



2022
Lleida

27·1
junio · juny
julio · juliol

Cataluña
Catalunya

8º CONGRESO FORESTAL ESPAÑOL

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

8CFE

Edita: Sociedad Española de Ciencias Forestales
Cataluña | Catalunya · 27 junio | juny - 1 julio | juliol 2022
ISBN 978-84-941695-6-4
© Sociedad Española de Ciencias Forestales

Organiza



Selvicultura adaptativa con criterios de árbol individual: resultados de aplicación. Protocolo de clasificación visual de la madera en pie de frondosas de alto valor

COELLO GÓMEZ, J.¹, COLLADO COLOMA, E.¹, BELTRÁN BARBA, M.¹, MOURA DE ABREU, L.¹, GUITART XARPELL, L.², BAIGES ZAPATER, T.³, GARCIA CODINA, Q.³, VIGUÉ RUAIX, J.⁴, ROVIRA BLANCO, J.⁵, PIQUÉ NICOLAU, M.¹

¹ Programa de Gestión Forestal Multifuncional. Centre de Ciència i Tecnologia Forestal de Catalunya (CTFC).

² Associació de Propietaris del Montnegre-Corredor (APMC)

³ Centre de la Propietat Forestal (CPF)

⁴ Associació de Propietaris Forestals de Serra de Bellmunt-Collsabra (APFSBE)

⁵ Diputació de Barcelona (DIBA)

Resumen

La selvicultura orientada al árbol individual centra la gestión forestal en los pies más interesantes desde el punto de vista económico (valor de la madera) y/o de la biodiversidad (especies escasas, con dendro-microhábitats, productoras de fruto...). Los bosques mixtos con presencia de frondosas de alto valor (roble, cerezo, fresno, arce, serbal...) son especialmente interesantes para aplicar esta selvicultura. En el proyecto LIFE MixForChange se ha implementado una selvicultura adaptativa con criterios de gestión naturalística y orientada al árbol individual en 197 ha mixtas de encinar, castañar, roble y pinar. En esta superficie se han establecido 70 parcelas de seguimiento para identificar, caracterizar y promover (claras selectivas) 481 árboles clasificados como de alto interés. Este trabajo describe cómo se ha incorporado a la gestión la identificación y promoción de estos pies, los motivos para promoverlos y discute el potencial de este enfoque para fomentar la sostenibilidad económica y ecológica de la gestión. Además, se presenta el “Protocolo de clasificación visual de la calidad de la madera en pie de planifolios de alto valor” que pretende facilitar la evaluación rápida de la calidad de la madera en pie y los posibles destinos industriales para las principales especies de planifolios de valor.

Palabras clave

Selvicultura naturalística, Pro Silva, cambio climático, madera de calidad, biodiversidad, planifolios.

1. Introducción

1.1. Principios generales de la Selvicultura Orientada al Árbol Individual

La Selvicultura Orientada al Árbol Individual (SOAI, en lo sucesivo) consiste en realizar las intervenciones en función del papel, actual o potencial, que tiene cada árbol en el rodal. Se trata de una corriente nacida en el Oeste de Alemania (Abetz, 1993; Wilhelm, 2003) en los que se buscaba mejorar los resultados económicos de la gestión mediante la producción de productos de alto valor añadido, especialmente mediante la protección y valorización de frondosas esporádicas productoras de madera de alta calidad (Spiecker, 2003; Mori & Pelleri, 2014). A nivel práctico, la aplicación de SOAI consiste en asignar los árboles a tres posibles categorías:

a) Árbol a promover: cumple un papel destacado para los objetivos de la gestión (interés económico, ecológico, cultural), por lo que se interviene en su favor. Estos árboles se denominan Árbol de Alto Interés (AAI, en lo sucesivo). Las principales intervenciones planteadas son claras selectivas en su favor, poda y resalveo. Los AAI también reciben el nombre de “árbol de futuro” o “árbol de valor”.

b) Árbol a eliminar (AE, en lo sucesivo): su presencia tiene un efecto negativo sobre uno o varios AAI, generalmente, por hacer una fuerte competencia por los recursos (luz o agua). Estos árboles no son necesariamente aquellos cuyo tronco es más cercano al de AAI, sino los que limitan en mayor medida el desarrollo de la copa de éste. Por tanto, la identificación de AE se hace observando las copas, y también considerando otros aspectos como el temperamento de ambas especies, la orientación y la posición en la pendiente: los árboles más tolerantes a la sombra, situados al sur y a mayor cota ejercen una competencia más intensa por la luz que los árboles intolerantes, situados al norte y a menor cota. También se consideran AE aquellos pies que en intervenciones previas fueron identificados como AAI por su interés económico, y ya han alcanzado su turno tecnológico, es decir, el momento a partir del cual su mantenimiento en pie no los revalorizará más, por lo que es conveniente su aprovechamiento. Estos árboles se denominan árbol de cosecha.

c) otros árboles: pies que no son ni AAI ni AE.

La implementación de la SOAI se centra, por tanto, en cortar (o anillar, si es más conveniente desde el punto de vista económico, técnico y ambiental) los AE, en forma de claras selectivas en favor de los AAI. La superficie del rodal en la que no se hayan identificado AAI puede mantenerse sin intervención o bien se pueden aplicar métodos de selvicultura convencional si se considera necesario y viable. La asignación de un árbol a una categoría puede variar en las sucesivas intervenciones en el rodal: además del caso mencionado de un AAI que alcanza su turno tecnológico, en cada intervención se identifican nuevos AE; nuevos árboles pueden pasar a ser AAI, etc.

El resultado de la aplicación reiterada de esta selvicultura es la creación y ampliación progresiva de espacios alrededor de los AAI, fomentándose así su vitalidad, crecimiento regular y vigoroso y su fructificación, gracias a la expansión de su copa.

Para ser eficaz, este tipo de selvicultura debe aplicarse:

- Con una intensidad moderada, para evitar la puesta en luz brusca de los AAI, especialmente si éstos han estado sujetos a una fase prolongada de compresión lateral o si han sido identificados por su interés para la producción de madera de calidad y son sensibles a la generación de brotes epicórmicos.

- Con una recurrencia relativamente frecuente, que puede variar entre 6 y 15 años en función de la productividad de la estación (Pelleri *et al*, 2013). Esta recurrencia exige un compromiso por parte del personal gestor, ya que, en caso de retraso severo, los AAI pueden entrar en una fase de compresión de la copa que reduzca notablemente su crecimiento y provoque la muerte de ramas gruesas y su devaluación económica.

- Por personal capacitado y experimentado en selvicultura, ecología forestal, tecnología de la madera y técnicas de aprovechamiento, para garantizar un señalamiento adecuado.

Además de los beneficios ambientales propios de una selvicultura detallada, este enfoque permite una reducción notable de los costes de los trabajos forestales y un incremento de la disponibilidad de pies de alto valor, dos factores que pueden incrementar notablemente la sostenibilidad económica de la gestión a medio plazo.

1.2. Relación de SOAI con la estructura de masa, objetivos selvícolas y planificación forestal

Si bien el planteamiento de SOAI es muy flexible, está especialmente alineado con una serie de condiciones:

- Características de masa: los resultados son especialmente favorables en masas que presenten una cierta diferenciación a nivel de estratos y especies, en las que sea posible identificar los pies de mayor interés o potencial tecnológico-económico y ambiental.

- Selvicultura Naturalística, también conocida como “selvicultura próxima a la naturaleza” o “selvicultura Pro Silva”: SOAI se considera como parte o como variante de la selvicultura naturalística (Beltrán et al, 2020). Esta corriente no se define por recetas cuantitativas, sino que se basa en la aplicación de intervenciones selvícolas detalladas, en base a un profundo conocimiento del ecosistema forestal y del contexto socioeconómico de cada monte. García y Calama (2013) identifican seis principios básicos de la selvicultura naturalística: i) mantenimiento de las condiciones edafoclimáticas del bosque; ii) diversidad estructural vertical y horizontal; iii) mezcla de clases de edad y de especies; iv) selvicultura orientada al árbol individual; v) promoción de especies y procedencias autóctonas; y vi) regeneración natural. Este enfoque tiene su origen a finales del siglo XIX (Barcenilla et al, 2005), si bien suscita un interés creciente en las últimas décadas (Wilhelm & Rieger, 2013), tanto en condiciones templadas como tropicales y sub-tropicales (Rockwell et al, 2007; Villegas et al, 2009), con la mención expresa de su necesidad de promoción en la nueva Estrategia Forestal Europea para 2030.

- Ordenación por rodales: la aplicación de una selvicultura detallada debe ir ligada a una planificación que incorpore asimismo criterios de actuación a pequeña escala, por lo que la ordenación por rodales es el método que mejor se ajusta a SOAI (González et al, 2011; Sabín et al, 2013).

1.3. El proyecto LIFE MixForChange

LIFE MixForChange (www.mixforchange.eu) tiene como objetivo contribuir a la adaptación y a la resiliencia de los bosques mixtos subhúmedos mediterráneos ante el cambio climático, favoreciendo su conservación y el mantenimiento de sus funciones productivas, ambientales y sociales. En el marco de este proyecto (2016-2022) se han implementado tratamientos de selvicultura adaptativa integrando criterios de selvicultura naturalística y de SOAI en 197 ha de masas mixtas de encinar, castañar, robledal y pinar en el Mediterráneo sub-húmedo catalán. Las intervenciones selvícolas y sus efectos se detallan en la comunicación “Gestión adaptativa y naturalística en bosques mixtos mediterráneos subhúmedos de Cataluña: caracterización de los tratamientos y evaluación selvícola” mientras que el balance económico de esta selvicultura se describe en la comunicación “Evaluación económica de la selvicultura adaptativa al cambio climático en bosques mediterráneos subhúmedos catalanes”, ambas presentadas a este Congreso.

2. Objetivos

Los objetivos de este trabajo son tres:

- a) Presentar los criterios de selección y liberación de Árboles de Alto Interés (AAI) en las 197 ha de tratamientos selvícolas demostrativos del proyecto LIFE MixForChange.
- b) Describir las principales características de los 481 AAI estudiados.
- c) Presentar el “Protocolo de clasificación visual de la calidad de la madera en pie de planifolios de alto valor” (Coello et al, 2020), una herramienta de ayuda a la aplicación de selvicultura orientada al árbol individual, en concreto, para facilitar la identificación y caracterización de AAI con interés para producir madera de calidad.

3. Metodología

3.1. Área de trabajo

El área de trabajo abarca cuatro macizos (Montnegre-Corredor, Montseny, Bellmunt-Collsabra y sur de la comarca del Ripollés) situados en las provincias de Barcelona y Girona, con un clima mediterráneo sub-húmedo. Este clima se caracteriza por una temperatura media anual suave (12 - 14 °C), una alta pluviometría anual (750 - 1.000 mm) y una sequía estival poco marcada. Los suelos del área de trabajo son diversos, tanto silíceos (con predominio de texturas ligeras) como calcáreos.

Las formaciones forestales, casi siempre mixtas, están dominadas principalmente por encina (*Quercus ilex* ssp. *ilex*), castaño (*Castanea sativa*; Figura 1), roble (*Quercus canariensis*, *Q. petraea*, *Q. pubescens*; Figura 2) o pino (*Pinus sylvestris*, *P. pinea*).



Figura 1. Castañar mixto demostrativo.



Figura 2. Robledal mixto demostrativo.

3.2. Selvicultura aplicada

En esta área se han aplicado tratamientos de selvicultura adaptativa con criterios de selvicultura naturalística y orientada al árbol individual en 197 ha repartidas en 39 rodales. Las intervenciones fueron realizadas durante las paradas vegetativas 2017-18 y 2018-19, y se describen en detalle en la comunicación “Gestión adaptativa y naturalística en bosques mixtos mediterráneos subhúmedos de Cataluña: caracterización de los tratamientos y evaluación selvícola”, presentada en este mismo Congreso. Se resume a continuación cómo se han incorporado criterios de SOAI en la selvicultura aplicada.

Los AAI se han identificado como aquellos que presentan unas características especialmente interesantes por su interés, actual o potencial, a nivel:

- económico: frondosas productoras de madera de calidad (roble, arce, fresno, cerezo, peral, castaño, serbal, mostajo) bien conformadas, sin defectos aparentes y con un diámetro normal de, al menos, 15 cm, si bien se consideraron puntualmente algunos árboles inventariables de dimensiones inferiores. La previsión futura es mantener estos árboles en pie, con un alto vigor y tasa de crecimiento, hasta que alcancen su turno tecnológico.

- ecológico y de conservación de la biodiversidad: especies poco representadas (en general o en el rodal), árboles con dendro-microhábitats de interés (Bütler *et al*, 2020) o productores de fruto de interés para la fauna. No está previsto el aprovechamiento de estos árboles en el futuro, sino que se plantea su mantenimiento en pie de forma indefinida.

La distancia mínima entre dos AAI ha sido de 7 - 8 m, y se ha evitado seleccionar más de 150 AAI/ha. Se ha aplicado una clara selectiva en favor de estos árboles, eliminando entre uno y tres competidores por AAI, en función de la estabilidad y estado de desarrollo de éste. En el caso de los AAI seleccionados para la producción de madera de calidad se presta especial atención a mantener los árboles cercanos que no sean competidores a nivel de copa, ya que estos pies tienen interés para “educar” al AAI, sombrear su tronco y evitar la aparición de brotes epicórmicos, especialmente en roble. También se ha valorado la aplicación de podas puntuales para incrementar la altura del fuste.

Cuando los AAI aparecían en forma de cepas con varios resalvos, se realizó un resalveo, promoviendo el mejor conformado. Por último, cuando se detectó la presencia de pies de frondosas productoras de madera de calidad de manera dispersa, con pequeño diámetro y mala conformación, se procedió a su recepado, con la intención de inducir un rebrote vigoroso y bien conformado

3.3. Cuantificación y caracterización de los AAI

La cuantificación y caracterización de los AAI se ha hecho siguiendo dos metodologías por separado:

a) Inventario pericial de caracterización general de los 39 rodales: estimación semi-cuantitativa de la densidad (<10, 10-25; 26-100 o >100 pies/ha) de pies de especies con potencial para producción de madera de calidad (*Acer campestre*, *A. opalus*, *A. pseudoplatanus*, *Fraxinus angustifolia*, *F. excelsior*, *Prunus avium*, *Pyrus sp.*, *Quercus canariensis*, *Q. petraea/robur*, *Q. pubescens*, *Sorbus domestica*, *S. torminalis*) a escala de rodal, en base a un recorrido por éste. Además de la cuantificación total se indican las especies observadas y el porcentaje de pies bien conformados (rectos, derechos, con un eje único y sin ramas gruesas en, al menos, 3 m de tronco). Este inventario se realizó antes de las intervenciones.

b) Inventario por parcelas permanentes: identificación de hasta 10 AAI situados dentro de (o en el entorno de) 70 parcelas permanentes de inventario, con un radio predominante de 13-15 m. Estos AAI (481 en total) han sido seleccionados por su interés económico o ecológico, caracterizándose

individualmente, así como su entorno competitivo (Tabla 1), en un total de 55 parcelas. Este inventario se realiza dos veces: antes de las intervenciones y en otoño de 2020, dos o tres períodos vegetativos después de éstas.

Tabla 1. Variables de caracterización de los Árboles de Alto Interés en las parcelas permanentes de inventario

Tipo de variable	Variables medidas
VARIABLES GENERALES DE RODAL Y PARCELA DE INVENTARIO	Código de rodal, parcela de inventario, fecha, equipo
Ubicación	Coordenadas XY del árbol; código del árbol
Características generales	Especie, diámetro normal (árboles de altura > 2 m) o basal (árboles de altura < 2 m), altura total, altura de la primera rama viva
Diámetro copa ¹	En dos direcciones perpendiculares: máxima pendiente y curva de nivel
Origen ²	Semilla, rebrote de cepa, rebrote de raíz, incierto
Características de calidad, troza por troza, para un máximo de 3 trozas	Longitud, diámetro máximo de ramas, curvatura ($\leq 2\%$; 3-10%; >10%); nudos ($\emptyset_{total} < 3$ cm; $\emptyset_{max} < 3$ cm y $\emptyset_{total} < 10$ cm; $\emptyset_{max} > 3$ cm o $\emptyset_{total} > 10$ cm); otros defectos (daños por fauna, inclinado, revirado, brotes epicórmicos)
Otras características	Estrato social (aislado, dominante, codominante, dominado); copa (vigorosa y densa; poco vigorosa o poco densa); \emptyset_{max} ramas secas, altura de inserción de la rama más baja con $\emptyset > 4$ cm
Entorno competitivo general ³	Área basimétrica (BAF4) medida a 30 cm del tronco, al norte y al este
Caracterización de competidores ⁴	En un máximo de tres pies competidores por AAI: especie, diámetro normal, distancia entre troncos y distancia entre copas

¹ esta variable y las siguientes no se miden en AAI recepados; ² esta variable y las siguientes no se miden en AAI de interés ecológico; ³ esta variable y las siguientes no se miden en AAI resalveados; ⁴ se consideran pies competidores aquellos cercanos al AAI cuya cima alcanza, al menos, la mitad de la altura de copa de éste

3.4. Preparación y aplicación piloto del Protocolo de clasificación visual de la calidad de la madera en pie de planifolios de alto valor

El objetivo de esta herramienta es facilitar la evaluación de la calidad de la madera en pie y los posibles destinos industriales de las principales especies de frondosas de alto valor, especialmente, roble, fresno, arce, cerezo y castaño, si bien es aplicable a otras especies (serbal, mostajo, peral, nogal, etc.). Esta herramienta permite evaluar rápidamente el potencial de un árbol en diferentes fases vitales para generar madera de calidad. Este protocolo ha sido elaborado durante 2018-19, con contribuciones por parte de 25 personas expertas en gestión forestal y tecnología de la madera, y con varias fases de evaluación sobre el terreno en diversas tipologías de bosque. La edición final ha sido realizada en castellano, catalán e inglés. El protocolo tiene la siguiente estructura:

- Módulo 1: Evaluación en pie del potencial de producción de madera de calidad en árboles pequeños e intermedios (CD10 - CD25/30): permite detectar pies con potencial para llegar a generar productos de alto valor añadido, para su promoción mediante podas, resalveos y/o claras selectivas, en función de su estado de desarrollo.

- Módulo 2: Evaluación en pie de la calidad de la madera en árboles intermedios y grandes (CD25+): permite estimar la calidad de la madera de un árbol y valorar si es necesario aplicar alguna intervención selvícola, por ejemplo, clara selectiva, poda o resalveo, o si es conveniente realizar su aprovechamiento. La clasificación de un pie se expresa como la longitud en metros de las trozas que pueden ser destinadas a las diferentes calidades (A, B, C) para cada pie. Por ejemplo: un pie que pueda generar una troza de 3 m de longitud de calidad A y otra de 4 m de longitud de calidad B se describiría con el código "3A4B". Las categorías de calidad A, B, C se han establecido buscando su

correspondencia con las normas de calidad de madera en rollo de frondosas (UNE-EN 1316-1: 2012 Parte 1: Roble y haya; UNE-EN 1316-3: 1998. Parte 3: Fresno y Arce), de los métodos de medida de singularidades y alteraciones biológicas de la madera aserrada y en rollo (UNE-EN 1309-3: 2018 parte 3) y de la clasificación visual de la madera aserrada de frondosas para uso estructural (UNE 56546:2013). Estas calidades se corresponderían, en términos generales, con su destino industrial prevalente: A: calidad excepcional (chapa, ebanistería de lujo o botería de alta calidad); B: sierra especial y primera (ebanistería, botería, viguería, tornería); C: sierra segunda e intermedia (pequeño mobiliario, carpintería, parquet o viguería).

- Anexo 1: Ejemplo de fichas de campo para la evaluación a nivel de rodal: propuestas de modelos de ficha para evaluar la calidad actual y potencial agregada de un rodal.

- Anexo 2: Requisitos de calidad a nivel de especie y para la madera en rollo: requerimientos de calidad específicos para roble, fresno, arce, cerezo y castaño, que permiten hacer una evaluación más detallada de estas especies.

- Anexo 3: Identificación de las principales especies de frondosas de alto valor: fichas ilustradas para facilitar la identificación de las especies objeto de este protocolo en diferentes épocas del año y estados de desarrollo.

Este protocolo ha sido aplicado en el inventario final (otoño 2020), en 59 AAI inventariables seleccionados para producir madera de calidad que no fueron recepados ni resalveados. Debido a las dimensiones predominantemente reducidas de los AAI en los rodales demostrativos, en esta primera aplicación del protocolo se ha considerado de forma flexible el criterio del diámetro normal mínimo para la asignación a cada categoría de calidad, con el fin de disponer de un número mayor de pies clasificados.

4. Resultados

4.1. Densidad y características de los pies con potencial para producir madera de calidad del inventario pericial

Los rodales del proyecto han mostrado una presencia notable de especies con interés para la producción de madera de calidad y, por tanto, para el planteamiento de una SOAI. El 64% de los rodales (66% de la superficie intervenida) presentaba una densidad superior a 100 pies/ha de estas especies, mientras que el 21% de ellos (15% de la superficie) presentaba entre 26 y 100 pies/ha de estas especies. Solo el 9% de los rodales (13% superficie) presentaba menos de 10 pies/ha de estas especies. Los robledales y los castañares son las formaciones con mayor presencia de estas especies.

Las especies más frecuentes son *Prunus avium* (76% de los rodales, sobre todo en encinar y castañar) y *Quercus canariensis*, *Q. robur/petraea* y *Sorbus domestica*; cada uno de ellos ha aparecido en el 42% de los rodales. La calidad predominante de estos pies es deficiente, y solo en uno de cada cuatro rodales hay un 25% o más de pies de estas especies caracterizados como “bien conformados”.

4.2. Densidad y características de los AAI en las parcelas de inventario forestal

En total, se han identificado 481 AAI en el estudio (Tabla 2), con una media de 160 ± 96 AAI/ha en el conjunto de parcelas de inventario, con los valores más altos en castañares (200 ± 138 AAI/ha) y los más bajos en pinares (108 ± 64 AAI/ha). De estos pies, 372 (78%) han sido seleccionados por su interés para producción de madera de calidad (Figura 3), de los cuales 119 fueron recepados y 22

resalveados, mientras que en los 231 restantes no fue necesario realizar estas intervenciones. Los 109 AAI restantes fueron seleccionados por su interés para la biodiversidad (Figura 4).

Tabla 2. Número de AAI por especie y criterio de selección. Entre paréntesis se indica su diámetro normal medio, en cm.

Especie	AAI para madera de calidad			AAI para biodiversidad	Total
	No recepados ni resalveados	Recepados	Resalveados		
<i>Acer campestre</i>	7 (12,3)	3	4 (10,3)	8 (14,8)	22
<i>A. monspessulanum</i>	2 (9,6)	1	0	1 (10,1)	4
<i>A. opalus</i>	40 (17,0)	0	4 (13,8)	8 (21,6)	52
<i>Castanea sativa</i>	3 (18,9)	0	0	0	3
<i>Fraxinus excelsior</i>	18 (9,0)	8	4 (3,1)	12 (5,4)	42
<i>Prunus avium</i>	35 (17,1)	83	1 (24,2)	51 (18,1)	170
<i>Pinus sylvestris</i>	5 (31,7)	0	0	0	5
<i>Pyrus communis</i>	0	1	0	0	1
<i>Quercus canariensis</i>	35 (21,8)	18	2 (26,1)	8 (25,0)	63
<i>Q. petraea</i>	10 (26,0)	0	1 (23,1)	0	11
<i>Q. pubescens</i>	45 (24,1)	4	2 (12,8)	14 (21,6)	65
<i>Q. robur</i>	8 (30,9)	0	1 (33,1)	0	9
<i>Sorbus domestica</i>	3 (9,5)	1	0	2 (14,1)	6
<i>S. torminalis</i>	20 (8,8)	0	3 (6,4)	3 (11,6)	26
<i>Tilia cordata</i>	0	0	0	2 (18,8)	2
Total (n)	231	119	22	109	481
Total (%)	48%	25%	5%	22%	100%



Figura 3. Roble de alto interés para la producción de madera de calidad.



Figura 4. Encina de alto interés para la biodiversidad, por presentar un microhábitat.

Salvo *Tilia cordata*, las especies han sido seleccionadas principalmente para producción de madera de calidad. De éstas, destacan por su buena conformación y dimensiones (pocos pies recepados o resalveados) *Q. petraea*, *Q. robur*, *A. opalus* y *S. torminalis*, mientras que otras especies como *P. avium*, *A. campestre* o *F. excelsior* muestran un predominio de AAI que han debido ser recepados o resalveados. En cuanto a las especies con más proporción de AAI seleccionados por su interés para la biodiversidad, destacan *T. cordata*, *A. campestre* y *S. domestica*.

No se observa una tendencia clara en cuanto a las dimensiones de los AAI seleccionados para producción de madera (excluyendo los recepados y resalveados) o para biodiversidad, con unos valores medios de diámetro normal de 18,2 y 17,6 cm, respectivamente. Los pies de mayores dimensiones corresponden a *Q. robur* y *P. sylvestris* seleccionados para madera de calidad, mientras que entre los AAI seleccionados por su interés para la biodiversidad los de mayores dimensiones son *Q. canariensis* y *A. opalus*.

4.3. Caracterización y efecto de la selvicultura aplicada sobre los AAI

Los principales competidores cortados en la liberación de AAI seleccionados para la producción de madera de calidad son la especie principal de cada formación (encina, castaño, roble, pino), destacando también *A. opalus* en robledales y pinares, *P. avium* en castañares y *Q. ilex* y *Q. pubescens* en pinares (Figura 5).

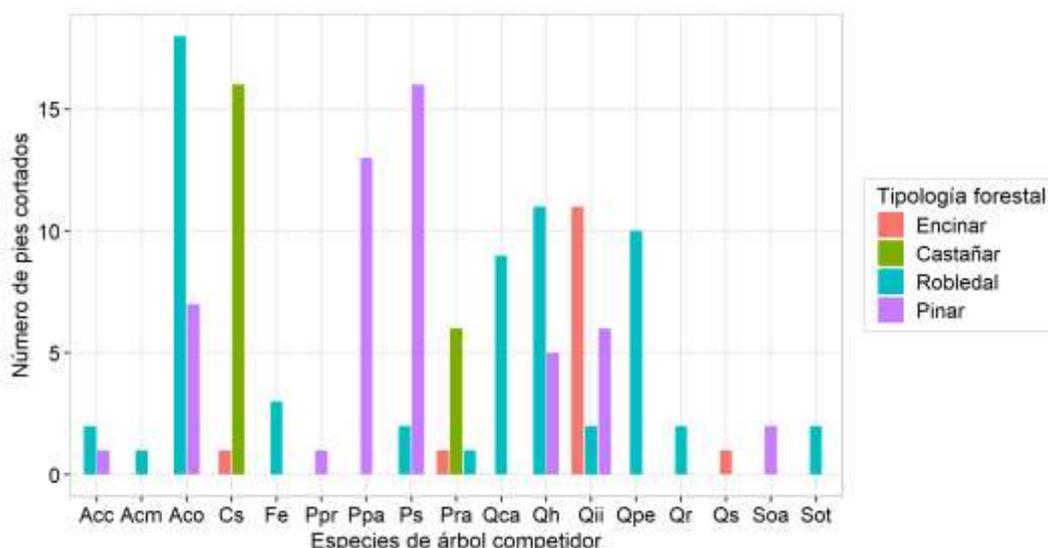


Figura 5. Número total de pies competidores cortados, por especie y formación forestal, para liberar AAI para madera de calidad (55 parcelas de inventario). Abreviatura de especies, por orden: *Acer campestre*, *A. monspessulanum*, *A. opalus*, *Castanea sativa*, *Fraxinus excelsior*, *P. pinaster*, *Pinus pinea*, *P. sylvestris*, *Prunus avium*, *Quercus canariensis*, *Q. pubescens*, *Q. ilex ilex*, *Q. petraea*, *Q. robur*, *Q. suber*, *Sorbus aucuparia*, *S. torminalis*.

Se observa una cierta relación ($R^2 = 0,22$) entre el diámetro normal de los AAI liberados y el de sus competidores cortados (Figura 6).

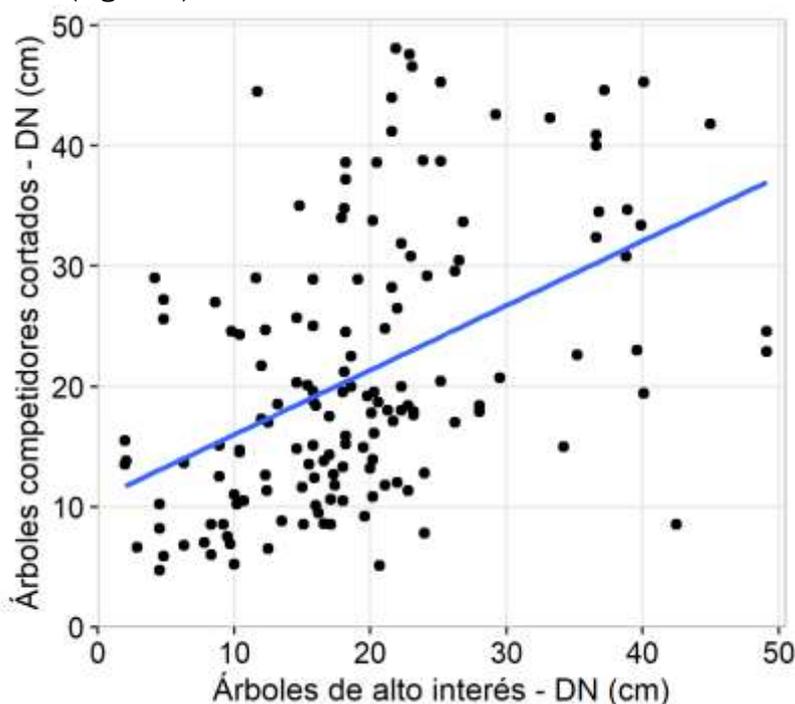


Figura 6. Relación entre el diámetro normal de los AAI promovidos por su interés para la producción de madera de calidad y el de los competidores cortados para liberarlos.

En cuanto al efecto de las claras selectivas, el crecimiento medio anual en diámetro de 280 AAI liberados, que no incluyen los recepados ni los resalveados, es de $3,9 \pm 3,8$ mm/año. A nivel de especie (Figura 7), las que muestran una mayor tasa de crecimiento son *P. sylvestris* ($5,0 \pm 3,1$), *A. opalus* ($4,5 \pm 2,6$), *Q. pubescens* ($4,4 \pm 3,5$), *Q. canariensis* ($4,4 \pm 5,2$), *P. avium* ($4,2 \pm 4,5$) y *S.*

domestica ($4,2\pm 3,0$). Las especies con una tasa de crecimiento más baja, es decir con una reacción menos vigorosa tras la clara, son *S. torminalis* ($1,3\pm 1,2$), *F. excelsior* ($2,6\pm 3,2$), *T. cordata* ($2,8\pm 1,8$), *A. monspessulanum* ($2,8\pm 2,5$) y *Q. robur* ($3,0\pm 2,0$). No se ha observado una relación entre la tasa de crecimiento anual y el diámetro inicial, ni con el criterio de selección del AAI (madera de calidad o biodiversidad; información no mostrada).

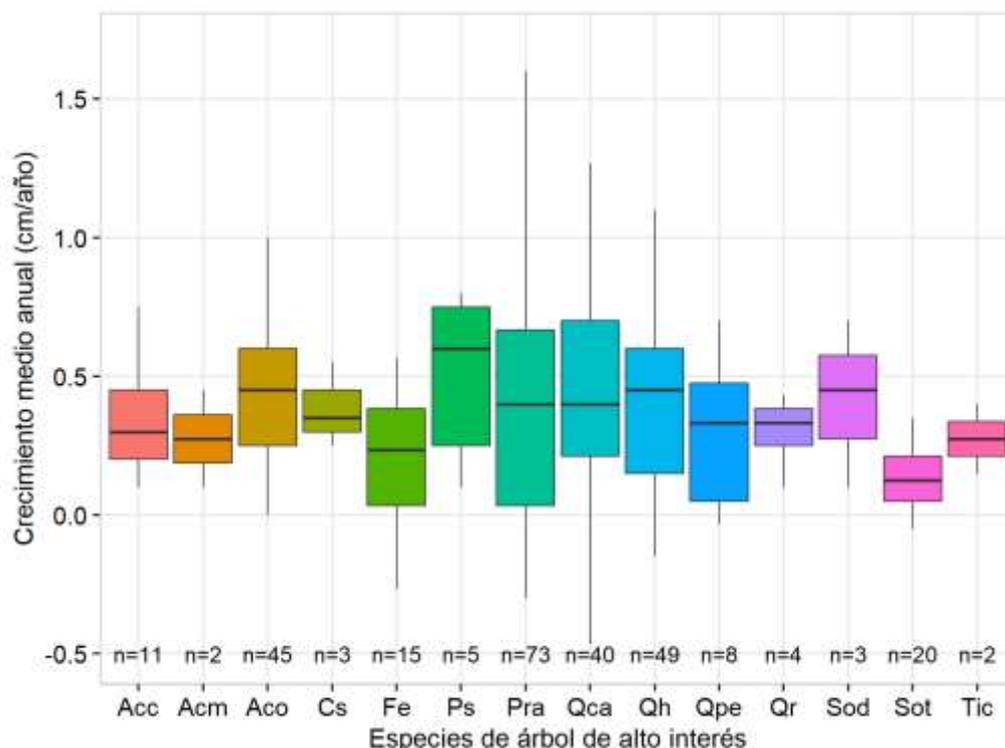


Figura 7. Distribución del crecimiento medio anual (cm/año) tras la liberación de los AAI de diferentes especies. Abreviatura de especies, por orden: *Acer campestre*, *A. monspessulanum*, *A. opalus*, *Castanea sativa*, *Fraxinus excelsior*, *Pinus sylvestris*, *Prunus avium*, *Quercus canariensis*, *Q. pubescens*, *Q. petraea*, *Q. robur*, *Sorbus domestica*, *S. torminalis*, *Tilia cordata*.

4.4. Resultados y evaluación de la aplicación del Protocolo de clasificación visual de la calidad de la madera en pies de planifolios de alto valor

La aplicación del protocolo de evaluación de la madera en pie (Coello et al, 2020) en 59 AAI seleccionados para madera de calidad en el inventario final ha mostrado que la calidad predominante de la primera troza es C (sierra segunda o intermedia; Tabla 3). Tan solo 6 pies han tenido una troza clasificada como B (sierra especial y primera), mientras que 8 pies no han llegado a los requisitos de calidad C. El principal factor que ha definido la calidad de la primera troza ha sido su diámetro. Además, en 17 árboles se ha evaluado la calidad de la segunda troza siguiendo la misma metodología, 14 de las cuales fueron clasificadas como C y el resto como D (datos no mostrados).

Tabla 3. Número de AAI seleccionados por para producción de madera de calidad (entre paréntesis, diámetro normal medio) cuya primera troza pertenece a cada categoría de clasificación en pie según el protocolo de Coello et al (2020), según la evaluación realizada en el inventario final del proyecto (otoño 2020).

Categoría de calidad	A	B	C	D	Total
<i>Acer campestre</i>	0	0	1 (17,7)	0	1 (17,7)
<i>Fraxinus excelsior</i>	0	0	1 (23,3)	0	1 (23,3)
<i>Prunus avium</i>	0	0	15 (23,2)	5 (19,3)	20 (22,2)
<i>Quercus canariensis</i>	0	2 (40,8)	15 (25,5)	1 (40,8)	18 (28,0)
<i>Q. petraea</i>	0	0	5 (34,3)	1 (26,4)	6 (33,0)

<i>Q. pubescens</i>	0	1 (40,0)	4 (21,2)	1 (19,2)	6 (24,0)
<i>Q. robur</i>	0	3 (37,7)	3 (31,8)	0	6 (34,8)
<i>Sorbus torminalis</i>	0	0	1 (21,1)	0	1 (21,1)
Total	0	6 (39,1)	45 (25,4)	8 (22,9)	59 (26,5)

La aplicación práctica de este protocolo en el inventario mencionado, y en pruebas previas realizadas, da lugar a las siguientes observaciones:

- La evaluación de un árbol requiere la observación completa de éste (360°) para detectar posibles defectos.

- La evaluación de los primeros árboles en los que se aplica el protocolo es relativamente lenta (2 - 5 minutos/árbol), hasta que se interiorizan los criterios clave, especialmente para aquellas especies para las que se proponen ajustes específicos (roble, fresno, arce, cerezo y castaño). Una vez interiorizados los criterios, el tiempo medio de evaluación de un árbol varía entre 0,5 y 1 minuto por árbol, en función de sus dimensiones y de la transitabilidad.

- El número de árboles que hay que caracterizar para interiorizar los criterios del protocolo es de aproximadamente 8 - 12. Además, en el caso de las especies con ajustes específicos (roble, fresno, arce, cerezo y castaño) se requiere aplicar el protocolo en unos 3 - 5 ejemplares adicionales por especie.

5. Discusión

5.1. Valoración de una primera aplicación de la Selvicultura Orientada al Árbol Individual (SOAI)

La intervención selvícola descrita corresponde a una primera aplicación de SOAI en masas forestales que habían estado gestionadas previamente por métodos convencionales (tratamientos poco selectivos y de alta intensidad), a menudo sin intervenciones en las últimas décadas. Considerando estos factores, junto con el estado de desarrollo de las masas (diámetros predominantes intermedios y pequeños) y las características del tratamiento (intensidad baja o moderada; área basimétrica extraída: 25 - 33%) no era esperable identificar y promover un elevado número de Árboles de Alto Interés (AAI) de grandes dimensiones, sino que se puede considerar esta primera intervención como una transición hacia un nuevo modelo de gestión.

5.2. Densidad y características de los AAI en los rodales MixForChange

En las 197 ha de rodales demostrativos se ha detectado una presencia notable de AAI para la producción de madera de calidad (frondosas de alto valor) o bien según criterios de conservación de la biodiversidad (especies poco frecuentes, frutales forestales, pies con dendro-microhábitats de interés). Las especies más frecuentemente identificadas como AAI han sido cerezo, roble (*Q. canariensis* y *Q. pubescens*), fresno, arce (*A. opalus* y *A. campestre*) y mostajo. La presencia destacada de estas especies es típica en las condiciones sub-húmedas mediterráneas, habiéndose encontrado una presencia especialmente abundante en masas dominadas por castaño en las que éste ha ido perdiendo interés económico en los últimos tiempos (en línea con Vericat *et al*, 2012a), así como en los robledales más capitalizados.

La densidad media de AAI en las parcelas de inventario se ha estimado en 160 pies/ha. Esta cifra debe considerarse como una aproximación, debido a la fuerte variabilidad entre parcelas, rodales y formaciones, y también por la metodología seguida para su cálculo: por un lado, las parcelas de inventario se ubicaron preferentemente en zonas de la masa en las que la aplicación de SOAI

fuera más relevante, por lo que se priorizaron zonas con mayor presencia de posibles AAI. Además, la densidad de AAI en cada parcela se ha estimado en base a su superficie (frecuentemente, 13-15 m de radio), pero en algunas parcelas se han incorporado AAI seleccionados en el entorno de éstas, y en otras se limitó a caracterizar los 10 AAI más cercanos a su centro, aunque hubiera un número más alto de estos individuos dentro de la parcela.

El 78% de los 481 AAI seleccionados lo han sido por su interés para producir madera de calidad. Sin embargo, en la mayoría de los casos este interés es más potencial que actual, debido a las dimensiones aún reducidas de la mayoría de los árboles (tan solo 10 AAI seleccionados para madera de calidad – el 2,6% – tiene un diámetro normal superior a 40 cm) y a la ausencia de una selvicultura previa que tuviera en cuenta la promoción de estos pies. Se espera que la aplicación reiterada de esta selvicultura permita que los AAI para madera de calidad que actualmente presenten unas dimensiones pequeñas e intermedias alcancen en el futuro unas características de calidad superior a las de los pies actuales de mayores dimensiones, en los que no se han aplicado intervenciones para su promoción progresiva. El 22% restante de los AAI fue seleccionado por su interés para la conservación de la biodiversidad. Al igual que en el caso anterior, tan solo 7 de estos árboles (6,4%) presentan un diámetro normal superior a 40 cm.

La tasa de crecimiento de 280 AAI liberados da un valor medio de 3,9 mm/año, en un rango de 1,3 a 5,0 mm/año según la especie. En el caso de las especies más habituales en bosques del área de trabajo, la tasa obtenida es inferior a la de los modelos selvícolas de referencia en rodales de buena calidad de estación gestionados activamente, cuyos valores oscilan entre 5 - 6 mm/año para *Quercus pubescens* (Vericat *et al*, 2012b) y 8 - 10 mm/año para *Pinus sylvestris* (Piqué *et al*, 2011) o *Castanea sativa* (Beltrán *et al*, 2013). Es probable que los AAI liberados estén respondiendo aún de manera incipiente a la actuación, tras 2 o 3 períodos vegetativos. Por ejemplo, la respuesta en crecimiento diametral individual de *P. sylvestris* a una clara se suele empezar a manifestar dos años después de ésta, alcanzando el máximo a los 5 años (Montero *et al*, 2008). Además, la liberación realizada ha sido de baja intensidad, buscando hacer una puesta en luz progresiva que permita a estos árboles estabilizarse tras un período prolongado de fuerte compresión lateral.

5.3. Valoración del Protocolo de clasificación visual de la calidad de la madera en pies de planifolios de alto valor

Este Protocolo (Coello *et al*, 2020) ha mostrado ser una herramienta de fácil aplicación para caracterizar el potencial de frondosas para producción de madera de calidad, siendo aplicable a escala individual y también de rodal. Sin embargo, está pendiente la evaluación de su rendimiento de aplicación a mayor escala y/o con árboles de mayores dimensiones. Otros factores pendientes de estudio son la correlación entre los resultados de clasificación que proporciona esta herramienta con la evaluación en industria, y también la incorporación de criterios específicos para la clasificación de especies adicionales.

6. Conclusiones

- La selvicultura orientada al árbol individual está alineada con la gestión forestal adaptativa y naturalística y permite identificar y promover árboles de alto interés (actual o potencial) desde el punto de vista comercial o de conservación de la biodiversidad. La aplicación de esta selvicultura implica una serie de cambios respecto a los modelos de gestión convencionales, especialmente, en forma de intervenciones más frecuentes y detalladas, donde es esencial realizar la identificación de los árboles de alto interés y de sus principales competidores. Es por ello necesario incidir en la capacitación del personal encargado de llevar sobre el terreno esta selvicultura y desarrollar herramientas técnicas para facilitar su aplicación. En este sentido, se ha presentado el “Protocolo de clasificación visual de la calidad de la madera en pie de planifolios de alto valor”, una herramienta

para facilitar la identificación y caracterización de árboles de alto interés para producir madera de calidad.

- El seguimiento de la primera aplicación de una selvicultura orientada al árbol individual ha permitido hacer una cuantificación, caracterización y fomento de los árboles de alto interés, si bien los resultados de este planteamiento de gestión solo podrán ser evaluados convenientemente después de varias intervenciones con los mismos criterios. En las masas del estudio (197 ha de encinar, castañar, robledal y pinar del mediterráneo sub-húmedo catalán) se ha detectado una notable presencia de árboles con potencial para aplicar una selvicultura orientada al árbol individual (160 pies/ha de media). Sin embargo, la falta de una selvicultura previa en favor de estos individuos y la escasez de pies de gran diámetro dan lugar a resultados aún preliminares en cuanto al potencial de la selvicultura orientada al árbol individual para mejorar los resultados económicos y ambientales de la gestión.

- Se espera que la aplicación reiterada de SOAI en estos rodales sea cada vez más eficiente desde un triple punto de vista:

- logística del señalamiento: la identificación y promoción de AAI se simplificará a medida que éstos vayan destacando progresivamente en la masa;
- resultados económicos: a medida que los AAI seleccionados para producir madera de calidad vayan alcanzando su turno tecnológico se espera que generen ingresos relevantes;
- resultados a nivel ecológico: dimensiones crecientes de AAI seleccionados por su interés para la biodiversidad y expansión de especies poco representadas.

7. Agradecimientos

El proyecto LIFE MixForChange (LIFE15 CCA/ES/000060) está financiado por el programa LIFE de la Unión Europea. Agradecemos la colaboración de las personas implicadas en la toma y gestión de datos de campo por parte del CTFC, CPF, APMC, APFSBE y Diputación de Barcelona. También estamos agradecidos a las personas que han colaborado en la elaboración del Protocolo de clasificación visual de la calidad de la madera en pie de planifolios de alto valor, citadas explícitamente en dicha publicación.

8. Bibliografía

ABETZ, P.; 1993. L'arbre d'avenir et son traitement sylvicole en Allemagne. *Revue Forestière Française* 45 (5) 551 - 560

BARCENILLA, C.; GARCÍA, M.D.; GARITACELAYA, J.; GARROTE, J.; DEL VALLE, J.; 2005. El papel de la selvicultura próxima a la naturaleza en la problemática actual de la gestión forestal. Actas del Cuarto Congreso Forestal Español. Sociedad Española de Ciencias Forestales

BELTRÁN, M.; CANO, F.; GARITACELAYA, J.; PIQUÉ, M.; 2020. Manual de gestión naturalística de los bosques de coníferas de Pirineos. 112 p. Centro de Ciencia y Tecnología Forestal de Cataluña. Solsona (Lleida)

BELTRÁN, M.; VERICAT, P.; PIQUÉ, M.; CERVERA, T.; 2013. Models de gestió per als boscos de castanyer (*Castanea sativa* Mill.): producció de fusta i fruit. Sèrie: Orientacions de gestió forestal sostenible per a Catalunya (ORGEST). 43 p. Centre de la Propietat Forestal. Departament d'Agricultura, Ramaderia, Pesca, Alimentació i Medi Natural. Generalitat de Catalunya. Santa Perpètua de Mogoda (Barcelona)

BÜTLER, R.; LACHAT, T.; KRUMM, F.; KRAUS, D.; LARRIEU, L.; 2020. Dendro-Microhábitats. Guía de campo. Descripción, identificación y clasificación para su inventario. 59 p. Instituto Federal Suizo de Investigación en el ámbito Forestal, de la Nieve y del Paisaje (WSL). Birmensdorf

COELLO, J.; GARCIA, Q.; BAIGES, T.; 2020. Protocolo de clasificación visual de la calidad de la madera en pie de planifolios de alto valor. 23 p. Centre de la Propietat Forestal. Departament d'Agricultura, Ramaderia, Pesca i Alimentació. Santa Perpètua de Mogoda (Barcelona)

GARCÍA, C.; CALAMA, R.; 2013. La Selvicultura próxima a la naturaleza como estrategia adaptativa al cambio climático. Actas del Sexto Congreso Forestal Español. Sociedad Española de Ciencias Forestales

GONZÁLEZ, J.M.; PIQUÉ, M.; VERICAT, P.; 2011. Manual de ordenación por rodales. Gestión multifuncional de los espacios forestales. 207 p. Organismo Autónomo Parques Nacionales. Madrid.

MONTERO, G.; DEL RÍO, M.; ROIG, S.; ROJO, A.; 2008. Selvicultura de *Pinus sylvestris* L. En: SERRADA, R.; MONTERO, G.; REQUE, J.A. (eds.). Compendio de selvicultura aplicada en España. 503 - 534. Instituto Nacional de Investigación y Tecnología Agraria y Alimentaria, Ministerio de Educación y Ciencia. Madrid

MORI, P.; PELLERI, F.; 2014. Selvicoltura per le specie arboree sporadiche: Manuale tecnico per la selvicoltura d'albero. 144 p. Compagnia delle Foreste, Arezzo

PELLERI, F.; SANSONE, D.; BIANCHETTO, E.; BIDINI, C.; SICH, A.; 2013. Tree-oriented silviculture in European beech high forests. Silvicultural practices aimed both at enhancing sporadic species and at managing the dominant species. *Sherwood* 190 1 - 4

PIQUÉ, M.; BELTRÁN, M.; VERICAT, P.; CERVERA, T.; FARRIOL, R.; BAIGES, T.; 2011. Models de gestió per als boscos de pi roig (*Pinus sylvestris* L.): producció de fusta i prevenció d'incendis forestals. Sèrie: Orientacions de Gestió Forestal Sostenible per a Catalunya (ORGEST). 186 p. Centre de la Propietat Forestal. Departament d'Agricultura, Ramaderia, Pesca, Alimentació i Medi Natural. Generalitat de Catalunya. Santa Perpètua de Mogoda (Barcelona)

ROCKWELL, C.A., KAINER, K.A., STAUDHAMMER, C.L., BARALOTO, C.; 2007. Future crop tree damage in a certified community forest in southwestern Amazonia. *Forest ecol manag* 242 108 - 118

SABÍN, P.; ZURITA, M.; TRASSIERRA, A.; RODRIGUEZ-NORIEGA, P.; 2013. Redacción de proyectos de ordenación bajo criterios de selvicultura próxima a la naturaleza. Actas del Sexto Congreso Forestal Español. Sociedad Española de Ciencias Forestales

SPIECKER, H.; 2003. Silvicultural management in maintaining biodiversity and resistance of forests in Europe temperate zone. *J Environ Manage* 67 55 - 65

VERICAT, P.; NAVARRO, P.; CORREAL, E.; CASTAÑO, C.; PIQUÉ, M.; BELTRÁN, M.; OBÓN, B.; RODRÍGUEZ, J.; COLINAS, C.; GARCÍA, M.; ARGEMÍ, J.; ROVIRA, J.; 2012a. El castanyer a

Catalunya. Manual de gestió, conservació i valorització. 143 p. Diputació de Barcelona y Obra Social "La Caixa". Barcelona

VERICAT, P.; PIQUÉ, M.; BELTRÁN, M.; CERVERA, T.; 2012b. Models de gestió per als boscos de roure de fulla petita (*Quercus faginea*) i roure martinenc (*Quercus humilis*): producció de fusta i prevenció d'incendis forestals. Sèrie: Orientacions de gestió forestal sostenible per a Catalunya (ORGEST). 181 p. Centre de la Propietat Forestal. Departament d'Agricultura, Ramaderia, Pesca, Alimentació i Medi Natural. Generalitat de Catalunya. Santa Perpètua de Mogoda (Barcelona)

VILLEGAS, Z.; PEÑA-CLAROS, M.; MOSTACEDO, B.; ALARCÓN A.; LICONA, J.C.; LEAÑO, C.; PARIONA, W.; CHOQUE, U.; 2009. Silvicultural treatments enhance growth rates of future crop trees in a tropical dry forest. *Forest ecol manag* 258(6) 971 - 977

WILHELM, G.J.; 2003. Qualification-grossissement: la stratégie sylvicole de Rhénanie-Palatinat. *Rendez-vous techniques* 14 - 9

WILHELM, G.J.; RIEGER, H.; 2013. Naturnahe Waldwirtschaft mit der QD-Strategie. Eine Strategie für den qualitätsgeleiteten und schonenden Gebrauch des Waldes unter Achtung der gesamten Lebewelt. 208 p. Ulmer KG. Stuttgart.