,8	17,2	68	10,6	0,6	0,4	4,4	1288	18,6	35,0	227,4	91,2	17,7	322,2	2,1	0,6
13	160	17,1	1288	18,7	35,2	230,0	0,2	91,5	17,5	64	10,8	0,6	0,5	4,4	1223	19,0	34,6	225,6	90,0	18,0	324,8	2,0	0,5
13	165	17,2	1223	19,0	34,8	227,9	0,2	90,2	17,9	61	11,0	0,6	0,5	4,3	1162	19,4	34,2	223,6	88,7	18,4	327,1	2,0	0,5
13	170	17,3	1162	19,4	34,4	225,7	0,2	89,0	18,3	58	11,2	0,6	0,5	4,3	1104	19,8	33,8	221,4	87,4	18,7	329,2	1,9	0,4
13	175	17,4	1104	19,8	34,0	223,2	0,2	87,7	18,6	55	11,5	0,6	0,5	4,3	1049	20,1	33,4	219,0	86,2	19,1	331,0	1,9	0,4
13	180	17,4	1049	20,2	33,5	220,6	0,2	86,4	19,0	52	11,7	0,6	0,5	4,2	997	20,5	33,0	216,4	84,9	19,5	332,7	1,8	0,3
13	185	17,5	996,5	20,6	33,1	217,9	0,2	85,1	19,5	50	11,9	0,6	0,5	4,2	947	20,9	32,6	213,7	83,6	20,0	334,1	1,8	0,3
13	190	17,6	946,7	21,0	32,7	215,0	0,2	83,8	19,9	47	12,1	0,5	0,5	4,1	899	21,3	32,1	210,9	82,4	20,4	335,4	1,8	0,3
13	195	17,6	899,3	21,4	32,2	212,1	0,2	82,5	20,3	45	12,4	0,5	0,5	4,0	854	21,7	31,7	208,0	81,1	20,9	336,6	1,7	0,2
13	200	17,7	854,4	21,8	31,8	209,1	0,2	81,2	20,8	43	12,6	0,5	0,5	4,0	812	22,1	31,2	205,1	79,8	21,3	337,6	1,7	0,2

5. Balances económicos.

El balance económico se abordó a través de una metodología multietapa en donde para cada uno de los itinerarios y para cada calidad de estación se aplicaron las siguientes fases:

- Se estimó la producción de los distintos productos de madera a partir de ecuaciones que relacionan la clasificación de productos con las variables del rodal (ver Tabla 45 resumen o apartado A.3.2).
- Se aplicó el precio de venta en fábrica a los distintos productos descompuestos (Tabla 46).
- Se imputaron los gastos de aprovechamiento en campo en función de las intervenciones (Tabla 47).

En esta metodología queda sin especificar el coste de transporte a fábrica y el coste de fabricación de cada uno de los productos. Por esta razón los resultados muestran un balance [ingresos – gastos] sobrevalorado ya que se están omitiendo unos gastos muy importantes como son el transporte y fabricación del producto, pero se ha considerado de esta manera al existir una gran variabilidad en esta parte del gasto en función de la ubicación y tipo de industria. Sin embargo, entendemos que este balance puede ser de gran utilidad para los actores interesados, ya que pueden estimar para su caso particular esos costes no considerados y por tanto "corregir" el balance.

Tabla 45 Ecuaciones para calcular los distintos productos de madera a partir de las variables de masa de la parcela

Variable	Ecuación
V.UNE.MEF	"VCC"/(1+EXP(3.2336275-0.0009611*"N"-0.0466224*"DG"))
V.UNE.R	"VCC"/(1+EXP(4.315-0.05878*"DG"+0.001194*("HO")^2-0.0003025*("G")^2
V.DIN.LS7	"VCC"/(1+EXP(6.3003182+0.0007583*"N"-0.0744322*"HO"-0.0287759*"G"))
V.DIN.LS10	"VCC"/(1+EXP(3.557408-0.029860*"HO"))
V.DIN.LS13	"VCC"/(1+EXP(2.154+0.0006642*("DG")^2-0.03667*"HO"+0.0006663*"N"))
V.DIN.R	"VCC"/(1+EXP(2.192+0.001509*"N"+0.000737*("HO")^2-0.0004853*("G")^2
V.CARP1	"VCC"/(1+EXP(5.77198-0.05681*"G"))
V.CARP2	"VCC"/(1+EXP(5.2144536-0.0015091*"N"-0.0855058*"DG"+0.0376535*"HO"))
V.CARP3	"VCC"/(1+EXP(2.0558913+0.0712104*"HO"-0.0003358*("DG")^2-0.0233621*"G"))
V.CARP4	"VCC"/(1+EXP(2.1768173+0.0020481*"N"-0.0452115*"G"+0.0579457*"HO"))

Tabla 46 Precio de venta de los distintos productos de madera a partir de las variables de masa de la parcela

Variable	Definición	€/m³
V.UNE.MEF	Volumen de madera de calidad MEF estructural según UNE 56546 (m³/ha)	370
V.UNE.R	Volumen de madera de rechazo estructural según UNE 56546 (m³/ha)	200
V.DIN.LS7	Volumen de madera de calidad LS7 estructural según DIN 4074 (m³/ha)	500
V.DIN.LS10	Volumen de madera de calidad LS10 estructural según DIN 4074 (m³/ha)	400
V.DIN.LS13	Volumen de madera de calidad LS13 estructural según DIN 4074 (m³/ha)	370
V.DIN.R	Volumen de madera de rechazo estructural según DIN 4074 (m³/ha)	200
V.CARP1	Volumen de madera de calidad C1 de carpintería (m³/ha)	700
V.CARP2	Volumen de madera de calidad C2 de carpintería (m³/ha)	550
V.CARP3	Volumen de madera de calidad C3 de carpintería (m³/ha)	375
V.CARP4	Volumen de madera de calidad C4 de carpintería (m³/ha)	200

Tabla 47. Costes de aprovechamiento en función de cada intervención.

Tratamiento	Extracción (pies/ha)	Coste (€/ha)
Clareo monte bravo	>2500	1546.98
Clareo monte bravo	1000-2500	1348.62
Clareo monte bravo	500-1000	872.10
Clareo monte bravo	<500	674.88
Clara latizal bajo	>2500	1348.62

Tabla 47. Costes de aprovechamiento en función de cada intervención.

Tratamiento	Extracción (pies/ha)	Coste (€/ha)
Clara latizal bajo	1000-2500	872.10
Clara latizal bajo	500-1000	555.18
Clara latizal bajo	250-500	435.48
Clara latizal bajo	<250	316.92
Clara latizal alto	>500	1111.50
Clara latizal alto	250-500	889.20
Clara latizal alto	100-250	793.44
Clara latizal alto	<100	674.88
Desramado y tronzado latizal alto	-	347.70
Desramado y tronzado latizal bajo	-	261.06
Desramado y tronzado monte bravo	-	520.98
Trituración restos mecanizada	-	248.52

A partir de estas etapas se obtienen los siguientes resultados (tablas 48-55) para cada uno de los itinerarios. El itinerario H4 no ha sido evaluado económicamente ya que las ecuaciones de estimación de productos han podido ajustarse únicamente para masas regulares, mientras que el itinerario H6, como es lógico, tampoco ha sido evaluado económicamente ya que en este no se realiza gestión, por lo que ni hay gastos ni hay ingresos.

Tabla 48. Condiciones selvícolas de las distintas calidades de estación del itinerario H1. En verde se marcan los itinerarios posibles, en naranja los dudosos y en rojo los itinerarios no posibles. V FINAL: es el volumen individual del árbol obtenido al final del turno y V-CORTA FINAL es el volumen que se realiza en la última corta de madera.

IS	CLAREOS	EDAD	EDAD 1ª CLARA	N. CLARAS	INTERVALO	TURNO	v FINAL	V. CORTA FINAL
25	1	15	35	5	10 - 15	120	1,66	290,6
22	1	10	30	4	15 - 20	140	1,59	239,2
19	1	20	40	5	20 - 30	190	1,62	186,5
16	1	25	50	5	25	200	1,42	128,1
13	1	25	50	4	25 - 35	200	0,88	96,9

Tabla 49. Rendimiento (%) e ingresos (€) en madera de calidad de las diferentes simulaciones del Itinerario H1. En verde se marcan los itinerarios posibles, en naranja los dudosos y en rojo los itinerarios no posibles. UNE hace referencia a la Norma UNE. DIN hace referencia a la Norma DIN y CARP hace referencia al producto carpintería.

IS	UNE (%)	DIN (%)	CARP (%)	GASTOS €	INGRESOS UNE €	INGRESOS DIN €	INGRESOS CARP €
25	53,6%	20,1%	51,8%	16899,4	116766,3	44529,4	163596,3
22	47,1%	19,2%	43,9%	15315,9	80370,1	33338,9	107203,8
19	55,5%	17,6%	55,8%	16899,4	94586,4	30111,0	137955,7
16	60,3%	15,3%	62,7%	16121,9	85365,2	21388,5	128748,7
13	56,0%	14,4%	59,0%	14007,2	53373,6	13215,4	80230,1

Tabla 50. Condiciones selvícolas de las distintas calidades de estación del itinerario H2. En verde se marcan los itinerarios posibles, en naranja los dudosos y en rojo los itinerarios no posibles. V FINAL: es el volumen individual del árbol obtenido al final del turno y V-CORTA FINAL es el volumen que se realiza en la última corta de madera.

IS	CLAREOS	EDAD	EDAD 1ª CLARA	N. CLARAS	INTERVALO	TURNO	v FINAL	V. CORTA FINAL
25	1	15	35	5	10 - 15	110	1,18	325,4
22	1	15	35	5	15	140	1,16	289,8
19	1	20	40	5	15 - 30	190	1,15	229,6
16	1	25	50	5	25	200	1,08	151,3
13	1	25	50	4	25 - 35	200	0,73	108,8

Tabla 51. Rendimiento (%) e ingresos (€) en madera de calidad de las diferentes simulaciones del Itinerario H2. En verde se marcan los itinerarios posibles, en naranja los dudosos y en rojo los itinerarios no posibles. UNE hace referencia a la Norma UNE. DIN hace referencia a la Norma DIN y CARP hace referencia al producto carpintería.

IS	UNE (%)	DIN (%)	CARP (%)	GASTOS €	INGRESOS UNE €	INGRESOS DIN €	INGRESOS CARP €
25	66,2%	18,4%	68,4%	17114,8	160438,2	45053,3	242755,3
22	63,7%	17,9%	64,9%	17573,1	140127,0	39519,9	207882,4
19	64,4%	16,8%	66,0%	17041,9	128242,2	33235,0	191267,4
16	72,7%	14,2%	78,0%	17041,9	122209,7	23400,6	190778,2
13	67,1%	13,4%	72,7%	14539,6	74574,0	14269,4	116035,0

Tabla 52. Condiciones selvícolas de las distintas calidades de estación del itinerario H3. En verde se marcan los itinerarios posibles, en naranja los dudosos y en rojo los itinerarios no posibles. V FINAL: es el volumen individual del árbol obtenido al final del turno y V-CORTA FINAL es el volumen que se realiza en la última corta de madera.

IS	CLAREOS	EDAD	EDAD 1ª CLARA	N. CLARAS	INTERVALO	TURNO	v FINAL	V. CORTA FINAL
25	1	20	40	3	10 - 20	100	1,25	281,1
22	1	20	45	3	15 - 20	120	1,23	245,5
19	1	20	50	3	25	150	1,14	205,3
16	1	25	55	3	30 - 40	190	1,18	141,3
13	1	30	60	3	40 - 50	200	0,81	101,6

Tabla 53. Rendimiento (%) e ingresos (€) en madera de calidad de las diferentes simulaciones del Itinerario H3. En verde se marcan los itinerarios posibles, en naranja los dudosos y en rojo los itinerarios no posibles. UNE hace referencia a la Norma UNE. DIN hace referencia a la Norma DIN y CARP hace referencia al producto carpintería

IS	UNE (%)	DIN (%)	CARP (%)	GASTOS €	INGRESOS UNE €	INGRESOS DIN €	INGRESOS CARP €
25	41,7%	20,2%	36,3%	12999,4	73961,7	36550,8	90845,2
22	40,9%	19,5%	35,5%	12999,4	66935,5	32222,1	81729,0
19	39,6%	18,7%	34,6%	12459,1	57629,1	27370,0	70381,2
16	41,2%	17,1%	38,1%	12459,1	49374,9	20476,2	64344,8
13	48,0%	15,3%	40,9%	12221,9	37546,9	13463,6	51236,2

Tabla 54. Condiciones selvícolas de las distintas calidades de estación del itinerario H5. En verde se marcan los itinerarios posibles, en naranja los dudosos y en rojo los itinerarios no posibles. V FINAL: es el volumen individual del árbol obtenido al final del turno y V-CORTA FINAL es el volumen que se realiza en la última corta de madera.

IS	CLAREOS	EDAD	EDAD 1ª CLARA	N. CLARAS	INTERVALO	TURNO	v FINAL	V. CORTA FINAL
25	1	50	55	5	5 - 10	115	1,99	249,4
22	1	60	70	5	10	140	1,79	223,4
19	1	60	75	4	15 - 20	160	1,47	183,4
16	1	60	75	3	25	180	1,01	151,6
13	1	60	90	3	25 - 35	200	1,00	89,8

Tabla 55. Rendimiento (%) e ingresos (€) en madera de calidad de las diferentes simulaciones del Itinerario H5. En verde se marcan los itinerarios posibles, en naranja los dudosos y en rojo los itinerarios no posibles. UNE hace referencia a la Norma UNE. DIN hace referencia a la Norma DIN y CARP hace referencia al producto carpintería

IS	UNE (%)	DIN (%)	CARP (%)	GASTOS €	INGRESOS UNE €	INGRESOS DIN €	INGRESOS CARP €
25	70,1%	17,5%	76,9%	15041,2	172208,6	43816,6	281935,7
22	70,6%	15,2%	78,8%	12866,0	162844,4	35264,6	271360,9
19	61,2%	17,5%	61,7%	13570,6	128538,1	30311,7	208962,1
16	63,6%	13,1%	70,4%	9346,9	95249,2	18940,5	153421,5
13	63,6%	13,6%	70,4%	11062,6	68897,7	14312,3	110300,7

9. EVALUACIÓN DE PRODUCTOS QUE MÁS APORTAN A LA VALORIZACIÓN DEL HAYA Y A LA BIOECONOMÍA CIRCULAR Y DEFINIR EL MARCO DE GESTIÓN FORESTAL ORIENTADA A ELLOS.

Autores
David Lasala Sánchez. Agresta S. COOP.

Colaboradores
David García Castillo. Agresta S. COOP.

INTRODUCCIÓN

La valorización del haya y el fomento de la bioeconomía circular son elementos fundamentales e inseparables, en el marco del proyecto del grupo operativo GO-FAGUS. La bioeconomía circular con foco en el sector forestal es un campo de estudio relativamente reciente, sobre el que hay todavía pocas publicaciones específicas. A la luz de la exploración bibliográfica que se ha llevado a cabo en este proyecto no se han encontrado estudios ni trabajos que hayan tratado el tema de la bioeconomía circular a nivel de especie, como el haya (*Fagus sylvatica*).

Existen por lo tanto muchas lagunas respecto a esta cuestión, que requiere un trabajo científico extenso y continuado que va más allá de los límites del proyecto GOFAGUS. No hay conocimientos, por ejemplo, sobre la implicación que acarrea aumentar la vida útil de la madera de haya en la bioeconomía circular o en el ciclo del carbono y la mitigación del cambio climático. Son cuestiones muy difíciles de estudiar de forma rigurosa y deben ser objeto de proyectos de investigación científica que no pueden ser abordados desde el grupo operativo.

La necesidad de ir hacia una economía neutra en emisiones de carbono y la escasez creciente de materias primas otorga a los productos derivados de la madera una importancia especial por su condición de abundantes, renovables, con ciclos de vida potencialmente altos, entre otras características clave. Es una gran oportunidad para la revalorización del haya.

La pretensión de este documento es esbozar un marco que ayude a comprender esta cuestión en los aspectos relacionados con el proyecto GOFAGUS sobre la bioeconomía circular. También trataremos de hacer una conexión con el haya a partir de los conocimientos y ámbitos de trabajo que emergen del proyecto del grupo operativo cuando esta conexión sea posible o evidente.

Tendrá una utilidad en el marco del grupo operativo, y como material divulgativo sobre este tema específico y novedoso para el haya.

Entre otros aspectos el documento aborda cómo la selvicultura aplicada al haya puede fomentar la bioeconomía circular forestal y la revalorización de sus productos.

Con un conocimiento mayor del impacto del haya en la bioeconomía circular se puede compaginar mejor las actividades de ocio en la naturaleza con las productivas y defender el uso de un recurso local frente a uno importado y del consumo de un bio-producto renovable, reutilizable, reciclable y biodegradable frente a materiales no renovables, de elevada huella ecológica en su producción.

De manera más específica en este documento pondremos el foco en:

- Identificar qué productos de haya tienen o pueden tener mayor impacto (positivo) en la bioeconomía circular.
- Conocer qué trozas/tipos/calidades de madera de haya puede revalorizarse más -teniendo en cuenta la situación actual y las perspectivas de futuro del haya.
- Proponer unas directrices/recomendaciones selvícolas básicas, para los agentes clave del sector del haya en función de los productos que se quieren fabricar.

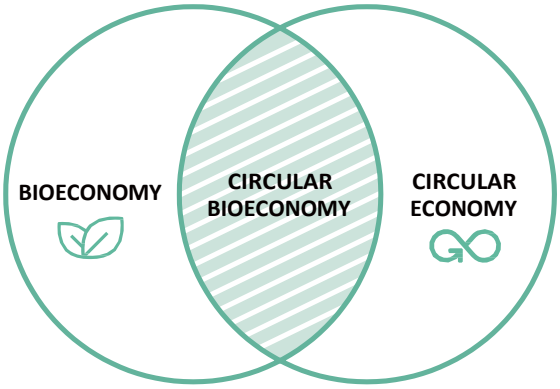
BIOECONOMÍA CIRCULAR

¿Qué es la bioeconomía circular?

La bioeconomía circular (BEC) es un nuevo paradigma basado en la producción, utilización, reutilización y conservación de los recursos biológicos para crear productos y servicios sostenibles. Actualmente, existe la oportunidad de generar nuevos productos, oportunidades de negocio y empleo, basados en demandas reales de la industria, como la del sector maderero. (fuente: Neiker)

La bioeconomía circular es un modelo económico basado en la producción de recursos biológicos renovables y la conversión de estos recursos en productos con valor añadido, modelo que a su vez apuesta por su integración dentro de la economía circular, cuyo objetivo es el mantenimiento del valor añadido de los productos el mayor tiempo posible. (fuente: https://www.bioeconomiaandalucia.es/que-es-la-bioeconomia)

La bioeconomía circular integra los conceptos de bioeconomía y economía circular[1] con la vocación de representar un modelo económico sostenible económica, social y ambientalmente (Carus & Dammer, 2018; Kardung et al., 2021). La bioeconomía engloba al conjunto de todas las actividades económicas relacionadas con la producción, transformación y utilización, directa o indirecta, de recursos de origen biológico con el fin de producir y transformar biomasa para el suministro de alimentos, piensos, materiales, energía y servicios relacionados con los ciudadanos (EC, 2018). La economía circular es un modelo de producción, distribución y consumo en el que el valor de los productos, materiales y demás recursos permanece el mayor tiempo posible (p. ej., reciclando, reparando, etc.), potenciando su uso sostenible y eficiente y reduciendo al mínimo la generación de residuos (EC, 2015; Kirchherr et al., 2017; Ghosh, 2020). (fuente: https://economiacircular.org/la-bioeconomia-circular/).



Fuente: UNECE/FAO, adapted from Newton (2017).

1 El concepto de economía circular se caracteriza como un enfoque que puede reducir los recursos frenando, cerrando o reduciendo los circuitos de recursos naturales (Geissdoerfer et al., 2017). La Fundación Ellen MacArthur define la economía circular como la economía industrial que es restaurativa y regenerativa por intención y diseño y tiene un enfoque para desvincular gradualmente la actividad económica del consumo de recursos finitos (EMF, 2012, 2015 https://www.ellenmacarthurfoundation.org/circular-economy/concept). La Comisión Europea define la economía circular como un proceso por el cual el valor de los productos, materiales y recursos se mantiene en la economía durante el mayor tiempo posible y se minimiza la generación de residuos" (CE, 2020a).

El sector forestal y maderero en la bioeconomía circular

La Comisión Europea en la Estrategia Forestal de la Unión Europea reconoce el papel central y multifuncional de los bosques y la contribución de los silvicultores y de toda la cadena de valor forestal para lograr, de aquí a 2050, una economía sostenible y neutra desde el punto de vista climático y una reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero de al menos el 55% para 2030. Productos de madera de larga duración se convertirían en ideales para una construcción sostenible y climáticamente neutra, en sustitución de materiales más contaminantes. (fuente: https://ec.europa.eu/info/sites/default/files/communication-new-eu-forest-strategy-2030_with-annex_en.pdf)

La FAO en Circularity concepts in forest-based industries menciona que el sector forestal, situado en los ciclos biológico y técnico de una economía circular, es muy adecuado para adoptar un modelo económico circular de base biológica. Sin embargo, siguen existiendo retos en la circularidad general de las cadenas de valor forestales como resultado de los medios tradicionales de funcionamiento del sector. Para garantizar la sostenibilidad de las cadenas de valor forestales, es necesario tener en cuenta y coordinar continuamente la circularidad en todas las etapas de las cadenas de valor. Un punto de partida viable para ello son los principios de la gestión forestal sostenible forestal sostenible (GFS), siguiendo por el uso optimizado en cascada de la madera en cada etapa de producción y concluyendo con la recuperación de la madera post-consumo al final de las cadenas de valor. (Fuente: Circularity concepts in forest-based industries. FAO-UNECE)

Según la investigación de Ragnar J. et al, en "Boosting the EU forest-based bioeconomy: Market, climate, and employment impacts, Technological Forecasting and Social Change", https://doi.org/10.1016/j.techfore.2020.120478 sus resultados confirman el papel crucial de la industria del aserrado en la bioeconomía forestal: El impulso en la UE a la construcción basada en la madera sería más eficaz en el aumento de la producción y el empleo, en la tala de árboles y en la fabricación de productos de madera maciza, pero también en los sectores que utilizan los subproductos del aserrado como materia prima. La integración vertical en las biorrefinerías de madera debería ser así ventajosa.

El aumento de las cosechas en la UE (corta de árboles) supondría una reducción de los sumideros netos de carbono de los bosques para 2030, pero la huella de carbono y la mitigación del cambio climático se verían más que compensados por el aumento del almacenamiento de carbono en los productos de madera recolectada y por el aumento de la construcción con madera. (fuente: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0040162520313044)

Uso en cascada de la madera

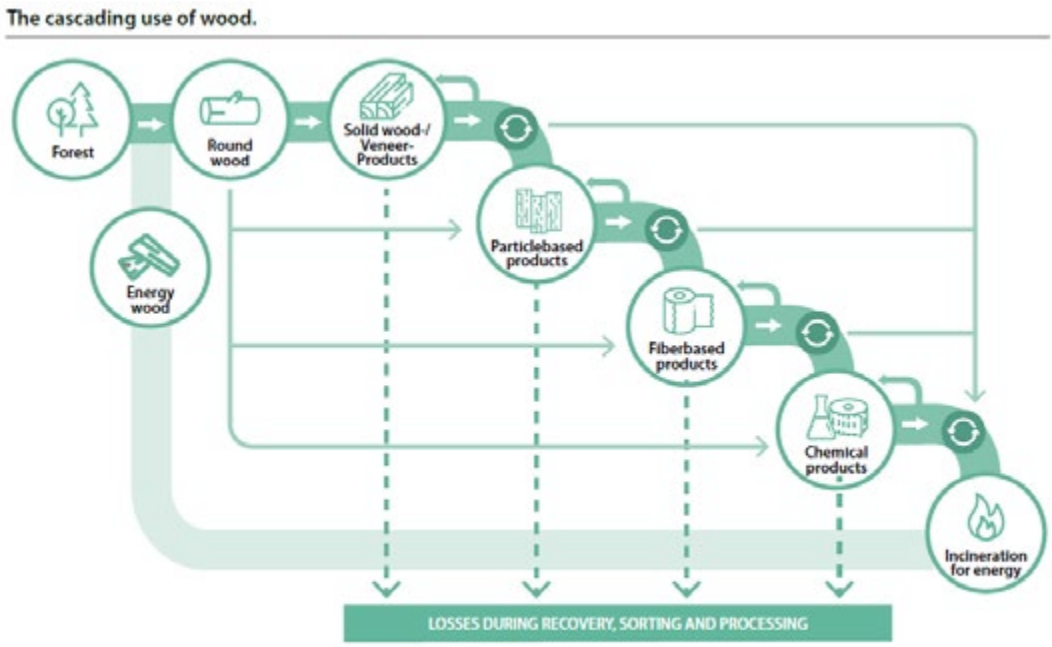
La madera requiere un enfoque que mantenga su integridad estructural en el mayor número posible de aplicaciones antes de ser triturada o quemada o desechada. Este enfoque es el principio del uso en cascada, en el que el uso de una determinada pieza de madera puede abarcar varios bucles de reutilización, recuperación y/o reciclaje, y los productos a los que se incorpora se utilizan durante el mayor tiempo, con la mayor frecuencia y de la forma más eficiente posible.

Hay tres barreras principales en la implementación del uso en cascada de la madera: barreras técnicas pues la madera suele sufrir una pérdida de calidad en cada fase de transformación y es propensa a la acumulación de contaminantes (debido a la aplicación de conservantes, pinturas y colas)2; barreras de mercado por falta de coordinación que entienda las necesidades de los agentes implicados en las últimas fases de la producción al mismo tiempo que falta una "infraestructura" que haga viable económicamente la recogida, clasificación y limpieza de la madera usada en vez de usar madera virgen. Y la tercera barrera, no tener una clasificación internacional de la madera usada o no tener en cuenta las externalidades ambientales en el marco político del uso en cadena.

En la siguiente figura (fuente UNECE/FAO) vemos un ejemplo de diagrama de uso en cascada de la madera casi óptimo.

Se ve como a partir de las trozas se clasifica la madera para hacer el producto de más alto valor y cómo calidades peores así como "despojos" (residuos, desperdicios) se van utilizando y reciclando en productos de valor cada vez más bajo.

2 En este punto, es importante reconocer que el reciclado de la madera se enfrenta a limitaciones inherentes en comparación con los materiales técnicos. Mientras que algunos metales y el vidrio pueden recuperarse y transformarse en materiales de calidad similar, una vez transformada la madera no puede volver a procesarse para obtener la misma calidad que la original (las fibras de madera utilizadas para la producción de papel son la excepción). Fuente: Circularity concepts in forest-based industries. FAO-UNECE)



Source: UNECE/FAO, adapted from Höglmeier *et al.*, 2015.

Desde nuestro punto de vista, la figura podría plantear un escenario aún mejor si se incluyera la leña (energy wood) en la fabricación de papel y químicos y no solo como bioenergía.

EL HAYA -BOSQUES Y MADERA- EN LA BIOECONOMÍA CIRCULAR

Introducción

La Comisión Europea indica que *"dentro de los límites de la disponibilidad y el suministro sostenible de madera,* ***el sector forestal tiene un importante potencial económico para mejorar su producción de madera sostenible y aprovechada legalmente para materiales y productos circulares y de larga duración****. Para ello es necesario estimular la demanda en las industrias transformadoras y promover las prácticas de gestión forestal, las herramientas y los procesos de producción que mejor se adapten a los distintos recursos forestales en el futuro*". Fuente: communication-new-eu-forest-strategy-2030_español).

Y que... "*para aumentar el suministro de productos de madera de larga duración, son necesarias inversiones a lo largo de toda la cadena de producción de la madera. Debe apoyarse a las industrias transformadoras de la madera para que se adapten mejor a los recursos cambiantes y diversificados de los bosques. Las inversiones también deben centrarse en la producción de productos de madera de larga duración a partir de troncos de menor calidad, de más especies de madera dura (frondosa), y anticipar mayores fluctuaciones de la producción a lo largo del tiempo*". (Fuente: communication-new-eu-forest-strategy-2030_español).

Precisamente el proyecto GO-FAGUS persigue este objetivo, centrado en los bosques y madera de haya.

La madera de haya en bioeconomía circular

Tradicionalmente los productos del haya han sido muy variados. Desde la construcción de piezas de barcos hasta lejías. Y actualmente se está abriendo un espacio para construcción de casas, piecerío, fibras y bioquímicos.

Se puede decir que los hayedos son, entre otras muchas cosas, productores de materiales valiosos en una bioeconomía circular actual y de futuro.

El uso en cascada de la madera de haya en economía circular. Barreras

El uso en cascada de la madera de haya actualmente es reducido. A parte de por las tres razones explicadas en el apartado anterior de "uso en cascada de la madera" que son extensibles a cualquier

especie productiva, además en el caso del haya se suman las siguientes **barreras de peso por los cuales no se da un uso en cascada fluido en madera de haya**:

- El abanico de productos de madera de haya, hasta el momento, es bipolar. Usamos la palabra bipolar para explicar que la materia prima de haya actualmente se califica como muy buena o si no es de calidad baja, y se destina a leña. Por el momento no hay un abanico de productos según calidades (como sí que pasa con las coníferas y la madera de canter por ejemplo). Dicho de otro modo, generalmente las calidades bajas de haya no sirven para elaborar productos de valor intermedio y terminan como leña. Hacemos énfasis en "hasta el momento" y "actualmente" porque pensamos que en un futuro cercano sí se va a poder revalorizar trozas de calidad baja.

  En consecuencia, la mayor parte de la madera de haya que se aprovecha en España se utiliza para leña[3] (rango de referencia de 2019 a 2012 es de 65-75% de lo cortado se clasificó como leña/bioenergía), generalmente utilizada en calderas y chimeneas en un radio muy próximo al lugar de producción. Tiene como beneficio la reducción de consumo energético fósil y la utilización de recursos locales[4], pero supone una valorización muy pobre desde el punto de vista de la bioeconomía circular.

- El salto tecnológico de la madera en haya (sobre todo para uso estructural) es aún incipiente y poco conocido (con el proyecto GOFAGUS se van a hacer las primeras en España pruebas de LVL en haya). En Alemania ya se hace de manera industrial y con cierta escala de producción por parte de algunas empresas como por ejemplo Pollmeier (producto BauBuche).

- Cuellos de botella que afectan directamente al ritmo de corta y por tanto al suministro de madera de haya, y por ende, al uso en cascada:
  - Lentitud y falta de recursos en la administrativa forestal y en las entidades locales propietarias de los hayedos para sacar adelante adjudicaciones y aprovechamientos de madera[5].
  - Falta de rematantes de haya (especialmente en comarcas con niveles muy bajos de corta o con muchos condicionamientos)[6].
  - Falta de accesos en hayedos.
  - Gestores con miedo o reticencias a actuar en frondosas. Con limitaciones temporales cada vez más fuertes. Con lotes cada vez más pequeños y para sacar menos m^3/ha. Con más criterios de conservación (bien) pero sin tener en cuenta las consecuencias en la explotación (mal).
  - Oposición social a las cortas de frondosas, escasa cultura y conocimiento forestal de la sociedad.
  - Una falta de estandarización en clasificaciones, tanto en monte como en industria, lo que dificulta tener un lenguaje común en el sector: Falta de entendimiento y fluidez.

- Debilidades que dificultan poder disponer de madera de alto valor, y por tanto obstaculizan empezar desde lo alto del uso en cascada:
  - Muchas masas de origen monte bajo, con madera de mala calidad y predominancia de leñas. Abunda la madera delgada.
  - Falta de datos de calidad de madera de haya.
  - Falta de normas de clasificación estructural y falta de estudio de costes de procesado para maderas delgadas y adaptación de la tecnología de aserrado.

3 Se han utilizado los datos del anuario forestal del MITECO. Se han enfrentado, por año, los m^3 totales de corta de haya frente a los datos de leñas de haya (leñas en toneladas convertidas a m^3 usando un factor de conversión de 0.83 T/m^3) en el periodo 2019 a 2012.

4 En algunos casos en los que la madera es de muy poca calidad y en los que hay una alta de demanda de leña local para calefacción u otros usos, puede ser una salida muy digna.

5 Esto implica que aunque silvícolamente y para ofertar productos de calidad de madera, las rotaciones tendría sentido hacerlas cada 6-10 años según calidades de estación, la realidad es que lo habitual es con que las cortas (o claras) se hagan cada 10-15 años, si es que se repiten.

6 Según hemos podido observar con otra actividad del GO FAGUS denominada "acompañamiento en la transformación digital de los rematantes de haya mediante adaptación de herramienta de trazabilidad, para mejorar el seguimiento y rendimiento de sus aprovechamientos" tanto ahora como en corto plazo los rematantes de haya son escasos y cada vez son más reticentes a la hora de quedarse con lotes de corta de haya (excepto tal vez en Navarra).

- En el haya se deprecia y desprecia el corazón del haya principalmente solo por cuestiones estéticas.
- Falta de coordinación en la cadena de valor a escala interregional, disgregación de actores y actuaciones, sin un plan de movilización ni estrategia como sector.

A pesar de la situación actual, hay un horizonte de mejora grande que se puede alcanzar en esta década.

PRODUCTOS DE MADERA DE HAYA

Características, usos y productos.

Las características tecnológicas de la madera de haya, según varias fuentes[7] son:

- Densidad (kg/m^3): 692-710-750
- Dureza (Chaláis-Meudon) 4,0: madera semidura[8]
- Densidad aparente al 12% de humedad 730 kg/m^3: madera pesada.
- Resistencia a flexión estática 1100 kg/cm^2
- Módulo de elasticidad 145.000 kg/cm^2
- Resistencia a la compresión 580 kg/cm^2
- Resistencia a la tracción paralela 1200 kg/cm^2
- Flexión dinámica (J/cm2): 4,4-8,8-12,0.
- Coeficiente de contracción volumétrico 0,51 %: madera nerviosa.
- Relación entre contracciones 2,05%: con tendencia a deformarse.

La madera de haya es dura, pesada y de tonalidades claras.

Tiene una textura uniforme, y la finura de su grano permite un pulido muy delicado. Además, la elegancia de sus anillos formando dibujos irregulares hace que sea una madera de gran belleza y distinción.

Tiene buenas aptitudes para obtener chapa por desenrollo mediante corte a la plana. Tiene también buenas aptitudes de escopleado, mortajado y taladrados visibles en el mecanizado, tallado, curvado y torneado. En cuanto a la mecanización: el aserrado es fácil aunque con riesgo de deformaciones; el secado es difícil y lento con riesgo de fendas. El cepillado, encolado clavado y atornillado es fácil.

Además tiene buenas aptitudes para la impregnación: gracias a ella, se puede destinar a usos en construcción (se estropearía si no admitiese los tratamientos adecuados).

Tiene alto poder calorífico y arde rápido, por eso también es apreciada como leña.

No tiene casi olor y es apreciada para todo tipo de útiles de cocina.

Tiene un color característico crema pálido, si bien puede variar del tono blanquecino al marrón. Con el tiempo la madera de haya natural adquiere cierta tonalidad rojiza, aunque sigue conservando su esencia blanquecina.

Es muy frecuente someterla a un proceso de vaporizado -exponer la madera al vapor de agua a una temperatura de vaporizado de 90º – 100º durante uno o dos días- que la oscurece alcanzando tonos rojizos anaranjados. Es lo que se conoce como madera de **haya vaporizada**, y es curioso que son muchas las personas que piensan que este es el color natural del haya. Este tratamiento previo al secado libera parcialmente las tensiones internas (disminuye su carácter nervioso), disminuye el módulo de elasticidad, reducen los riesgos de deformación de la madera -uno de sus grandes inconvenientes- y no influye en la duración total del secado.

7 Se han utilizado varias fuentes para describir las propiedades de la madera del haya: a) Compendio de Selvicultura aplicada en España. Fagus sylvatica L." (de Rafael Serrada, Gregorio Montero y José A. Reque, 2008, INIA; maderea https://www.maderea.es/madera-de-haya-propiedades-y-caracteristicas/; Gabarró https://www.gabarro.com/es/enciclopedia-madera/haya2; Gamiz https://www.grupogamiz.com/maderas/haya/ Maderame: https://maderame.com/enciclopedia-madera/haya/

8 Su dureza es tal que antiguamente se utilizaba en minería para confeccionar raíles antes de que se introdujera el hierro fundido. Fuente: Gamiz https://www.grupogamiz.com/maderas/haya/

En el secado presenta una tendencia fuerte a torcerse y a abrirse apareciendo fendas. El tiempo del secado de la madera de haya varía dependiendo del grosor, donde podemos encontrar variaciones de tiempo de entre cuatro a doce meses.

Un defecto significativo es el falso corazón rojo debido al ataque cromógeno.

La madera de haya es apreciada en trabajo de construcción, pero no en exteriores salvo pretratamiento con barnices protectores.

En definitiva, es una madera que permite que se use tanto para elementos estructurales como para trabajos finos y delicados.

En términos generales, según conversaciones con industrias, el haya europea tiene mejores propiedades que el haya española: es algo menos densa, sin embargo, más resistente y con mejores propiedades elásticas y mecánicas. Es también ligeramente más oscura.

Usos pasados, actuales e innovadores

La madera de haya se ha utilizado para carpintería interior, molduras, mobiliario y ebanistería, muebles curvados (silla y mesas especialmente), chapas, mangos de herramientas, hormas de zapatos, pequeños utensilios, juguetes, instrumentos musicales, clavijas. Se ha utilizado con frecuencia para las traviesas de ferrocarril (previa imprimación) pero no como apeas de mina debido a su capacidad de torsión. En el norte de España se ha utilizado para carretería. Con sus cenizas ricas en potasa se empleaban como "lejías" (en la montaña cantábrica). También se producía brea o creosota de haya procedente de la destilación de la madera. También el fruto o el tanino, aceite de hayuco, incluso se usaban brotes tiernos como verdura. En centro y este de Europa el serrín remojado y tostado lo mezclaban con harina para hacer pan. También han servido de alimentación al ganado porcino (Oria, 2003). Destacaba en la elaboración de yugos, para arados y distintas herramientas agrícolas, o para cubetas o barriles de madera de haya para leche (Kaiku) o para guardar la harina, el vinagre y las salazones. También destacaba su uso en construcción naval: desde fabricar quillas de grandes barcos de madera, remos[9]. Evidentemente también ha tenido grandísimo uso para leña y hacer carbón.

Actualmente se emplea para[10] mobiliario interior, contrachapados y todo tipo de piezas de ebanisterías y carpintería, en parqués, tarimas, puertas, revestimientos, en fabricación de mangos de herramientas, fabricación de instrumentos musicales (desde elementos básicos de percusión como claves o baquetas y en ocasiones clavijeros de piano), palas, remos, poleas, hormas de zapatos, perchas, tableros de ajedrez, peonzas, juguetes de todo tipo, zuecos o almadreñas, chapa para recubrimientos decorativos, utensilios de cocina, artículos deportivos (como bates de béisbol o remos), para fabricar pasta de papel, tableros de fibras y partículas, tableros alistonados y elementos estructurales (LVL[11], perfiles o vigas laminadas).

La leña de haya es excelente. Se estima su carbón.

Entre las aplicaciones más características de la madera de haya se encuentran las hélices de avión y llantas para coches.

Aún está en fase de innovación, implantación en España y en cualquier caso es poco conocido, pero la madera de haya puede ser utilizada con éxito en materiales estructurales (con tecnología aplicada) como la madera laminada estructural, madera microlaminada (LVL) y madera contralaminada (CLT[12]). Por ejemplo, según la empresa francesa Lineazen, especializada en la fabricación de paneles de CLT (la cual ha patentado el sistema constructivo xEN-x que se apoya en la tecnología CLT-C (Cross Laminated Timber Composite)) el haya, en este producto, es un 20 % más resistente que el abeto (especie habitual en la CLT).

De carácter innovador resulta sugestivo comentar el uso de la madera de haya, en forma microlaminada, en la estructura de los cuadros de las bicis[13] por una empresa guipuzcoana (TXIRBIL, Zerian).

9 ELABORACION DE REMOS DE MAR Y EXTRACCION DE MADERA PARA NAVIOS REALES EN LOS MONTES DE GORBEA (ALAVA), PAIS VASCO. DOCUMENTOS VARIOS. (S.XVII-XVIII). José Iturrate. KOBIE (Serie Antropología Cultural). Bilbao Bizkaiko Foru Aldundia-Diputación Foral de Bizkaia. N.º X, pp. 117-128, 2001/2/3. ISSN 0214-7971

10 En algunos casos en bajas proporciones bajas o en mezcla con otras especies.

11 Madera microlaminada o LVL (Laminated Veneer Lumber)

12 Madera laminada cruzada o CLT (Cross Laminated Timber)

13 https://madera-sostenible.com/madera/txirbil-sorprende-al-mercado-con-sus-bicicletas-de-madera/

Calidades de la madera de haya y relación con sus productos

Evidentemente, cada producto de madera de haya se consigue con unas trozas que cumplen unas condiciones o características determinadas.

La siguiente tabla es una propuesta de **clasificación visual de calidad de madera de haya en pie** para ser utilizada en la península ibérica específica para la especie haya (importante distinguir de otros dos conceptos: clasificación visual de madera en rollo o de la clasificación visual de madera aserrada).

La tabla se ha elaborado adaptando la norma UNE EN 1316-1 (Madera en rollo de frondosas. Clasificación de calidades. Parte 1 Roble y haya) utilizando las singularidades (o defectos) que sólo son observables cuando el árbol en pie, al mismo tiempo que se han incluido las dimensiones mínimas requeridas por la industria de la madera del haya al generar un producto o darle un destino[14].

Los parámetros básicos para definir la calidad los marcan "las dimensiones mínimas requeridas". Las singularidades se observarán de forma conjunta y sin realizar mediciones, y en función de lo observado se va ajustando la calidad visual.

Esta tabla es muy útil para saber qué tipo de madera de haya hay en el monte. Cuestión fundamental para saber cómo gestionar el hayedo y qué productos se puede esperar de un rodal de hayedo en concreto (o cómo trabajar para tender hacia unos u otros productos). Por tanto sirve para saber qué ofrece nuestro hayedo a la bioeconomía y al "uso en cadena" de la madera de haya.

14 Se puede consultar una tabla parecida en el libro "Le hêtre autrement", pág. 230, del Institut pour le développpement forestier 2002 Gérard Armand et al.

	Parámetro	¿Parámetro observable desde el exterior o en pie?	A	B	C	D	E (tritura-ción/leña/ papel)
Descripción	Descripción corta	SI	Calidad ex-cepcional	Calidad buena	Calidad media	Calidad muy baja	Sin calidad
	Descripción larga	SI	Madera de primera calidad: se correspon-de gene-ralmente con un rollo sin nudos o simple-mente con caracte-rísticas de menor importan-cia que no limitan su utilización.	Madera de buena cali-dad por tér-mino medio, que no pue-de satisfacer el requisito particular de madera sin nudos. Se admiten los nudos en la proporción que se con-sidere como la media para cada especie.	Madera de calidad baja, ad-mitiéndose todas las características de cali-dad que no reduzcan de forma acusada las caracterís-ticas natu-rales de la madera.	Madera que puede aserrarse para su utilización, y que por sus carac-terísticas no puede incluirse en ninguna de las clases A, B o C.	Madera que no puede ase-rrarse. Su destino es trituración o papel.
Productos / destinos	Destino / Producto más pro-bable	-	Chapa. Tarima alta gama. Mueble y ebanistería alta gama.	Madera aserrada de primera ca-lidad. Tarima. Mueble y ebanistería. Piecerío singular alta gama.	Madera aserrada de baja calidad. Madera carpintería y piecerío.	Madera embalaje Madera au-xiliar para construc-ción Piecerío singular con defec-tos	Trituración, papel, leña.
Dimensiones mínimas re-queridas	Longitud mínima de troza (m)	SI	3	3	2,5	2	Cualquiera
	Diámetro mínimo en punta (cm)	SI	45	40	30	20	Cualquiera

	Parámetro	¿Parámetro observable desde el exterior o en pie?	A	B	C	D	E (tritura-ción/leña/ papel)
Singularidades	curvatura	SI	<= 2cm/m	<= 4cm/m	<= 6cm/m	No más de 8 cm/m	se admiten
	nudos sa-nos	SI	1 cada 3m (<4cm en total)	1 cada 1m (<6cm) o 1 cada 2m (<8cm)	No más de 25 cm en total	No más de 50 cm en total	se admiten
	nudos po-dridos	SI, algunos (no todos)	no se admiten	no se admiten	La suma de los diáme-tros de los nudos <8 cm (cada 2m)	se admiten	
	nudos cu-biertos	SI, algunos (no todos)	1 cada 3m si la cicatriz de la rama es <1:4	1 cada 3m si la cicatriz de la rama es <1:2 y la altura de la cicatriz es <10cm	2 cada 1 m		
	Fibra es-piralada y excentrici-dad de la médula	INTERPETABLE	<10%	<20%	se admiten		
	ovalidad	SI	<15%	<50%			
	acanala-dura	SI	no se admiten				
	fendas	INTERPETABLE					
	Orificios insectos	algunos (no todos)			no se admiten		
	Hongos cromóge-nos	algunos (no todos)					

PRODUCTOS DE HAYA Y SU INFLUENCIA EN LA BIOECONOMÍA CIRCULAR

Contexto

Se ha llevado a cabo una evaluación (o valoración) de los diferentes productos de madera de haya bajo un punto de vista de bioeconomía circular.

El método utilizado ha sido cruzar en una matriz los principales destinos de la madera de haya con/frente a una serie de criterios de evaluación. Se pretende evaluar qué productos tienen más importancia a la hora de aportar a una bioeconomía circular basada en la madera de haya.

Para elaborar el listado de productos se ha partido de la información recopilada en el proyecto GO FAGUS y se ha procedido a agruparlos en función de su destino y uso.

Para los criterios de evaluación se han utilizado conceptos e ideas recopiladas en documentos de referencia como la "Estrategia Forestal de la Unión Europea"[15] de la Comisión Europea; "Circularity concepts in forest-based industries"[16] de FAO-UNECE o de las "Orientaciones sobre el uso en cascada de la biomasa con una selección"[17]; así como información recopilada en varias actividades del GO FAGUS.

Para completar la visión que podamos hacernos, se ha creído importante añadir una valoración genérica de cómo la sociedad y la industria valoran los diferentes productos así como el peso económico (monetario) que tiene cada producto.

Como resultado obtenemos que, a cada producto se le ha asignado un valor (o puntuación) para poder visibilizar su impacto y su alcance en la bioeconomía circular.

Al mismo tiempo que se hecho la evaluación, se ha querido indicar y mezclar con ella, el grado de abundancia del recurso en la actualidad, para balancear el impacto con la disponibilidad actual de producto y así poder detectar carencias, oportunidades incluso limitaciones. Esto se ha indicado a través de dos parámetros opuestos:

a) La calidad que tiene que tener la madera de haya en pie -la troza- para ser destinada a un producto o a otro.

b) qué productos tienen mayor capacidad para absorber madera procedente de otros productos al final de su vida útil.

A tener en cuenta a la hora de interpretar esta evaluación:

- Ciertos productos que se analizan pueden tener poca madera de haya en ellos. Por ejemplo, para hacer papel se utiliza madera de haya, pero el porcentaje de haya sobre el global del producto es muy bajo comparado con lo que aportan a su composición otras especies. Lo mismo pasa con tableros conglomerados (principalmente de coníferas) o con contrachapado (por ejemplo de haya).
- Esta valoración se trata de una aproximación y puede tener otros enfoques. Uno de ellos podría haber sido usar una herramienta de evaluación de ciclo de vida para cada producto. Otro enfoque podría haber dado más peso a un indicador (o criterio de evaluación) frente a otro. Pero en este caso, se ha preferido mantener la igualdad entre ellos[18].

En todo caso la elección de criterios no es un proceso sencillo ni objetivo, debido a la falta de referencias y estudios previos más profundos sobre esta cuestión, al menos en lo que se refiere a productos forestales y más en haya. A falta de sistemas de evaluación contrastados, concertados y estandarizados, hemos tratado de contribuir a dar un primer paso, esbozado un sistema de evaluación, en este caso aplicado al haya, que ayude a clasificar productos desde un punto de vista de la bioeconomía circular. Nos ha parecido oportuno contar con una primera propuesta de sistema de evaluación basada en criterios clave obtenidos de la bibliografía existente, para tener un sistema de referencia definido sobre la que basar la evaluación.

15 https://ec.europa.eu/info/sites/default/files/communication-new-eu-forest-strategy-2030_with-annex_en.pdf

16 https://unece.org/sites/default/files/2022-05/Circularity%20concepts%20in%20forest-based%20industries%20ECE_TIM_SP_49.pdf

17 European Commission, Directorate-General for Internal Market, Industry, Entrepreneurship and SMEs, *Orientaciones sobre el uso en cascada de la biomasa con una selección de ejemplos de buenas prácticas en materia de biomasa leñosa*, Publications Office, 2019, https://data.europa.eu/doi/10.2873/828180

18 Es decir, en nuestra evaluación se ha preferido dar el mismo valor al agua consumida que a la vida útil del producto. Resulta difícil justificar dar más peso al agua consumida que a la reciclabilidad, más en un país como España con un recurso hídrico escaso. Tal vez los pesos podrían variar de un país a otro.

Criterios de evaluación

Los criterios de evaluación utilizados pretenden recopilar todo el abanico de indicadores tanto a nivel de ciclo de vida, ambiental o uso en cascada, así como a nivel social, económico o industrial de cada producto.

Algunos de los criterios puntúan positivamente y otros de forma negativa.

A cada criterio se le ha asignado una puntuación de 0 a 4 que ayuda a evaluar el grado de contribución a la bioeconomía circular de cada producto a la luz del criterio específico.

0	ninguno
1	bajo
2	medio
3	alto
4	muy alto

Duración vida útil.

A cuanto más larga es la duración de la vida útil del producto analizado, más contribuye a la bioeconomía circular (BEC).

Reciclabilidad.

A más capacidad del producto para entrar en la cadena de reciclado (y por un proceso o tratamiento) convertirse en una "nueva" materia prima), mejor puntuación en BEC.

Reutilización.

A más potencial de utilizar el producto en un objeto o material, ya sea para el mismo fin que tenía originalmente o para uno nuevo[19], más aporta a la BEC.

Gasto energético.

A más gasto energético (energía, vaporización, necesidad de maquinaria, etc.) en la fabricación del producto más bajo es la puntuación en BEC.

Mezcla de químicos.

A mayor uso de químicos en la fabricación del producto (en el caso de la madera y del haya, sobre todo colas) más difícil reutilizar o reciclar el producto, más contaminante y por tanto, peor valorado en BEC.

Consumo de agua.

A mayor consumo de agua en la fabricación, peor BEC.

Fijación de ciclo CO_2.

A cuanto más carbono fija el producto mejor puntuación en la BEC. Relacionado con la vida útil.

Km 0.

No es lo mismo producir y consumir el producto donde hay hayedos que trasportarlos a industrias lejanas, transformarlo y volver a distribuirlo.

A partir de estos criterios o indicadores hemos construido el "**valor global del producto**" que es = duración útil + reciclabilidad + reutilización - gasto energético – mezcla con químico – consumo de agua + fijación CO_2 + Km0.

19 https://ecoembesdudasreciclaje.es/que-diferencia-hay-entre-reciclar-y-reutilizar/

Valor social

Se ha querido recoger el valor que la sociedad da a un producto, ya sea por tema cultural, moda o tradición.

Este indicador, puede variar en poco años o con el paso del tiempo.

Valor económico.

Refleja el flujo monetario que un producto tiene en comparación al resto. Es decir, tiene en cuenta si el producto tiene más o menos valor unitario y si tiene una influencia mayor o menor en el mercado.

Valor industrial.

Aporta la relevancia e implicaciones del producto en el tejido industrial.

Teniendo en cuenta estos tres últimos índices generales hemos construido el "**Impacto BEC en madera de haya**" = valor global producto + valor social + valor económico + valor industrial.

Y por último, hemos analizado la abundancia de la materia prima y la dificultad para obtenerla, para saber la "**abundancia del recurso**".

De esta forma podemos comparar estos dos últimos parámetros, impacto-BEC vs abundancia, para tener una visión más global del **alcance** que puede tener un producto de madera de haya en la bioeconomía circular.

A continuación se presenta la tabla donde se concentra la información y la valoración elaborada:

Evaluación de los productos de haya y su influencia en la bioeconomía circular (BEC)

0	ninguno
1	bajo
2	medio
3	alto
4	muy alto

Valor global del producto = duración útil + reciclabilidad + reutilización - gasto energético – mezcla con químico – consumo de agua + fijación CO_2 + KmO

Impacto BEC = valor global producto + valor social + valor económico + valor industrial

PRODUCTOS	CATEGORÍA USO-DESTINO	DURACION VIDA UTIL +	RECICLABILIDAD +	REUTILIZACIÓN +	GASTO ENERGÉTICO -	MEZCLA CON QUÍMICOS -	CONSUMO AGUA -	FIJACIÓN CICLO CO2 +	KM 0 +	VALORACIÓN GLOBAL PRODUCTO EN BIOECONOMÍA CIRCULAR	Valoración Social	Valoración económica	Valoración Industrial	IMPACTO EN BEC		POSIBILIDAD DE QUE TRAS VIDA ÚTIL DE OTRO USO, TERMINE COMO ESTE PRODUCTO	CALIDAD DE LA MADERA EN PIE PARA SER DESTINADO A ESTE USO	Abundancia Recurso (actual)
▪ Vigas, machones ▪ tablones grandes dimensiones	USO ESTRUCTURAL o CONSTRUCTIVO en BRUTO	4	3	4	1	0	1	3	3	15	4	4	3	26	Alto	1	4	Bajo
▪ Parquet ▪ Tarima madera	PARQUET, TARIMA	3	3	3	1	1	1	3	2	11	3	4	4	22	Alto	1	3	Bajo
▪ Marcos ▪ Puertas ▪ Ventanas	CARPINTERÍA (perfiles, tableros alistonados)	3	3	3	2	1	1	3	2	10	4	4	4	22	Alto	1	3	Bajo
▪ CLT ▪ Glulam ▪ Otra madera laminada, microlaminada	USO ESTRUCTURAL "tecnificado"	4	2	3	2	3	2	3	2	7	3	3	4	17	Medio	2	2	Medio
▪ Sillas, tablas, mesas ▪ Armarios ▪ Lamas y armazón camas ▪ Chapas y tableros	MOBILIARIO y DECORACIÓN	2	3	2	2	1	2	3	2	7	3	3	4	17	Medio	3	2	Alto
▪ Leña ▪ Astilla, Serrín, ▪ Otros productos de haya usados, reciclados o no, reutilizados o no. ▪ Autoconsumo de industrias de aserrado y primera transformación.	BIOENERGÍA	1	1	1	1	0	0	0	3	5	4	3	1	13	Medio	4	0	Muy Alto

PRODUCTOS	CATEGORÍA USO-DESTINO	DURACION VIDA UTIL +	RECICLABILIDAD +	REUTILIZACIÓN +	GASTO ENERGÉTICO -	MEZCLA CON QUÍMICOS -	CONSUMO AGUA -	FIJACIÓN CICLO CO2 +	KM 0 +	VALORACIÓN GLOBAL PRODUCTO EN BIOECONOMÍA CIRCULAR	Valoración Social	Valoración económica	Valoración Industrial	IMPACTO EN BEC		POSIBILIDAD DE QUE TRAS VIDA ÚTIL DE OTRO USO, TERMINE COMO ESTE PRODUCTO	CALIDAD DE LA MADERA EN PIE PARA SER DESTINADO A ESTE USO	Abundancia Recurso (actual)
▪ Madera contrachapada ▪ LVL	CONTRACHAPADO LVL	4	2	1	3	2	2	3	2	5	4	4	4	12	Medio	1	4	Bajo
▪ Juguetes ▪ Herramientas (mangos, poleas, yugos, kaikus) ▪ Material de deporte (palas, bates, remos, ...) ▪ Utensilios cocina ▪ Hormas, Zapatos, zuecos ▪ Piezas instrumentos musicales	PIECERÍO	1	1	2	2	2	2	3	1	2	2	3	4	11	Bajo	3	2	Alto
▪ Papel (con un uso % muy bajo de madera de haya) ▪ Cartonaje (con un uso % muy bajo de madera de haya)	PAPEL	1	3	2	3	2	4	2	1	0	1	2	1	4	Bajo	4	0	Muy Alto
▪ Fibras ▪ Bioquímicos	BIOQUÍMICOS Y FIBRAS	2	1	1	3	2	3	1	1	-2	1	2	2	3	Bajo	4	0	Muy Alto

RECOMENDACIONES SELVÍCOLAS ORIENTADAS A LOS PRODUCTOS QUE MÁS VALOR APORTAN A LA BIOECONOMÍA CIRCULAR

Marco de gestión del haya para aportar a la bioeconomía circular

Si se quiere lograr a corto-medio plazo un impacto positivo y de alcance en la bioeconomía circular de haya, según lo visto en los apartados anteriores, a parte de romper las barreras, parece razonable pensar que **la gestión de los hayedos debería ir orientada a conseguir materia prima** (trozas de madera) que permita fabricar productos:

- con cualidades tales como durabilidad, fabricación/consumo en local y reducido procesado (bajo consumo de energía y de recursos en su fabricación).
- situados en lo alto de la cascada de usos (para que puedan ser cuantas más veces reutilizados y reciclados). Es decir, hayedos con calidad alta de madera.
- y con materia prima que sea relativamente fácil de obtener/generar.

Los productos que mejor cumplen este razonamiento son vigas, parquet, carpintería de perfilados y alistonados, CLT y otros productos estructurales.

La gestión y la selvicultura tienen que conseguir adaptarse a cambios en la industria, en la tecnología de la madera, en las demandas de la sociedad y al uso en cascada de la madera.

Hay que asegurar madera de haya de alta calidad lo antes posible, misión compleja que debe emprenderse desde hoy mismo[20] y al mismo tiempo mantener la oferta de madera de calidad intermedia.

En cuanto a madera de haya de baja calidad no se prevén problemas de abastecimiento y no hace falta establecer una selvicultura específica para ofertarla. Aun trabajando para lograr tener hayedos de alta calidad de madera, en ellos inevitablemente siempre se va a obtener leña (de las últimas partes de los fustes y copas). Además, hay cantidad de montes bajos de hayedo que durante mucho tiempo van a seguir aportando solo leña. Y en los procesos de transformación de las materias primas en productos, siempre se va a generar "desechos" reutilizables para bioenergía. En realidad, no sabemos hacia donde puede llevarnos el futuro, podría ser que madera de haya que hoy solo se puede destinar a usos energéticos, mañana pueda tener usos -de alto valor- ligados a la química verde, la cual puede ser muy demandante de esta materia prima de baja calidad. Aun así, actualmente, considerando los problemas de encarecimiento de la energía y las incertidumbres de suministro de energía de origen fósil, el principal uso de la madera de haya de poca calidad sigue siendo la bioenergía. También hay una buena parte de la madera de haya española de peor calidad que se utiliza para hacer papel en Francia.

A continuación, se van a **proporcionar unas recomendaciones, datos de referencia y consejos selvícolas muy básicos que creemos que son fundamentales** no solo para generar una bioeconomía circular del haya fuerte, sino también para fortalecer y cuidar el sector forestal del haya.

Pero para poder hacerlo bien, antes se cree necesario llevar a cabo un ejercicio de contextualizar la situación actual para luego plantear un escenario potencial al que se podría tender para mejorar la contribución de la madera de haya -y de los hayedos- a la bioeconomía circular.

Situación actual del haya en España

Los datos aquí presentados se han resumido del documento generado de forma paralela en el proyecto GOFAGUS, en la actividad "Situación actual del haya en España y su mercado y perspectivas de futuro". Para mayor comprensión de la situación actual y potencial, se recomienda su lectura.

A. En España hay 63.556.486 m^3 de haya (en pie) en los montes de España[21].

B. Se cortan cerca de 154 mil m^3cc/año[22] de haya.

C. En España, según el "informe de situación del haya" elaborado en una de las actividades del GOFAGUS, al año: En madera en rollo se exportan 9 mil y se importan 25 mil m^3cc; En madera aserrada (ya en tabla) se exportan 2,4 mil y se importan 61,1 mil m^3cc[23].

20 Debido a los turnos y al compromiso sine qua non de cuidar y mejorar el monte

21 Según datos IFN

22 Media de cortas de los últimos 15 años

23 Conversión: de 100m3 en rollo salen 60-65 m^3 de aserrado, de media.

Esto cifras indican que:

- Solo se corta, al año, el 12% de la posibilidad teórica. También dicho de otra forma de media los hayedos crecen 4 m^3/ha*año y se corta 0,4 m^3/ha*año.
- En España sólo se está ofertando el 58% de la demanda de madera de haya y además de una calidad que no busca la industria. Eso nos lleva a que,
- Aproximadamente el 60% de lo que se corta debería tener calidad para ser aserrado (teniendo en cuenta los datos de importación de madera aserrada).

D. El tronquillo (trozas de entre 20 y 30 cm relativamente rectas y de 2,2 m de largo) supone el 50% de la madera cortada en España.

E. En el año 2020, en España hubo un transacción de madera de haya en importaciones de cerca de 8,3 millones de euros y 3 millones en exportaciones. Un balance de -5,3 millones de euros.

F. Las necesidades y demanda de madera van a aumentar en los próximos años y décadas puesto que la sociedad y las políticas europeas exigen más y mejor uso de productos renovables y la sustitución de materiales y productos de origen fósil por otros circulares de larga duración que son más valiosos para el almacenamiento de carbono y la economía circular.

G. En navarra está el 32% de la superficie de hayedo pero se corta el 79% de la madera en España.

H. Limitaciones, cuellos de botella y barreras:

Como se ha visto en el apartado de "El uso en cascada de la madera de haya en economía circular. Barreras" hay que vencer importantes obstáculos para poder generar una bioeconomía circular del haya. Gran parte de ellos se pueden vencer a través de la gestión diaria y una selvicultura adecuada.

Escenario potencial del haya para una mejor bioeconomía circular

Al igual que con el apartado de situación actual, los textos aquí presentados se han resumido del documento generado de forma paralela en el proyecto GOFAGUS, en la actividad "Situación actual del haya en España y su mercado y perspectivas de futuro"[24]. Este escenario potencial se estructura a modo de realidad futura condicionada a lo que se haga a partir de ahora:

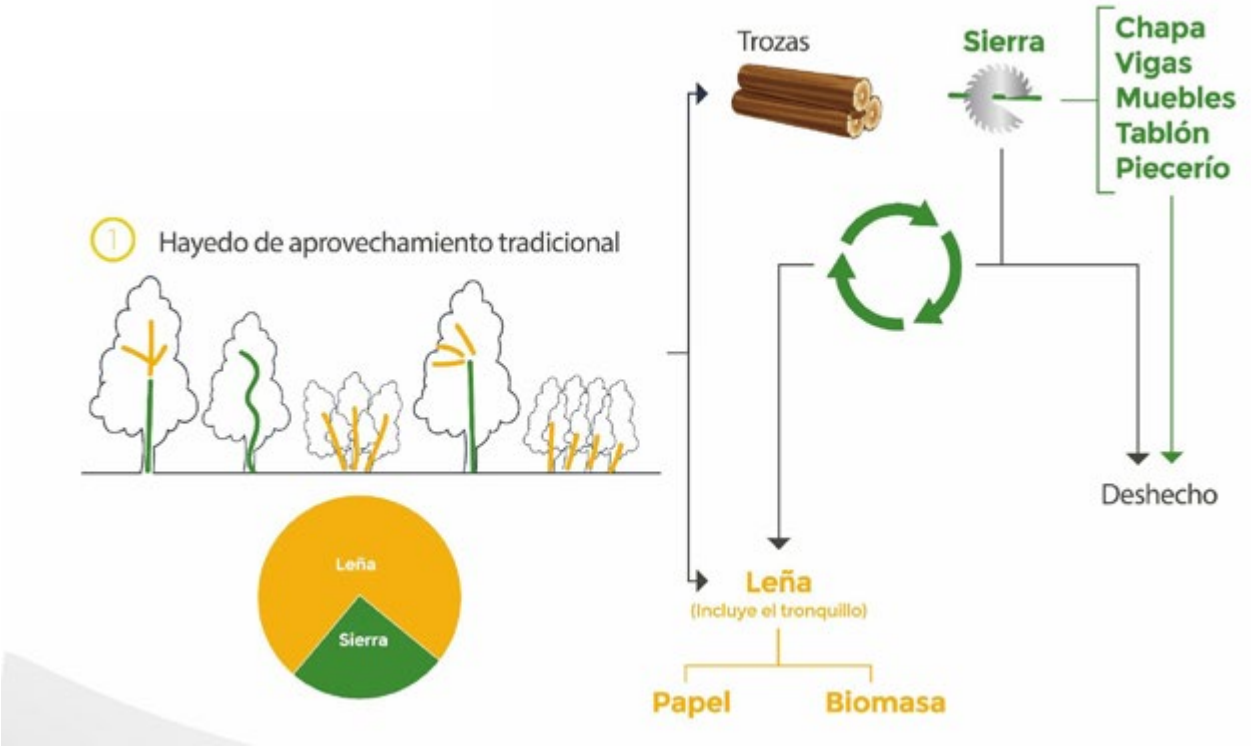
1. Si se cortara el doble de lo que se corta ahora de madera de haya en España, con criterio y una buena gestión, no afectaría a las existencias de los hayedos -es más, ayudaría a que los hayedos crecieran más y mejor- y se cubriría la demanda actual, en cantidad, de haya.
2. Si con una selvicultura y gestión adecuada -al menos selectiva con rotaciones más cortas, priorizando zonas, con unos condicionantes y precios que aseguren la viabilidad y la seguridad y salud de los rematantes- iríamos ajustando la demanda en cuanto a calidad y dejaríamos de "exportar" al extranjero 5,7 millones de euros al año.
3. Si un porcentaje alto de la madera de tronquillo se destinara a otros productos que no fueran leña, si hubiera una norma estructural del haya que permitiera construir casas y se utilizarán técnicas para utilizar madera con corazón rojo, se revalorizarían los aprovechamientos y por tanto la economía del sector del haya. Junto con una innovación en costes de procesos, invirtiendo en otras técnicas de aserrado y de utilización de corazón rojo, se podría ampliar la fuente de materia prima para productos más valorados y en lo alto del uso en cascada.
4. Si se simplificaran los pliegos, las subastas y se pusieran recursos en la entidades locales para la movilización de sus aprovechamientos, además de hacer lotes más grandes y con una buena relación precio-condiciones, los ritmos de corta podrían ser más cortos, mejoraría la calidad de la madera, se intervendría cuando realmente hay necesidad selvícola y por tanto estaría mejor alimentada la cadena del sector del haya.
5. Si hubiera coordinación entre administraciones de educación, medio ambiente e industria, se podría favorecer capacitación parar operarios en empresas de aprovechamiento así como en industria de 1ª transformación, se podría dedicar potentes recursos a la divulgación de la gestión forestal y se podría favorecer la inversión en técnicas nuevas. Facilitando la labor y el desempeño de toda la cadena de valor; motivando y agilizando la oferta y la demanda de madera en el la cadena de bioeconomía circular.

24 Para mayor comprensión de la situación actual y potencial, se recomienda su lectura.

6. Si se cumplieran estos cinco aspectos anteriores, se estaría proporcionando una estabilidad y facilitando la inversión de las industria de 1ª transformación, y por tanto empleo en zona rural, consumo más localizado y más km0.
7. Si hubiera una norma de clasificación estructural mecánica y visual, un sistema de predicción de las propiedades tecnológicas, información accesible geoespacial de existencias y de calidad de madera, herramientas digitales de trazabilidad y criterios comunes de señalamiento y clasificación, se crearán las infraestructuras necesarias en el monte…se tendría más conocimiento de lo que hay y lo que no, de lo que se puede ofertar o no de madera de haya y donde actuar y donde no. ***Esperamos que con el proyecto GOFAGUS terminado, al menos en este punto se haya dado un paso importante.***
8. Si hubiera una mesa interregional de haya, para organizar la producción y establecer una vía de comunicación y contacto de todos los actores de cadena en el sector del haya, sería más fácil vencer barreras y dar estabilidad al mercado.

Infografía de la situación actual y potencial del haya en la bioeconomía circular

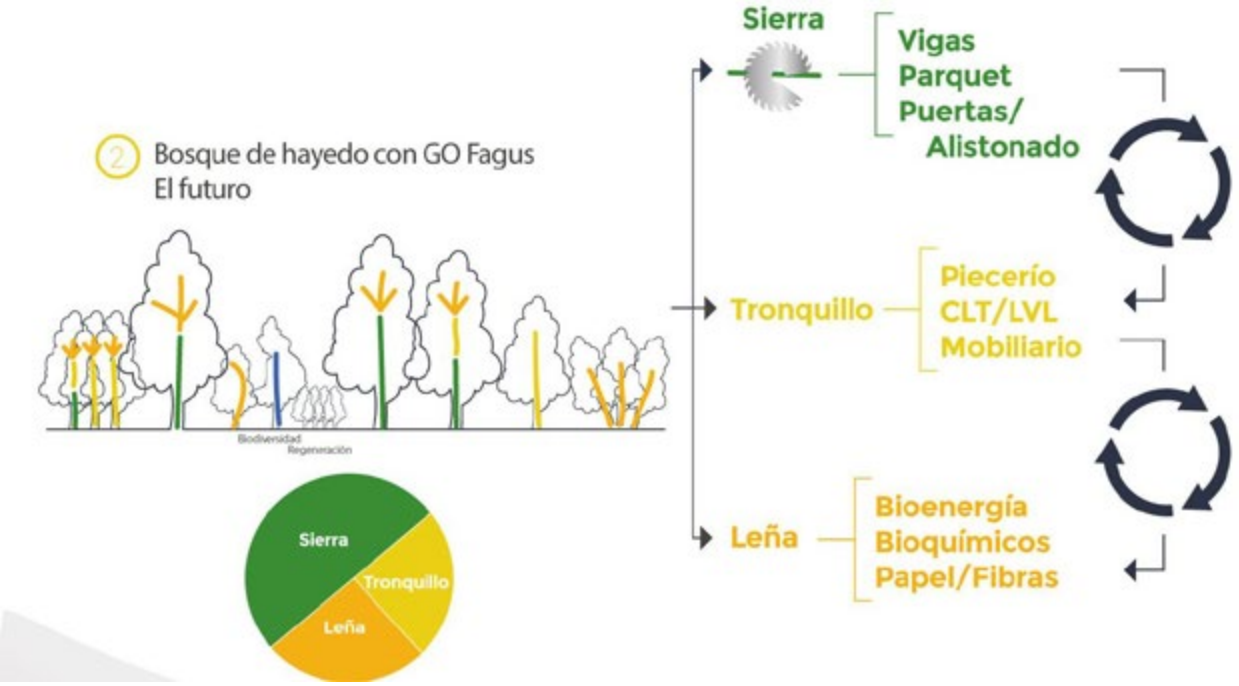
En la situación actual en la que nos encontramos los productos de haya son bipolares[25], la cascada de uso de productos apenas existe y el porcentaje de leña vs sierra es desproporcionado (70% leña - 30% sierra en el mejor de los casos):



Elaboración : CESEFOR

25 Hasta el momento, el mercado de la madera de haya es bipolar. Usamos la palabra bipolar para explicar que la materia prima de haya: o es muy buena o si no se destina a leña. No hay abanico: o es bueno o malo. Dicho de otro modo, generalmente las calidades de troza intermedias no sirven para elaborar productos de valor intermedio y terminan como leña.

La posible o potencial situación a futuro donde, gracias en gran parte a la selvicultura y a la política forestal, el abanico de productos es más amplio, el uso en cascada de productos de haya es amplia, se cortan más y mejor los hayedos, donde se recicla y donde el porcentaje de sierra es dominante y aparece el tronquillo como elemento importante de revalorización.



Elaboración : CESEFOR

Consejos selvícolas y datos de referencias básicos

La selvicultura del haya debería ser, no solo un *conjunto de técnicas y conocimiento* (según la RAE) sino que también debería ser una herramienta que sirva para romper los cuellos de botella y barreras actuales así como para aportar a la bioeconomía circular de forma palpable.

Por eso a continuación se proponen unos consejos y valores de referencia (aplicables siempre y una vez que se ha planificado y velado por mejorar la diversidad y la sostenibilidad del hayedo):

- Sacar lotes con un volumen de corta como mínimo no inferior a 45 m^3/ha (esto en hayedo no es mucho. Valores en torno a 70-90 m^3/ha serían lo deseable),
- además, sacar lotes en superficies grandes (mínimo 20 hectáreas, idealmente unas 50 hectáreas)
- y además en rotaciones más cortas (idealmente 6-8; en función de la calidad de estación).
- Los lotes hay que señalarlos por profesionales con experiencia.

Qué no hacer:

No deberían sacarse lotes con una intensidad de corta muy baja. Tampoco cortas en pequeña superficie. Si por razones que se nos escapan estas dos premisas no se pueden cumplir se debe ser responsable y asumirlo en el precio de subasta del lote.

Tampoco se puede cortar mucho y esperar 15-20 años parar volver a entrar. No podemos sacar lotes en terrenos de difícil explotación sin una mínima infraestructura viaria (tendría que ponerse sobre la mesa el beneficio ambiental de una red de pistas bien hechas frente a una explotación del monte en el momento); hay que diseñarla y crearla. No podemos focalizarnos solo en la regeneración o regirnos de forma estricta por un itinerario selvícola.

Directrices selvícolas por producto-agente clave en la madera de haya:

En la siguiente tabla se hacen unas recomendaciones básicas a nivel selvícola, en función de los productos que se pueden/quieran obtener de él y pensando en los agentes clave en la cadena de valor:

PRODUCTO	Contexto	DIRECTRIZ SELVÍCOLA	DIRECTRIZ A PROPIETARIOS	DIRECTRIZ A GESTORES	DIRECTRIZ A REMATANTES	DIRECTRIZ A INDUSTRIA
BIOENEGÍA	Incluso en masas de alta calidad siempre se produce leña (en torno al 25%). Además, hay muchas masas en monte bajo muy lejos de producir madera de calidad ni siquiera a largo plazo (turno de 100-120 años) que durante mucho tiempo van a producir leña.	En la medida de lo posible, tender hacia masas de calidad. Si se parte de monte bajo ir transformándolo a monte alto. Priorizar la transformación en zonas de accesibilidad, aptitud técnica y potencial productivo. Sin olvidar reservar algunas zonas para fogueras o leñas vecinales.	Pensar a largo plazo: el balance económico a largo plazo será mejor. El vigor, la diversidad y la estructura y resiliencia del monte mejorarán también.	Promover resalveos y/o claras dinámicas. En especial en masas donde se observa un número significativo de árboles de porvenir. Evitar que sean cortas por lo bajo Favorecer mediante cláusula en pliegos técnicos que se separe el tronquillo de la leña (al menos en cargadero)	Intentar separar tronquillo (trozas rectas de 20 a 35 cm en punta que no tiene por qué ser más de 2,20 m de largo) para colocarlos y usarlos en otros usos que no sean leña.	Intentar separar tronquillo para otros usos que no sean leña. Puede ser un buen nicho de mercado debido a su abundancia. Reflexión sobre qué tipo de productos se pondrían obtener a partir de estas calidades y con qué tipo de tecnología de aserrado y procesado se podría conseguir. Reflexionar en posibles inversiones en concertación con el sector. Analogía para frondosas con la madera de canter en coníferas.
PASTA PAPEL	La leña de haya se utiliza, aunque en poco porcentaje con respecto a otras maderas, para la producción de papel o tableros en determinadas centrales papeleras o de tableros.					
JUGUETES + MANGOS, UTENSILIOS PARA HERRAMIENTAS Y DE COCINA, POLEAS, HORMAS ZAPATOS, ZUECOS	Para la elaboración de estos productos se necesitan piezas de madera homogéneas en calidad y en algunos casos con unas dimensiones muy concretas.	Se debe aplicar una selvicultura que consiga crecimientos continuos.	El propietario no tiene mucho margen aquí a no ser que sea el propio productor de estos productos o que se persiga un producto muy artesanal con formas específicas.	Realizar claras selectivas continuas.	Reconocer en monte los árboles señalados que pueden tener este destino y tener contactos de industria consumidora de la madera para estos productos.	Intentar realizar un acercamiento a rematantes y gestores explicando que tipo de madera necesitan en monte. Un acercamiento logístico o industrial a las áreas de producción de haya sería también provechoso. Crear una buena conexión entre varias empresas que manejen la cascada de uso de materiales en este caso podría ser relevante.
ARTÍCULOS DEPORTIVOS: PALAS, REMOS, BATES; PIEZAS DE MÚSICA						

PRODUCTO	Contexto	DIRECTRIZ SELVÍCOLA	DIRECTRIZ A PROPIETARIOS	DIRECTRIZ A GESTORES	DIRECTRIZ A REMATANTES	DIRECTRIZ A INDUSTRIA
PERFILES, MOBILIARIO INTERIOR, PUERTAS, VENTANAS, TABLEROS ALISTONADOS	Se necesita madera que pueda entrar en sierra, por lo tanto, de grosores por encima de los 30-35 cm en punta delgada y trozas rectas. Depende para qué destinos la longitud de la troza no es tan importante.	Centrarse en masas de monte medio a alto procedentes de densidades altas, donde la mayoría de los árboles tengan al menos un par de trozas rectas. Debe primar conseguir madera recta.	Conseguir que las zonas sean accesibles. Elegir bien o ser conscientes de las zonas buenas (fácil explotabilidad y/o calidad de estación buena) para producir madera de calidad.	Focalizarse en zonas de grosor medio y densas. Conseguir que haya buenos accesos. Utilizar las claras selectivas como instrumento fundamental.	Separar productos. Ser más prudentes a la hora de trocear los fustes en monte. Priorizar las trozas rectas sacrificando longitudes muy largas (pero asegurando longitud mínima). Estudiar la posibilidad de trocearlas en cargadero o en pista con procesadora.	Ser conscientes, y valorar correctamente, que el separar en monte calidades supone tiempo y esfuerzo extra. Buscar productos que aun manteniendo la calidad y la estética se puedan obtener de trozas no necesariamente largas. Apostar por trasmitir a la sociedad y a la industria de 2ª transformación que, el corazón rojo al ser básicamente un defecto estético, el hecho de elegir madera sin corazón rojo tiene implicaciones negativas, tanto económicas como ambientales. Invertir en sistemas de vaporizado para homogeneizar color, búsqueda de mercado de diferentes usos e inversión en tecnologías de madera laminada y/o software de detección automática de corazón.
PARQUET, TARIMAS						

PRODUCTO	Contexto	DIRECTRIZ SELVÍCOLA	DIRECTRIZ A PROPIETARIOS	DIRECTRIZ A GESTORES	DIRECTRIZ A REMATANTES	DIRECTRIZ A INDUSTRIA
CONTRACHAPADOS, LVL	Se necesita madera de muy alta calidad, primando sin nudos, cilíndrica y de suficiente grosor para que sea rentable producirla.	Claras selectivas dinámicas, liberación de árboles de porvenir, mantenimiento de un estrato inferior. Conseguir o partir de masas con abundante regeneración para conseguir densidad suficiente para una buena auto poda. No dejar que los árboles envejezcan mucho ni que tengan diámetros excesivos (idealmente 6 m de largo y 50 cm de media de grosor)	Elegir bien las zonas para producir calidad. Tener buenos accesos y si no los hay invertir en tenerlos. No empeñarse en producir madera de alta calidad en zonas con una estación mediocre. Pedir que se hagan señalamientos de experto.	Llevar gestionando el monte suficiente tiempo con claras selectivas y dinámicas, cuidando la copa del árbol de cosecha, liberando los de porvenir y manejando el estrato inferior. Utilizar señalamientos exprofeso con personal cualificado. Utilizar los pliegos para minimizar daños tanto en la madera que se extrae como en la remanente. Conseguir procesos de regeneración abundantes y no dejar que se pasen los árboles de edad ni de diámetro. Facilitar extracción del árbol entero.	Apeo dirigido. Uso de especialistas. Pedir de una valoración-cuantificación de los árboles de chapa o realizar una tasación propia antes de licitar el aprovechamiento. Dejar que la industria sea quien despiece el fuste.	Ser conscientes, y valorar correctamente, que el separar en monte calidades supone tiempo y esfuerzo extra. Extremar los cuidados y mantenimiento de las piezas en la fábrica. Trabajar en colaboración con gestores para que aprendan lo que necesitan y lo integren en la selvicultura que hacen y en los señalamientos
CLT	Usados para obtener madera estructural, se apoyan en avances tecnológicos y conocimiento de la madera, para generar un producto de valor y duradero a partir de piezas o madera de características normales.	No es necesario generar masas de altísima calidad. Por lo tanto la selvicultura se debe centrar en conseguir buena regeneración, aplicar claras selectivas y mantener una densidad que busque un equilibrio entre crecimiento continuo, auto poda y vigor en copa.		Focalizarse en zonas de grosor medio y densas. Conseguir que haya buenos accesos. Utilizar las claras como instrumento fundamental. Utilizar los pliegos para exigir separar la leña, del resto de madera.	Conocer estos productos y saber las condiciones de producción. Hacer clasificación en cargadero. Ser más prudentes a la hora de trocear los fustes en monte. Priorizar las trozas rectas.	Ser conscientes, y valorar correctamente, que el separar en monte calidades supone tiempo y esfuerzo extra. Acercar a los gestores y rematantes las virtudes de este producto y las necesidades de producción que son necesarias (para poder buscarlas en el monte).

PRODUCTO	Contexto	DIRECTRIZ SELVÍCOLA	DIRECTRIZ A PROPIETARIOS	DIRECTRIZ A GESTORES	DIRECTRIZ A REMATANTES	DIRECTRIZ A INDUSTRIA
otros ESTRUCTURA: VIGAS, MACHONES, ETC	Madera de alta calidad pero que no implica fuertes procesos industriales. Son materiales robustos, sin necesidades estéticas.	Claras selectivas dinámicas, liberación de árboles de porvenir, mantenimiento de un estrato inferior. Conseguir o partir de masas con abundante regeneración.	Conseguir que las zonas sean accesibles. Elegir bien o ser conscientes de las zonas buenas para producir madera de calidad.	Igual que en el contrachapado	Igual que en el contrachapado	Igual que en el contrachapado. A valorar ,que en muchos casos, los aserraderos que trabajan estos destinos podrían ser vendedores directos de este producto.

CONCLUSIONES

Conclusión global

El haya, tanto a nivel europeo como en varias regiones ibéricas, por la superficie que ocupa, la dureza y propiedades técnicas de su madera y por las políticas forestales europeas actuales, tiene un gran potencial para contribuir a la bioeconomía circular.

En España hay bastante margen para el aumento de cortas y oferta de madera de haya. Si se consiguiera esto se favorecería al mismo tiempo el vigor y resiliencia de las masas así como la bioeconomía circular.

Las nuevas tecnologías (de la madera y de la digitalización), una gestión dinámica y planificada en los bosques de haya y adaptaciones de las industrias de la primera y segunda transformación permitirían utilizar madera de haya de peor calidad (menores dimensiones principalmente) en productos con un destino de larga duración, los cuales actualmente se destinan básicamente a leña. Principalmente estamos hablando del tronquillo (trozas de entre 20-30 cm de grosor sin defectos graves y 2,2 metros de largo).

En definitiva, el cambio (de paradigma) tecnológico-conocimiento y en industria permitiría ampliar el abanico de productos y destinos del haya que actualmente tiene. Además, esto daría pie a que se pueda fundar un uso en cascada de productos de madera de haya. Y por tanto contribuir a mejorar la bioeconomía y a mejorar una economía circular.

Interpretación de los resultados de la influencia de los productos de haya en la bioeconomía circular

A partir del apartado 5 “evaluación de los productos de haya y su influencia en la bioeconomía circular”, sacamos las siguientes conclusiones:

Los productos de vigas, machones tienen una alto valor en la bioeconomía circular del haya debido a que se trata de madera dura de grandes dimensiones sin apenas tratamientos ni procesado, que consume pocos recursos y se procesa y vende principalmente en el territorio donde hay hayedos. Son los más limpios ambientalmente hablando. Además al ser de larga duración, no llevar procesos químicos, tienen más opciones de ser reutilizados o reciclados en otros productos estando en lo más alto en el uso en cascada. El problema es que la materia prima es escasa y además no existe en España una clasificación estructural para el haya y por tanto su impacto en la bioeconomía circular no se va a notar a corto plazo. Aun así parece ser que debería ser uno de los productos a los que tender ofertar en cuanto a selvicultura a aplicar y en cuanto a bioeconomía circular se refiere.

Otros productos que hay que tenerlos muy en cuenta a la hora de aportar más en bioeconomía circular de la madera de haya, son productos como el parquet, tarimas, perfiles y alistonados. Principalmente por su larga vida útil y reciclabilidad y además tienen un alto valor a nivel social, industrial y económico.

Los productos de CLT o madera laminada de haya, combinan un ciclo de vida largo -al tener destinos estructurales- con abundancia de la materia prima con la que se producen (o se podrían producir; recordar que el uso de haya en CLT es aún escaso). Esta combinación los coloca como productos con un alto potencial para revalorizar la madera de haya. Mejoras en las técnicas de encolado, uso de colas ecológicas y un menor gasto energético para su producción supondría mayores aportaciones a la bioeconomía circular del haya.

El contrachapado y el LVL, conllevan procesados complejos para su fabricación y su reutilización no está clara. A esto hay que sumarle que la materia prima para su fabricación exige calidades muy altas y actualmente es escasa, por lo que a priori son productos que no alcanzan buena puntación en su valoración en BEC. Sin embargo estos productos actualmente tienen un alto valor económico e industrial. Por lo tanto el contrachapado y el LVL son productos a estudiar más en profundidad y con un enfoque amplio a la hora de juzgarlos en BEC del haya.

> En especial para el CLT y LVL, el uso de madera con corazón rojo es posible porque se puede colocar en partes del producto no visibles. Esto supone una gran ventaja y mejora en la valorización y aprovechamiento de más madera que de otra forma sería despreciada.

En cuanto al piecerío de madera de haya, si la fabricación estuviera en las comarcas donde están los hayedos y la materia prima que se usara para su elaboración fuera de otros productos reciclados o de poca calidad de madera, el impacto a la BEC del haya sería mayor. Sería conveniente fomentar que la sociedad usara utensilios y herramientas de madera -sustituyendo otros materiales no renovables- para reforzar el valor social de esta categoría de productos.

Claramente la madera de haya directamente usada para papel, tablero o bioquímicos tiene la valoración más baja en bioeconomía circular, pero porque actualmente el uso en cascada no se da. En cambio, es un destino formidable para madera de muy mala calidad y otros productos de haya que han llegado al final de su ciclo de vida y que no pueden ser reutilizados o reciclados más veces. La reutilización de restos de madera de haya (serrín, leña, corteza, etc.) en las propias industrias de transformación para generación de bioenergía es también muy conveniente.

Cabe mencionar que los productos de fibras y bioquímicos reciben un bajo valor a nivel de BEC a día de hoy. Pero si la industria de fibras o bioquímicos diera un pelotazo en la utilización de madera de haya, eso sí, una vez ya "desgastada" tras su vida útil en otros productos, la revalorización, el impacto y el alcance en BEC de estos destinos sería bastante relevante.

Por último, sin ser menos importante, la leña: A priori pareciera sorprender los resultados de evaluación de la leña o serrín (para bioenergía), que son bastante positivos, pero en realidad al ser un producto en bruto sin apenas procesado, con muy pocos gastos energéticos ni consumo de otros recursos, que se consume en la zona, que puede terminar absorbiendo gran cantidad de otros productos cuando estos llegan al final de su vida útil y que a nivel social es reconocida… el valor que puede ofrecer a la bioeconomía circular del haya es relevante. Y más si se une al hecho de que hay una disponibilidad tan alta. Evidentemente, cuantas más trozas que se destinan a leña o bioenergía se puedan destinar a otros productos, que presenten una mayor valorización y una mayor posibilidad de uso en cascada, mucho mejor aprovechado estaría el recurso y mayor impacto en la bioeconomía circular del haya.

En cuanto a la conclusión sobre el producto de chapa a la plana de haya en el contexto de bioeconomía circular nos surgen dudas porque detectamos dos realidades a priori opuestas:

> Por un lado parece que hay otros productos de haya que a igual de características de calidad de madera aportan más a la BEC: porque la chapa consume mucha energía en comparación con otros productos, se usan colas que luego es difícil reciclar, no hay consumo local -la industria es muy especializada: las trozas viajan mucho-. Tal vez es mejor usar otras especies para producir chapa. En cambio, por otro lado la chapa a la plana ayuda a valorizar tableros de aglomerado, los cuales usan madera de poca calidad y reciclan madera, por lo que es bueno para el uso en cadena.
>
> Sería interesante un estudio más profundo sobre la chapa a la plana de haya.

Cambios necesarios para fortalecer la bioeconomía circular del haya

- Para establecer un suministro estable y romper el hábito de "o la madera de haya es buena o si no es leña", hace falta invertir en las industrias transformadoras y en gestión de los bosques de haya. También hace falta crear una infraestructura que organice a gestores, aserraderos e industria transformadora: por un lado para hacer viable económicamente la clasificación, recogida, limpieza de partes de trozas desechada o madera usada y por otro para establecer una oferta basal de materia prima (por parte de los gestores a las industrias) para que las industrias puedan funcionar e invertir.
- Hay que cortar más haya. No puede ser que se corte de media el 0,4 m^3/ha*año cuando el crecimiento medio es de 4 m^3/ha*año[26] mientras tenemos un balance de importaciones-exportaciones de madera de haya de -5.3 millones de euros al año. En realidad, no es cortar más, es gestionar más: las cortas (bien hechas) es una derivada de una gestión planificada y madurada.
- Habría que sacar lotes de corta con un volumen mínimo (más de 45 m^3/ha; idealmente entre 70-90 m^3/ha), además en superficies grandes (más de 20 hectáreas) y en rotaciones más cortas (idealmente 6-8; en función de la calidad de estación), ajustando los condicionantes de los aprovechamiento a los precios y a la seguridad y salud de los rematantes.
- No tiene sentido que en España entre el 60 y el 75 % de la madera de haya que se corta se destine a leña/bioenergía[27]. Se debería romper el ciclo vicioso y así evitar el pez que se muerde la cola.
- Habría que romper con la práctica de desechar corazón rojo solo por cuestiones estéticas (principalmente en carpintería, ebanistería, parquet, juguetes), que implica un desperdicio enorme de

26 Como en España (según IFN) hay 63.556.486 m^3 de haya, 164 m^3/ha, un crecimiento medio de 4m^3/ha-año , una superficie de 387775 hectáreas. Según el anuario de estadística forestal del MITECO en los últimos 15 años se han cortado 154 mil m^3/año de media. Supuso cortar el 0,4 m^3/ha*año cuando están creciendo, de media, 4 m^3/ha*año.

27 Conclusión tras analizar datos del anuario de estadística forestal

madera de haya, y por tanto unas pérdidas económicas y ambientales. Esta práctica es totalmente contraria a una bioeconomía circular. Si la sociedad supiera este hecho tal vez se rompiera la moda.

- La selvicultura y la gestión forestal sostenible deben estar acordes a la bioeconomía circular en la que nos tenemos que embarcar. Hay que saber elegir las zonas donde hacer más esfuerzos y aplicar en ellas una selvicultura dinámica, selectiva y continua.
- Parece que producir más haya de más calidad en España y generar un tejido industrial conectado a la largo de, ya no solo del monte a la industria, si no en la propia cascada de uso de productos de haya sería lo óptimo. Crear una mesa interregional del haya sería lo más recomendable en este sentido.
- Parece lógico pensar que habrá que poner recursos para potenciar inversores de industrias que se dediquen a reutilizar y reaprovechar madera de haya de usos de ciclo largo que ya han llegado a su fin.

10. PASOS DE FABRICACIÓN DE LVL

ORIGEN Y TRANSFORMACIÓN DE LA MATERIA PRIMA

El LVL es un producto que consiste en el apilado sucesivo de finas capas de madera, chapas (Fig. 1), obtenidas mediante desenrollo. Al obtener el material de esta manera, tiene las siguientes implicaciones:

Figura 1. Chapas de haya utilizadas para la fabricación del LVL

La materia prima para la fabricación de este producto son trozas de alta calidad. De diámetros grandes, rectas, con poca conicidad y nudos para al realizar el desenrollo obtener un rendimiento, volumen y calidad adecuados.

Por esta razón es esperable que la fabricación de productos estructurales con chapa de desenrollo ofrezca unas propiedades superiores a la madera aserrada de la misma especie.

¿Qué es el desenrollo y cuál es su proceso?

El desenrollo consiste en, como su nombre indica, desenrollar la troza, convirtiendo un cilindro en una lámina. La forma más visual de comprender esto es compararlo con un rollo de papel, donde la troza es el rollo y el trozo de papel la chapa (Fig. 2). Para alcanzar este objetivo el proceso es el siguiente:

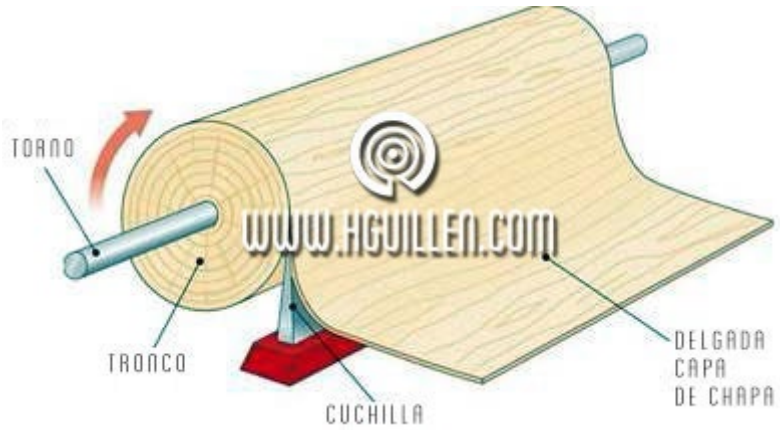


Figura 2. Esquema del desenrollo. Fuente: Maderas hermanos Guilen.

Primero, las trozas son descortezadas para eliminar restos o residuos que traiga del monte. Después, las trozas son escaneadas con un detector de metales, ya que la presencia de metales en su interior podría arruinar la maquinaria utilizada en este proceso.

Luego, las trozas son cocidas o vaporizadas para obtener una consistencia más blanda y flexible. Con esto se pretende alcanzar varios objetivos: que la madera no se parta con la tensión del desenrollo, que oponga menos resistencia a la cuchilla y alargar la vida útil de las herramientas de corte.

Finalmente llega la operación de desenrollo, donde, primero, la troza debe centrarse en el eje y cilindrarse como muestra la Figura 2. Alcanzada esta forma, una cuchilla se aproximará al cilindro y obtendrá una chapa del espesor requerido (Fig. 3) hasta llegar al diámetro mínimo de trabajo y generando así 3 productos finales: Virutas del cilindrado, la chapa (Fig. 4) y el curro del cual no se pudo aprovechar más material (Fig. 5).

Y de esta manera se obtiene la materia prima utilizada para fabricar las probetas ensayadas en el presente proyecto.

Figura 3. Troza lista para el desenrollo

Figura 4. Chapas obtenidas de la troza

Figura 5. Curros obtenidos tras el desenrollo

PROCESO DE FABRICACIÓN

Para este proyecto se fabricaron 2 tipos de probetas:

- Vigas de 125x30x2500mm
- Pacas de 500x500mm de las que se obtuvieron probetas de pequeñas dimensiones.

Equilibrado de la humedad

Al llegar las chapas a las instalaciones de Cesefor, se las dejó aclimatarse durante unos días para evitar problemas con la humedad de las chapas debido a las diferencias climáticas entre el aserradero y la fábrica. La humedad fue controlada a través de un xilohigrómetro (Fig. 6).

Figura 6. Control de humedad de chapas con xilohigrómetro

Atención a la posición de la chapa

Debido a que el producto a fabricar es LVL, y todas las láminas deben tener la misma orientación de la fibra, se tuvo cuidado en asegurar esta cualidad durante la fabricación, sobre todo en las probetas

pequeñas de 500x500mm donde es mucho más fácil rotar una lámina y fabricar un contrachapado por error (Fig. 7).

Figura 7. Encolado y colocación de chapas

Consideraciones con el adhesivo

El haya, es una especie complicada a nivel de encolado, ya que es difícil que las líneas de cola cumplan la exigencia de la normativa, aunque esto también podría deberse a la alta resistencia de esta madera como comentan algunos autores. En este caso, se ha utilizado un adhesivo MUF bicomponente de la marca Atome.

La utilización del adhesivo vino pautada por la ficha técnica del fabricante, teniendo en cuenta la humedad y temperatura de la madera y nave de fraguado, el tiempo del adhesivo al aire, el ratio de la mezcla, la presión durante el fraguado y el tiempo mínimo de fraguado.

Algunos de los parámetros utilizados para la fabricación se incluyen en la Tabla 1.

Tabla 1. Algunos parámetros considerados para la fabricación

Ratio cola/endurecedor	Gramaje (g/m²)	Tiempo al aire (min)	
		Por separado	Mezclado
2/1	350	30-40	15-20

Armado de las probetas

Tras el acondicionado y preparación del material e instalaciones, se inició el proceso de fabricación. Este proceso es idéntico para las probetas grandes y pequeñas, siendo la única diferencia el tamaño de la probeta resultante y la prensa utilizada.

Debido al carácter de prototipado de las instalaciones y la ausencia de una línea que permita aplicar de forma independiente cola y endurecedor con un ratio ajustado, se prepararon las dosis para mezclarlos justo antes de su aplicación para asegurar el tiempo al aire de la cola. Una vez mezclados, se rellenó el deposito del rodillo manual con el que se aplicó el adhesivo.

De esta manera se obtuvieron dos productos diferentes: vigas de LVL de tamaño estructural de 125x30x2500mm (Fig. 8) y probetas de pequeñas dimensiones fabricadas a partir de la prensa de tablero que fabrica piezas de 500x500mm (ver Figuras 9 y 10) para comparar sus propiedades con las de la madera aserrada y las vigas estructurales fabricadas en las instalaciones.

Figura 8. Vigas de tamaño estructural

Figura 9. Panel de 500x500 mm, utilizado para elaborar probetas de pequeñas dimensiones

Figura 10. Probetas de pequeñas dimensiones para ensayos a flexión (superiores) y para ensayos a tracción perpendicular a la fibra (inferiores).

FASE DE ENSAYOS

A partir de los dos productos anteriormente desarrollados, se realizarán 3 pruebas diferentes para evaluar sus características resistentes:

1) Ensayos a flexión con las 10 vigas de dimensión estructural fabricadas.
2) Ensayos a flexión con 50 probetas de pequeñas dimensiones.
3) Ensayos de tracción perpendicular a la fibra en 60 probetas de pequeñas dimensiones.

Ensayo a flexión

El ensayo a flexión (independientemente del tamaño de la muestra) se realiza apoyando la pieza en sus extremos (biapoyada) y mediante un pistón se ejerce una fuerza vertical aplicada en dos puntos, de modo que en el tramo entre puntos de carga, la viga queda solamente sometida a flexión y no a cortante. Al producirse la rotura en este tramo de la viga, la misma se debe únicamente a esfuerzos flectores. Estos ensayos se realizaron de acuerdo con la metodología de la norma EN 408 propuesta para madera aserrada y madera laminada encolada, tal como lo indica la norma EN 14374 . En la Figura 11 se puede observar un ensayo a flexión realizado en vigas de dimensión estructural, y en la Figura 12 uno realizado en probetas de pequeñas dimensiones.

Figura 11. Ensayo a flexión en probetas de tamaño estructural

Figura 12. Ensayo a flexión en probetas de pequeñas dimensiones

Ensayo de tracción perpendicular

Este ensayo se realiza para conocer el comportamiento del LVL en tracción perpendicular a las fibras (el esfuerzo más desfavorable al que se puede someter a la madera) mediante un dispositivo metálico especialmente diseñado para realizar el ensayo. Dicho dispositivo consiste en dos pinzas metálicas que

toman a la probeta sin efectuar ningún daño, y luego se separan una respecto a la generando un esfuerzo de tracción. En la Figura 13 se puede observar uno de estos ensayos en ejecución.

Figura 13. Ensayo a tracción perpendicular en la fibra

Estos ensayos deben realizarse en el rango de tiempo estipulado por la normativa ya que dependiendo del tiempo de exposición a una carga la madera se comporta de diferentes formas. Además, también se indica en la norma cómo se debe aplicar la carga, pudiendo variar su control entre fuerza o desplazamiento por unidad de tiempo (kg/min o mm/min).

RESULTADOS

En esta sección se presentarán los resultados obtenidos a partir de los distintos ensayos realizados.

Ensayos a flexión de probetas de tamaño estructural

Los resultados obtenidos a partir de los ensayos realizados en vigas de tamaño estructural se presentan en la Tabla 2. Se ensayaron vigas de sección transversal 120x30 mm², con una luz de 2160 mm. Se realizaron 10 ensayos, y con ellos se obtuvieron las propiedades características buscadas, siguiendo la norma EN 14358. Se determinó la densidad media y característica de la muestra, la resistencia a flexión media y característica, y los módulos de elasticidad local y global. El valor de la resistencia a flexión está ajustado para una altura de referencia de 300 mm de acuerdo a la norma EN 14358.

Tabla 2. Resultados de ensayos a flexión de vigas LVL de tamaño estructural

Ensayo a flexión	CH (%)	ρ_m (kg/m³)	ρ_k (kg/m³)	$f_{m,m}$ (MPa)	$f_{m,k}$ (MPa)	$E_{m,g}$ (MPa)	$E_{m,l}$ (MPa)
Vigas LVL	10.7 (9%)	704 (4%)	641	65.4 (10%)	46	10992 (3%)	13425 (7%)

* Los valores entre paréntesis corresponden al coeficiente de variación

CH (%)- Coeficiente de Hujmedad.

ρ_m (kg/m³)- Densidad Media

ρ_k (kg/m³)- Densidad característica correspondiente al 5%

$f_{m,m}$ (MPa)- Resistencia a flexión, valor medio.

$f_{m,k}$ (MPa)- Resistencia a flexión, valor característico.

$E_{m,g}$ (MPa)- Módulo de elasticidad global (con efecto del cortante).

$E_{m,l}$ (MPa)- Módulo de elasticidad local (sin efecto de cortante).

Ensayos a flexión de probetas de pequeñas dimensiones

Los resultados obtenidos a partir de los ensayos realizados en vigas de pequeñas dimensiones se presentan en la Tabla 3. Se ensayaron vigas de sección transversal 25x20 mm², con una luz de 450 mm. Se realizaron 50 ensayos, y con ellos se obtuvieron las propiedades características buscadas, siguiendo la norma EN 14358. En este caso se obtuvo la resistencia a flexión media y característica y el módulo de

elasticidad global. El valor de la resistencia a flexión está ajustado para una altura de referencia de 300 mm de acuerdo a la norma EN 14358.

Tabla 3. Resultados de ensayos a flexión de vigas LVL de pequeñas dimensionas

Ensayo a flexión	$f_{m,m}$ (MPa)	$f_{m,k}$ (MPa)	$E_{m,g}$ (MPa)
Vigas LVL	91.0 (9%)	77	15702 (8%)

* Los valores entre paréntesis corresponden al coeficiente de variación

$f_{m,m}$ (MPa)- Resistencia a flexión, valor medio.

$f_{m,k}$ (MPa)- Resistencia a flexión, valor característico.

$E_{m,g}$ (MPa)- Módulo de elasticidad global (con efecto del cortante).

Ensayos a tracción perpendicular

Los resultados obtenidos a partir de los ensayos realizados en probetas de pequeñas dimensiones se presentan en la Tabla 4. Se ensayaron probetas de sección transversal 55x50 mm², con un grosor de 20 mm. Se realizaron 30 ensayos, y con ellos se obtuvieron las propiedades características buscadas, siguiendo la norma EN 14358. Se obtuvo la resistencia a tracción perpendicular a la fibra media y característica.

Tabla 4. Resultados de ensayos a tracción perpendicular a la fibra en probetas de LVL de pequeñas dimensionas

Ensayo a tracción perpendicular	$f_{t,90,m}$ (MPa)	$f_{t,90,k}$ (MPa)
Pequeñas probetas LVL	2.5 (35%)	0.94

* Los valores entre paréntesis corresponden al coeficiente de variación

$f_{t,90,m}$ (MPa)- Resistencia a tracción perpendicular, valor medio.

$f_{t,90,k}$ (MPa)- Resistencia a tración perpendicular, 5º percentil.

DISCUSIÓN DE RESULTADOS

Los resultados obtenidos a partir del ensayo a flexión en vigas de tamaño estructural, podrían compararse con los declarados para las clases resistentes de madera aserrada (EN 338) o de madera laminada encolada (EN 14080) aunque esta última es aplicable a especies coníferas.

Si comparamos con las clases resistentes de madera aserrada, se podrían tomar como referencia las clases resistentes D40 y D45. A su vez, los resultados obtenidos en este ensayo se pueden comparar con los obtenidos en el marco del proyecto EGURALT, en donde se ensayaron a flexión 38 piezas de madera aserrada de haya de segunda calidad de sección transveral 120x30mm². En la Tabla 5 se presenta la comparación entre las propiedades de las clases resistentes, las obtenidas para el LVL y para la madera aserrada.

Tabla 5. Comparación de propiedades indicadores de clases resistentes con propiedades de LVL y madera aserrada.

Propiedad	D40	D45	LVL	MA
ρ_k (kg/m³)	550	580	641	616
$f_{m,k}$ (MPa)	40	45	46	34
$E_{m,t}$ (MPa)	13.0	13.5	13.4	13.1

* Los valores entre paréntesis corresponden al coeficiente de variación

Se puede observar cómo la resistencia a flexión del LVL es superior a la de la muestra de madera aserrada ensayada, incluso habiendo realizado solamente 10 ensayos de vigas de LVL (hecho que penaliza el valor característico). Esto es coherente con el hecho de que los productos de ingeniería de madera como el LVL mejoran las propiedades de la madera aserrada debido al mejor aprovechamiento del material y la reducción de singularidades en los elementos estructurales.

Si analizamos ahora los resultados de los ensayos a flexión realizados en probetas de pequeñas dimensiones, se observa, como era de esperar, que estas muestras son más resistentes y rígidas que las de tamaño estructural. En particular, la relación entre resistencias es de 1.67, y en el módulo de elasticidad global de 1,43. Esto se puede explicar por la menor cantidad de singularidades que posee la madera de pequeñas dimensiones frente a la de tamaño estructural. Por otro lado, el proceso de prensado con la prensa de platos calientes, utilizada para elaborar los paneles con los que se obtuvieron las probetas de pequeñas dimensiones, tiene un grado de control mayor que el realizado con la prensa grande utilizada para elaborar las vigas de tamaño estructural. Esto último también puede influir en los mejores resultados obtenidos con las probetas pequeñas.

Por último, con respecto a los resultados de los ensayos de tracción perpendicular a la fibra se puede comentar que el valor característica de resistencia obtenida de 0,94 MPa es superior al indicado para todas las clases resistentes de especies frondosas D en la norma EN338, que corresponde a 0,6 MPa.

CONCLUSIONES

A partir del trabajo realizado, se ha podido elaborar y evaluar LVL a partir de láminas de haya de segunda calidad de acuerdo con el criterio de clasificación estético del aserradero.

Se han realizado ensayos de flexión en probetas de pequeñas dimensiones y de tamaño estructural, así como también ensayos de tracción perpendicular a la fibra. Los resultados de los ensayos son satisfactorios y alentadores, alcanzándose buenas propiedades mecánicas que indican que la materia prima es apta para la elaboración de este producto. Comparando las propiedades del LVL ensayado a flexión con las de la madera aserrada de la misma procedencia, se han mejorado los resultados tanto en resistencia a flexión como en rigidez.

GRUPO OPERATIVO FAGUS

www.gofagus.es

El Grupo Operativo Fagus ha recibido para su proyecto de innovación una subvención de **562.446,82 €**. El importe del proyecto es cofinanciado al 80% por el **Fondo Europeo Agrícola de Desarrollo Rural (FEADER)** Y AL 20% por fondos de la **Administración General del Estado (AGE)**. La **Dirección General de Desarrollo Rural, Innovación y Formación Agroalimentaria (DGDRIFA)**, es la autoridad de gestión encargada de la aplicación de la ayuda del FEADER y nacional correspondiente. El Grupo Operativo Fagus es el organismo responsable del contenido.

Más información: **agriculture.ec.europa.eu/common-agricultural-policy/rural-development_es**
Comisión Europea. **https://agriculture.ec.europa.eu/common-agricultural-policy/rural-development_es** • Programa Nacional de Desarrollo Rural: **PNDR**