



7º CONGRESO FORESTAL ESPAÑOL

**Gestión del monte: servicios
ambientales y bioeconomía**

26 - 30 junio 2017 | Plasencia
Cáceres, Extremadura

7CFE01-271

Edita: Sociedad Española de Ciencias Forestales
Plasencia. Cáceres, Extremadura. 26-30 junio 2017
ISBN 978-84-941695-2-6

© Sociedad Española de Ciencias Forestales

Red de parcelas permanentes en ecosistemas forestales del noroeste de España: del monte hasta la industria

HEVIA, A. ¹, MARTÍNEZ-ALONSO, C. ¹, CANGA, E. ¹, GONZÁLEZ-GARCÍA, M. ¹, MENÉNDEZ-MIGUÉLEZ, M. ², PRADA, M. ¹, PRENDES, C. ¹, SÁNCHEZ-GARCÍA, S. ¹, VEGA, A. ¹, MAJADA, J. ¹

¹ Centro Tecnológico Forestal y de la Madera (CETEMAS)

² Grupo de Investigación UVaMOX. Universidad de Valladolid

Resumen

El Centro Tecnológico Forestal y de la Madera (CETEMAS) de Asturias cuenta con una red de parcelas permanentes en ecosistemas forestales del noroeste de España, cuyo objetivo de investigación es desarrollar modelos de crecimiento y producción orientados a calidad de producto, incluyendo la optimización de costes de explotación y logística, así como de fijación y almacenamiento de carbono. Para ello, sobre distintos sistemas experimentales se combinan inventarios dasométricos clásicos con el uso de nuevas tecnologías en masas naturales o plantaciones de *Pinus pinaster* Aiton, *Pinus radiata* D. Don y *Castanea sativa* Mill, para la producción de madera sólida o plantaciones de *Eucalyptus* sp. para la producción de pasta de celulosa y bioenergía. Las parcelas destinadas al estudio de la calidad de madera incluyen ensayos de podas y claras de forma conjunta, permitiendo evaluar la gestión forestal intensiva en el crecimiento y producción de las masas, para la obtención de madera de mejor calidad. La finalidad de la red es el desarrollo de herramientas innovadoras para mejorar la gestión forestal sostenible en el noroeste peninsular.

Palabras clave

Parcelas experimentales, inventario forestal, geomática, biomasa, cambio climático, calidad de madera, carbono.

1. Introducción

El inicio de la instalación de la red de parcelas experimentales por parte del Centro Tecnológico Forestal y de la Madera (CETEMAS), y en la que ha participado el Servicio Regional de Investigación y Desarrollo Agroalimentario (SERIDA), vino determinado por la necesidad del sector público y privado de disponer de información y herramientas de gestión forestal que permitieran estimar el crecimiento y optimizar la producción y calidad del producto, así como estimar los costes derivados del aprovechamiento de las masas forestales. Los esquemas de gestión fueron planteados bajo condiciones de desarrollo forestal sostenible, considerando aspectos como el contenido nutricional, el carbono o el efecto de la gestión frente a riesgos potenciales (ej., sanitarios y de incendios) del noroeste de España. Aunque existen algunas parcelas fuera de este territorio, la actividad se centra fundamentalmente en el Principado de Asturias, donde la superficie forestal total es de 770.550 ha, de las cuales 453.701 ha corresponden a monte arbolado (DGCN, 2012). Las parcelas permanentes de experimentación forestal instaladas (Figura 1), se centran fundamentalmente en las principales especies productivas del noroeste peninsular: *Castanea sativa* Miller (80.560 ha), *Eucalyptus* spp. (60.312 ha), *Pinus radiata* D. Don (25.386 ha) y *Pinus pinaster* Aiton (22.523 ha) (DGCN, 2012).

Los trabajos para la instalación de las parcelas se inician en Asturias en el año 2006 con la red de ensayos de gestión selvícola de *Pinus radiata* y *Pinus pinaster*, seguido por la red de *Castanea sativa* en el año 2009. Posteriormente en 2010 se instala la red de cultivos energéticos de *Eucalyptus nitens* en Galicia y desde finales del año 2014 se realiza la instalación de ensayos de materiales genéticos de *Eucalyptus globulus*. En la actualidad, esta red experimental de ensayos continúa extendiéndose para cubrir todas las características existentes en el área de distribución de estas especies en Asturias así como desarrollar nuevas estrategias de gestión forestal en el arco atlántico.



Figura 1. Parcelas de experimentación forestal de *Castanea sativa*, *Pinus radiata* y *Eucalyptus globulus* en Asturias.

2. Objetivos

El objetivo principal de la instalación de esta red experimental de ensayos es el estudio de las principales especies productivas del área atlántica con el fin de elaborar herramientas para una gestión forestal sostenible que mejore la productividad de dichas masas forestales. Para ello se considera la fijación de CO₂ y protección frente a posibles riesgos (principalmente incendios y sanitarios), al mismo tiempo que se busca reducir los costes tanto económicos como medioambientales (emisiones de CO₂) en la región. Este objetivo principal se desarrolla a través de una serie de objetivos parciales:

- Desarrollar modelos de crecimiento y producción orientados a calidad de producto.
- Estudiar la optimización de costes de explotación y logística del aprovechamiento.
- Evaluar los impactos ambientales asociados a la explotación forestal mediante análisis de ciclo de vida (ACV).
- Evaluar la influencia de la gestión forestal en la fijación y el almacenamiento de carbono en los sistemas forestales.
- Evaluar los riesgos de incendios y sanitarios en función de la calidad genética del material y sus modelos de gestión selvícola.-

3. Red de parcelas y ensayos experimentales

3.1. Red de parcelas de *Pinus pinaster* y *Pinus radiata* para la producción de madera de calidad

Red experimental conformada por 8 parcelas de ensayo, 4 de cada especie. Los ensayos fueron instalados en masas jóvenes (7-11 años) no gestionadas, representativas de las existentes para estas especies en la región y en un momento adecuado para las intervenciones selvícolas planteadas. El diseño experimental consta de dos fases: (1) intervención de poda de diferentes intensidades (poda de altura variable) (0, 12-15%, 19-37% de longitud de copa) y (2) poda alta (5,5-6 m) combinada con distintos tipos de clara (control, clara selectiva (150 pies/ha árboles de porvenir) y clara baja fuerte (30-40% de área basimétrica).

3.2. Red de parcelas de *Castanea sativa* para la producción de madera

Parcelas permanentes sin gestión forestal: Red de 70 parcelas circulares de 15 m de radio ubicadas en masas de monte bajo de castaño (55 en masas puras), cubriendo la variabilidad de calidades de estación, edades y densidades (400-4800 pies/ha) en las cuales no se ha llevado a cabo gestión

forestal. Adicionalmente existen 18 parcelas instaladas con el objetivo de elaborar modelos a partir de información LiDAR (*Light Detection And Ranging*).

Ensayos experimentales de gestión forestal: Existen un total de 12 parcelas permanentes con gestión circulares de 15 m de radio ubicadas en masas de monte bajo de castaño se ha llevado a cabo gestión forestal mediante la realización de claras con una densidad final de 600 u 800 pies/ha en función de su calidad de estación. Se evalúa el efecto de la gestión sobre crecimiento y calidad de madera, así como la evolución de chancro y nuevas plagas emergentes. Adicionalmente existen tres ensayos ubicados en masas de monte bajo de castaño en tres montes diferentes donde en cada ensayo se han instalado un total de tres tratamientos de clara: control, clara intensiva (600-800 pies/ha) y clara superintensiva (400 pies/ha) con parcelas de las mismas características que en el caso anterior.

3.3. Red de ensayos de *Eucalyptus globulus* para la producción de pasta de celulosa

Cuatro ensayos con distintos materiales genéticos (clones y semillas) de *Eucalyptus globulus* procedentes de cuatro multinacionales de España y Portugal, incluyendo un control comercial en todos los ensayos. Variabilidad de sitios para estudiar el efecto de distintas condiciones edafoclimáticas sitio frente al material (supervivencia, crecimiento y resistencia frente a riesgos bióticos y abióticos). La ampliación de esta red está prevista hasta 2019.

3.4. Red de parcelas de *Eucalyptus nitens* para la producción de bioenergía (Galicia)

Red de 40 parcelas permanentes de 20 x 20 m instaladas con cultivos energéticos en el norte de Galicia cubriendo la variabilidad de calidades de estación, edades (2-6 años) y densidades de plantación disponibles (2500-5600 pies/ha).

4. Metodologías para la captura y el análisis de datos

4.1. Inventarios y recogida de datos en campo

En las parcelas de estudio se ha llevado a cabo la realización de inventarios dasométricos clásicos (variables de árbol: altura total, altura copa, diámetro normal...), evaluación de la mortalidad y del estado sanitario además de análisis edáficos (variables físicas y químicas). Adicionalmente se han realizado muestreos destructivos las distintas fracciones de la biomasa aérea (árboles tipo y árboles dominantes), extracción de discos del fuste y testigos de madera (cores). En las parcelas cuyo destino es la producción de madera de calidad se realizaron mediciones de la velocidad de transmisión sónica en árboles, y posteriormente en troza y producto final (cuando se realizaron claras). Asimismo, en las parcelas podadas se llevó a cabo un inventario específico de caracterización de la poda (variables de diámetro sobre muñón, ramosidad,...) y seguimiento del tratamiento (cicatrización, brotes epicórmicos,...) hasta 5 años después de la intervención. En algunas de las parcelas de la red de ensayos también se han posicionado los pies, monitorizado la humedad edáfica, medido el LAI, la fotosíntesis o realizado inventarios florísticos.

4.2. Inventarios mediante nuevas tecnologías

En la red de parcelas permanentes se comenzó en el año 2013 la realización de inventarios incorporando nuevas tecnologías. Como primera experiencia se llevó a cabo un vuelo LiDAR de las parcelas de *P. pinaster* y *P. radiata* que permitió extraer las principales variables estructurales de variables de copa para la modelización del riesgo potencial de incendio en masas de coníferas.

En una apuesta por esta tecnología, la Fundación CETEMAS ha adquirido dos UAVs (*Unmanned Aerial Vehicles*) que contribuirán a mejorar la realización de inventarios en los próximos años. El primero de

ellos dispone de un sensor LiDAR que permitirá obtener una nube en 3D con alta resolución de las parcelas escaneadas. El segundo es capaz de transportar distintos tipos de cámaras: RGB (*Red, Green, Blue*), NIR (*Near infrared*) y RE (*Red Edge*). La análisis de bandas espectrales permitirá evaluar el estado de las masas inventariadas mediante el cálculo de múltiples índices de vegetación para distintos objetivos, como puede ser la evaluación del estado sanitario.

4.3. Estudios de optimización de costes de explotación y logística.

En algunas de las parcelas bajo estudio para las distintas especies se han llevado a cabo estudios de tiempos mediante cronometraje continuo y discontinuo, para evaluar la productividad de las operaciones de clara y corta final efectuadas. Además, en base a los diferentes tiempos productivos y no productivos, al volumen de madera y/o biomasa movilizado y a numerosos datos relacionados con los diferentes costes para cada caso, se llevaron a cabo detallados estudios de costes de los aprovechamientos.

Con los estudios de tiempos, se obtiene una visión detallada de la duración exacta de cada una de las actividades elementales del trabajo analizado y la distribución porcentual de estos tiempos respecto al tiempo total. Permiten analizar la productividad de una fase de trabajo concreta o de un aprovechamiento completo, suministrando información suficiente para poder evaluar posibles mejoras en el funcionamiento del sistema o incluso comparar distintas máquinas trabajando bajo condiciones diferentes (características de la masa, área de trabajo, etc.). Concretamente estos estudios se llevaron a cabo con el programa específico de toma de tiempos UmtPlus, a través del cual se tomaron los datos en campo mediante una PDA y posteriormente se procesaron en gabinete con la aplicación StatUMT.

Un buen planteamiento de trabajo, mediante una buena logística anticipada, repercute significativamente en mejores productividades y por tanto en reducción de los costes operacionales. Los estudios de costes se realizaron según la metodología de MIYATA (1980) diferenciando entre costes fijos y costes variables. A su vez, un enfoque dirigido hacia la optimización de los rendimientos y costes, permite la minimización de las emisiones de CO₂ a la atmósfera, factor cada vez más relevante actualmente y sobre el que se trabaja a través de análisis del ciclo de vida.

4.4. Estudio de fijación y almacenamiento de carbono

Para evaluar la influencia de distintos modelos de gestión forestal en la fijación y almacenamiento de carbono de los sistemas forestales se han desarrollado estudios en las red de parcelas permanentes de *Castanea sativa*, *Pinus pinaster* y *Eucalyptus globulus*. El objetivo principal de estos trabajos ha sido evaluar el almacenamiento de carbono en las distintas fracciones de los sistemas forestales (biomasa aérea y subterránea, suelo y productos maderables) en función de las diferentes alternativas de manejo forestal, así como determinar el efecto de sustitución del uso de combustibles fósiles por productos maderables (ej, biomasa).

Para realizar estos estudios se ha utilizado el modelo CO2FIX v 3.1. (MASERA et al, 2003; SCHELHAAS et al, 2004) que cuantifica de forma simplificada el almacenamiento de carbono de una masa forestal proporcionando información sobre el flujo y balance de carbono en el tiempo, permitiendo realizar simulaciones para múltiples rotaciones. CO2FIX v 3.1. (<http://www.efi.fi/projects/casfor/>). El modelo cuenta con seis módulos: biomasa, suelo, productos, bioenergía, financiero y contabilidad de carbono.

4.5. Estudios de ACV para la optimización y reducción de los impactos ambientales asociados a las operaciones de logística y transporte en gestión forestal

Estos estudios se han desarrollado en las parcelas permanentes de *Castanea sativa* y *Eucalyptus globulus* con el objetivo de optimizar y mejorar las operaciones de explotación forestal para que sean más eficientes no sólo desde el punto de vista económico y logístico, si no también ambiental. Para ello se ha utilizado la metodología de ACV con especial interés en la cuantificación de las emisiones de gases efecto invernadero (GEI) de los diferentes sistemas de gestión forestal en el norte de España. Estos estudios se han desarrollado con la herramienta informática Simapro 7.3.3. (PRé Consultants, 2012).

4.6. Evaluación de la calidad de la madera y desarrollo de herramientas de clasificación

El efecto de la gestión forestal en las propiedades de la madera (físicas, mecánicas y apariencia) debe ser evaluado en las diferentes fases de los tratamientos. Para ello, se realizaron estudios del rendimiento del aserrado (madera destinada a rollo o tabla) con pies procedentes de la primera clara realizada en las parcelas de pino, y posteriormente fueron desarrollados trabajos de caracterización parcial del material obtenido: clasificación visual, técnicas no destructivas (NDT) y ensayos mecánicos para obtener datos de rigidez, resistencia y densidad.

En la segunda clara, a realizar durante el año 2017 (con diámetros razonables para la obtención de madera con destino estructural), se realizará un exhaustivo trabajo de caracterización en castaño, pino pinaster y pino radiata, a través del proceso completo árbol-troza-tabla. Se emplearán técnicas no destructivas con trazabilidad de modo que puedan ser desarrollados modelos de estimación de las propiedades de la madera en producto final (tabla) a partir de variables de árbol en pie. Los resultados de las propiedades físico-mecánicas permitirán, además, conocer el impacto de la gestión forestal en las propiedades de la madera (especialmente importantes cuando el destino es la construcción) y su relación con los sistemas de clasificación vigentes y las clases de calidad definidas en la normativa estructural.

5. Resultados

En la Tabla 1 se detallan las herramientas y estudios realizados desde la instalación de la red experimental de parcelas citadas anteriormente para cada una de las especies objeto de estudio.

Tabla 1. Resultados de estudios y herramientas desarrolladas con la red de parcelas

Especie	Herramientas desarrolladas	Nivel estudio	Publicación
<i>Pinus radiata</i> y <i>Pinus pinaster</i>	Modelos de estimación de diámetro máximo sobre muñón y evaluación del efecto de la poda (cicatrización, brotes epicórmicos, centro defectuoso)	Árbol	HEVIA, 2013 (En desarrollo)
	Modelos de crecimiento de árbol individual, incluyendo variables de poda	Árbol	HEVIA et al, 2016a
	Funciones de perfil del centro nudoso, incluyendo variables de poda	Árbol	HEVIA et al, 2016b
	Ecuaciones de biomasa de árbol completo y por alturas. Estimación de biomasa residual de poda	Árbol y rodal	HEVIA, 2013 (artículo en revisión, 2017)
	Estimación de nutrientes y carbono de la biomasa en función de la poda	Árbol y rodal	HEVIA, 2013 (En desarrollo)
	Estimación de variables de combustible de copa y riesgo de incendio: efecto de las podas y las claras	Rodal	HEVIA et al, 2012

	Modelización de variables de masa y de combustible de copa para diferentes intensidades de clara a partir de variables LiDAR	Rodal	HEVIA et al, 2016c
	Efecto de gestión forestal sobre propiedades físico-mecánicas de la madera. Desarrollo de modelos de estimación de propiedades y herramientas de clasificación estructural.	Árbol, troza, tabla	En desarrollo
	Optimización astilladoras y emisiones de CO ₂	Regional	PRADA et al, 2015
<i>Castanea sativa</i>	Ecuaciones de biomasa	Árbol, cepa y rodal	MENÉNDEZ-MIGUÉLEZ et al, 2013
	Funciones de perfil	Arbol	MENÉNDEZ-MIGUÉLEZ et al, 2014
	Diagramas de manejo de la densidad	Rodal	MENÉNDEZ-MIGUÉLEZ et al, 2016
	Tablas de producción	Rodal	MENÉNDEZ-MIGUÉLEZ et al, 2016
	Evaluación de la relación factores ambientales	Rodal	MENÉNDEZ-MIGUÉLEZ et al, 2015
	Curvas de calidad	Rodal	MENÉNDEZ-MIGUÉLEZ et al, 2014
	Tarifas de biomasa y de volumen a partir de variables LiDAR	Rodal	En desarrollo
	Almacenamiento carbono	Rodal	PRADA et al, 2016
	Huella de carbono productos	Regional	MARTÍNEZ-ALONSO & BERDASCO, 2015
<i>Eucalyptus globulus</i>	Modelos de crecimiento y productividad	Árbol y rodal	En desarrollo
	Estudios de rendimiento y costes del aprovechamiento convencional de sus residuos: empacado, desembosque y transporte.	Rodal	SÁNCHEZ-GARCÍA et al, 2015; 2016
	Optimización de la cadena de suministro y estimación de las emisiones CO ₂ .	Regional	SÁNCHEZ-GARCÍA et al, 2017 (artículo en revisión, 2017)
<i>Eucalyptus nitens</i>	Ecuaciones de biomasa, factores de expansión y modelos de volumen.	Árbol y rodal	GONZÁLEZ-GARCÍA et al, 2013
	Modelos de crecimiento dinámicos	Rodal	GONZÁLEZ-GARCÍA et al, 2015
	Modelo de procesos 3-PG	Rodal y espacial	GONZÁLEZ-GARCÍA et al, 2016
	Estimación nutrientes, carbono y análisis energético de la biomasa	Árbol y rodal	GONZÁLEZ-GARCÍA et al, 2015

6. Conclusiones

Los resultados de los estudios que se están llevando a cabo favorecen el conocimiento y la mejora de los sistemas forestales del norte de España y pretenden ser una ayuda para los gestores forestales en la planificación y toma de decisiones.

7. Agradecimientos

El Centro Tecnológico Forestal y de la Madera (CETEMAS) de Asturias quiere expresar su agradecimiento a todos los organismos y empresas que trabajan en colaboración para fomentar el desarrollo del sector forestal y de la madera en el noroeste de España. Muy especialmente a los técnicos del Servicio de Montes del Principado de Asturias, sin cuyo apoyo a lo largo de más de una década no se habrían podido instalar la mayoría de las parcelas ubicadas en terreno público y al personal del programa de investigación forestal del Servicio Regional de Investigación y Desarrollo Agroalimentario (SERIDA). Gracias al Ministerio de Educación y Ciencia por la financiación de A. Hevia mediante una beca predoctoral FPU y la financiación de M. González-García y S. Sánchez-García mediante el Programa Severo Ochoa de Ayudas Predoctorales del PCTI del Principado de Asturias.

8. Bibliografía

DGCN; 2012. Cuarto Inventario Forestal Nacional, Asturias. Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente. 58. Madrid

GONZÁLEZ-GARCÍA, M.; ALMEIDA, A.; HEVIA, A.; MAJADA, J.; BEADLE, C.; 2016. Application of a process-based model for predicting the productivity of *Eucalyptus nitens* bioenergy plantations in Spain. *GCB Bioenergy* 8 124-148

GONZÁLEZ-GARCÍA, M.; HEVIA, A.; MAJADA, J.; BARRIO-ANTA; M.; 2013. Above-ground biomass estimation at tree and stand level for short rotation plantations of *Eucalyptus nitens* (Deane & Maiden) Maiden in Northwest Spain. *Biomass Bioenerg* 54 147-157

GONZÁLEZ-GARCÍA, M.; HEVIA, A.; MAJADA, J.; CALVO DE ANTA, R.; BARRIO-ANTA; M.; 2015. Dynamic growth and yield model including environmental factors for *Eucalyptus nitens* (Deane & Maiden) Maiden Short rotation woody crops in Northwest Spain. *New For* 46 387-407

GONZÁLEZ-GARCÍA, M.; HEVIA, A.; MAJADA, J.; RUBIERA, F.; BARRIO-ANTA; M.; 2015. Nutritional, carbon and energy evaluation of *Eucalyptus nitens* short rotation bioenergy plantations in Northwest Spain. *iForest* 9 303-310

HEVIA, A.; 2013. Influencia de la poda en el desarrollo de masas de *Pinus radiata* D. Don y *Pinus pinaster* Aiton en Asturias. Tesis doctoral. Universidad de Santiago de Compostela

HEVIA, A.; ÁLVAREZ-GONZÁLEZ, J.G.; MAJADA, J.; 2016a. Comparison of pruning effects on tree growth, productivity and dominance of two major timber conifer species. *For Ecol Manag* 374 82-92

HEVIA, A.; ÁLVAREZ-GONZÁLEZ, J.G.; MAJADA, J.; 2016b. Effects of pruning on knotty core taper and form of *Pinus radiata* and *Pinus pinaster*. *Eur J Wood Prod* 74 741-750

HEVIA, A.; ÁLVAREZ-GONZÁLEZ, J.G.; RUIZ-FERNÁNDEZ, E.; PRENDES, C.; RUIZ-GONZÁLEZ, A.D.; MAJADA, J.; GONZÁLEZ-FERREIRO, E.; 2016c. Modelling canopy fuel and forest stand variables and characterizing the influence of the thinning treatments in the stand structure using airborne LiDAR. *RAET* 45 41-55

HEVIA, A.; CRABIFFOSSE, A.; MAJADA, J.; ÁLVAREZ-GONZÁLEZ, J.G.; RUIZ-GONZÁLEZ, A.D.; 2012. Modelo de distribución de la carga de combustibles finos en el dosel de copas de rodales regulares de *Pinus pinaster*: efecto de las claras combinadas con podas. *Cuadernos de la Sociedad Española de Ciencias Forestales* 34 123-133

MARTINEZ-ALONSO, C., BERDASCO, L., 2015. Carbon footprint of sawn timber products of *Castanea sativa* Mill. in the north of Spain. *J Clean Prod* 102 127-135

MASERA, O.R.; GARZA-CALIGARIS, J.F.; KANNINEN, M.; KARJALAINEN, T.; LISKI, J.; NABUURS, G.J.; PUSSINEN, A.; DE JONG, B.H.J.; MOHREN, G.M.J.; 2003. Modeling carbon sequestration in afforestation, agroforestry and forest management projects: the CO2FIX V. 2 approach. *Ecol Model* 164 177-199

MENÉNDEZ-MIGUÉLEZ, M.; CANGA, E.; ÁLVAREZ-ÁLVAREZ, P.; MAJADA, J.; 2014. Stem taper function for sweet chestnut (*Castanea sativa* Mill.) coppice stands in northwest Spain. *Ann For Sci* 71 761-770

MENÉNDEZ-MIGUÉLEZ, M.; CANGA, E., BARRIO-ANTA, M.; MAJADA, J.; ÁLVAREZ-ÁLVAREZ, P.; 2013. A three level system for estimating the biomass of *Castanea sativa* Mill. coppice stands in north-west Spain. *For Ecol Manag* 291 417-426

MENÉNDEZ-MIGUÉLEZ, M.; ÁLVAREZ-ÁLVAREZ, P.; MAJADA, J.; CANGA, E.; 2015. Effects of soil nutrients and environmental factors on site productivity in *Castanea sativa* Mill. coppice stands in NW Spain. *New For* 46 217–233

MENÉNDEZ-MIGUÉLEZ, M.; ÁLVAREZ-ÁLVAREZ, P.; MAJADA, J.; CANGA, E.; 2016. Herramientas de gestión para masas de monte bajo de *Castanea sativa* en el noroeste de España. *Bosque* 37 119–133

MIYATA, E.S., 1980. Determining fixed and operating costs of logging equipment. USDA Forest Service, North Central Forest Experiment Station. General Technical Report NC-55. 16. St. Paul, Minnesota

PRADA, M.; BRAVO, F.; BERDASCO, L.; CANGA, E.; MARTÍNEZ-ALONSO, C.; 2016. Carbon sequestration for different management alternatives in sweet chestnut coppice in northern Spain. *J Clean Prod* 135 1161–1169

PRADA, M.; MARTÍNEZ-ALONSO, C.; SÁNCHEZ-GARCÍA, S.; CANGA, E.; 2015. Analysis of three forest chippers: productivity, costs and GHG emissions in Northern Spain. *J Clean Prod* 101 238-244

PRé Consultants; 2012. Amersfoort, The Netherlands. <http://www.pre.nl/simapro/>. Accessed 18 January 2017

SÁNCHEZ-GARCÍA, S.; ELIASSON, L.; TOLOSANA, E.; MAJADA, J.; CANGA, E.; 2015. Evaluation of technological improvements in bundling units for the collection of eucalyptus logging residues in Northern Spain. *For Syst.* 24(2), e030, 8 pages

SÁNCHEZ-GARCÍA, S.; CANGA, E.; TOLOSANA, E.; MAJADA, J.; 2016. Analisis of Productivity and Cost of Forwarding Bundles of *Eucalyptus* Logging Residues on Steep Terrain. *Croat J For Eng.* 37, 241-249.

SÁNCHEZ-GARCÍA, S.; 2016. Estudio de la potencialidad del uso de la biomasa en Asturias: análisis SIG, rendimientos, costes y logística. Tesis doctoral. Universidad de Oviedo

SÁNCHEZ-GARCÍA, S.; ATHANASSIADIS, D.; MARTÍNEZ-ALONSO, C.; TOLOSANA, E.; MAJADA, J.; CANGA, E.; 2017. A GIS methodology for optimal location of a wood-fired power plant: quantification of available woodfuel, supply chain costs and GHG emissions using eucalyptus residues in Northern Spain. *J Clean Prod.* En revisión

SCHLHAAS, M.J.; VAN ESCH, P.W.; GROEN, T.A.; DE JONG, B.H.J.; KANNINEN, M.; LISKI, J.; MASERA, O.; MOHREN, G.M.J.; NABUURS, G.J.; PALOSUO, T.; PEDRONI, L.; VALLEJO, A.; VILÉN, T.; 2004. CO2FIX V 3.1 A modelling framework for quantifying carbon sequestration in forest ecosystems. Alterra, Wageningen