II SIMPOSIO DEL CHOPO

17. 18. 19 OCTUBRE 2018

VALLADOLID

LIBRO DE ACTAS

LIBRO DE ACTAS

II SIMPOSIO DEL CHOPO

17. 18. 19 OCTUBRE 2018 VALLADOLID

II SIMPOSIO DEL CHOPO
VALLADOLID
17. 18. 19
2018 OCTUBRE

LIBRO DE ACTAS
Junta de Castilla y León

Edita: Sociedad Pública de Infraestructuras y Medio Ambiente de Castilla y León S.A.

Depósito Legal DL SO 57-2018

Diseñado por Cesefor

EL II Simposio del Chopo se celebra en el marco del Programa de Movilización de los Recursos Forestales en Castilla y León 2014-2022

Chopo en Castilla y León

Junta de Castilla y León

www.populuscyl.es

BIENVENIDA

La Dirección General del Medio Natural de la Consejería de Fomento y Medio Ambiente de la Junta de Castilla y León promueve y cofinancia el II Simposio del Chopo en el marco del Programa de Movilización de los Recursos Forestales en Castilla y León 2014-2022. El objetivo principal del Simposio es promover la comunicación entre los agentes del sector y crear un foro de discusión que aborde la situación actual y el futuro de la populicultura. La celebración en Zamora de un primer simposio en 2001 aporta la experiencia al equipo promotor del evento para celebrar en 2018 otro evento de mayor importancia y de ámbito nacional.

Las plantaciones de chopo, cuya superficie solo en Castilla y León alcanza las 44.260 hectáreas, no son sólo fuentes de riqueza socioeconómica (generando empleo y fijando población en el medio rural) sino que también cumplen una importante función de preservación y conservación medioambiental: capturan CO_2 y combaten así el cambio climático y, además, contribuyen a conservar los suelos y laminar las avenidas. Todo ello como resultado de la gestión forestal sostenible que se desarrolla en gran parte de las plantaciones de chopo de Castilla y León y gracias a las cuales, en términos de producción maderera, sería posible generar en torno a 8 millones de m^3 para el periodo 2017-2034.

Te damos la bienvenida al II Simposio de Chopo, en Valladolid, Castilla y León, del 17 al 19 de octubre.

José Ángel Arranz Sanz

Presidente del Comité Organizador

Director General del Medio Natural de la
Consejería de Fomento y Medio Ambiente.
Junta de Castilla y León.

ÍNDICE

ÍNDICE

COMITÉS

COMITÉ ORGANIZADOR

Presidente

José Ángel Arranz Sanz
Director General del Medio Natural.
Consejería de Fomento y Medio Ambiente. Junta de Castila y León

Vicepresidente

Ángel Manuel Sánchez Martín
Jefe de Servicio de Promoción Forestal.
Dirección General del Medio Natural.
Consejería de Fomento y Medio Ambiente. Junta de Castila y León

Vocales

Isabel Bombal Díez
Directora General de Desarrollo Rural y Política Forestal.
Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación

Francisco López Cristobal
Jefe de Servicio de Calidad del Agua y Medio Ambiente.
Diputación de Valladolid

Olga González Raposo
Gerente.
Federación de Asociaciones Forestales de Castilla y León. FAFCYLE

Felipe Bravo Oviedo
Presidente.
Sociedad Española de Ciencias Forestales

Ignacio García Hernández
Director.
Asociación Española de Fabricantes de Tablero Contrachapado. AEFCON

Rubén García Pérez
Director de Recursos Naturales.
Sociedad Pública de Infraestructuras y Medio Ambiente
SOMACYL

Secretario técnico

Rodrigo Gómez Conejo
Jefe de Área.
Fundación CESEFOR

COMITÉ TÉCNICO

Presidente

Jesús Rueda Fernández
Junta de Castila y León

Mesa Populicultura para la bioeconomía

Hortensia Sixto Blanco
CIFOR-INIA

Mesa Mejora de servicios y funciones ambientales de plantaciones y bosques de ribera

Fernando Magdaleno Mas
Dirección General del Agua.
Ministerio para la Transición Ecológica

Mesa Utilización de la madera de chopo: presente y futuro

Guillermo Hernanz Arroyo
Grupo Garnica Plywood, S.A.

Mesa Políticas, gestión sostenible y productividad

Carlos Villar Gutiérrez de Ceballos
Junta de Castilla y León

Visita de campo

José Luis García Caballero
Junta de Castilla y León

Secretario técnico

David Villada Rojo
Junta de Castilla y León

PROGRAMA

PROGRAMA

MIÉRCOLES
17.10.2018

08:30 Acreditación de asistentes

09:00 Conferencia inaugural. PONENCIA INVITADA: La populicultura en Europa y España. Walter Kollert.
Inauguración: Excmo. Sr. *Juan Carlos Suárez-Quiñones*. Consejero de Fomento y Medio Ambiente. Junta de Castilla y León.
Sr. D. *José Manuel Jaquotot Sáenz de Miera*. Subdirector General de Política Forestal. Dirección General de Desarrollo Rural, Innovación y Política Forestal. Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación.

10:00 Mesa "Populicultura para la bioeconomía". Modera: *Hortensia Sixto Blanco*. **INIA-CIFOR.**
PONENCIA INVITADA: Bases de la populicultura mediterránea. *Gianni Facciotto.* CREA Centro di ricerca forestee legno Casale Monferrato Italia.

10:30 **Ensayo clonal de Populus en la Vega de Granada: resultados preliminares de supervivencia, crecimiento y desarrollo fustal. *Mª Ángeles Ripoll Morales*.** IFAPA Centro Camino de Purchil. Consejería de Agricultura, Pesca y Desarrollo Rural de la Junta de Andalucía.

10:45 **Crecimiento a medio turno de plantaciones madereras del clon Raspalje en suelo ácido en Galicia. *Roque Rodríguez Soalleiro.*** Universidad de Santiago de Compostela. Unidad de Gestión Forestal Sostenible.

11:00 *Pausa café*

11:30 **Adecuación de genotipos para la producción de biomasa en la meseta septentrional. *Nerea Oliveira.*** INIA-CIFOR. Departamento de Selvicultura y Gestión de los Sistemas Forestales.

11:45 **Promoción y difusión del sector de la populicultura: el portal del chopo en Castilla y León. *Ángel Manuel Sánchez Martín*.** Junta de Castilla y León.

Debate

12:30 Mesa "Mejora de servicios y funciones ambientales de plantaciones y bosques de ribera". Modera: Fernando Magdaleno Más. **Dirección General del Agua. Ministerio para la Transición Ecológica.**
PONENCIA INVITADA: Riberas y choperas: del conflicto a la oportunidad. *José Anastasio Fernández Yuste.* Universidad Politécnica de Madrid.

13:00 **El chopo como materia prima e instrumento medioambiental. *Irene de Bustamante*.** Universidad de Alcalá / iMdea Agua.

13:15 **En qué no pensamos cuando pensamos efectuar una plantación con chopos autóctonos. *María Aranzazu Prada Sáez*.** VAERSA.

13:30 *Comida y espacio expositivo*

PROGRAMA

15:00 **Diversidad genética de las poblaciones del género *Populus* en Castilla y León y su aplicación en las recomendaciones de uso.** ***Francisco Javier Tranque Pascual.*** Junta de Castilla y León.

15:15 **Selección de álamos blancos (*Populus alba* L.) para su uso en restauración de riberas.** ***Isabel González*.** INIA-CIFOR.

Debate

16:00 **Mesa "Utilización de la madera de chopo: presente y futuro". Modera: *Guillermo Hernanz*.** Garnica Plywood S.A.
Ponencia invitada: Utilización de la madera de chopo. ***Joris Van Acker*.** Universidad de Gante.

16:30 **Consumo de chopo por la industria en España: evolución y necesidades futuras.** ***Ignacio García Hernández*.** AEFCON.

16:45 **El tablero contrachapado de chopo: aplicación noble y mayoritaria para la madera procedente de plantaciones de chopo.** ***Alfonso Muñoz García.*** Garnica Plywood S.A.

17:00 **Cubiför-on-cloud , herramienta para cubicar y clasificar productos de madera y para calcular biomasa y carbono almacenado en las choperas.** ***Fernando Pérez*.** föra forest technologies.

17:15 **Oligómeros de quitosano: un polímero natural para la protección de madera de chopo.** ***Laura Ponce Herrero.*****Universidad de Valladolid.** Laboratorio de Tecnología de la Madera del Departamento de Ingeniería Agrícola y Forestal.

17:30 **Innovación en el chopo para nuevas aplicaciones.** ***Marco Andrés Sufrategui.*** Garnica Plywood S.A.

Debate

20:00 **Visita turística al centro de Valladolid.**

21:15 **Cena oficial. Inscripción previa obligatoria.**

JUEVES
18.10.2018

VISITA DE CAMPO

El programa del día comienza a las 7:30 h. con la salida desde el Museo de la Ciencia de Valladolid al Vivero de Villafer (León) para conocer la producción de planta de chopo, desde la gestión de campo de cepa madre a la comercialización de planta en vivero.

Próxima a Villafer, se visitará una plantación en la que se hará una demostración de aprovechamiento forestal, mostrándose actuaciones de corta (apeo, desramado, tronzado y apilado) y tratamiento de restos (astillado para aprovechamiento de biomasa). También se abordarán algunos de los requerimientos del mercado de calidad de madera.

La gestión se abordará en otra de las paradas de este viaje de campo, visitándose en Valencia de Don Juan una chopera particular ordenada, en la que se hablará de planificación de la repoblación, modelos selvícolas, tratamientos culturales y certificación.

Tras la comida, los participantes se desplazarán hasta Vega de Infanzones para conocer algunas de las técnicas que se están desarrollando en una parcela de experimentación de clones de chopo.

Los detalles sobre localizaciones y contenido técnico de las paradas se entregarán en la visita de campo.

PROGRAMA

VIERNES
19.10.2018

09:00 **Mesa "Políticas, Gestión sostenible y productividad".**
Modera: ***Carlos Villar Gutierrez de Ceballos.*** Junta de Castilla y León.
Ponencia invitada: Propietarios privados: dinamización del sector productivo. ***Patricia Gómez.*** COSE.

09:30 **Evolución de la planificación forestal de choperas y situación actual de la superficie ordenada y certificada de las choperas de producción en Castilla y León.** ***Lorenzo Rodríguez Martín.*** Junta de Castilla y León.

09:45 **Turno óptimo y rentabilidad en las choperas de Castilla y León y de la Rioja.** ***Luis Díaz Balteiro.*** Escuela Técnica Superior de Ingeniería de Montes, Forestal y del Medio Natural, UPM, Madrid.

10:00 **Superficie repoblada con chopo de producción en Castilla y León.** ***Rubén García Pérez.*** Sociedad Pública de Infraestructuras y Medio Ambiente de Castilla y León. Junta de Castilla y León

10:15 **Plantaciones policíclicas mixtas: nogales, chopos y biomasa de rotación corta.** ***Pier Mario Chiarabaglio.*** CREA Research Centre for Forestry and Wood.

Debate

11:00 **Pausa café**

11:30 **Mesa Redonda "El espacio de la populicultura entre los cursos fluviales y la agricultura".**
Modera: ***Cristina Carro.*** Programa Surcos. Radio Televisión Castilla y León.
Intervienen:
Sr. D. ***José Manuel Jaquotot Sáenz de Miera.*** Subdirector adjunto de Política Forestal. Dirección General de Desarrollo Rural y Política Forestal. Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación.
Sr. D. ***José Angel Arranz Sanz.*** Director General del Medio Natural. Consejería de Fomento y Medio Ambiente. Junta de Castilla y León
Sr D. ***José Manuel Jiménez Blázquez.*** Director General de Calidad y Sostenibilidad Ambiental. Consejería de Fomento y Medio Ambiente. Junta de Castilla y León.
Sr. D. ***Juan Miguel Villarroel García.*** **Asociación Forestal de Navarra.** Gerente.
Sr. D. ***Rafael Saéz González.*** Subdirector de Infraestructuras Agrarias del Instituto Tecnológico Agrario de Castilla y León. Consejería de Agricultura y Ganadería. Junta de Castilla y León.
Representantes de otras organizaciones.

13:00 **Conclusiones y clausura.** ***Sr. D. José Ángel Arranz Sanz,*** Director General del Medio Natural. Consejería de Fomento y Medio Ambiente. Junta de Castilla y León. ***Sr. D. José Manuel Jaquotot Sáenz de Miera,*** Subdirector General de Política Forestal. Dirección General de Desarrollo Rural, Innovación y Política Forestal. Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación.

ACTAS

19

Conferencia inaugural

La populicultura en Europa y España

KOLLERT, W.[1]

[1] Oficial forestal de plantaciones y Secretario de la Comisión Internacional del Álamo (CIA) en la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO) en Roma, Italia de 2009 a 2017 (jubilado).

Palabras clave
Recursos del chopo, mercados del chopo, producción de chopo, utilización, aplicaciones medioambientales.

1. Introducción

Los chopos, junto con otros árboles de crecimiento rápido, se han convertido en recursos importantes en la agricultura y la silvicultura, que son ideales para sustentar los medios de vida rurales, mejorar la seguridad alimentaria, aliviar la pobreza y contribuir al desarrollo sostenible. Proporcionan suministros de materias primas para procesamiento industrial (pulpa, papel, productos de madera de ingeniería, madera contrachapada, chapas y otros tableros, madera aserrada, cajas de embalaje, paletas, muebles y, cada vez más, bioenergía) y valiosos productos no madereros (por ejemplo, forraje para ganado, extractos medicinales , productos alimenticios).

Los chopos son muy apreciados por la provisión de servicios sociales y ambientales, que incluyen refugio, sombra y protección del suelo, el agua, los cultivos, el ganado y las viviendas. Se utilizan cada vez más en la fitorremediación de sitios gravemente degradados, la rehabilitación de ecosistemas frágiles, la lucha contra la desertificación y la restauración del paisaje forestal. Como especies de crecimiento rápido, son efectivas para secuestrar carbono y como sumideros de carbono, contribuyendo así a la adaptación y la mitigación de los efectos del cambio climático.

Este documento proporciona una visión general sobre la política y el marco técnico del cultivo del chopo en Europa y España, y pone a disposición datos estadísticos e información sobre los recursos y mercados del chopo en los países europeos.

2. Material y métodos

La Comisión Internacional del Álamo (CIA), un organismo estatutario técnico de la FAO compuesto por 38 países miembros, realiza encuestas cuatrienales entre sus miembros con motivo de las sesiones de la CIA que se organizan cada cuatro años. Los países miembros y algunos terceros países proporcionan a la FAO datos e información sobre la política y el marco técnico de los recursos y mercados del chopo en sus respectivos países. Los informes nacionales son compilados por la Secretaría de la CIA en informes de

síntesis que pueden descargarse de la página web de la CIA (http://www.fao.org/forestry/CIA/en/). La información proporcionada en este documento cubre 5 ciclos de informes a la CIA (2000, 2004, 2008, 2012, 2016).

Los datos sobre el comercio exterior con madera en rollo de chopo y madera aserrada (exportación e importación) no están cubiertos por las encuestas de la CIA. Sin embargo, están registrados en el Sistema Armonizado de Designación y Codificación de Mercancías de la Organización Mundial de Aduanas (en abreviado *Harmonized System*, HS) que aplican todos los países utilizando un código de seis dígitos disponible públicamente para capturar el comercio internacional de troncos y madera aserrada de chopo/álamo temblón.

Los datos presentados proporcionan una referencia útil para evaluar las situaciones y tendencias de los países y no hay información actualizada mejor disponible en este momento. Sin embargo, debemos ser conscientes de que también existen algunos inconvenientes en los conjuntos de datos proporcionados:
en general, hay una falta de estadísticas nacionales fiables a nivel de género que hace que sea difícil para los países informar sobre áreas forestales cubiertas por chopos, movimientos de madera de chopo y productos de madera de chopo;
no todos los países productores de chopo envían informes para las sesiones de la CIA, lo que resulta en muchos casos en una subestimación de los parámetros (por ejemplo, áreas, movimientos) en una magnitud considerable;
los países que informan a la Secretaría de la CIA son diferentes para cada ciclo de presentación de informes. En 2000, 24 países enviaron informes; en 2004, 21 países; en 2008, 19 países; en 2012, 21 países; y, en la última sesión en 2016, 24 países informaron. Este número variable de países informantes dificulta la observación de los acontecimientos a lo largo del tiempo, ya que es difícil establecer series de tiempo fiables a largo plazo.
en la mayoría de los casos faltan datos de producción y consumo para el chopo temblón como especie autóctona (*Populus tremula*), especialmente de países que no son miembros de la CIA (por ejemplo, los Estados bálticos). Esto nuevamente causa una subestimación de los volúmenes. Además, muchos países miembros de la CIA solo podían proporcionar datos sobre especies de chopos cultivados, volviendo a subestimar los volúmenes.
varios países registran el comercio exterior con chopo por separado del álamo temblón, por lo tanto, los datos informados se encuentran en el extremo inferior y subestiman el comercio exterior con la madera de chopo.

3. Resultados

3.1. Marco político y legal: los chopos y las políticas energéticas de la UE

En la Unión Europea (UE), las plantaciones de chopos fuera de los bosques se clasifican como cultivos agrícolas que pueden recibir subvenciones en virtud de la Política Agrícola Común (PAC). En este contexto, la provisión de incentivos o subvenciones fiscales por parte de la UE ha llevado en general a un interés creciente en el cultivo de chopos y otras especies de crecimiento rápido, ya que combinan una serie de objetivos políticos, entre ellos la biomasa y la producción de bioenergía. Las políticas energéticas y medioambientales europeas se centraron en los últimos años en los esfuerzos para mitigar el cambio climático, incluida la revisión de las estrategias nacionales para el desarrollo de energías renovables por parte de las compañías de calefacción y electricidad que estimularon el establecimiento de plantaciones de chopo de rotación corta (SRC). La mitigación del cambio climático mediante el aumento de los sumideros de carbono a través de la forestación y la reforestación proporcionaría buenas oportunidades

para el uso de especies de chopos de crecimiento rápido para el secuestro de carbono y un valioso recurso de madera para la industria de la madera.

Las plantaciones de SRC con especies de crecimiento rápido se establecieron en muchos países europeos que incluían el chopo, la robinia y el sauce. Esta tendencia se detuvo en 2012 y nuevamente en 2015/2016 cuando los precios del petróleo cayeron y los pobres resultados técnicos significaron que las plantaciones establecidas no eran financieramente viables. Esta situación se vio agravada por el hecho de que el desarrollo de la infraestructura y los mercados para el uso de la biomasa aún no se habían desarrollado completamente en algunos países, lo que ralentizó el desarrollo de la producción de biomasa leñosa para el sector de la bioenergía. Paralelamente, la capacidad generalmente reconocida de producción sostenible de biomasa por SRC no fue suficientemente respaldada por las regulaciones y políticas en la UE y los fondos de investigación para especies de árboles de rápido crecimiento en SRC se redujeron a medida que el interés comercial se desvaneció y los proyectos de investigación recientemente declarados ya no fueron aprobados. Como resultado, la superficie cubierta por plantaciones de chopos SRC está disminuyendo, en particular en Bélgica, Italia y Rumanía, debido a la competencia con otros cultivos agrícolas más rentables.

Sin embargo, básicamente continuó un gran interés en la biomasa de madera para bioenergía y varias universidades e instituciones de investigación han lanzado programas de investigación centrados en diferentes aspectos de las plantaciones SRC, como la formulación de directrices técnicas para la gestión sostenible de plantaciones de chopos, el desarrollo de usos innovadores para los chopos y la mejora genética de los clones de chopo, sauce y robinia con miras a aumentar el crecimiento, los rendimientos, la capacidad de monte bajo, la eficiencia del agua y el nitrógeno y con una mayor resiliencia a la salinidad, la sequía y las plagas.

3.2. Producción y cultivo

La superficie total de chopos informada por 14 países europeos en 2015 asciende a 800.000 ha, de las cuales 611.000 ha (76%) son chopos plantados. Los tres principales países europeos en chopo plantado son Francia (360 000 ha), España (144 500 ha) e Italia (134 300 ha).

De la superficie total de chopos, 609.000 ha (76%) sirven como recursos de madera para industrias forestales y producción de biomasa para bioenergía (madera en rollo industrial y leña) y 209.000 hectáreas (26%) proporcionan funciones principalmente ambientales y protectoras (suelos, agua, mitigar el cambio climático).
En algunos países europeos, la superficie de chopos ha aumentado notablemente desde 2004, en particular en Francia (+85.000 ha), Alemania (+36.000 ha) y España (+28.000 ha). Italia ha registrado una disminución en la superficie de 8.000 ha.

La gran mayoría de los chopos plantados en bosques y tierras agrícolas son híbridos, predominantemente cultivados en rotaciones cortas para la producción de biomasa. Los proyectos de investigación en varios países determinaron que el crecimiento de la biomasa depende significativamente de la fertilidad del suelo, el manejo silvícola y el suministro de agua. Además, se encontró que la competitividad de la producción de biomasa en las plantaciones de chopos de rotación corta depende en gran medida del precio de la energía convencional. Si los precios de los hidrocarburos se mantienen a un alto nivel durante más tiempo, es probable que la biomasa leñosa sea competitiva como fuente de bioenergía, particularmente si se puede lograr una racionalización de la producción, cosecha y transporte de plantas de vivero.

España informó en 2016 que la producción anual promedio de plantas de vivero de chopos fue de 1,1 millones, de las que el 60% correspondieron a Castilla y León. Los sistemas de producción de los viveros públicos incluyeron el semillado en bandejas forestales y también la obtención de plantones. La producción de vivero registrada en Castilla y León para clones de chopo incluyó: 'I-214' (61%), 'Beaupre' (14%), 'Raspalje' (12%), 'Unal' (9%) y 'MC' (3%). Estos cinco clones representaron el 99% de la producción de los viveros.

3.3. Genética, conservación y mejora

La genética, la conservación y la mejora de los árboles han sido fundamentales durante muchos años para las estrategias de la mayoría de los países en torno al cultivo del chopo. Los países miembros de la CIA informaron sobre sus esfuerzos para preservar los recursos genéticos de los chopos y su trabajo para mejorar los atributos de los materiales de plantación en términos de productividad, principalmente para biomasa y resistencia a plagas dañinas, al tiempo que consideran cuestiones de biodiversidad y bioseguridad. El proyecto paneuropeo "Pruebas de clones de chopo procedentes de Estados miembros de la UE para su uso en coyunturas de rotación corta" fue implementado por 22 instituciones asociadas en 13 países (Bélgica, Bulgaria, Croacia, República Checa, Francia, Alemania, Hungría, Italia, Rumanía , Serbia, Eslovenia, España y Suecia), con el objetivo de obtener la aprobación de clones en la categoría "controlada" para ayudar a comercializar clones de chopo de diferentes países de la UE. Un conjunto de 15 clones más 4-5 clones estándar se probaron en ensayos de campo.

Bélgica, Italia y España informaron sobre la evolución de los últimos 4 años en biotecnología para mejorar la adaptación al medio ambiente y la productividad de las plantaciones forestales para la producción de biomasa, incluido el cultivo in vitro, la transformación genética y el uso de métodos de análisis molecular.

La legislación sobre los materiales forestales de reproducción se ha modificado en muchos países, incluido el establecimiento y mantenimiento de registros nacionales de clones para el registro y la identificación de clones de chopo.

Los programas relativos a la modificación genética de los chopos continúan siendo activamente perseguidos; no lo son principalmente en países fuera de Europa, por ejemplo en China e India. Éstos Informan un progreso significativo en la caracterización genética y la manipulación para mejorar la resistencia a plagas, enfermedades y otras presiones, para mejorar las propiedades técnicas, así como el crecimiento y el rendimiento, en particular con el objetivo de la producción de biomasa.

La mayoría de los países informaron sobre sus esfuerzos para preservar los recursos genéticos de chopos y sauces. Indicaron que el flujo de genes de las plantaciones de chopos cultivadas puede tener profundos efectos en las poblaciones silvestres, incluido el riesgo de extinción de las especies silvestres de chopos. Los chopos cultivados pueden volverse invasores, reemplazando así las poblaciones de las especies silvestres mediante la asimilación genética. Sin embargo, la información sobre la hibridación entre las especies de árboles cultivados y sus parientes silvestres es limitada. En algunos países de la UE (Francia, Alemania, Serbia), la conservación y la gestión sostenible del chopo negro se ha integrado en las estrategias nacionales para la conservación de la biodiversidad y de los recursos genéticos forestales amenazados.

La República de Corea informó que se introdujeron 6 clones de Populus alba desde España para pruebas de tolerancia a la sal en ensayos regionales en diferentes hábitats. Los clones se propagaron mediante cultivo de tejidos y microestaquillado en 2015 y se sembraron en un vivero en el Instituto de Investigación

Forestal de Corea. Después de un año, las plántulas se plantarán en diferentes sitios para probar su tolerancia a la sal y a la sequía.

3.4. Protección del bosque

La mayoría de los países productores de chopo informan que el riesgo de brotes de plagas se ha incrementado notablemente debido a la expansión en el uso de chopos híbridos monoclonales junto con la ocurrencia de condiciones climáticas extremas. Las plagas y las enfermedades afectan a la salud y a la productividad de los chopos y han causado graves daños económicos en algunos países. Además, los chopos en muchos países estuvieron sujetos a un alto estrés hídrico a través de una alternancia de inundaciones frecuentes y pronunciados períodos de sequía con altas temperaturas, lo que resulta en altas tasas de mortalidad, notablemente en las plantaciones jóvenes.

Se informa que las plagas y enfermedades más frecuentes en las plantaciones de chopos son la roya de la hoja (*Melampsora* spp.), los chancros del tallo (*Septoria musiva*), la marsonina (*Marssonina brunnea*) y el barrenador del chopo y sauce (*Cryptorhynchus lapathi*). España informó que, entre los insectos que dañaron los chopos, se encontraban la mariposa blanca del chopo (*Leucoma salicis*), el taladro del chopo (*Paranthrene tabaniformis*), el pulgón lanígero del chopo (*Phloeomyzus passerinii*), el enrollador de hojas (*Archips xylosteana*) y la sesia (*Sesia apiformis*) .

3.5. Aprovechamiento y utilización

Los métodos tradicionales prevalecen en el aprovechamiento de plantaciones de chopos, aunque existe una tendencia creciente hacia la tala mecanizada. Las prácticas tradicionales incluyen la tala con motosierra, la saca mediante un tractor agrícola, el procesado de la madera en el sitio con una motosierra y la carga de troncos con una grapa montada en un camión o tractor. Los métodos mecanizados modernos utilizan una cortadora-apiladora para el apeo, desramado y apilado de los árboles, y la saca de los árboles por medio de una cargadora, que también carga el camión. En el sitio se realiza el astillado de los restos del aprovechamiento.

Es probable que la falta de reforestación con chopo en algunos países europeos en los últimos años se deba a los bajos precios del chopo y las restricciones reglamentarias (falta de condiciones propicias), incluida la eliminación de incentivos. Como resultado, las empresas privadas se enfrentarán a un déficit considerable en el suministro de chopos para 2020-2030, que afectará particularmente a aquéllas que requieren fustes de calidad para desenrollar. Es muy probable que esta situación se vea agravada por la mayor demanda de biomasa de madera para bioenergía.

La producción de madera (madera en rollo industrial, leña, biomasa) sigue siendo el principal objetivo del cultivo de chopos, con 609.000 ha reportadas de 14 países europeos, de los cuales 541.500 ha (89%) se destinan a la producción de madera en rollo industrial y 67.900 ha (11%) para leña y biomasa.
Se informa que alrededor de 209.000 ha de chopos, alrededor del 34% de la superficie para fines productivos, se utilizan para varios sistemas de protección y otros usos, de los cuales la mayoría (61%) consiste en chopos autóctonos. En este contexto, debe tenerse en cuenta que los países informantes no pueden asignar todas las superficies de chopo a un uso particular.

Los aprovechamientos totales de trozas (madera en rollo industrial) señalados por 9 países europeos para 2015 suman 4,9 millones de m^3 de chopo, de los cuales se estima que el 97% proviene de bosques

plantados. Este volumen corresponde al 1,4% del total de los aprovechamientos de madera en rollo industrial en la Unión Europea (350,7 millones de m³) y al 3,2% de los aprovechamientos de madera en rollo industrial no coníferas (153 millones de m³). Esto es una subestimación de varios millones de m³, ya que Austria, los países bálticos, la República Checa, Finlandia, Hungría y Polonia no están incluidos en los informes a la CIA.
La mayoría de las extracciones de troncos (42%) se utilizan para la producción de chapas y contrachapados, seguidas de la madera para pasta (25%), la madera aserrada (18%) y la leña (14%). Los principales productores de chopo son Francia (1,75 millones de m³), Italia (1 millón de m³) y España (0,89 millones de m³).

Productos forestales de madera de chopo. En la encuesta más reciente de la CIA (2015), sólo seis países pudieron proporcionar datos sobre los principales productos forestales de chopos. El volumen total medido en equivalentes de madera en rollo (r) se estimó en 3.3 millones de m³ (r), de los cuales la gran mayoría (97%) proviene de bosques plantados. Una vez más, esta es una subestimación bruta de varios millones de m³ (si no decenas de millones de m³), ya que los países bálticos, Bélgica, Hungría, Polonia y Serbia, todos los cuales se sabe que tienen una considerable producción de productos forestales de chopo, no proporcionaron ningún dato. En la encuesta anterior de la CIA (2011), quince países habían reseñado un volumen de 70,4 millones de m³ (r).

La madera contrachapada y la chapa aún representan la mayor parte de los productos de chopo con 1,1 millones de m³ (r) (34% de la producción total). Los productos restantes son leña y astillas (844.000 m³ (r) o 26%), madera aserrada (718.000 m³ (r) o 22%), pulpa de madera (460.000 m³ (r) o 14%), madera en rollo industrial (88.000 m³ (r)) o 2.7%) y paneles de madera reconstituidos (52.000 m³ (r) o 1.6%). Se informó que los dos principales productores de productos forestales de chopos eran Italia (1,11 millones de m³ (r), casi la mitad de ellos como leña) y España (1,08 millones de m³ (r), de los cuales el 73% son de chapa y madera contrachapada).

Las políticas de energía renovable aplicadas por muchos países europeos han despertado un enorme interés en la utilización de álamos para la producción de bioenergía. Por lo tanto, la leña y las astillas en 2015 representan la segunda porción más grande de productos forestales después de la chapa y la madera contrachapada. Esto representa un aumento considerable en comparación con el volumen de leña señalado por las encuestas de la CIA realizadas en 2007 (288.000 m³ reportados por 7 países) y 2011 (634.000 m³ reportados por 6 países).

Comercio internacional (exportación e importación). En general, los países informantes encontraron difícil obtener o estimar datos cuantitativos sobre el comercio internacional con chopos en ausencia de estadísticas comerciales fiables y precisas a nivel de género o especie. Por lo tanto, solo se puede reseñar un panorama incompleto y fragmentado de las importaciones y exportaciones de productos de chopo de la encuesta CIA 2011 que se complementan con algunos datos de EUROSTAT.

Italia, Bélgica, España y Serbia son los principales importadores de productos de madera de chopo procedentes principalmente de Francia y Hungría. Italia es el principal importador de madera en rollo de chopo (335.000 m³), seguida de Bélgica (224.000 m³). Se señalaron cifras similares en el informe de 2008, aunque las importaciones a Italia desde Francia parecen haber disminuido en ca. 120.000 m³. Italia importa también 193.000 m³ (r) de aserraderos de Hungría.

Bélgica, Rumanía, España y Serbia son los principales exportadores de madera de chopo. No hubo datos disponibles de Francia y Hungría. Bélgica exportó 44.000 m³ de madera en rollo industrial a China, Marruecos, Francia e Italia. Parece que el volumen de exportación de madera en rollo de Bélgica ha

disminuido considerablemente desde 2008 de 209.000 m³. Rumanía exporta 43.000 m³ (r) de tableros de partículas y de fibras a otros países de la UE y del Medio Oriente. Rumanía en 2008 notificó una exportación de 44.429 m³ de madera en rollo de chopo, que desde entonces parece haberse procesado localmente en productos forestales.

Las estadísticas aduaneras de EUROSTAT permiten obtener datos de exportación / importación de troncos de chopo y madera aserrada para la mayoría de los países europeos. Según los datos de EUROSTAT, el comercio internacional con troncos de chopo asciende a alrededor de 3,5 millones de m³ en los últimos años, lo que corresponde a menos del 5% de la producción mundial. Esto significa que la mayoría de la madera en rollo de chopo se procesa y usa localmente. Los volúmenes comercializados a nivel mundial aumentaron aproximadamente un tercio entre 2000 y 2015 debido al rápido crecimiento de las importaciones a Polonia y China. En 2015, la cantidad de importación de troncos de chopo fue de 3.6 millones de m³ y su valor ascendió a 176 millones de dólares USA. Estas cifras corresponden al 3% del volumen comercial total en el mundo (123,8 millones de m³). Europa, incluido Rusia, representa el 80% de las importaciones mundiales y el 90% de las exportaciones (2015). Los principales flujos comerciales son:
La madera de álamo temblón se exporta desde Rusia, Bielorrusia y los países bálticos a Escandinavia, Polonia, Alemania y Austria (1,5 millones de m³)
Las trozas de chopo de varios países europeos se exportan a Italia, Bélgica, Francia (0,5 millones de m³)
Los troncos de álamo temblón y la madera para pasta se exportan de Rusia a China (0,5 millones de m³)
Los Estados Unidos y Canadá representan el 10% del comercio internacional de troncos de chopo (principalmente comercian entre ellos)

3.6. Aplicaciones medioambientales

Los chopos plantados a menudo se perciben como que tienen un impacto negativo en el medio ambiente porque fueron plantados artificialmente y manejados intensivamente (a menudo en monocultivos) y susceptibles a insectos y enfermedades. Sin embargo, varios países europeos informan que las plantaciones de chopos y otros árboles de crecimiento rápido se consideran un uso ambientalmente racional de la tierra para aumentar rápidamente la cubierta forestal o para rehabilitar o restaurar paisajes forestales degradados y prevenir deslizamientos de tierras. Además, tienen un gran potencial en la captura de carbono y sumideros de carbono debido a su rápido crecimiento y alta productividad.

Muchos países se han comprometido a reducir sus emisiones de gases de efecto invernadero mediante diversas iniciativas, incluidas reducciones a través de proyectos de forestación y reforestación. Los cultivos agrícolas y las plantaciones de chopos se han comparado y evaluado como posibles sumideros de carbono. Se encontró que la plantación de chopos, como alternativa al cultivo agrícola, tiene una clara ventaja en el almacenamiento del exceso de CO2 atmosférico.

Los chopos se han utilizado ampliamente en muchos países para establecer barreras de protección y cortavientos para proteger los campos agrícolas y hortícolas y los huertos frutales, preservar las zonas costeras y ribereñas de amortiguación y controlar la erosión, el transporte de sedimentos y la desertificación.

El chopo negro (*Populus nigra* L.) y el chopo blanco (*Populus alba* L.) alguna vez fueron árboles dominantes en las zonas ribereñas de muchos países europeos. Se volvieron raros e incluso en peligro, especialmente en el caso del chopo negro europeo. Sus hábitats se utilizaron para el establecimiento de plantaciones de chopos más productivos, así como para otros fines como la agricultura, la urbanización y el control de inundaciones. En algunos países de la UE, la conservación y el manejo sostenible del chopo negro se ha

integrado en las estrategias nacionales para la conservación de la biodiversidad y de los recursos genéticos forestales amenazados.

Algunos países europeos, en particular Bélgica, Francia, Italia y Serbia, han llevado a cabo proyectos de investigación para investigar la capacidad de fitorremediación de los chopos y para evaluar su capacidad de crecer en suelos contaminados y absorber contaminantes. La experiencia adquirida con estos ensayos de investigación fue abrumadoramente positiva; sin embargo, la fitoremediación de los chopos aún se enfrenta a algunos obstáculos y, aunque la tecnología se ha probado con éxito en muchos países, las aplicaciones a gran escala siguen siendo limitadas.

4. Conclusiones

Los chopos muestran muchos atributos positivos. Tienen un papel clave en la provisión de madera y fibra para una amplia gama de productos forestales y son un recurso cada vez más importante para la producción de biocombustible. También contribuyen a la restauración de bosques degradados y tierras agrícolas y a la lucha contra la desertificación en entornos desafiantes, por ejemplo en sitios degradados y afectados por la sal. En Europa, los chopos representan más de 800.000 ha de bosques naturales y plantados, con una tendencia creciente, especialmente en Francia, Alemania y España, y una tendencia decreciente en Italia.

Los chopos son un recurso renovable significativo. La mayoría de los países europeos se ha comprometido a alcanzar el ambicioso objetivo de la Unión Europea de aumentar su participación en fuentes de energía renovables para el año 2030. El aumento de la demanda futura de madera como recurso renovable requiere bosques plantados adicionales o mejorados para retirar la presión de los bosques naturales y ayudar a restaurar paisajes degradados. El potencial para un mayor suministro de madera, tanto a través de la cría de árboles forestales y el cultivo mejorado de árboles de crecimiento rápido dentro y fuera de los bosques, aún no se ha utilizado plenamente. Con la inversión y capacitación necesarias para apoyar el cultivo de material vegetal adaptado al clima y adaptado a la calidad, por ejemplo. a través del fitomejoramiento y en las tecnologías de procesamiento, los chopos y otros árboles de rápido crecimiento podrían ser una fuente significativamente mayor de recursos renovables en el futuro.

Las inversiones en producción sostenible de leña conllevan riesgos. La producción de combustible de madera de las plantaciones de chopo puede desarrollarse como una opción factible y rentable para la producción sostenible de biomasa, en función de las tendencias de los precios del petróleo y las medidas de política forestal de apoyo. El combustible de madera de monte bajo de rotación corta (SRC) se compara favorablemente con fuentes de energía no renovables, dado su potencial ambiental y energético; sin embargo, para muchos inversores, el rendimiento comercial de SRC sigue siendo poco atractivo y conlleva varios riesgos. Por lo tanto, se requieren más inversiones e investigación en mejora para aumentar el rendimiento en combinación con una buena resistencia a la sequía.

El aumento de la demanda del mercado de productos de chopo y mejores datos de comercio. La producción de madera en rollo de chopo industrial en Europa se estima en casi 4,9 millones de m^3/año. La mayor parte de la madera en rollo de chopo se utiliza para producir paneles a base de madera (chapa, madera contrachapada, tableros de partículas y de fibras) y leña. La producción de madera en rollo y el comercio internacional parecen estar creciendo, y el valor de las importaciones globales de madera en rollo y madera aserrada supera actualmente los 300 millones de dólares USA por año. Recientemente, se han puesto a disposición datos comerciales más fiables sobre el chopo. El Sistema Armonizado (SA) de la Organización Mundial de Aduanas, utilizado por todos los países, desde 2017, proporciona un código de

seis dígitos disponible públicamente para documentar el comercio internacional de troncos de chopo y madera aserrada. Por lo tanto, los datos oficiales de exportación / importación de los registros de aduanas están disponibles para todos los países que comercian con madera de chopo.

Importancia del sector privado. En muchos países en desarrollo y desarrollados, las empresas privadas que comprenden gerentes de viveros, mejoradores de árboles, cultivadores, procesadores de madera y usuarios industriales son la fuerza que impulsa el desarrollo innovador de chopos, sauces y otros árboles de rápido crecimiento. Un ejemplo es la Asociación Europea del Chopo (ProPopulus) que fue fundada en 2008 por un conjunto de empresas privadas en Bélgica, Francia, Italia y España. Entre otros, se esfuerza por posicionar al chopo como materia prima estratégica para el siglo XXI, presentar una plataforma para el intercambio de información, proporcionar estadísticas fiables y monitorizar los problemas europeos relevantes para el sector del chopo.

5. Bibliografía

FAO; 2000. Synthesis of National Reports on Activities related to Poplar and Willow Areas, Production, Consumption and the Functioning of National Poplar Commissions. 21st Session of the International Poplar Commission, Portland, USA, 24-28 Sep. 2000.
http://www.fao.org/docrep/MEETING/004/AC348T/AC348T00.htm

FAO; 2004. The Contribution of Poplars and Willows to Sustainable Forestry and Rural Development. Synthesis of Country Progress Reports. 22nd Session of the International Poplar Commission, Santiago, Chile, 29 Nov. – 2 Dec. 2004. International Poplar Commission Working Paper CIA/3. Forest Resources Division, FAO, Rome. http://www.fao.org/forestry/CIA/69644/en/

FAO; 2008. Poplars, Willows and People's Wellbeing. Synthesis of Country Progress Reports. 23rd Session of the International Poplar Commission, Beijing, China, 27-30 Oct. 2008. International Poplar Commission, Working, Paper CIA/6. Forest Management Division, FAO, Rome
http://www.fao.org/forestry/CIA/69644/en/

FAO; 2012. Improving Lives with Poplars and Willows. Synthesis of Country Progress Reports. 24th Session of the International Poplar Commission, Dehradun, India, 30 Oct-2 Nov 2012. Working Paper CIA/12. Forest Assessment, Management and Conservation Division, FAO, Rome.
http://www.fao.org/forestry/CIA2012/en/

FAO; 2016. Poplars and Other Fast-Growing Trees - Renewable Resources for Future Green Economies. Synthesis of Country Progress Reports. 25th Session of the International Poplar Commission, Berlin, Federal Republic of Germany, 13-16 Sep 2016. Working Paper CIA/15. Forestry Policy and Resources Division, FAO, Rome. http://www.fao.org/forestry/CIA2016/en/

Mesa

Populicultura para la bioeconomía

31

Bases de la Populicultura mediterránea

FACCIOTTO, G.[1]
[1] CREA Centro di ricerca forestee legno Casale Monferrato Italia

Palabras clave
Chopo, modelos de cultivo, fertilización, poda, riego.

1. Introducción

En el área mediterránea, el uso de madera de chopo para uso de energía y construcción o producción de muebles tiene orígenes muy antiguos, especialmente en países pobres del bosque, donde esta planta es conocida como el "árbol bendito" (FAO, 1956). Hay indicios de uso de álamos reflejados por los escritores latinos, por ejemplo Plinio y Columela nos informan que fue utilizado como tutor de las vides por los campesinos de hace 2000 años atrás. El cultivo de álamos como lo entendemos hoy en día tiene orígenes más recientes y se remonta al siglo XIX como resultado de las crecientes demandas de las industrias madereras cada vez más numerosas y de mayor tamaño (Frison, 2011). En el transcurso de estos dos siglos la populicultura ha sufrido cambios considerables, ha pasado del cultivo de cepa (monte bajo) o de árboles descabezados (o trasmochos) para la producción predominante de leña o postes a plantaciones destinadas a la producción de madera aserrada para muebles, luego a celulosa para la fibra (rayón) o papel hasta la producción de madera contrachapada. En la segunda mitad del siglo pasado, en Italia, se estableció un modelo de cultivo, caracterizado por una densidad de más de 300 árboles por hectárea con un turno que puede variar entre 10 y 15 años.

A partir de este cultivo se obtuvieron troncos de los cuales se extrajo en las trozas basales con diámetros en punta de unos 25 cm destinados a contrachapado, otras trozas con diámetros de hasta 18-20 cm para la producción de aserrado (embalaje), trozas con diámetro de 10 cm en punta para la industria de papel y trozas con los diámetros en punta de 4 centímetros para la producción de tableros de partículas, el resto se quemaba generalmente en el campo. Cada sector contribuyó en diversa medida al valor de la planta. En cierta medida, sin embargo, la demanda de madera para producción de papel disminuyó, el material que se trituraba fue sustituido por madera reciclada, e incluso como resultado de la crisis económica mundial la demanda de madera de chopo se redujo.

Como resultado los precios del chopo han disminuido; mientras que los costes aumentaron como resultado la superficie cultivada ha disminuido y el modelo del cultivo era demasiado costoso. Hacia el final del siglo pasado y en los primeros años del presente siglo están surgiendo nuevas oportunidades para este cultivo, como el uso de energía (astillas y biocombustibles de segunda generación), un renovado interés en la producción de papel hasta material para la producción de paneles OSB de álamo para uso estructural. Ahora, lentamente, la industria se está recuperando y los precios de la materia prima al menos en Europa meridional están aumentando (Coaloa, 2018). Actualmente en países limítrofes del Mediterráneo: Egipto, Marruecos, España, Francia, Italia, Eslovenia, Croacia y Turquía, hay 609000 ha de plantaciones de chopo de las cuales 544000 ha son para uso industrial, 11.000 ha son para uso

energético y el resto son para protección medioambiental u otros usos (FAO 2016). Las plantaciones de producción, ahora altamente mecanizadas, se cultivan actualmente de tres maneras diferentes según el uso final. Para la producción de troncos para contrachapado, las densidades varían de 200 a 400 árboles por hectárea con turno de cultivos que generalmente varían entre 8-10 años en las zonas más fértiles, hasta 15-20 años en las zonas más frías, mientras que para las plantas destinadas a la producción de trozas para embalaje o celulosa, las densidades aumentan hasta 700-1.700 árboles por hectárea y los turnos se reducen a 4-6 años.

Finalmente, en plantaciones destinadas sólo a la producción de astillas para energía, aumentan las densidades, entre 5.600 y 10.000 o más plantas por hectárea, y los turnos se reducen a sólo 2-3 años. (Bergante et al., 2010; Facciotto et al., 2011, Sixto et al., 2010). La elección de la densidad debe hacerse teniendo en cuenta las características de la estación (clima, suelo), el clon y el turno de corta, la menor densidad se usará en suelos menos fértiles (Frison y Facciotto, 1993). Las técnicas para establecer estas plantaciones y el manejo que se van a adoptar son, por supuesto, diversificadas, así como la elección de híbridos y clones de chopo, de acuerdo a las características tecnológicas requeridas por los usuarios finales. A continuación se describen de manera concisa los principales tratamientos culturales aplicados en Italia al cultivo del chopo.

2. Requerimientos de suelo y clima

Los sitios más adecuados para el cultivo de chopo, árbol que requiere agua, son los terrenos aluviales o de llanuras caracterizadas por la buena fertilidad y disponibilidad de agua; Por el contrario, no se recomiendan los suelos con baja disponibilidad de agua, hidromórfico, con alta caliza activa (más del 10%) y/o salino (Frison y Facciotto, 1992), en los que todas las operaciones de cultivo, incluidas las intervenciones de protección fitosanitaria, no son muy eficaces y no hacen viable económicamente la producción de madera. Para el cultivo del chopo es preferible terrenos con profundidades de más de 50 cm, permeables, con buena disponibilidad de agua (el nivel de aguas subterráneas se considera óptimo a 150-200 cm de profundidad), caracterizado por texturas arenoso-limosa y arenoso-arcillosas, no excesivamente sueltos o compactos, de perfil uniforme y pH de subácido a moderadamente alcalino.

En estas condiciones también es posible limitar los estrés inducidos por muchos parásitos primarios y la aparición de fisiopatias (' manchas marrones ') (Vietto y Giorcelli, 2000).. Las especies de chopos y los híbridos más cultivados, aunque sean capaces de adaptarse a los diferentes ambientes de cultivo, requieren temperaturas medias anuales entre 8,5 y 17 °C y las precipitaciones anuales promedio superiores a 700 mm, si son más bajas el riego es necesario por lo menos durante el período de verano (Corona et al., 1992).

3. Plantación

Las nuevas plantaciones destinadas a la producción de madera contrachapada pueden realizarse con varetas de uno o dos años de vivero, mientras que para las plantaciones de turno corto (4-6 años) se pueden utilizar trozos de varetas de 1,5-2 m de longitud. El material debe estar en reposo vegetativo, se deben evitar los períodos de heladas más intensos que puedan dificultar la apertura y el cierre correcto de

las yemas. La capacidad de enraizamiento del material vegetal es uno de los requisitos fundamentales para el éxito de una plantación de los chopos, está vinculada a factores genéticos (especies y clones) pero también a la interacción con el medio ambiente (suelo, clima) (Zalesny et al., 2005). En los casos en que se prevea el uso de clones de Populus × canadensis Mönch, que generalmente se caracterizan por una elevada capacidad de enraizamiento, las plantaciones pueden ser constituidas durante toda la temporada de reposo vegetativo (a partir de la caída de las hojas hasta principios de primavera). El uso de clones de la especie P. deltoides Bartr. u otro fenotípicamente similar, hace imprescindible hacer la plantación al final de la estación invernal, porque comparada a los híbridos de P. ×canadensis tienen mayores dificultades de enraizamiento y se deshidratan más fácilmente. Para facilitar el establecimiento de las plantas de P. deltoides para obtener una conformación del follaje más regular, en lugar de recurrir a varetas de dos años de vivero, es preferible utilizar varetas de un año de vivero, obtenida directamente de estaquilla o de cepa. En cualquier caso, es una buena idea minimizar el período entre la cosecha del vivero y la plantación. Antes de la plantación, es recomendable poner en el agua las varetas (total o los trozos basales) durante al menos diez días.
Una preparación cuidadosa del suelo es imprescindible para plantar el chopo; es necesaria la labor de arado hasta 30-50 cm, posiblemente combinado con las labores de subsolado hasta 70-120 cm, evitando el transporte superficial de terreno con características químicas o físicas desfavorables (Facciotto, 1998). Para los suelos limo-arcillosos es recomendable arar cuando el suelo tenga tempero, preferiblemente en otoño (Colorio et. al., 1996).

Las varetas se plantan a una profundidad igual a una quinta parte de su altura (por lo menos 80 cm para varetas de un año y 120 cm para los de dos años); El diámetro del hoyo debe ser normalmente alrededor de 30 cm. En suelos con textura gruesa y con poca capacidad de agua se pueden utilizar ahoyados con diámetros más pequeños (hasta 10 cm) y es posible aumentar la profundidad de plantación hasta llegar a la capa freática permanente (máximo 300-400 cm). En suelos finos o moderadamente finos, es útil abrir hoyos de más de 30 cm de diámetro con el fin de promover el enraizamiento y la expansión del aparato radical. Los hoyos se abrirán en el período noviembre-diciembre, para permitir a los agentes atmosféricos desmoronar la superficie de la pared lateral compactada por la acción de la barrena (Stanturf y van Oosten, 2014).

Para las plantaciones densas que preven el uso de trozos de varetas, la plantación puede realizarse con una máquina de trasplante hasta la profundidad de unos 50 cm; para las realizadas con estaquillas, se pueden utilizar las mismas máquinas utilizadas en vivero o otras máquinas especialmente hechas para cultivos de chopo de corta rotación (Manzone et. al., 2014).

4. Abonos

En áreas sensibles con buena disponibilidad de agua y caracterizadas, como sucede con frecuencia, por suelos sueltos, profundos y frescos, es posible conseguir buenas producciones leñosas limitando la contribución de los abonos minerales. La fertilización, sin embargo, resulta aconsejable en los suelos con textura gruesa, o en los que se caracterizan por pH ácido, baja capacidad de intercambio y con deficiencias de nutrientes (Facciotto, 2011). Recientemente, la microbióloga de la Universidad de Washington, Sharon Doty, junto con su equipo, ha demostrado que los álamos cultivados en terrenos empedrados a lo largo del río Snoqualmie (WA, USA) tienen colonias de bacterias endófitas diazotróficas dentro de ellas, microorganismos que fijan nitrógeno gaseoso atmosférico en una forma biológicamente útil para el crecimiento de los árboles (Doty et al., 2016). Estos estudios establecen el escenario para un futuro en el que la agricultura y la silvicultura pueden prescindir de fertilizantes químicos. Sin embargo, para evitar el empobrecimiento del suelo, es necesario recurrir periódicamente a la fertilización, en forma

orgánica o mineral, con cantidades como para restaurar al suelo al menos las cantidades de nutrientes retiradas por la corta del chopo.

Para la creación de nuevas plantaciones es recomendable seguir las indicaciones dadas en los mapas del suelo y/o utilizar el análisis químico del suelo, preparatorio para la planificación de las intervenciones. El abonado de fondo no debe incluir el nitrógeno excepto la contribución de los abonos orgánicos. Las entradas de fósforo (P2O5) y potasio (K2O) no deben exceder las dosis previstas en las especificaciones de producción. La distribución del nitrógeno en cubierta puede realizarse en aplicaciones localizadas en la proyección del follaje del árbol durante los 2 °, 3 ° y 4 ° año a partir de la plantación. Las fertilizaciones del fosfato y del potasio se pueden llevar en la cobertura durante los primeros cuatro años, por ejemplo usando abonos químicos ternarios o complejos.
Durante el turno, puede realizarse la distribución, de abonos orgánicos, incorporados con el gradeo, excluyendo el período agosto-septiembre y en los meses de invierno.

5. Poda

La poda en plantas para la producción de madera para el contrachapado está destinada a obtener tronco sin nudos perfecto para el desenrollo. La altura de la poda es proporcional a la densidad de la plantación y a la longitud del turno previsto; es suficiente la poda hasta un máximo de 7 metros de altura para obtener trozas de calidad satisfactoria. Generalmente, las ramas que se van a eliminar son sobre todo las que forman por parte de las varetas y sólo en menor número las que difieren en la parte del tronco que corresponde a los incrementos en altura del primer y segundo año después de la plantación (Facciotto, 2014). Para lograr la más alta calidad tecnológica de la madera, deben eliminarse las ramas más comprometedoras, es decir, las que rodean el ápice. En los dos primeros años de cultivo, deben eliminarse los picos dobles y las ramas urgentes (poda de corrección y formación); En los años siguientes, las ramas laterales deben cortarse hasta 5-7 m del suelo (poda de limpieza).

Las operaciones de poda se realizan normalmente durante el periodo de descanso vegetativo. Sólo en el caso del uso de los clones de P. deltoides, que tienden a producir una corona de ramas más desordenada, en suelos muy fértiles puede ser recomendable anticipar la primera poda de formación a comienzos del verano de la primera estación vegetativa.

6. Riego

La irrigación, como la fertilización es una práctica costosa en términos de energía y sobre todo económica, es por lo tanto aplicable como una intervención de socorro en el primer año de cultivo para permitir el establecimiento de árboles jóvenes o en el marco de modelos de cultivo intensivo cuando las capa freatica no son alcanzables por las raíces con el fin de evitar ralentizaciones o paradas de crecimiento durante el período de actividad vegetativa más intensa.

El consumo de agua puede ser estimado por referencia a la cantidad de agua necesaria para procesar la unidad de materia seca. En el caso del clon de Populus × canadensis ' I-214 ' se determinó experimentalmente, en el CREA-FL, que se necesitan aproximadamente 350 litros de agua para producir 1 kg de materia seca (AA. VV, 2006); La multiplicación de 350 litros por el aumento de peso anual presumido de materia seca determina el requerimiento anual de agua de la plantación. Otros clones pueden requerir cantidades más pequeñas de agua pero este valor puede considerarse como referencia (Navarro et al., 2014).

Se pueden seguir varios criterios para establecer el momento de intervención; a menudo se hacen observaciones resumidas, a nivel de planta, terreno y tendencias climáticas estacionales; los mejores resultados se obtienen con la ayuda de sensores de humedad del suelo o con el cálculo de la cantidad evapotranspirada a partir de los datos climáticos detectados en el lugar. Los métodos de irrigación más comunes son esencialmente dos: por gravedad (a manta, por regueras, etc.) y por aspersión; recientemente han sido probados también los sistemas de irrigación por goteo, lo que permite un uso racional del agua, evitando los desechos por escorrentía o percolación en la capa freática del suelo que se tiene con el sistema a manta o la humectación del follaje del árbol en los primeros años de la plantación causada por el sistema aspersión, que puede favorecer el desarrollo de los parásitos foliares como las royas (Melampsora spp).

La elección del método depende de la disposición del terreno, de la disponibilidad de agua y de los equipos suministrados a la empresa. El método por gravedad requiere grandes caudales (800 m3 ha-1 aprox.) y encuentra una limitación en suelos suelto o con pendiente. El método por aspersión requiere volúmenes más bajos (300-400 m3 ha-1) y se puede utilizar en suelos con pendiente. El metodo por goteo es el más versátil, minimiza los volúmenes de agua y con la automatización también la fuerza de obra; sin embargo, los costes de material e instalación, mientras se reducen en comparación con el pasado, permiten el uso sólo en cultivos de alto input donde las producciones volumétricas esperadas pueden exceder los 30 m3 ha-1 año-1.

7. Control de las malas hierbas

En la primera mitad del turno, con el fin de mejorar la estructura y la permeabilidad de la capa activa del suelo y para el control de las malezas, el gradeo del suelo realizado con grada de discos es de suma importancia. En suelos pesados se permite proceder hasta dos subsolados. La labor de arado, necesario para evitar el estancamiento del agua, debe realizarse en el período de otoño.

En la segunda mitad del turno no hay efecto positivo del gradeo sobre el crecimiento de los árboles, por lo que pueden ser reducidos en número o sustituidos por 1-2 intervenciones de trituración de la vegetación espontánea. El control de la hierba, por desbroce o trituración, en comparación con el gradeo tradicional se recomienda en caso de suelos pesados y húmedos, para evitar la formación de la suela de mecanizado (Facciotto, 1998).
Para plantaciones de mayor densidad, el laboreo del terreno es aconsejable y practicable sólo en los dos primeros años, con intervenciones mecánicas por grada de discos o trituración.

8. Consideraciones finales

Además de los tres modelos descritos anteriormente están volviendo a tener interés las plantaciones en hileras (Agroforestry y Alley coppice) donde se cultivan álamos y otras especies arbóreas y arbustivas con cultivos agrícolas o de biomasa (Paris et al., 2014; Facciotto et al., 2015). Finalmente, en Italia se encuentra también en experimentación avanzada el modelo denominado ' Plantaciones policíclicas permanentes ' que prevé plantación mixta de árboles de especies con turno de 30-40 o más años (nogal, cerezo etc.) con chopos a su vez con turno de 8-10 años y árboles o arbustos cortado cada 3-5 años para la producción de astillas para energía.

Todos los modelos están naturalmente orientados a un cultivo ecológicamente disciplinado y sostenible y por lo tanto se se utilizan los clones tolerantes a enfermedades foliares y técnicas de cultivo con reducción del uso de pesticidas y fertilizantes químicos (Coaloa et al., 2016).

Durante los próximos años aumentará el uso de la madera de las plantaciones artificiales porque, por razones de salvaguardia ambiental, se requerirá reducir el uso de madera de los bosques naturales. En áreas con régimen climático mediterráneo y con disponibilidad adecuada de agua como las cuencas fluviales, el cultivo arbóreo más adecuado es sin duda la Populicultura por la facilidad de propagación vegetativa, por los modelos de cultivo bien conocidos en todos los países, por los beneficios medioambientales (reducción de CO2, fitorremediación etc.) y también por la presencia de una cadena industrial especializada y altamente desarrollada.

9. Bibliografía

AA.VV.; 2006. Pioppicoltura: produzioni di qualità nel rispetto dell'ambiente. Online: www.populus.it

BERGANTE, S.; FACCIOTTO, G.; MINOTTA, G.; 2010. Identification of the main site factors and management intensity affecting the establishment of short-Rotation-Coppices (SRC) in Northern Italy through Stepwise regression analysis. *CEJB* [1895-104X (Print) 1644-3632 (Online)]. 5: 4 522-530 [En]

COALOA, D.; 2018. Pioppo, risalgono I prezzi e l'interesse degli agricoltori. Arboricoltura-Un'analisi del mercato italiano condizionato dall'import di grezzo. *Terra e Vita*, 9 (6) 56-56.

COALOA, D.; FACCIOTTO, G.; CHIARABAGLIO, P.M.; GIORCELLI, A.; NERVO, G.; 2016. Cloni di pioppo a Maggior Sostenibilità Ambientale (MSA). *SHERWOOD- Foreste ed Alberi Oggi* (216) 31-34 [It]

COLORIO, G.; BENI, C.; FACCIOTTO, G.; ALLEGRO, G; FRISON, G.; 1996. Influenza del tipo di lavorazione preimpianto su accrescimento e stato sanitario del pioppo. *L'Informatore agrario* 52: (22) 51-57 [It]

CORONA, P.; FACCIOTTO, G.; MARIANO, A.; 1992. Schede colturali orientative relative ad alcune specie impiegabili in arboricoltura da legno. In: Arboricoltura da legno in collina e montagna. Bologna; Edagricole. 143-167 [It]

DOTY, S.L.; SHER, A.W.; FLECK, N.D.; KHORASANI, M.; BUMGARNER, R.E., KHAN, Z,, et al.; 2016. Variable Nitrogen Fixation in Wild Populus. *PLoS ONE* 11(5): e0155979. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0155979 [En]

FACCIOTTO, G.; 1998. Le lavorazioni del suolo in pioppicoltura. *SHERWOOD - Foreste ed Alberi Oggi* (31) 39-44 [It]

FACCIOTTO, G.; 2011.Concimazione e irrigazione del pioppeto per produzione di biomassa. In: Lo sviluppo delle colture energetiche in Italia. Il contributo dei progetti di ricerca SUSCACE e FAESI. 79-88 [It]

FACCIOTTO, G.; 2014. La potatura del pioppeto. In: Qualità e sostenibilità ambientale della pioppicoltura in filiere legno-energia. Regione Lombardia, Quaderni della ricerca 27-35 [It]

FACCIOTTO, G.; MINOTTA, G.; PARIS, P.; PELLERI, F. 2015. Tree farming, agroforestry and the new green revolution, a necessary alliance. In: Proceedings of the Second International Congress of Silviculture. Florence, November 26th - 29th 2014. vol.2: 658-669 [En]

FACCIOTTO, G.; PIAGNANI, C.; BERGANTE, S.; BASSI, D.; FERLENGHI, G.; 2011. Modelli colturali per produzioni legnose in pianura. *Quaderni della ricerca. Regione Lombardia.* n. 127, pp 32 [It]

FAO; 1956. Les Peupliers dans la production du bois et l'utilisation des terres. Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture. Forêts (Division). Commission internationale du peuplier (Rome) Etudes des forêts et des produits forestiers, pp 525. [Fr}

FAO; 2016. Poplars and Other Fast-Growing Trees - Renewable Resources for Future Green Economies. Synthesis of Country Progress Reports. 25th Session of the International Poplar Commission, Berlin, Federal Republic of Germany, 13-16 September 2016. Working Paper IPC/15. Forestry Policy and Resources Division, FAO, Rome. [En} http://www.fao.org/forestry/ipc2016/en

FRISON, G.; 2011. Storia del pioppo. [It], in: www.giuseppefrison.it

FRISON, G.; FACCIOTTO G.; 1992. Possibilities of poplar cultivation in acid, saline and calcareous soils. .XIX Session FAO/IPC, Zaragoza 1992. 46 pp. [En, Fr]

FRISON, G.; FACCIOTTO, G.; 1993. La densità d'impianto e i suoi riflessi produttivi in pioppicoltura. Verona; Ed. L'informatore Agrario. 30 pp. [It]

MANZONE, M.; BERGANTE, S.; FACCIOTTO, G.; 2014. Energy and economic evaluation of a poplar plantation for woodchips production in Italy, *Biomass & Bioenergy* 60, 164–170.[En]

NAVARRO, A.; FACCIOTTO, G.; CAMPI, P.; MASTRORILLI, M.; 2014. Physiological adaptations of five poplar genotypes grown under SRC in the semi-arid Mediterranean environment; Springer-Verlag GmbH, Berlin, Germany, *Trees: Structure and Function*, Vol. 28, No. 4, pp. 983-994. [En}

PARIS, P.; FACCIOTTO,G.; BERGANTE, S.; TOSI, L.; MINOTTA, G.; BIASON, M. 2014 Innovative alley coppice Systems-mixing timber and bioenergy woody crops: 7 years growth and ecophysiological results in experimental plots in northern Italy, Po Valley. In: *Proceedings of the 11th European IFSA Symposium*, 1-4 April 2014, Berlin, Germany. 1968-1975 [En]

SIXTO BLANCO, H.; HERNÁNDEZ GARASA, J.; CIRIA CIRIA, P.; CARRASCO GARCÍA, J.E.; CAÑELLAS REY DE VIÑAS, I.; 2010. Manual de cultivo de Populus spp. para la producción de biomasa con fines energéticos. INIA, pp 60 [Es]

STANTURF, J. A.; OOSTEN, C. van; 2014. Operational poplar and willow culture. In Isebrands, J. G.; Richardson, J.; CABI, Wallingford, UK, Poplars and willows: trees for society and the environment, pp. 200-257 [En]

VIETTO, L.; GIORCELLI, A.; 2000. Le malattie del pioppo. Bologna; Calderini-Edagricole. 83 pp. [It]

ZALESNY, R.S.JR.; RIEMENSCHNEIDER, D.E.; HALL, R.B.; 2005. Early rooting of dormant hardwood cuttings of *Populus*: analysis of quantitative genetics and genotype x environment interactions. *Canadian Journal of Forest Research*, 35 (4): 918-929. [En]

Adecuación de genotipos para la producción de biomasa en la meseta septentrional

OLIVEIRA, N.[1]; DE LA IGLESIA, J.P.[1]; VISCASILLAS, E.[1]; BACHILLER, A.[1]; PARRAS, A.[1]; GONZALEZ, I.[1]; OTERO, J.M.[2]; GRAU, J.M.[1]; CAÑELLAS, I.[1]; SIXTO, H.[1]

[1] Departamento de Selvicultura y Gestión de los Sistemas Forestales. INIA-CIFOR. Ctra. A Coruña, km 7,5; 28040 Madrid
[2] Iberdrola Renovables. c/ Tomas Redondo 1, 28033 Madrid

Palabras clave
Híbridos de Populus spp, biomasa, selección de material, turnos de corta.

1. Introducción y objetivos

La biomasa procedente de cultivos forestales, y en particular de las especies e híbridos de *Populus,* se identificó hace una década como una vía de necesaria exploración para incrementar las fuentes de materia prima a partir de las cuales producir electricidad de origen renovable. El marco general de ese interés se sustentaba en la necesidad de adoptar medidas de evitación del cambio climático (IPCC, 2014) al mismo tiempo que se generaba una oportunidad de desarrollo económico muy significativa en el medio rural.

Este interés estaba alineado también con las múltiples iniciativas que en el mismo sentido se desarrollaban tanto en Europa como en el resto del mundo. Prueba de ello es la relevancia que la investigación sobre diferentes aspectos ligados a la producción y caracterización de biomasa fue ganando dentro de la Comisión Internacional del Álamo. Los resultados se concretan en cientos de publicaciones que abordan la adecuación del chopo para la producción de biomasa, mostrando avances en la selección de material vegetal tanto en Europa (Bergante *et al.*, 2010; Sabatti *et al.*, 2014; Verlinden *et al.*, 2015) en el resto del mundo (Guo and Zhang, 2010; Wang and MacFarlane, 2012), en el diseño del cultivo (Nassi O Di Nasso *et al.*, 2010), los tratamientos culturales para su correcto desarrollo (Green *et al.*, 2003; Tubby and Armstrong, 2002), la necesaria mecanización (Santangelo *et al.*, 2015; Spinelli *et al.*, 2009), o las característica de la biomasa para diferentes aplicaciones, que van desde las energéticas (Sannigrahi *et al.*, 2010; Zamora *et al.*, 2013) hasta la obtención de otros bioproductos (Dai and McDonald, 2013). La adecuación del cultivo para usos que tienen que ver con servicios ecosistémicos está también ganando en relevancia, y en este sentido el cultivo muestra su adecuación en diferentes fitotecnologías como la fitoremediación (Romeo *et al.*, 2014) recuperación de minas (Bungart and Hüttl, 2004), o de vertederos (Laureysens *et al.*, 2004), entre otros.

La biomasa obtenida a partir de cultivos forestales presenta características de oportunidad propias. Por un lado su disponibilidad espacio-temporal puede contribuir de manera importante a la estabilidad del suministro en determinadas zonas que así lo requieran. Por otro, la homogeneidad en cuanto a las características intrínsecas de la biomasa son también factores a tener en cuenta. Además el impacto en el medio rural puede ser relevante en la medida que supone alternativas a cultivos excedentarios bajo escenarios territoriales concretos, lo que puede incidir en el empleo en el ámbito rural. No obstante, es necesario estar alerta a que su desarrollo se contemple considerando criterios de sostenibilidad en el sentido más amplio.

Los cultivos tradicionales en la meseta septentrional son los cereales de secano y la vid (con presencia de numerosas bodegas), y lo fue también la remolacha (con implantación desde los años 50 de una fábrica azucarera de gran tamaño). En el año 2009, con motivo de las restricciones europeas que obligaban a España a reducir su producción de azúcar en un 50%, la empresa propietaria de la azucarera se vio forzada a parar la producción. Se produjo por tanto el cierre de un motor industrial muy importante en la zona, con más de medio siglo de actividad, que empleaba a 200 personas de forma directa y alrededor de 400 de forma indirecta. Fue entonces cuando la biomasa, materia prima necesaria para una planta de producción de energía prevista en la zona, se convirtió en una oportunidad y se consideró una alternativa generadora de riqueza y respetuosa con el medio ambiente, que podría además suponer una alternativa para determinados agricultores. Esta biomasa se preveía obtener tanto de aprovechamientos de residuos forestales de la zona, lo que contribuiría a la evitación de incendios, como a la utilización de cultivos forestales en turno corto, favoreciendo la estabilidad del suministro y, como se ha mencionado, constituyendo una nueva opción a considerar para las tierras de cultivo.

En línea con lo expuesto, el objetivo general era conocer la productividad potencial del cultivo de chopo en alta densidad en zonas concretas del territorio con características de suelo y clima específico, y en cualquier caso próximas a la zona donde se preveía la instalación de plantas de biomasa. La iniciativa, pretendía también identificar las barreras que desde el punto de vista de manejo resulten limitantes. En concreto, el objetivo del presente trabajo es realizar una caracterización del material vegetal de híbridos de chopo y sauce a lo largo de dos turnos de cultivo.

2. Material y métodos

Material Vegetal

El material vegetal empleado fueron los clones 'I-214', 'AF2', 'Oudenberg' y 'Dorskamp' de *P. ×euramericana (*Dode) Guinier, 'Grimminge' de *P. ×interamericana* Van Broekhuizen y el híbrido de *Salix trianda* L. × *Salix viminalis* L., 'S04'.

Algunos de los clones incluidos en el ensayo procedían de programas de mejora europeos (Geraardsbergen en Bélgica o Alasia New clones en Italia) dirigidos a la obtención de materiales para su uso en la producción de biomasa. Tal es el caso de los clones 'AF2', 'Oudenberg', 'Grimminge' y 'S04'. Como clon testigo o control se eligió el 'I-214'. Este es el clon más utilizado en la Populicultura mediterránea tradicional y presenta una gran adaptabilidad a diferentes ambientes. Por su parte el clon 'Dorskamp' ha manifestado una tendencia natural a la abundante ramosidad, lo cual, si bien puede suponer un inconveniente para su uso en la producción de chapa, podría ser una ventaja para la obtención de biomasa, al estar la abundancia de ramas silépticas fuertemente correlacionada con la producción (Ceulemans *et al*., 1990; Rae et al., 2004). Por otro lado, la utilización de los sauces para la obtención de biomasa es novedosa en nuestro país, y en general en ambientes mediterráneos, existiendo pocas iniciativas que lo hayan contemplado en estos ambientes (Sixto *et al.*, 2015).

Suelo y Clima

Las características de clima correspondientes al sitio de estudio se describen en la Tabla 1. Es de destacar que las temperaturas mínimas absolutas están por debajo de los 0ºC durante ocho meses (octubre-mayo), lo que reduce la longitud del periodo vegetativo óptimo. Este probable periodo de heladas puede ocasionar daños en la parte aérea de las plantas, siendo el momento de la brotación y de fin del periodo vegetativo los momentos más sensibles.

Tabla 1. Principales características del clima en el periodo de estudio (2011-2017)

	T máx abs ºC	T mín abs ºC	T media	Precipitación
Enero	15,3	-7,1	4,3	34,52
Febrero	19,2	-7,5	4,4	26,16
Marzo	23,7	-4,6	7,9	35,48
Abril	28,1	-2,4	10,9	43,88
Mayo	33,3	-0,6	14,0	16,84
Junio	36,7	2,6	18,1	22,1
Julio	37,8	6,4	21,1	14,68
Agosto	37,7	4,9	20,9	3,4
Septiembre	33,2	1,9	17,5	20,85
Octubre	29,4	-3,6	13,4	34,05
Noviembre	23,1	-7,5	8,2	42,15
Diciembre	17,7	-8,9	4,8	21,88
MEDIAS GLOBALES	37,8	-8,9	12,1	315,99

El balance hídrico realizado a partir de datos relativos a la precipitación y evapotranspiración en la zona de ensayo en los últimos veinte años (Figura 1), pone de manifiesto la existencia de un periodo durante el cual se produce estrés hídrico (junio a octubre), siendo por tanto necesaria la aplicación de riego.

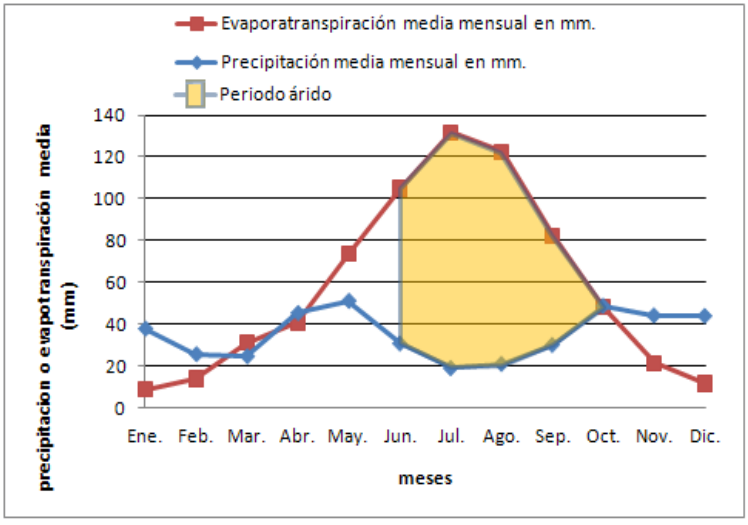


Figura 1. Balance hídrico de la precipitación y evapotranspiración potencial de las medias en la estación.

Con relación al suelo, la Tabla 2 muestra los valores medios de los análisis obtenidos en 4 puntos de muestreo a lo largo de la parcela en la que se realizó la plantación para las variables más relevantes. La metodología seguida en los diferentes análisis se muestra en la Tabla 3.

Tabla 2. Valores medios de los parámetros edáficos más relevantes: Textura, pH, C.E. (conductividad eléctrica), M.O. (materia orgánica), $CaCO_3$ y caliza activa

ARCILLA (%)	LIMO (%)	ARENA (%)	pH H_2O (1:2,5)	C.E. (1:2,5)	M.O. (%)	$CaCO_3$ (%)	CALIZA ACTIVA (%)
41,8±11,6	28,4±10,7	29,7±20,6	8,4±0,13	148,2±24,33	1,47±0,43	14,9±6,2	5,2±0,95

Tabla 3. Métodos analíticos utilizados para la determinación de los diferentes parámetros edáficos

PARÁMETROS	MÉTODO DE ENSAYO ADAPTADO A LAS SIGUIENTES NORMAS
Textura	Densímetro de Bouyoucos. UNE 103 102. Método del densímetro
pH	UNE 77305. Determinación del pH
Conductividad	UNE 77308. Determinación de la CE específica
Caliza activa	Valoración por método de DROUINEAU
Carbonato cálcico	UNE 103-200-93. Determinación de carbonatos
Materia orgánica	Método Oficial nº 25 (MAPA, 1994)
Nitrógeno	Digestión Kjeldahl
Fósforo	Método Olsen
Potasio	Extracción Acetato amónico a pH 7

La textura presenta una tendencia media franca, si bien la mitad de las muestras parciales mostraron valores de arcilla por encima del 20%. El pH es básico en todas las parcelas. Estos suelos suelen presentar un alto contenido en bases de cambio como es el caso del Ca++, que pueden producir bloqueos que dificulten la asimilación del Fe y en ocasiones pueden disminuir la asimilación del P al precipitar formando $Ca_3(PO_4)_2$ insoluble. La concentración de sales (C.E.) no se consideró relevante en ninguna muestra. En relación con la materia orgánica (M.O.), los porcentajes se consideran bajos, inferiores al 2% en todas las muestras. Por otro lado, la presencia de carbonatos ($CaCO_3$) es en general normal, si bien se han detectado puntos excepcionalmente altos en algunas de las submuestras tomadas. La presencia de caliza activa es muy irregular en la parcela, mostrando en algunas zonas valores superiores al 6%, lo que puede inducir clorosis férrica.

Los valores obtenidos en relación con los elementos que tienen más influencia en la fertilidad de especies de crecimiento rápido se muestran en la Tabla 4.

Tabla 4. Valores de N:P:K en la parcela en la que se estableció la plantación

N (%)	P (ppm)	K (cmol kg^{-1})
0,51±0,09	3,22±5,15	0,42±0,15

En general se aprecian valores de P muy inferiores a los recomendables para especies de crecimiento rápido, por lo que se identifica como un suelo pobre en este elemento.

Diseño

La densidad de plantación fue de 6.666 pies ha^{-1}, estableciéndose filas simples, en un marco de 3 m x 0,5 m, lo que aseguraba la posibilidad de mecanizar la corta. Para cada uno de los clones establecidos en la

plantación se analizaron 5 réplicas con 15 pies por réplica, lo que hace un total de 75 pies inventariados por clon en el conjunto de la plantación.

Se establecieron dos turnos de corta. En el primero de ellos se analizó la producción para un estado de desarrollo de R3T3 y R4T4, siendo R la edad de la raíz y T la del tallo. El segundo turno se estableció en el estado de desarrollo de R7T3. Una vista general de la plantación así como de la corta del 1er turno se incluye en la fotografía 1.

Fotografía 1. Aspecto general de la plantación y detalle de la corta mecanizada del 1er turno

Tratamientos culturales

Las labores de preparación del terrenos se acometieron en el mes de abril, dada las imposiciones derivadas de la climatología de la zona. Para favorecer el correcto enraizamiento, se realizaron labores de subsolado y gradeo.

Pese a las carencias descritas con relación al suelo, no se aplicó fertilización previa en la plantación.

No se realizó ningún control de malas hierbas previo a la instalación de la plantación. La profusión de hierba en el mes de julio del 1er periodo vegetativo obligó a un control mecánico en las calles y una escarda manual en las líneas de cultivo.

Variables evaluadas

Las variables evaluadas para cada uno de los dos turnos de cultivo fueron:

- Mortalidad: % de marras (pies ausentes) determinados tanto en las parcelas de medición como sobre la totalidad de la plantación.
- Diámetros basales y normales (D10 y D130, mm) y altura (Ht, cm) de todos los brotes.
- Nº de brotes emitidos por pie.
- Biomasa en verde (kg) de cada uno de los pies de manera individual.

Para la determinación del porcentaje de humedad de la biomasa cortada, se tomaron dos árboles completos por cada clon, que fueron troceados y pesados en verde, y posteriormente secados en laboratorio en estufa a 100ºC hasta peso constante. A partir de esta información se calculó el % de humedad de cada clon, lo que se utilizó para el cálculo de la biomasa seca.

Análisis estadístico y variables seleccionadas para el análisis

En el presente trabajo se han analizado las variables: Producción de biomasa, Mortalidad, Emisión de brotes, obviando aquellas relativas al crecimiento que no son objetivo del mismo. Para ello se ha empleado un análisis de la varianza (ANOVA) de dos vías siendo los factores de análisis los turnos de cultivo y los clones. Cuando se observó significación, se utilizó el test de Student-Newman-Keuls para identificar las diferencias entre las medias. Para los análisis se utilizó el programa R.

3. Resultados

Se identificaron diferencias significativas en la producción de biomasa seca entre ambos turnos de cultivo (*p*-valor<0,0001), así como entre los diferentes clones bajo ensayo (*p*-valor<0,0001) y para la interacción entre el efecto clon y turno (*p*-valor=0.0058). La Figura 2 muestra las producciones anuales medias (Tn ms ha^{-1} año^{-1}) para el total de la plantación y para cada uno de los 6 clones al final del primer (R4T4) y segundo (R7T3) turno de cultivo.

La producción en biomasa seca para el conjunto de la plantación fue de 7,64 Tn ms ha^{-1} año^{-1} en el 1er turno de cultivo (R4T4) y de 9,75 Tn ms ha^{-1} año^{-1} para el 2º (R7T3). Mientras que en el 1er turno destacaron los clones 'S04' y 'AF2', con unas producciones medias de biomasa entre 12,41 y 9,87 Tn ms ha^{-1} año^{-1}, en el 2º, además de los mencionados clones, con producciones medias de 12,04 y 12,57 Tn ms ha^{-1} año^{-1} respectivamente, se observó un destacado aumento también para el clon 'Oudenberg' con, 11,76 Tn ms ha^{-1} año^{-1}.

Al analizar la producción total de biomasas obtenida, en el cómputo de ambos turnos, el clon 'S04' es el que mayor producción presenta obteniéndose un total de 85,76 Tn ms ha^{-1}, seguido por el clon 'AF2' con 77,20 Tn ms ha^{-1}, 'Oudenberg' con 60,78 Tn ms ha^{-1}, 'Dorskamp' con 48,44 Tn ms ha^{-1}, 'Grimminge' con 45,69 Tn ms ha^{-1} y por último el clon 'I-214' con una producción total de 41,26 Tn ms ha^{-1} (Tabla 5).

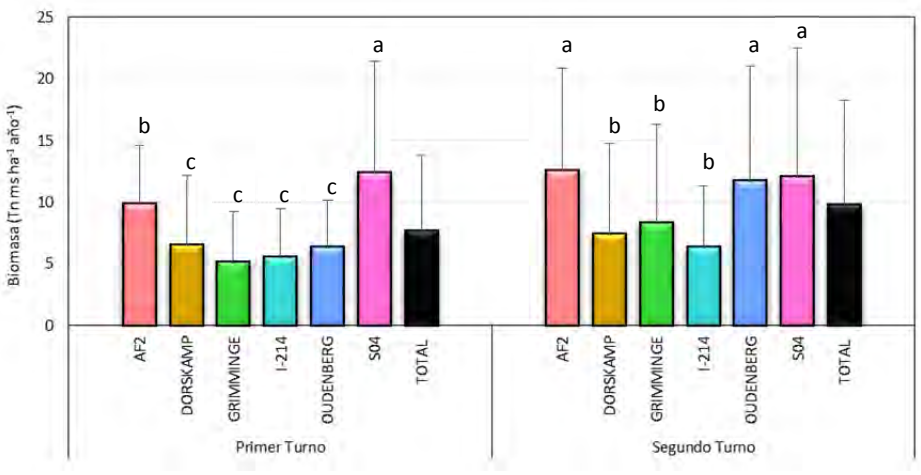


Figura 2. Producción anual de biomasa por clon al final del turno.

Entre las variables estudiadas se encuentra el número de brotes por cepa, que determina la capacidad de rebrote de cada uno de los clones y permite evaluar si esa capacidad de rebrote tiene una influencia directa con la producción final. A pesar de que algunos clones como 'Dorskamp', 'AF2' o 'Grimminge' presentaron 2 brotes en algunas de las cepas en el 1er turno, lo cierto es que en general la tendencia en este 1er turno es presentar únicamente un brote por cepa, no observándose diferencias significativas entre clones en este turno (p-valor=0,141). Para el 2º ciclo de cultivo, sin embargo, sí existen diferencias significativas entre clones (p-valor<0,0001). El rango de brotes por cepa en este caso varío entre 1 único brote hasta 18 brotes en una cepa, contabilizándose únicamente los brotes que alcanzaron una altura mayor a 130 cm (Tabla 5). Al contrario que lo sucedido en el 1er turno, los clones que presentaron mayores brotes por cepa en el 2º fueron 'I-214', 'S04' y 'Oudenberg'.

La correlación del nº de brotes y la producción en el 2º turno fue significativa aunque muy débil (R^2=0,25, p-valor<0.0001), por lo que no se observa una clara relación directa que explique la producción de biomasa únicamente con el número de brotes por cepa.

Tabla 5. Producción anual de biomasa y promedio de número de brotes por cepa para cada uno de los clones en cada turno.

CLON	PRODUCCIÓN DE BIOMASA (Tn ms ha^{-1})			NÚMERO DE BROTES					
	R4T4	R7T3	TOTAL	R4T4			R7T3		
				Media	Min	Max	Media	Min	Max
AF2	39,48	37,72	77,20	1	1	2	6	2	12
DORSKAMP	26,13	22,31	48,44	1	1	2	2	0	9
GRIMMINGE	20,59	25,10	45,69	1	1	2	5	1	11
I-214	22,22	19,04	41,26	1	1	1	7	1	14
OUDENBERG	25,41	35,27	60,68	1	1	1	6	1	17
S04	49,63	36,12	85,76	1	1	1	7	1	18

Si bien los dos turnos de cultivo se establecieron para edades correspondientes a R4T4 y R7T3, como se ha indicado en el material y métodos también se evaluó la producción suponiendo un 1er turno establecido a una edad R3T3. Si analizamos la evolución de la producción a lo largo de los años (Figura 3), se puede observar cómo, de manera general, la producción anual en el 2º turno se incrementa de manera relevante respecto a la producción anual en el tercer año del 1er turno de cultivo, si bien es muy similar a la producción anual del cuarto año del 1er turno.

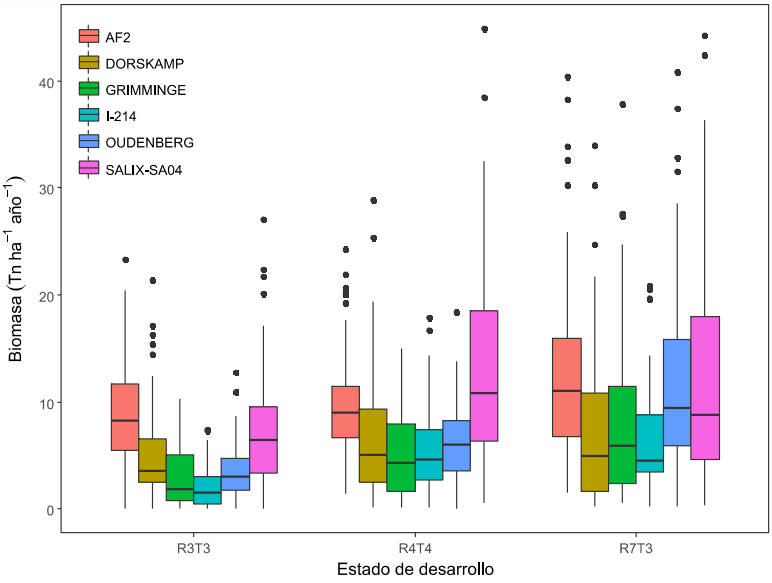


Figura 3. Producción anual en biomasa por clon para cada uno de los estados de desarrollo evaluados (1er turno en R3T3 o R4T4 y 2º turno en R7T3).

Analizando de manera más detallada la evolución de la producción de la biomasa, podemos agrupar los clones en función de las diferencias que presentan a lo largo de los años del turno. Mientras que 'Dorskamp' no presenta diferencias significativas de producción de biomasa anual a lo largo de los turnos (*p*-valor=0,0754), 'AF2' muestra un incremento significativo (*p*-valor=0,0004) de su producción en el 2º turno respecto al 1º (tanto si consideramos la corta en estado R4T4 como R3T3). Los clones 'Oudenberg' y 'Grimminge' presentan diferencias significativas para todos los años de estudio (*p*-valor<0,0001, en ambos clones), mientras que en 'S04' e 'I-214' no se observan diferencias significativas entre el 2º turno y el 1º, cuando éste fue en R4T4, pero sí cuando la primera corta del 1er turno se efectuó en el estado de desarrollo R3T3 (*p*-valor<0,0001 para 'S04' y *p*-valor=0,0002 para 'I-214').

Considerando únicamente el 1er turno de cultivo, con el fin de evaluar la adecuación del turno de cada clon (Figura 4), se observa que, mientras la mayoría de los clones presentan diferencias muy significativas entre los estados R3T3 y R4T4, algunos de ellos con incrementos muy relevantes que oscilan entre el 74,8 y el 166,6%, los clones 'AF2' y 'Dorskamp' no muestran esas diferencias, mostrando producciones anuales muy similares entre ambos estados de desarrollo (*p*-valor=0,0870 y *p*-valor=0,1200 respectivamente). El clon 'AF2' incrementa su producción en un 16,7% al alargar el turno un año más, y el clon 'Dorskamp' lo hace en un 24,9%.

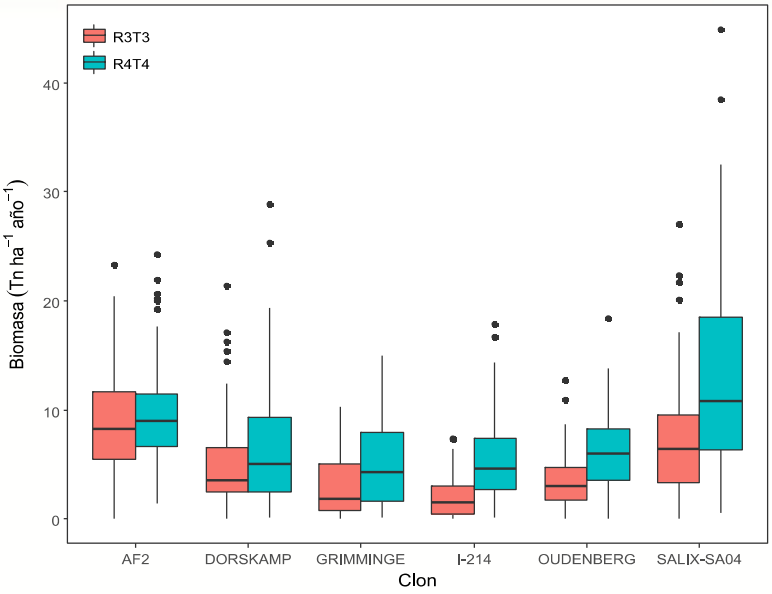


Figura 4. Comparación de la producción anual en biomasa en el 1er turno para dos estados de desarrollo diferentes: R3T3 y R4T4.

4. Discusión y conclusiones

La producción de biomasa seca media acumulada en los dos turnos de cultivo para el conjunto de clones fue de 8,55 Tn ms ha^{-1} año^{-1}, siendo de 7,64 Tn ms ha^{-1} año^{-1} en el 1er turno de cultivo y de 9,75 Tn ms ha^{-1} año^{-1} para el 2º turno. En condiciones óptimas, la producción de biomasa en zonas Mediterráneas puede alcanzar valores de hasta 20 y 25 Tn ms ha^{-1} año^{-1} (Mareschi *et al.*, 2005). En España, la producción potencial en las plantaciones de chopo en turno corto destinadas a biomasa se ha estimado en torno a 15,3 Tn ms ha^{-1} año^{-1} en el conjunto del territorio, y de 10,9 Tn ms ha^{-1} año^{-1} en el mismo escenario pero teniendo en cuenta problemas asociados al manejo (Pérez-Cruzado *et al.*, 2013). La producción de biomasa seca acumulada referida en este trabajo (8,55 Tn ms ha^{-1} año^{-1}) es por tanto inferior a lo esperado en la península ibérica, lo que en buena medida puede atribuirse a las condiciones edafoclimáticas específicas de la zona, en las que, por ejemplo, la presencia de calizas ha ocasionado problemas de clorosis férrica, con las consecuentes repercusiones sobre el crecimiento. Se han detectado también problemas relativos al manejo, como el control inadecuado de las malas hierbas en determinados momentos del periodo vegetativo, lo que resulta un factor clave (Sixto *et al.*, 2007), o la importante presencia de *Melasoma populi* L. en el año posterior a la primera corta, que mermó notablemente el crecimiento en ese periodo, entre otros. Todo ello ha producido sin duda mermas relevantes respecto a la productividad potencial.

Existe una amplia variabilidad en las producciones obtenidas a lo largo de toda Europa (Bergante *et al.*, 2010; Dillen *et al.*, 2011; Rae *et al.*, 2004; Searle and Malins, 2014). Si analizamos los turnos de manera independiente, la producción obtenida (7,64 Tn ms ha^{-1} año^{-1}) es muy superior a la citada para el norte de Europa por Verlinden *et al.* (2015) en el 1er turno (4,04 Tn ms ha^{-1} año^{-1}), si bien es muy inferior que lo referido en otros ambientes mediterráneos, por ejemplo la citada por Sabatti *et al.* (2014) (16 Tn ms ha^{-1}

año^{-1}). En el 2º turno, la producción media obtenida en este estudio (9,75 Tn ms ha^{-1} año^{-1}) resulta inferior sin embargo a la referida tanto en condiciones del norte de Europa (Verlinden *et al.*, 2015: 12,24 Tn ms ha^{-1} año^{-1}) como mediterráneas (Sabatti *et al.*, 2014: 20 Tn ms ha^{-1} año^{-1}).

Si bien las diferencias de producción para los dos turnos estudiados han sido significativamente diferentes, éstas no resultan acusadamente marcadas, teniendo además que considerar que en el caso del 1er turno la longitud del mismo ha sido un año superior. En general, las producciones obtenidas para los segundos turnos son, según la literatura, superiores a los primeros (Sabatti *et al.*, 2014; Verlinden *et al.*, 2015), aunque también existe múltiples referencias de escenarios en los que las producciones no difieren e incluso son inferiores (Afas *et al.*, 2008).

Los clones más productivos han resultado ser algunos de los que se han obtenido como resultado de programas de mejora específicamente definidos para esta finalidad productiva (biomasa). Así, por ejemplo el clon 'S04' presenta los mejores resultados para ambos turnos, siendo su producción equiparable a la ya referida para ambientes mediterráneos. El uso del género *Salix* para la producción de biomasa ha sido poco estudiado en la península ibérica. Sin embargo es conocida la adecuación del género en plantaciones en turno corto especialmente en el norte de Europa (Kuzovkina *et al.*, 2007) pero también en condiciones mediterráneas, donde Bergante *et al.* (2010), han referido buenas producciones para algunos de los clones del género, alcanzando cifras de 19,17 Tn ha^{-1} año^{-1}, si bien la producción anual media está en sintonía con la obtenida para clones de *P. deltoides* y *P. ×canadensis* (7,9, 8,8 y 7 Tn ha^{-1} año^{-1} respectivamente). En base a los resultados de este estudio, así como a otros realizados en diferentes condiciones edafoclimáticas de la península (Sixto *et al.*, 2015), parece que este género puede ser de interés para la realización de plantaciones en turno corto dirigidas a la producción de biomasa. Los clones de chopo 'AF2' y 'Oudenberg' han mostrado también producciones relevantes para el total del periodo frente al resto de clones bajo ensayo, poniendo una vez de manifiesto la variabilidad en las producciones atribuibles al factor genético.

Como consecuencia de la primera corta, el número de clones que incrementó el nº de brotes en el 2º turno respecto al 1º fue relevante, de manera similar a lo referido en otros estudios (Al Afas *et al.*, 2008; Laureysens *et al.*, 2003; Verlinden *et al.*, 2015). A pesar de haber encontrado una correlación significativa entre el número de brotes y la producción del 2º turno, ésta ha sido muy débil y no parece poder explicar las diferencias de producción entre clones, de manera similar a lo referido en otros trabajos (Sabatti *et al.*, 2014), donde un elevado número de brotes por cepa no implica necesariamente una mayor producción de biomasa. Sin embargo, esta variable ha resultado de gran utilidad en modelización, a la hora de elaborar modelos de estimación de biomasa en plantaciones de turno corto, ya que junto a otras variables dasométricas como el diámetro basal disminuyen la desviación media del modelo obteniendo estimaciones más precisas (Oliveira *et al.*, 2017).

En lo que se refiere al turno óptimo de la plantación se han llevado a cabo numerosos estudios al respecto (Di Matteo *et al.*, 2012; Nassi O Di Nasso *et al.*, 2010). El turno óptimo está determinado, en parte, por la producción de biomasa máxima alcanzada en ese periodo de tiempo. Este valor máximo se alcanza cuando el incremento de biomasa anual medio es igual al incremento anual corriente (Sixto *et al.*, 2010). Los incrementos de la producción entre el año 3 (R3T3) y 4 (R4T4) han sido poco importantes para los clones 'AF2' y 'Dorskamp', siendo sin embargo muy relevantes en el resto. Ello implica que probablemente, mientras que para estos dos clones un primer turno de 3 años sería suficiente o muy similar en términos de producción de biomasa, para el resto de los clones la extensión del turno a 4 años ha sido ventajosa.

La información facilitada en este trabajo alude a producciones medias a nivel de plantación. No obstante, una cuestión a considerar y que no ha sido objeto de análisis en el presente trabajo, es la gran variabilidad

que puede existir en relación al suelo, no solo entre sitios de ensayo sino también para una misma zona. Este efecto, evaluado mediante la significación del bloque dentro de la parcela, está presente en este estudio y se refirió con anterioridad en el primer año del 1er turno (Sixto *et al.*, 2012). Debido a este efecto, sería necesario determinar las causas que lo generan y abundar así en la comprensión de la producción. Para ello se prevé la realización de un análisis espacial que considere factores de suelo específicos y posición de los árboles. Sin embargo, para determinar la productividad potencial en la zona de los clones estudiados se han analizado todos los datos en su conjunto de manera que las producciones medias sean el reflejo de la amplia variabilidad presente en los bloques.

En conclusión, la producción media obtenida se considera inferior a la potencialmente esperable, bien por factores atribuibles a las condiciones específicas del sitio pero también atribuibles al manejo. No obstante la variabilidad de respuesta clonal es muy relevante mostrando los clones 'S04', 'AF2' y 'Oudenberg' una mayor adecuación a las condiciones específicas de cultivo con producciones medias anuales de hasta 12,4 Tn ha^{-1} $año^{-1}$ en el primer turno y 12,6 Tn ha^{-1} $año^{-1}$ en el segundo turno.

5. Bibliografía

AFAS, N.A.;MARRON, N.;VAN DONGEN, S.;LAUREYSENS, I.; CEULEMANS, R.; 2008. Dynamics of biomass production in a poplar coppice culture over three rotations (11 years). Forest Ecology and Management 255, 1883-1891.

AL AFAS, N.;MARRON, N.;ZAVALLONI, C.; CEULEMANS, R.; 2008. Growth and production of a short-rotation coppice culture of poplar—IV: Fine root characteristics of five poplar clones. Biomass and Bioenergy 32, 494-502.

BERGANTE, S.;FACCIOTTO, G.; MINOTTA, G.; 2010. Identification of the main site factors and management intensity affecting the establishment of Short-Rotation-Coppices (SRC) in Northern Italy through stepwise regression analysis. Cent Eu J Biol 5, 522-530.

BUNGART, R.; HÜTTL, R.F.; 2004. Growth dynamics and biomass accumulation of 8-year-old hybrid poplar clones in a short-rotation plantation on a clayey-sandy mining substrate with respect to plant nutrition and water budget. European Journal of Forest Research 123, 105-115.

CEULEMANS, R.; STETTLER, R.F.; HINCKLEY, T.M.; ISEBRANDS, J.G.; HEILMAN, P.E.; 1990. Crown architecture of Populus clones as determined by branch orientation and branch characteristics. Tree Physiology 7, 157-167.

DAI, J.; MCDONALD, A.G.; 2013. Response surface optimization of hot-water pretreatment for enzymatic hydrolysis of hybrid poplar: first step of bioconversion of woody-biomass to value-added bioproducts. En, Pretreatment Techniques for Biofuels and Biorefineries. Springer. pp. 183-194.

DI MATTEO, G.;SPERANDIO, G.; VERANI, S.; 2012. Field performance of poplar for bioenergy in southern Europe after two coppicing rotations: effects of clone and planting density. iForest 5, 224-229.

DILLEN, S.;VANBEVEREN, S.;AL AFAS, N.;LAUREYSENS, I.;CROES, S.; CEULEMANS, R.; 2011. Biomass production in a 15-year-old poplar short-rotation coppice culture in Belgium. Aspects of applied biology 112, 99-106.

GREEN, D.S.;KRUGER, E.L.; STANOSZ, G.R.; 2003. Effects of polyethylene mulch in a short-rotation, poplar plantation vary with weed-control strategies, site quality and clone. Forest Ecology and management 173, 251-260.

GUO, X.-Y.; ZHANG, X.-S.; 2010. Performance of 14 hybrid poplar clones grown in Beijing, China. biomass and bioenergy 34, 906-911.

IPCC; 2014. Mitigación del cambio climático: Informe del Grupo de trabajo III. ISBN:978-92-9169-342-9.
KUZOVKINA, Y.A.;WEIH, M.;ROMERO, M.A.;CHARLES, J.;HUST, S.;MCIVOR, I.;KARP, A.;TRYBUSH, S.;LABRECQUE, M.; TEODORESCU, T.I.; 2007. Salix: botany and global horticulture. Horticultural reviews 34, 447-489.

LAUREYSENS, I.;BOGAERT, J.;BLUST, R.; CEULEMANS, R.; 2004. Biomass production of 17 poplar clones in a short-rotation coppice culture on a waste disposal site and its relation to soil characteristics. Forest ecology and management 187, 295-309.

LAUREYSENS, I.;DERAEDT, W.;INDEHERBERGE, T.; CEULEMANS, R.; 2003. Population dynamics in a 6-year old coppice culture of poplar. I. Clonal differences in stool mortality, shoot dynamics and shoot diameter distribution in relation to biomass production. Biomass Bioenerg. 24, 81-95.

MAPA; 1994. Métodos Oficiales de Análisis. Tomo III (Plantas, productos orgánicos fertilizantes, suelos, aguas, productos fitosanitarios, fertilizantes inorgánicos). Publicaciones del Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación, Madrid, 532 pp.

MARESCHI, L.;PARIS, P.;SABATTI, M.;NARDIN, F.;GIOVANARDI, R.;MANAZZONE, S.; MUGNOZZA, G.; 2005. The new varieties of poplar biomass guarantee interesting yield. Informatore Agrario 6, 49-53.

NASSI O DI NASSO, N.;GUIDI, W.;RAGAGLINI, G.;TOZZINI, C.; BONARI, E.; 2010. Biomass production and energy balance of a 12 year old short rotation coppice poplar stand under different cutting cycles. GCB Bioenergy 2, 89-97.

OLIVEIRA, N.;RODRÍGUEZ-SOALLEIRO, R.;HERNÁNDEZ, M.J.;CAÑELLAS, I.;SIXTO, H.; PÉREZ-CRUZADO, C.; 2017. Improving biomass estimation in a Populus short rotation coppice plantation. Forest Ecology and Management 391, 194-206.

PÉREZ-CRUZADO, C.;SANCHEZ-RON, D.;RODRÍGUEZ-SOALLEIRO, R.;HERNÁNDEZ, M.;SÁNCHEZ-MARTÍN, M.;CAÑELLAS, I.; SIXTO, H.; 2013. Biomass production assessment from *Populus* spp. short-rotation irrigated crops in Spain. GCB Bioenergy.

RAE, A.;ROBINSON, K.;STREET, N.; TAYLOR, G.; 2004. Morphological and physiological traits influencing biomass productivity in short-rotation coppice poplar. Canadian Journal of Forest Research 34, 1488-1498.

ROMEO, S.;FRANCINI, A.;ARIANI, A.; SEBASTIANI, L.; 2014. Phytoremediation of Zn: identify the diverging resistance, uptake and biomass production behaviours of poplar clones under high zinc stress. Water, Air, & Soil Pollution 225, 1813.

SABATTI, M.;FABBRINI, F.;HARFOUCHE, A.;BERITOGNOLO, I.;MARESCHI, L.;CARLINI, M.;PARIS, P.; SCARASCIA-MUGNOZZA, G.; 2014. Evaluation of biomass production potential and heating value of hybrid poplar genotypes in a short-rotation culture in Italy. Industrial Crops and Products 61, 62-73.

SANNIGRAHI, P.;RAGAUSKAS, A.J.; TUSKAN, G.A.; 2010. Poplar as a feedstock for biofuels: a review of compositional characteristics. Biofuels, Bioproducts and Biorefining 4, 209-226.

SANTANGELO, E.;SCARFONE, A.;DEL GIUDICE, A.;ACAMPORA, A.;ALFANO, V.;SUARDI, A.; PARI, L.; 2015. Harvesting systems for poplar short rotation coppice. Industrial Crops and Products 75, 85-92.

SEARLE, S.Y.; MALINS, C.J.; 2014. Will energy crop yields meet expectations? Biomass and Bioenergy 65, 3-12.

SIXTO, H.;CALVO, R.;SÁNCHEZ, M.M.;J.A, A.;J.M, O.;SALVIA, J.; CAÑELLAS, I.; 2012. Fine scale site variation correlated to growth in a *Salicaceae* plantation (*Salix* and *Populus*) during the first vegetative period. En: Forest Assessment, M.a.C.D.F.D. (Ed.), Intenational poplar commission: Improving lives with poplars and willows, Dehradun, India.

SIXTO, H.;CAÑELLAS, I.;VAN ARENDONK, J.;CIRIA, P.;CAMPS, F.;SÁNCHEZ, M.; SÁNCHEZ-GONZÁLEZ, M.; 2015. Growth potential of different species and genotypes for biomass production in short rotation in Mediterranean environments. Forest Ecology and Management 354, 291-299.

SIXTO, H.;HERNÁNDEZ, M.;BARRIO, M.;CARRASCO, J.; CAÑELLAS, I.; 2007. Plantaciones del género *Populus* para la producción de biomasa con fines energéticos: revisión. Forests System 16, 277-294.

SIXTO, H.;HERNÁNDEZ, M.;CIRIA, M.;CARRASCO, J.; CAÑELLAS, I.; 2010. Manual de cultivo de Populus spp. para la producción de biomasa con fines energéticos. Instituto Nacional de Investigación y Tecnología Agraria y Alimentaria, Ministerio de Ciencia e Innovación, Madrid.

SPINELLI, R.;NATI, C.; MAGAGNOTTI, N.; 2009. Using modified foragers to harvest short-rotation poplar plantations. Biomass and Bioenergy 33, 817-821.

TUBBY, I.; ARMSTRONG, A.; 2002. Establishment and management of short rotation coppice. Practice Note-Forestry Commission.

VERLINDEN, M.S.;BROECKX, L.S.; CEULEMANS, R.; 2015. First vs. second rotation of a poplar short rotation coppice: Above-ground biomass productivity and shoot dynamics. Biomass Bioenerg. 73, 174-185.

WANG, Z.; MACFARLANE, D.W.; 2012. Evaluating the biomass production of coppiced willow and poplar clones in Michigan, USA, over multiple rotations and different growing conditions. biomass and bioenergy 46, 380-388.

ZAMORA, D.S.;WYATT, G.J.;APOSTOL, K.G.; TSCHIRNER, U.; 2013. Biomass yield, energy values, and chemical composition of hybrid poplars in short rotation woody crop production and native perennial grasses in Minnesota, USA. Biomass and bioenergy 49, 222-230.

Agradecimientos: El proyecto Lignocrop y el CON15-052 han permitido financiar este trabajo. El proyecto RTA2014-00007-C3 ha colaborado para poder profundizar en aspectos científicos de interés para el avance del conociendo en cultivo. La empresa Biopoplar Ibérica ha sido la responsable de la gestión de la plantación. Agradecemos su labor.

Clones de *Populus*: evolución y anomalías en el catálogo nacional

RUEDA, J.[1]; PRADA SÁEZ, M.A.[2]

[1] Junta de Castilla y León
[2] VAERSA

Palabras clave
Chopo, material de base, registro.

1. Introducción

El catálogo nacional de materiales de base para la producción de los materiales forestales de reproducción del género *Populus* L. de las categorías cualificada y controlada está integrado por los clones de chopos que se comercializan en España y actualmente se incluyen en él los clones autorizados por cada una de las Comunidades Autónomas. Una primera lista, publicada en 1992, recogía los primeros 14 clones catalogados. En 2003 esta relación se vio ampliada con 14 clones más y, posteriormente (2006), se añadió un nuevo clon al haber sido autorizado por la Comunidad Autónoma de Extremadura. En 2011 se produjo una reducción en el número de clones del catálogo, por haberse demostrado la misma identidad entre algunos de ellos.

2. La lista de 1992

La primera lista de clones resultó de los trabajos presentados por el Servicio de Investigación Agraria (SIA) de la Diputación General de Aragón, dirigidos por Antonio Padró e iniciados cuando el centro todavía dependía del INIA (CRIDA), y de los trabajos aportados por el CIFOR-INIA, dirigidos por José Manuel Grau.

Una vez realizada la selección de los clones que se consideraron más adaptados a la populicultura española, el Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación citó a todas las Comunidades Autónomas para recabar su opinión como paso previo a la aprobación de la lista. Para esta reunión no se facilitó ninguna información con anterioridad, acerca de los procedimientos y criterios de la selección que se había efectuado. A la reunión convocada sólo asistieron representantes de Castilla y León, Castilla-La Mancha y País Vasco. Los escasos comentarios y objeciones expresados en dicha reunión fueron rechazados verbalmente, sin aportar los documentos de los resultados de los trabajos en los que se había basado la selección de los clones, por lo que la reunión se consideró como meramente informativa y la lista fue tramitada para su aprobación.

La lista fue publicada en el BOE mediante la Orden del Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación de 24 de junio de 1992 y estaba integrada por los clones: ‘Agathe F’, ‘Beaupré’, ‘Campeador’, ‘Canadá Blanco’, ‘Flevo’, ‘I-MC’, ‘I-114/69’, ‘I-214’, ‘I-488’, ‘Luisa Avanzo’, ‘Lux’, ‘Raspalje’, ‘Tr 56/75’ y ‘Triplo’.

3. La segunda lista

Para la elaboración de una ampliación del catálogo, se reunió el Grupo de Trabajo de Populicultura, dependiente de la Comisión Nacional del Chopo, en El Centro Nacional de Mejora Forestal de "El Serranillo" (Guadalajara), los días 10 y 11 de diciembre de 2002.

Los asistentes a esta reunión tuvieron oportunidad de proponer la inclusión de nuevos clones que consideraron que debían figurar en el catálogo antes de la inminente entrada en vigor de la Directiva 1999/105/CE, incorporada al ordenamiento jurídico español mediante el Real Decreto 289/2003, de 7 de marzo, sobre comercialización de los materiales forestales de reproducción. Todas las propuestas presentadas para la inclusión de nuevos clones en el catálogo fueron aceptadas y los proponentes se encargaron de elaborar un informe en el que se justificó la inclusión de cada clon.

La mayoría de los informes elaborados justificaron adecuadamente la consideración de los clones propuestos, pero de algunos de ellos no puede deducirse una justificación aceptable. Es el caso del clon 'Viriato', pues el informe que se presentó viene a demostrar que este clon no es superior a los testigos con los que se realizó su comparación ('I-214' y 'NNDv'). También es el caso del clon 'Bordils', cuya inclusión en el catálogo se justificó por su utilización en tiempos pretéritos, pero ya totalmente en desuso en el momento en el que se elaboró la ampliación de la lista. Por su parte, el clon 'Lombardo Leonés' se incluyó para su empleo en la restauración de terrenos de los páramos leoneses y de tierras abandonadas de la agricultura, sin objetivos claros de producción.

Esta segunda lista fue publicada en el BOE mediante la Orden APA/544/2003, de 6 de marzo, en la que figuraron los clones: 'BL Costanzo', 'Boelare', 'Bordils', 'Branagesi', 'B-1M', 'Dorskamp', 'Guardi', 'I-454/40', 'Lombardo Leonés', 'NNDv', 'Unal', 'USA 49-177', 'Viriato', y '2000 Verde'.

4. El clon 'E-298'

El clon 'E-298' fue incluido en el catálogo de materiales de base de Extremadura mediante la Orden de 24 de febrero de 2006, de la Consejería de Agricultura y Medio Ambiente, después de comprobarse su buen crecimiento en dos parcelas de ensayo constituidas por varios clones. Los materiales utilizados en la instalación de los ensayos fueron proporcionados por la Comunidad de Navarra, a través de su empresa pública Gestión Ambiental Viveros y Repoblaciones de Navarra, que a su vez los había importado de la Association Foret-Cellulose (AFOCEL), en Francia. En los dos ensayos, cada clon estaba identificado por un número, sin que figurara ningún nombre.

Los resultados de los ensayos indicaron que había dos clones que tenían un comportamiento sobresaliente. Consultado el INIA sobre la posibilidad de su inclusión en el catálogo, esta institución recabó muestras de los dos clones para verificar, mediante análisis con marcadores moleculares, que no se correspondían con otros clones ya conocidos. Los análisis efectuados en el laboratorio del INIA dieron como resultado que uno de los clones era 'Luisa Avanzo' y el otro era 'Agathe F', ambos incluidos ya en el catálogo nacional. Sin embargo, un error en la transmisión de esta información provocó que se considerara al segundo de los clones como nuevo y así se informó a la Comunidad de Extremadura, quien lo inscribió en su catálogo como material cualificado, con el nombre 'E-298', siendo 298 el número con el que se había identificado el clon. Precisamente, 298 es el número con que AFOCEL designaba al clon 'Agathe F'. Cabe señalar, también, que la denominación 'E-298' contraviene el Código Internacional de Nomenclatura de Plantas Cultivadas.

Como consecuencia de la inclusión del clon 'E-298' en el catálogo de Extremadura, el clon fue inscrito en el catálogo nacional de materiales de base del género *Populus* L., con la categoría de material cualificado, mediante la Resolución de 7 de julio de 2006 de la Dirección General de Agricultura.

Advertido el error que se había cometido, la Comisión Nacional del Chopo solicitó a la comunidad de Extremadura que eliminara el clon de su catálogo, para dejar de figurar en el catálogo nacional. Sin embargo, la comunidad de Extremadura no respondió a este requerimiento.

En la orden de Extremadura que autorizó la inclusión del clon 'E-298' en el catálogo de materiales de base, se especificó que la autorización como material cualificado tenía una validez máxima de diez años, hasta tanto se tuviera conocimiento de los resultados definitivos de los ensayos estadísticos planteados, principalmente respecto a los parámetros de adaptabilidad y producción y calidad de la madera. Con la presentación de unos resultados aceptables, el clon 'E-298' pasaría a estar inscrito en el mismo catálogo con la categoría "controlada". Transcurridos los diez años (en fecha 24 de febrero de 2016) y, al no haberse presentado los resultados a que aludía la orden de autorización, se concluye que el clon 'E-298' debería excluirse oficialmente del catálogo de materiales de base de Extremadura y, por ende, del catálogo nacional de materiales de base.

5. Reducción del catálogo

En la reunión del Grupo de Trabajo de Populicultura celebrada en Madrid los días 19 y 20 de octubre de 2010 se presentó un informe, elaborado por el Laboratorio de Diagnóstico Genético de la Escuela Técnica Superior de Ingenierías Agrarias de la Universidad de Valladolid, sobre algunas discrepancias advertidas en los análisis con marcadores moleculares de los clones del catálogo nacional. El Grupo de Trabajo, de acuerdo con representantes de la Comisión Nacional en la reunión, convino en trasladar el informe al INIA, promotor de la publicación del catálogo nacional, para que emitiera a su vez un informe sobre esas contradicciones. Ambos informes fueron presentados en la reunión de la Comisión Nacional del Chopo del día 2 de junio de 2011.

A la vista de los dos informes, la Comisión adoptó el acuerdo de solicitar la exclusión del catálogo de los clones 'BL Costanzo' y 'NNDv', por haber resultado idénticos al clon 'I-MC'. Igualmente se acordó solicitar la exclusión de 'I-488' porque los materiales de este clon manejados en España habían resultado todos idénticos entre sí, pero diferentes de los materiales procedentes del conservador oficial del clon en Italia, sin conocerse cual de los dos genotipos había merecido su inclusión y dado que el clon estaba prácticamente en desuso. También se propuso el cambio de denominación del clon 'I-MC', pasando a inscribirse como 'MC', nombre con el que es conocido internacionalmente.

Fruto de la solicitud de la Comisión Nacional del Chopo fue la publicación de la Resolución de 7 de noviembre de 2011, de la Dirección General de Recursos Agrícolas y Ganaderos, que recogió estos acuerdos.

6. El clon 'Bordils'

Como se ha comentado, el clon 'Bordils' fue incluido en el catálogo por la mayoritaria utilización que tuvo en Gerona en el pasado, aunque actualmente no se emplea. Por ello, su permanencia en el catálogo es más que discutida.

En la misma reunión de la Comisión del 2 de junio de 2011 se informó de la existencia de dos genotipos diferentes para este clon en los distintos viveros españoles. Se acordó considerar como genuino el árbol existente en la plaza del pueblo de Bordils, en Gerona, procedente de los materiales que comúnmente se habían manejado en aquella comarca. Se recogieron muestras de este árbol, se analizaron en laboratorio y se determinó qué viveros eran los que manejaban el genotipo que se había considerado correcto.

7. El clon 'Campeador'

Todos los materiales que se han analizado del clon 'Campeador', recogidos de diferentes viveros españoles, han resultado ser idénticos a 'I-214'. También se han analizado materiales recogidos en antiguas plantaciones en las que hay constancia escrita de haber sido establecidas con 'Campeador', en las que han quedado los viejos tocones por respetar la zona de servidumbre de las riberas; estos materiales han resultado igualmente idénticos a 'I-214'. Por otra parte, el INIA solicitó muestras del ejemplar de 'Campeador' que se envió al *Populetum* de Roma al poco tiempo de su obtención y, asimismo, se ha demostrado su identidad con 'I-214'.

En consecuencia, no se tiene constancia de la existencia del clon 'Campeador' en ninguna parte y se duda hoy de si existió alguna vez. Su mantenimiento en el catálogo no tiene ningún fundamento.

8. Un problema no resuelto

Además de la cuestión mencionada sobre el clon 'Campeador', falta todavía por resolver las discrepancias observadas en el clon 'Branagesi', del que se ha comprobado que los materiales empleados en España son diferentes de los existentes en Italia, mientras que estos últimos coinciden con los materiales asignados en España al clon 'Canadá Blanco'.

9. Algunas disconformidades relativas a la denominación de clones

El clon turco 'Tr 56/75' fue rebautizado e inscrito en el Registro Internacional de Cultivares de *Populus* de la FAO con el nombre 'Anadolu' y así debería figurar también en el catálogo español.

Al nombre del clon '49-177' se le antepuso las siglas "USA" para su inscripción en el catálogo español. Sin embargo, su denominación correcta no incluye estas siglas.

'I-114/69' es la denominación en la fase experimental con que se identificó el clon 'Mincio'; este último es el nombre con el que debería figurar en el catálogo. Por otra parte, el fenotipo y los análisis con marcadores efectuados con materiales de este clon indican que pertenece al híbrido *Populus ×euramericana*, figurando alejado de los clones de *P. alba* y de los híbridos de ésta con otras especies.

10. Un apunte sobre los clones 'Viriato' y 'San Lorenzo'

El clon 'Viriato' llegó a España procedente de Portugal, de la colección que gestionaba José Meneses Monteiro en la Quinta da Serrada de Vale do Horto (Leiria). Fue propuesto para su inclusión en el catálogo por la Confederación Hidrográfica del Duero. Cuando se admitió la propuesta, la Confederación facilitó estaquillas a otras instituciones representadas en la Comisión Nacional del Chopo, para su conservación

en distintas colecciones. Sin embargo, se observó que los materiales correspondían a dos clones diferentes, lo que se apreciaba a simple vista. En un principio se adjudicó las denominaciones 'Viriato 1' y 'Viriato 2' a estos clones, para su diferenciación. Planteada la cuestión a la Confederación, ésta propuso el nombre de 'Viriato' a uno de los clones y el de 'Benavente' al otro. Posteriormente se comprobó, mediante análisis con marcadores moleculares, que uno de ellos era realmente el clon 'Triplo', mientras que el otro no se identificó con ningún clon del que se dispusiera de un patrón genético; a este último se le otorgó la denominación 'Viriato'.

En el año 2012, se solicitó la inclusión en el catálogo de la Comunidad Valenciana de un nuevo clon denominado 'San Lorenzo'. La autoridad competente procedió a recolectar material de las plantas de dicho clon disponibles en las instalaciones del solicitante, para su análisis. En el momento de la recolección, estos materiales estaban etiquetados con la inscripción 'Benavente'. El resultado de los análisis fue que se trataba de nuevo del clon 'Triplo', por lo que la solicitud de inscripción fue denegada.

No obstante, el supuesto obtentor prosiguió con la tramitación que había iniciado en 2011 para la inscripción del clon, con el nombre 'Non Plus Ultra', y posteriormente, 'NPU', en el Registro de la Protección Comunitaria de Obtenciones Vegetales de la UE. Estas denominaciones fueron rechazadas por no cumplir con las normas de nomenclatura de variedades vegetales. Finalmente, el clon quedó protegido como 'San Lorenzo'. Posteriormente, la Generalidad Valenciana informó a la Oficina Comunitaria de Variedades Vegetales, responsable del citado Registro, sobre la sinonimia de este clon con 'Triplo', de acuerdo con los análisis genéticos realizados. Dicha oficina informó que la valoración de la distinción para su inclusión en el registro de variedades protegidas sólo tiene en cuenta los caracteres establecidos por la UPOV en el año 1981, todos ellos morfológicos y no acepta los análisis con marcadores moleculares como criterio de distinción.

Por tanto, los clones manejados con las denominaciones 'Viriato 2', 'Benavente', 'NPU', 'San Lorenzo' y 'NPU San Lorenzo' son todos, en realidad, el clon 'Triplo'. Este clon figura en el catálogo español desde 1992, fue obtenido en Italia por el Istituto di Sperimentazione per la Pioppicoltura (ISP) de Casale Monferrato y es un clon euramericano.

En la actualidad, en su página web, la empresa Desarrollos Agroenergéticos se promociona indicando que son seleccionadores y registradores de los clones 'Viriato' y 'San Lorenzo'. No obstante, es importante señalar que el clon 'San Lorenzo' no puede producirse ni comercializarse con fines productivos, al no haber sido admitida su inclusión como material de base en España ni en ningún otro país de la UE, por la causa anteriormente señalada.

11. Conclusión: cambios en el catálogo de materiales de base

Así, en el momento actual y como consecuencia de cuatro disposiciones normativas (figura 1), el catálogo nacional de materiales de base del género *Populus* para las categorías cualificada y controlada está constituido por los clones que figuran en la Tabla 1. En esta tabla figuran también las modificaciones de nomenclatura que se han comentado anteriormente y la supresión de los clones que no deberían formar parte del catálogo.

Tabla 1. Catálogo nacional de materiales de base del género *Populus* L. de las categorías cualificada y controlada: estado actual y cómo debería quedar.

Especie	Estado actual	Cómo debería quedar
Categoría controlada		
Populus nigra L.	Tr 56/75	Anadolu
	Bordils	
	Lombardo Leonés	Lombardo Leonés
Populus deltoides Bart.	Lux	Lux
	Viriato	Viriato
Populus ×euramericana (Dode) Guinier	Agathe F	Agathe F
	Branagesi	Branagesi
	B-1M	B-1M
	Campeador	
	Canadá Blanco	Canadá Blanco
	Dorskamp	Dorskamp
	Flevo	Flevo
	Guardi	Guardi
	I-214	I-214
	I-454/40	I-454/40
	Luisa Avanzo	Luisa Avanzo
	MC	MC
	Triplo	Triplo
	2000 Verde	2000 Verde
		Mincio
Populus ×interamericana Broekhuizen	Beaupré	Beaupré
	Boelare	Boelare
	Raspalje	Raspalje
	Unal	Unal
	USA49-177	49-177
Populus deltoides Bart. × *Populus alba* L.	I-114/69	
Categoría cualificada		
Populus ×euramericana (Dode) Guinier	E-298	

Figura 1. Normativa relativa al catálogo de clones de chopos.

Crecimiento a medio turno de plantaciones madereras del clon RASPALJE en suelo ácido en Galicia

EIMIL FRAGA, C.[1]; FIDALGO, L. [1]; ÁLVAREZ RODRÍGUEZ, E. [1]; RODRÍGUEZ SOALLEIRO, R. [1]; SIXTO, H.[2]

[1] Unidad de Gestión Forestal Sostenible, Universidad de Santiago de Compostela
[2] CIFOR INIA

Palabras clave
Chopos balsamíferos, crecimiento a medio turno, estaciones fuera de ribera.

1. Introducción y objetivos

En la Comunidad autónoma gallega el progresivo abandono de la actividad agrícola y ganadera ha propiciado en los últimos años el aumento de plantaciones madereras. Como consecuencia de la progresiva pérdida de superficie agraria útil, se ha limitado por aplicación de la ley 7/2012, de montes autonómica, las plantaciones en áreas clasificadas como de especial protección agropecuaria u ocupadas por cultivo agrícola, particularmente en el caso de especies del género *Eucalyptus*.

La superficie de cultivo de chopo en Galicia se limita a las depresiones de Monforte (Lugo), A Rúa- O Barco de Valdeorras y A Limia (Ourense). En estas áreas se ha plantado esencialmente I-214, con procedimientos de cultivo muy simples y espaciamientos cerrados, lo que no ha permitido la producción de piezas de calidad para desenrollo, objetivo esencial de la populicultura (Confemadera, 2010; Rueda *et al.,* 2016a). Los chopos no quedan recogidos en las normativas autonómicas limitantes de las repoblaciones forestales, motivo por el que se considera que su cultivo podría ser una alternativa económica interesante, siempre partiendo de la selección de los genotipos mejor adaptados y seleccionando tierras que no tengan un uso alternativo agrario viable o comarcas donde no exista demanda de estas tierras.

El clon interamericano 'Raspalje' está recogido en el catálogo nacional de materiales de base (Rueda *et al.,* 2016b). Se trata de un clon femenino obtenido en Bélgica en 1961 como hibridación entre el clon de *Populus trichocarpa* 'Fritzy Pauley' y un clon de *Populus deltoides*. Presenta una gran amplitud edáfica, acepta pH entre 4,5 y 7 y es poco exigente en fertilidad química. Vive bien en suelos de textura limosa a arenoso-arcillosa pero no tolera los arcillosos. Se considera poco exigente en agua, resistiendo la aridez, y sensible a la hidromorfía en primavera (Rueda et al., 2016a; Rueda *et al.,* 2016b). Su ensayo comenzó en Galicia en la década de los 80 en el CIF de Lourizán, que estableció varias parcelas de ensayo, en particular una en terrenos del MVMC de Nespereira (Portomarín, Lugo). Como resultado de estos ensayos, el clon comenzó a cultivarse en viveros de la Administración Forestal y a ensayarse en particular para producción de biomasa. El uso de clones belgas interamericanos se ha reducido en España por la incidencia de las royas, aunque 'Raspalje' es relativamente tolerante.

'Raspalje' es un clon de buena rectitud, de corteza verde-grisácea, copa muy equilibrada y simétrica y buena dominancia apical. La ramificación es verticilada con los verticilos muy marcados y las ramas son finas, lo que facilita la poda, que pueden además comenzarse más tarde y espaciarse más (Rueda *et al.,* 2016a; Rueda *et al.,* 2016b). Es resistente al fototropismo y algo sensible a heladas tardías. Soporta bien la temperatura y la insolación. Además se considera tolerante al viento, aunque presenta cierto riesgo de rotura de guías por el gran tamaño de sus hojas. El crecimiento es normalmente superior al de 'I-214'.

La calidad de la madera es buena, de color amarillo claro, apta para desenrollo y sierra, con baja pérdida volumétrica y buen rendimiento. Tiene densidad de media a alta: 0,350 (0,330-0,360) g/cm^3 y no suele presentar fendas en el apeo (Rueda *et al.,* 2011). 'Raspalje' ha mostrado porcentajes de rendimiento muy alto en la producción de chapa de desenrollo, así como buenas calidades de chapa (Garnica Plywood, 2016). El mismo estudio evalúa el valor medio de la madera para uso en contrachapado en 65 €/m^3. Su densidad es intermedia dentro de los clones de su grupo, lo que asegura la obtención de chapa ligera (Fernández y Hernanz, 2004; Rueda *et al.,* 2011).

Dadas las buenas propiedades de la madera de 'Raspalje' para la producción de chapa de desenrollo (rectitud, cilindricidad del tronco, escaso corazón negro) y su resistencia al pulgón lanígero (Rueda *et al.,* 2011; Garnica Plywood, 2016), algunos propietarios particulares familiarizados con la populicultura comenzaron a ensayarlo en sus parcelas, aplicando los trabajos selvícolas necesarios para la producción de madera de la calidad solicitada por la industria de transformación (Fernández y Hernanz, 2004; Rueda *et al.,* 2016b). La superficie sometida a unos cuidados razonables es sin embargo muy reducida, faltando incluso por establecerse un modelo selvícola específico por parte de la Administración autonómica. La plantación de este clon podría resultar económicamente viable en Galicia, en especial si se tiene en cuenta que los niveles de precipitación de las zonas objetivo (1200 a 1500 mm) aseguran un nivel de capa freática que no descendería más allá de 2 m, lo que abarata los costes de ahoyado y plantación.

El objetivo de este trabajo es mostrar los resultados de crecimiento y la comparativa con las propiedades del suelo de dos plantaciones de este clon en condiciones atlánticas de suelo ácido.

2. Material y métodos

El estudio se llevó a cabo en 2 parcelas plantadas con el clon 'Raspalje' (*Populus ×interamericana*) y localizadas en la depresión de Sarria (Lugo), por tanto en Galicia (NO de España), coordenadas UTM (ETRS89 29N: X631255, Y4739345). Las parcelas están ubicadas en llanuras aluviales compuestas fundamentalmente por gravas de cuarzo, pizarra y arenisca redondeadas y arenas generalmente de grano grueso a medio, en una matriz limo-arcillosa parda. La información litológica se obtuvo con ayuda de los mapas geológicos (IGME, 1981).

Las parcelas tienen 9 años y una superficie de 9473 m^2 (Parcela 1) y 5282 m^2 (Parcela 2). Se plantaron en hoyos de 1 m de profundidad usando varetas de 3 m de longitud, procedentes de brote de 2 savias sin raíz. El espaciamiento considerado fue marco real con separación de árboles de 5,3 a 5,6 m. El terreno original era de pradería con un importante efecto borde por plantación colindante de 'I-214' en la Parcela 1 y de robles trasmochos en la Parcela 2, lo que condicionó el crecimiento de los árboles perimetrales. Los trabajos selvícolas fueron abordados directamente por el propietario de ambas parcelas, siguiendo los criterios recomendados para producción de madera para chapa (Garnica Plywood, 2015). La altura de poda alcanzada fue de 6 m en todos los árboles.

Durante enero de 2018, tras 9 periodos vegetativos de crecimiento, se realizó un inventario dasométrico en ambas parcelas, tomando en cada árbol dos mediciones perpendiculares de diámetro normal con forcípula y la altura total se midió con hipsómetro Vertex III en todos los árboles. A partir de estas variables se estimaron las variables de masa: área basimétrica, altura dominante y volumen total.

Los valores medios de diámetro normal y altura total obtenidos se compararon con los estimados a partir de la edad usando las ecuaciones propuestas por Rueda y García (2013) para el clon 'Raspalje':

$d = - 0{,}96 + 1{,}957*e - 0{,}0070*e^2$ (ecuación 1)

Donde d es el diámetro normal en cm y e la edad en años

$h= 17,90 + 0,182*d + 0,0035*d^2$ (ecuación 2)

Donde h es la altura total en m y d el diámetro normal en cm

Para la estimación del volumen con corteza se utilizó el modelo propuesto por Rueda et al (2016) para 'Raspalje' (ecuación 3), comparando los resultados con la aplicación de un coeficiente mórfico de 0,404 propuesto por los mismos autores.

$V = 7,727 + 0,0290*d^2 * h$ (ecuación 3)

Donde V es el volumen con corteza en dm^3, d el diámetro normal en cm y h la altura en m

Para el análisis edáfico se tomaron 6 muestras de suelo de forma aleatoria en cada parcela, a dos profundidades, de 0 a 25 cm y de 25 a 50 cm. Las muestras se secaron a 40ºC y se tamizaron a través de un tamiz de 2 mm. En cada muestra se determinaron los siguientes parámetros: pH en agua y pH en KCl 0.1 M (Guitián y Carballas, 1976); C total y N se midieron por combustión en un analizador Leco-2000; capacidad de intercambio catiónico efectivo (CICe) considerada como la suma de Ca, Mg, Na, K y Al (Kamprath, 1970) se obtuvo por desplazamiento con NH4Cl 1 M (Peech *et al.,* 1947) y se midió en un espectómetro de absorción atómica (Perkin Elmer AAnalyst 200, USA); porcentaje de saturación de Al (% Al) y concentración de P que se midió por el método Olsen (Olsen y Sommers, 1982). La textura se obtuvo con el diagrama triangular tomado de FAO (2009) y para la separación de las fracciones del suelo se siguió el método de Bouyoucos.

3. Resultados

Los resultados de las variables de árbol individual en las dos parcelas se muestran en la Tabla 1. La parcela 1 presenta valores de diámetro y de altura mayores que la parcela 2. Es destacable la variabilidad observada en ambas variables, como resultado de un importante efecto borde en ambas parcelas. El efecto borde se denota del importante coeficiente de variación en altura (25% frente a 19% en la parcela 1), y de la diferencia relevante (2 m) entre la altura media y la dominante.

El diámetro estimado a partir de la ecuación 1 fue 16,1 cm, valor entre 2 y 3 cm superior al diámetro real. En cuanto a la altura, la estimación con la ecuación 2 fue 21,2 m en la parcela 1 y 20,9 m en la parcela 2, valores muy superiores (entre 7 y 8 m) a las alturas medidas en campo.

Tabla 1. Variables de árbol individual

	Variables	Media	Mínimo	Máximo	Desviación típica
Parcela 1	Diámetro (cm)	14,2	3,3	21,5	3,96
	Altura (m)	14,0	1,9	19,2	2,73
Parcela 2	Diámetro (cm)	13,0	2,0	20,8	4,31
	Altura (m)	12,5	3,0	18,3	3,14

Las variables de masa para cada parcela se muestran en la Tabla 2. La determinación de la calidad de estación resulta difícil en esta parcela, no solo por el efecto borde, sino por la inexistencia de modelos específicos para el clon estudiado o las propias diferencias indicadas entre altura media y dominante. La parcela 1 presenta mejor calidad que la parcela 2, como era de esperar después de observar las variables de árbol individual.

Tabla 2. Variables dasométricas de masa

	Parcela 1	Parcela 2
Área basimétrica (m^2/ha)	6,16	4,72
Altura dominante (m)	16,1	14,5
Densidad (pies/ha)	361	322

En la Tabla 3 se observan las estimaciones del volumen y el crecimiento en cada parcela utilizando las ecuaciones 3 y 4.

Tabla 3. Valores estimados del volumen y el crecimiento

	Parcela 1	Parcela 2
Volumen (m^3) Coeficiente mórfico	36,7	26,4
Volumen (m^3) Ecuación 3	36,3	26,6
Crecimiento (m^3/ha/año) Ecuación 3	4,0	2,9

Las muestras de suelo se analizaron de forma conjunta sin diferenciar profundidades. Las características químicas y físicas del suelo se muestran en la Tabla 4. La parcela 1 presenta un pH más elevado que la parcela 2, en correspondencia con la saturación de Al que sigue una tendencia opuesta al pH. En cuanto a los cationes cambiables, la concentración de Ca y Mg es más elevada en la parcela 1, mientras que la de K es ligeramente más alta en la parcela 2 y la de Al es más baja en la parcela 1. Ambas parcelas

presentan un contenido de materia orgánica y una relación C/N con valores muy similares. La concentración de P es más elevada en la parcela 1 que en la 2. La textura de la parcela 1 está entre franco y franco-arcillosa y en la parcela 1 es franco, ambas tienen unos porcentajes de limo entre el 40 y 50%.

Tabla 4. Propiedades químicas y físicas de los suelos en las parcelas estudiadas

Variables	Parcela 1				Parcela 2			
	Media	Mínimo	Máximo	Desviación estándar	Media	Mínimo	Máximo	Desviación estándar
pH H_2O	5,56	5,11	6,02	0,44	5,16	5,15	5,17	0,01
pH KCl	4,56	4,02	5,14	0,52	4,15	4,10	4,19	0,06
C (%)	2,44	1,72	3,53	0,78	2,58	2,28	2,89	0,44
N (%)	0,20	0,13	0,29	0,07	0,20	0,18	0,22	0,03
C/N	12,29	11,72	13,58	0,83	12,83	12,62	13,04	0,30
Materia Orgánica (%)	4,34	3,05	6,28	1,40	4,60	4,05	5,15	0,78
Ca (cmol/kg)	5,12	2,55	8,64	2,58	1,18	0,47	1,89	1,00
Mg (cmol/kg)	1,35	0,73	2,04	0,56	0,61	0,33	0,88	0,39
Na (cmol/kg)	0,13	0,06	0,20	0,06	0,14	0,13	0,14	0,01
K (cmol/kg)	0,29	0,19	0,43	0,10	0,34	0,25	0,42	0,12
Al (cmol/kg)	0,78	0,11	1,52	0,64	2,37	2,02	2,72	0,50
CICe (cmol/kg)	7,67	5,06	11,41	2,69	4,63	3,92	5,34	1,01
% Al	13,38	1,00	30,11	12,89	53,57	37,77	69,37	22,34
P (mg/kg)	13,57	6,57	19,67	5,56	7,16	6,57	7,76	0,84
Textura	Franco y Franco-arcillosa				Franco			

4. Discusión y conclusiones

Las parcelas estudiadas son características de plantaciones en suelos ácidos, en estaciones fuera del ámbito habitual de la populicultura de ribera. Ya se ha indicado que los clones óptimos para plantar en estas condiciones deben ser rústicos, a menudo cruces interamericanos clasificables como chopos balsamíferos (Grau *et al.,* 1997). Las parcelas bajo estudio presentan unos valores de diámetro y altura algo inferiores a los observados para el mismo clon y árboles de la misma edad en la parcela leonesa de Gradefes (Rueda y García, 2013), ubicación que también es considerada por estos autores como marginal para el área tradicional de la populicultura.

Los niveles de crecimiento medio obtenidos por los clones interamericanos son habitualmente superiores a los de euramericanos en estaciones fuera de ribera o con limitaciones de acidez o de textura de suelo (Souléres, 1992). Esto hace que la comparación directa de crecimientos sea difícil. Así, en ocasiones el clon 'I-214' en plantaciones con edades entre 8 y 14 años da crecimientos comparables con los de la parcela 1, 15,95 cm de diámetro y 14,26 m de altura (Martín-García *et al.,* 2012).

Las parcelas estudiadas corresponden a suelos agrícolas en el ámbito gallego, de carácter moderadamente ácido y niveles de saturación de Al que no alcanzan el carácter álico del 60% (Buol et al., 1975), tan habitual en suelos forestales. La concentración de Ca está muy por encima de los valores considerados como adecuados en plantaciones forestales (>0,25 cmol(+)/kg). Los niveles de Mg son superiores a los valores adecuados para una buena productividad forestal (0,12 cmol(+)/kg). El K cambiable alcanzó niveles óptimos en las 2 parcelas (> 0,20 cmol(+)/kg) (Bonneau, 1995). Los valores de CICe están en el rango propuesto por Jung et al. (2002) como los más comunes en el suelo (3-18 cmol(+)/kg). Para P disponible, se consideraron los niveles adecuados propuestos por Bonneau (1995) y corregidos los datos aplicando la relación entre Melich 3 y P Olsen (Monterroso et al., 1999), la parcela 1 presenta niveles intermedios (10-18 mg/kg) y la parcela 2 niveles deficientes (<10 mg/kg). El bajo contenido de materia orgánica de las parcelas puede relacionarse con las mejores condiciones que presenta para su mineralización (mayor pH); ésta materia orgánica tiene una menor relación C/N, tratándose de una materia orgánica más humificada.

En la Tabla 5 se muestran los valores observados por otros autores para plantaciones de chopo. El pH en plantaciones de 'Beaupré' de 18 años (Miresonne *et al.,* 2007) y de 'I-214' entre 8 y 14 años (Martín-García *et al.,* 2012) es más elevado que el pH de nuestras parcelas. Lo mismo sucede con la concentración de Ca, con niveles superiores a los de 'Raspalje'. La concentración de Mg es ligeramente más elevada en las parcelas de 'Raspalje' y la de K es similar en los 3 clones. La relación C/N es similar a la observada por Mao *et al*. (2010) en plantaciones de *Populus ×euramericana* de 10 años de edad y ligeramente superior a los valores observados para 'Beaupré' e 'I-214'. En cuanto al P, la parcela 1 presenta valores comparables con los de Martín-García *et al.* (2012).

Tabla 5. Parámetros edáficos en plantaciones de chopo

Referencia	pH	Ca cmol(+)/kg	Mg cmol(+)/kg	K cmol(+)/kg	P (mg/kg)	C/N
Miresonne et al (2007)	6,36	7,67	0,18	0,31	-	10,5
Mao et al (2010)	-	-	-	-	-	13,3
Martín-García et al (2012)	7,5	11,2	0,64	0,38	14,2	9,9

Los resultados indican un buen potencial de crecimiento sobre suelos que resultan marginales para los estándares de la populicultura, pero que son bastante fértiles en comparación con terrenos forestales. La mejor productividad se observó en la parcela 1, que mostró una menor saturación de Al en el complejo de cambio y mayor nivel de pH. El clon 'Raspalje' ha mostrado buen crecimiento tanto en suelos fértiles como en los considerados pobres desde la perspectiva de la populicultura tradicional (Rueda *et al.,* 2016a).

La comparativa con las tablas de calidades de Rueda de las parcelas estudiadas indica un nivel bajo (calidad V), aunque una proyección conservadora del crecimiento a un turno de 16 años arrojaría 12 m^3/ha año, lo que para un valor en pie de 60€/m^3 supone un potencial ingreso final de 11520 €/ha para el propietario. La populicultura para producción de madera de desenrollo requiere de una gestión activa, que incluye intervenciones frecuentes y control de la vegetación de subpiso, por lo que esta opción resultaría favorable para mantener paisajes arbolados de menor combustibilidad.

5. Bibliografía

BONNEAU, M.; 1995. Fertilisation des forêsts dans les pays tempérés. ENGREF, Nancy.

BUOL, SW.; SANCHEZ, PA.; CATE, RB.; GRANGER, MA.; 1975. Soil fertility capability classification for fertility management. En: Bornemisza, E., Alvarado, A. (Eds.), Soil Management in Tropical America. North Carolina State Univ., Raleigh, N. C., USA, pp. 126–145.

CONFEMADERA; 2010. El cultivo y utilización del chopo en España. Observatorio Industrial del Sector madera y mueble. 50 páginas.

FAO; 2009. Guía para la descripción de suelos. Cuarta edición. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. Roma. 111 páginas.

FERNÁNDEZ MANSO, A.; HERNANZ ARROYO. G.; 2004. El chopo (*Populus* sp.). Manual de gestión forestal sostenible. Junta de Castilla y León. Depósito Legal: BU – 131. 56 páginas.

GARNICA PLYWOOD; 2016. El cultivo del chopo. 2ª Edición. 28 páginas.

GARNICA PLYWOOD; 2015. Chapa obtenida en el desenrollo en largo de varios clones de chopo del Cerrao, Baños de Río Tobía. 9 páginas.

GRAU, J.M.; GONZÁLEZ, F.; MONTOTO, J.L.; 1997. Clones de chopo para una nueva populicultura de media y alta montaña. Cuadernos de la S.E.C.F., 5, 183-189

GUITIÁN, F.; CARBALLAS, MT.; 1976. Técnicas de análisis de suelos. Pico Sacro: Santiago de Compostela.

IGME; 1981. Mapas Geológicos de España. Ministerio de Industria y Energía, Madrid.

JUNG, MCh.; THORNTON, I.; CHON, HT.; 2002. Arsenic, Sb and Bi contamination of soils, plants, waters and sediments in the vicinity of the Dalsung Cu–W mine in Korea. Sci. Total Environ. 295: 81–89.

KAMPRATH, EJ.; 1970. Exchangeable aluminium as a criterion for liming leached mineral soils. Soil Sci. Soc. Am. Proc. 34: 252–254.

MAO, R.; ZENG, DH.; HU, YL.; LI, LJ.; YANG, D.; 2010. Soil organic carbon and nitrogen stocks in an age-sequence of poplar stands planted on marginal agricultural land in Northeast China. Plant Soil. 332: 277-287.

MARTÍN-GARCÍA, J.; MERINO, A.; DIEZ, JJ.; 2012. Relating visual crown conditions to nutritional status and site quality in monoclonal poplar plantations (*Populus ×euramericana*). Eur. J. Forest. Res. 131: 1185-1198.

MEIRESONNE, L.; SCHRIJVER, AD.; DE VOS, B.; 2007. Nutrient cycling in a poplar plantation (*Populus trichocarpa x Populus deltoides* "Beaupré") on former agricultural land in northern Belgium. Can. J. For. Res. 37: 141-145.

MONTERROSO, C.; ÁLVAREZ, E.; FERNÁNDEZ MARCOS, ML.; 1999. Evaluation of Mehlich 3 reagent as a multielement extractant in mine soils. Land Degrad. Dev. 10: 35–47.

OLSEN, SR.; SOMMERS, LE.; 1982. Phosphorus. En: PAGE, AL.; MILLER, RH.; KEENEY, DR. (eds.): Methods of Soil Analysis, Part 2. Chemical and Microbiological Properties. EEUU, Madison, WI.

PEECH, L.; ALEXANDER, LT.; DEAN, LA.; 1947. Methods of Soil Analysis for Soil Fertility Investigations.UDA Cir. No 757. US Government Printing Office, Washington.

RUEDA, J.; GARCÍA CABALLERO, JL.; VILLAR, C.; 2011. Elección de clones idóneos para la populicultura en la cuenca del Duero. Junta de Castilla y Léon. Consejería de Fomento y Medio Ambiente. Dirección General del Medio Natural. 12 páginas.

RUEDA, J.; GARCÍA CABALLERO, JL.; 2013. Parcela de experimentación de clones de chopos LE-3 Gradefes. Junta de Castilla y Léon. Consejería de Fomento y Medio Ambiente. Dirección General del Medio Natural. 36 páginas.

RUEDA, J.; PADRÓ, A.; GRAU, JM.; SIXTO, H.; VILLAR, C.; GARCÍA CABALLERO, JL.; MARTÍNEZ SIERRA, F.; ARANZAZU PRADA, M.; GARAVILLA, V.; DE LUCAS, A.; HIDALGO, E.; AGUILAR, E.; VILLAMEDIANA, JA.; BELLERA, C.; 2016a. Clones de chopos del Catálogo Nacional de Materiales de Base. Junta de Castilla y Léon. Consejería de Fomento y Medio Ambiente. Dirección General del Medio Natural. 72 páginas.

RUEDA, J.; GARCÍA CABALLERO, JL.; CUEVAS, Y.; GARCÍA-JIMÉNEZ, C.; VILLAR, C.; 2016b. Cultivo de chopos en Castilla y León. Junta de Castilla y Léon. Consejería de Fomento y Medio Ambiente. Dirección General del Medio Natural. 92 páginas.

SOULÉRES, G.; 1992. Les milieux de la populiculture. Institut pour le développement forestier. 315 páginas.

Agradecimientos

La financiación de este trabajo ha sido posible a través de los proyectos RTA2014-0007-C03 y RTA2017-0015-C02. Se agradece sinceramente al propietario de la parcela su estrecha colaboración.

Cultivo del chopo en turno corto para la producción de biomasa: Un camino a medio recorrer

SIXTO, H.[1]; OLIVEIRA, N.[1]; CAÑELLAS, I.[1]

[1] Departamento de Selvicultura y Gestión de los Sistemas Forestales. INIA-CIFOR. Ctra. A Coruña, km 7,5; 28040 Madrid

Palabras clave
Populus spp., alta densidad, turno corto, biomasa, bioeconomía.

1. Contexto

El empleo de la biomasa como fuente de energía renovable, conocido desde los orígenes de la humanidad, cobró de nuevo un fuerte protagonismo en Europa al inicio del actual siglo. Se identificó en aquel momento una urgente necesidad de incrementar las energías renovables (EERR) en sustitución progresiva de las de origen fósil, como consecuencia de la necesidad de combatir el cambio climático y mejorar la seguridad e independencia del abastecimiento energético. La promoción del uso de energía de origen renovable recayó en la Directiva 2009/18/EC del Parlamento Europeo y desde entonces se han ido definiendo objetivos cada vez más ambiciosos que se han ido concretando en diferentes reglamentaciones. Los horizontes temporales de las mismas han sido 2020 (COM/2010/639), 2030 (COM/2014/015) y 2050 (COM/2011/0885), persiguiendo el fin último de descarbonizar el sistema energético.

Según datos de la Agencia Europea de medio ambiente (2017), en la década 2005-2015, la proporción de EERR en el consumo final de energía del conjunto de la UE paso del 9% al 17%, por lo que prácticamente se duplicó. Países como Suecia, Finlandia, Letonia, Austria o Dinamarca estuvieron a la cabeza, existiendo mucha disparidad en cuanto al origen de las fuentes energéticas. Así, por ejemplo, en Estonia el uso de renovables se basa mayoritariamente en biomasa, en Irlanda es la energía eólica la que cobra protagonismo, teniendo en Grecia un origen más diverso, contribuyendo tanto la biomasa, la hidráulica, eólica o solar, por ese orden de importancia. La biomasa solida representó en 2015 el 44,7% respecto al total de renovables en el conjunto de la unión según Eurostat (2017).

En España, en sintonía con las políticas comunitarias, se identificó también la necesidad de un crecimiento en energías renovables y se implementaron reglamentaciones en este sentido. Así, se desarrolló el Plan de Fomento de Energías Renovables (PER) para el periodo 2005-2010 primero y, con posterioridad, el Plan de Acción Nacional de Energías Renovables (PANER), para el periodo 2011-2010, en concordancia con la directiva comunitaria. En nuestro país, el porcentaje de renovables respecto al consumo final bruto de energía en 2015 fue del 16,2%, ligeramente por debajo de la media europea, representando la biomasa solida aproximadamente el 30% (Eurostat, 2017).

La crisis económica iniciada en los años precedentes supuso, al menos a nivel europeo, un elemento más de incertidumbre que se sumaba a los efectos del clima sobre los sistemas de producción y su sostenibilidad. La reflexión sobre la búsqueda de oportunidades dio origen a una Estrategia en Bioeconomía (COM, 2011-60) que fundamenta su desarrollo en el uso de la biomasa, considerando que ésta abarca “la producción de recursos biológicos renovables y la conversión de estos recursos y corrientes de desechos en productos de valor agregado, como alimentos, piensos, productos biológicos y bioenergía". Su enfoque persigue además ser integrador, teniendo en cuenta retos ecológicos, ambientales, energéticos, alimentarios y en relación con los recursos naturales a los que se enfrenta

Europa. También en España se consideró este nuevo escenario y por ello, buscando la sintonía con la estrategia europea pero también con ciertas particularidades en clave nacional, se publicó la Estrategia Española de Bioeconomía (MINECO, 2015).

2. Biomasa: Concepto

La biomasa se ha definido de múltiples maneras. Quizás su acepción más simple y general sea la que se refiere a toda la materia orgánica valorizable. La Directiva Europea de Energías Renovables (2009/28/EU), cuya definición también asume la Estrategia de Bioeconomía Europea, se refiere a ella como a "la fracción biodegradable de productos, desechos y residuos de origen biológico de la agricultura (incluidas las sustancias vegetales y animales), la silvicultura y las industrias relacionadas, incluidas la pesca y la acuicultura, así como la fracción biodegradable de desechos industriales y municipales". Similar definición se recogía en España en el RD 661/2007, derogado en 2013, que regulaba la producción de energía eléctrica en régimen especial.

Entre los tipos de biomasa susceptibles de ser usados para su empleo energético o, de manera más amplia, como materia prima de las biorefinerías se encuentra la biomasa de origen forestal. Esta representó, según el estudio de Joint Research Centre (JRC, 2014) el 58 % del total de biomasas, incluyendo la atribuible a cultivos leñosos sobre terrenos agrícolas. Las fuentes de biomasa forestal son variadas, diferenciándose: i) las derivadas de aprovechamientos forestales que requieren de un permiso de corta, ii) los residuos que se generan en el monte como resultado de operaciones selvícolas que no requieren de permiso, iii) los procedentes de la industria forestal como las derivadas del tablero etc. y, por último iii) los *cultivos forestales* diseñados específicamente para el aprovechamiento completo de su biomasa leñosa (sistemas agroforestales). Estos últimos se han identificado como muy relevantes en cuanto a sus posibilidades de contribuir a la diversificación eficiente de las fuentes de biomasa (Broecks *et al.* 2012, Huber *et al.* 2017, IUFRO 2018).

3. Cultivos leñosos en turno corto. El camino andado

En Europa la biomasa con origen en las especies forestales procede mayoritariamente del monte y de su selvicultura asociada, y por otra parte de los terrenos agrícolas cultivados con especies de crecimiento rápido (agroforestería) como es el caso del cultivo de las especies e híbridos del género *Populus.*

En relación con los cultivos instalados específicamente para este uso, o cultivos dedicados como también se les denomina en la literatura anglosajona, las especies leñosas de crecimiento rápido han sido un referente, al mostrar su alta adecuación tanto por las características ligadas a su producción y manejo (fácil arraigue, buen crecimiento juvenil, facilidad para el rebrote, material genético abundante, amplia adaptación, etc.) como por las ligadas a su uso final (bajo contenido en Cl y S, bajo contenido en cenizas o alto contenido en lignina, entre otros). El género *Eucaliptus* spp., pero sobre todo la familia de las *Salicaceae* (*Populus* spp. y *Salix* spp.) son las que han presentado un mayor desarrollo. El sauce es quizás el género referente de los cultivos leñosos para biomasa en el norte de Europa (Mola 2010; Verwijst *et al.*, 2013), cobrando, sin embargo, más presencia el chopo en el centro y sur de Europa (Manzone *et al.,* 2014; Navarro *et al.,* 2016). La relevancia del cultivo de las salicáceas para esta finalidad productiva (obtención de biomasa) a escala global se refleja en la abundante información que la Comisión Internacional del Álamo, órgano dependiente de FAO, recoge en sus diferentes congresos en la última década, abordando el tema en uno de sus grupos de trabajo (http://www.fao.org/forestry/ipc).

En nuestro país, el Ministerio de Educación y Ciencia lanzó en 2006 una iniciativa para explorar la viabilidad de estos cultivos destinados a fines energéticos, incluyendo los cultivos forestales de crecimiento rápido establecidos en tierras agrícolas excedentarias de la agricultura. La iniciativa, plasmada en un Proyecto Singular Estratégico denominado *On-Cultivos*, parecía necesaria en un escenario en el que se quería potenciar la producción de energía, y fundamentalmente la energía eléctrica a partir de biomasa. Por ello, en su desarrollo se involucraron un alto número de PYMEs y de asociaciones pero también grandes grupos empresariales como es por ejemplo el caso de Acciona Energía.

En relación con los cultivos forestales se instalaron en diferentes zonas del territorio plantaciones que perseguían diferentes objetivos. Por un lado se establecieron plantaciones denominadas de *Demostración* cuyo objetivo era simular un manejo próximo al real, tanto con relación a los cuidados culturales como fundamentalmente a la mecanización del cultivo, que se consideraba imprescindible para su desarrollo eficiente. El tamaño mínimo de las mismas fue de 2 ha, e incluía genotipos que habían sido previamente ensayados para el cultivo en alta densidad en otros países mediterráneos ('AF2' y 'Monviso', por ejemplo) o bien estaban ampliamente extendidos para su cultivo en España, y se consideraron, por tanto, un control adecuado, como fue el caso del conocido clon 'I-214'.

Por otro lado se diseñaron ensayos denominados de *Experimentación* que abordaron tanto: i) la exploración de la producción y el manejo bajo diferentes densidades de cultivo, como ii) la adecuación de distinto material vegetal a diferentes condiciones edafo-climáticas. En este caso los tamaños de parcela fueron siempre inferiores a 1 ha. Adicionalmente se instalaron también de manera experimental ensayos con otros géneros, como por ejemplo híbridos de *Paulownia* spp. y material de *Ulmus pumila*. La información relativa a esa red de ensayos está ampliamente detallada en Sixto *et al.* (2013).

Se definieron además las prácticas de manejo y se identificaron las principales dificultades, que en la mayor parte de los casos pasaban por un control inadecuado de la flora competidora inmediatamente antes y después del establecimiento, lo que condujo a importantes fracasos o, cuanto menos, a pérdidas relevantes respecto a la producción potencial. La ausencia de maquinaria específica a escala nacional y local, tanto para la plantación como para la recolección, accesible a un precio competitivo, ha sido sin duda uno de los factores más limitantes. Todo ello se encuentra compilado en un manual específico (Sixto *et al*., 2010).

La empresa Acciona Energía, en línea con la labor iniciada en el proyecto mencionado, y como consecuencia de la inauguración de su planta en Miajadas (Extremadura) con una potencia instalada de 15 MW y en la que se preveía utilizar un 30% de cultivos leñosos (prioritariamente chopos), lideró un proyecto de la convocatoria Impacto (proyectos financiados por el Plan Nacional de I+D+i de colaboración entre empresas y centros de Investigación) en el que se perseguía el desarrollo de la generación eléctrica con biomasa en plantas centralizadas de biomasa multicombustible. El proyecto se justificaba en diferentes aspectos que abarcaban desde el ámbito agrícola (aprovechar el potencial de Extremadura e identificar alternativas para una parte de sus regadíos, por ejemplo), posibilitar la superación de la economía de escala (instalación de más plantas energéticas), socioeconómicas (crear empleo en entornos rurales), medioambientales (reducción de gases de efecto invernadero entre otros) y como no industriales (asegurando el suministro de la materia prima desde entornos próximos).

El Plan de Fomento del Empleo (Plan E) permitió que otros grandes grupos empresariales, como es el caso de Iberdrola Renovables, liderase iniciativas en relación con la puesta en marcha de cultivos y a su escalado, con el punto de mira puesto en la producción de electricidad con biomasa, considerando que la biomasa forestal requeriría de un apoyo en el suministro de la materia prima tanto a escala local como temporal. En breve está prevista la publicación de un libro blanco que recoja estas experiencias. El avance

más significativo en este caso a escala técnica fue quizás materializar la mecanización del cultivo, si bien con maquinaria que debe ser importada para abordar estas tareas y que cuyo impacto económico en la totalidad del cultivo es probablemente elevada en exceso. Fueron también esclarecedoras las diferentes aproximaciones de los propietarios de terrenos a este tipo de iniciativas. Desde el punto de vista científico, el proyecto posibilitó ampliar la información sobre la respuesta del material vegetal ensayado a condiciones ambientales diferentes a las contempladas en proyectos anteriores, lo que contribuye a la mejor estimación de la producción a escala nacional así como a identificar las respuestas en relación al crecimiento y la producción de un catálogo de clones variado frente a condiciones ambientales distintas. También el comportamiento clonal y la influencia del ambiente se reflejó en las características de la madera cuando se analizaron variables ligadas a su uso para la producción de energía (e.g. Monedero *et al.,* 2016).

El grupo ENCE, por otro lado, adopta en 2011 una modificación pasando a denominarse Ence Energía y Celulosa, concursando en diferentes subastas para la instalación de plantas de producción de electricidad. Ello les llevó a realizar una apuesta importante en la implantación de cultivos leñosos a turno corto y alta densidad, en este caso desde una aproximación diferente, en la que la propia empresa gestionaba los terrenos y cultivaba para obtener su propia biomasa. En este caso las plantaciones mayoritariamente se centraron en torno al eucalipto, género insignia para el grupo, pero también se establecieron plantaciones con chopo en las áreas de influencia donde se preveía la instalación de plantas. Si bien no existía en este caso ninguna vinculación a través de proyectos de investigación comunes, desinteresadamente permitieron la toma de datos pertinente que nos permitía incrementar el potencial de datos a partir del cual analizar problemas complejos, como es por ejemplo el análisis de la interacción genotipo*ambiente, las estimaciones de la producción a escala nacional, la relevancia del sistema radical en la acumulación de carbono en el suelo etc. difíciles de abordar de otra manera.

La derogación en 2013 de las regulaciones que incentivaban la producción de energía eléctrica en régimen especial utilizando biomasa, supusieron un jarro de agua fría para el sector, con claras consecuencias para el desarrollo de estas plantaciones que se habían considerado claves para el suministro de la materia prima en algunos casos o necesariamente complementarias en otros. Esta derogación, por lo que suponía para el sector de la producción de energía con biomasa en general, fue fuertemente contestada y argumentada tanto desde las empresas como desde diferentes asociaciones durante años, cundiendo el desánimo en muchos momentos. En relación con el cultivo del chopo para la producción de biomasa, la desincentivación fue generalizada, si bien casi hasta hoy algunas de las empresas han querido seguir las iniciativas emprendidas, para al menos poder extraer algunas conclusiones.

El conjunto de iniciativas mencionadas ha contribuido a poder crear una Red de Parcelas a partir de la cual obtener información de interés que han permitido y permitirá aun en el medio plazo, extraer conclusiones sobre el potencial del cultivo, así como también, y no menos importante, detectar dónde se encuentran las principales debilidades y en qué escenarios se deberían implementar.
En paralelo, desde la financiación de la I+D ligada a convocatorias nacionales en relación con las convocatorias de Tecnologías y Recursos Agrarios competitivos, se ha avanzado en aspectos tan importantes como el conocer *la respuesta productiva del material clonal* en función del ambiente (interacción genotipo*ambiente) y las dificultades que la modificación de la respuesta conlleva en la adecuada recomendación clonal (Sixto *et al*., 2013; Sixto *et al.,* 2015). Ligar además estas respuestas productivas diferentes a las características concretas de sitio (suelo y clima) ha sido también una de las tareas iniciadas (Sixto *et al*., 2016). Por citar un ejemplo, la producción del clon 'Orion' vario entre 22,6 y 12,5 t m.s ha^{-1} $año^{-1}$ o entre 19 y 8 t m.s ha^{-1} $año^{-1}$ para el clon 'Baldo' en función de las condiciones de sitio. El comportamiento de los clones es por tanto variado, detectándose respuestas muy estables como

es el caso de los clones 'I-214', 'Monviso' o 'Guardi' frente a otros menos estables y con alta capacidad de reacción cuando las condiciones de sitio le son favorables ('AF2' p.ej.), si bien es mucha todavía la información que queda pendiente de análisis y que permitirá afinar las mejores opciones para sitios concretos.

La predicción de la producción en pie es a todas luces necesaria para poder realizar estimaciones del recurso a escalas nacional y regional. Esa predicción debe basarse en modelos formulados a partir del mejor conocimiento de las relaciones del crecimiento del árbol, del sitio y de su forma de manejo. En ese sentido se han mejorado las estimaciones de la producción de biomasa para el cultivo del chopo en alta densidad para condiciones mediterráneas, tanto a escala de árbol individual como a escala de territorio (Oliveira *et al.,* 2017a; Oliveira *et al*., 2017b; herramienta Bioraise gestionada por Ciemat, entre otros). Las predicciones a escala de la península ibérica basados en información de la red de parcelas indicaron una productividad media de 15,3 t ha^{-1} $año^{-1}$ (Pérez-Cruzado *et al*., 2013), si bien la curva de aprendizaje tiene aún mucho recorrido en las diferentes fases del cultivo.

La densidad de plantación (con ensayos entre 5.000 y 33.000 pies ha^{-1}) ha sido otra de las cuestiones controvertidas a la hora de planificar las plantaciones. Si bien la mayor producción se obtiene a densidades altas (en torno a 15.000/20.000 pies ha^{-1}) al menos en el primer turno, la competencia entre pies en turnos posteriores, pero sobre todo las cuestiones asociadas a la logística, como maquinaria (necesidad de calles no inferiores a 2,5m, por ejemplo) e incluso a la economía (mayor nº de estaquillas y por tanto mayor coste por hectárea), parecen aconsejar densidades de entre 6.000 y 15.000 pies ha^{-1} (Cañellas *et al.,* 2011).

Se ha explorado la posibilidad de conseguir incrementos en la producción mediante la utilización de *plantaciones mixtas*. En este sentido se estableció una plantación en la que se combinaron diferentes proporciones de mezcla de las especies *Populus alba* y *Robinia pseudoacacia* (conocida fijadora de nitrógeno). Si bien los resultados del 1º turno apuntaban a aumentos discretos, aunque significativos, para una de las proporciones de mezcla (Oliveira *et al.,* 2018a), la mayor complejidad del manejo y la ausencia de mejora observada en el 2º turno parecen desaconsejar su uso, al menos en relación con las especies estudiadas.

Se ha ensayado, además de las especies e híbridos de *Populus* spp., la *posibilidad de utilizar otros géneros* como *Platanus ×hybrida*, *Robinia pseudoacacia* o híbridos de *Salix* spp (Oliveira *et al*., 2015). En términos productivos se pone de manifiesto la mejor adecuación de los clones de chopo aunque también de ciertos clones de sauce, lo que podría contribuir a la diversificación de las plantaciones, con las ventajas asociadas. En otros países del ámbito mediterráneo algunas de estas especies se han ensayado también para su uso agroforestal (Facciotto *et al.,* 2005, Civitarese *et al*., 2018).

La biomasa correspondiente a las raíces en las plantaciones de turno corto, puede contribuir sensiblemente al almacenamiento de carbono en el suelo. Se ha llevado a cabo un estudio de la relación con este tema para plantaciones de 1º turno, determinándose acumulaciones de carbono en torno a 0,9 t ha^{-1} $año^{-1}$. A nivel radical no se han detectado diferencias significativas en el comportamiento clonal, diferencias que sí se producen para la biomasa aérea. Se ha desarrollado además un modelo predictivo de esta biomasa a partir de la información del diámetro basal. Todo ello queda recogido en Oliveira *et al*. (2018b).

El consumo de agua y en concreto el aplicado mediante el riego, es uno de los temas que suscita controversia. Obtener producciones suficientes en escenarios de riego restringido mediante la utilización de materiales seleccionados en función de la eficiencia en el uso del agua (Gonzalez-Gonzalez *et al*.,

2017), la mayor tecnificación de los regadíos (aplicable a la agricultura en general) o la reutilización de aguas procedentes de distintas fuentes (Bustamante *et al*., 1998) pueden ser algunas de las soluciones.

Las colaboraciones internacionales están permitiendo en la actualidad participar en una red de ensayos de comparación clonal para la producción de biomasa a escala europea (EU-POP), en la que colaboran diecisiete países europeos y que lidera Alemania. Esta red, que sigue un diseño de cultivo y protocolo de manejo similar, incluye 17 clones en evaluación y tiene como objetivo determinar la adecuación de los clones para los diversos escenarios climáticos y edáficos. INIA y el centro de Recursos Forestales El Serranillo están implicados en esta tarea. En breve se prevé el análisis conjunto de la producción relativa al 1º turno a escala europea.

4. Y ahora hacia dónde

La biomasa tiene la fortaleza de ser un recurso altamente gestionable, lo que supone una importante ventaja frente a otras tecnológicas renovables más maduras (eólica o solar, por ejemplo). Son también conocidos otros beneficios asociados específicamente a este recurso, como puede ser su mayor impacto sobre el empleo en el ámbito rural o la evitación de incendios como consecuencia de la retirada de madera de los montes, entre otros (Balance Socioeconómico de las Biomasas en España 2017-2021). Todo ello en un contexto en el que el consumo de biomasa per cápita es en España sensiblemente inferior a la media Europea, aun a pesar de la relevancia de su superficie forestal (www.unionporlabiomasa.org).

La biomasa requiere aún de un impulso para solventar algunas de sus debilidades para algunos de los sectores de uso final, de tal forma que la dependencia de posibles ayudas sea en el medio plazo innecesaria, como ya ha sucedido con otras tecnologías antes apoyadas.

La Unión Europea está intensificando claramente su compromiso en la utilización de energías renovables (32% para el año 2030), previéndose que el 40% de ese consumo proceda de biomasa forestal. Además, la Comisión propone evitar cambios retroactivos injustificados en los sistemas de ayudas a las mismas a fin de garantizar la estabilidad financiera y la certidumbre para los inversores (European Parlament, A8-0392, 2017). Si en nuestro país estas apuestas también cristalizan, la biomasa de nuestros montes será finalmente utilizada y probablemente otras aplicaciones, más allá del uso térmico, puedan volver a ser considerados. En relación con la producción nacional de electricidad en 2017, la biomasa solo aportó un 2% del total mix, por ejemplo. En ese escenario, la contribución de los cultivos forestales sería probablemente necesaria para buscar la complementariedad espacio-temporal del recurso biomásico y las especies e híbridos de *Populus* jugarían, aquí también, un importante papel.

La mesa de debate organizada por INIA y la Plataforma Tecnológica de la Biomasa (BIOPLAT) en 2016 en la que se debatió sobre biomasa forestal y sobre biomasa procedente de cultivos forestales identificó, entre otras, las siguientes ideas-fuerza: i) La biomasa forestal es un recurso renovable esencial del que obtener productos en el marco de la bioeconomía y movilizar recursos forestales es movilizar biomasa 'multiuso', ii) Se asume que el modelo retributivo anterior esta derogado si bien se considera esencial que se implementen mecanismos de apoyo que permitan avanzar al sector. Es necesario avanzar en la gobernanza, y proporcionar un apoyo estable a la investigación en el sector, iii) Los propietarios forestales desean implicarse en la gestión de sus montes, sin embargo, todavía existen barreras vinculadas tanto la limitada rentabilidad obtenida por la comercialización de sus productos como la necesidad de establecer una demanda de biomasa estable y creciente. En relación con los cultivos forestales la mesa identifico lo siguiente: i) Se perciben como complemento necesario al aprovechamiento de la biomasa forestal por su disponibilidad espacio-temporal, lo que contribuiría a la mayor estabilidad del mercado, ii) Aportan

homogeneidad en cuanto a las características específicas de las biomasas, pudiendo conferir un grado diferente de adecuación tanto en relación con la bioenergía como para determinados bioproductos, iii) además, Son necesarios para el aprovisionamiento estable de ciertos sectores de la industria, pero también necesarios para la sostenibilidad de las masas naturales bajo determinadas circunstancias, iv) La implementación de estos cultivos puede constituir una oportunidad para determinados terrenos forestales poco productivos, terrenos marginales o excedentarios de la agricultura en zonas concretas de nuestra geografía, y por último se consideró que v) Existe margen para el avance en su curva de aprendizaje, lo que garantizaría su rentabilidad económica y la sostenibilidad de los mismos.
Solo el tiempo permitirá conocer el papel de la biomasa en los diferentes sectores energéticos de uso final así como también en la elaboración de bioproductos con base en la lignocelulosa, y la posible contribución de los cultivos forestales, y del chopo en particular, en todo ello.

6. Bibliografía

BROECKX, L., VERLINDEN, M., VANGRONSVELD, J., CEULEMANS, R., 2012. Importance of crown architecture for leaf area index of different Populus genotypes in a high-density plantation. Tree physiology 32, 1214-1226.

DE BUSTAMANTE, L., DORADO, M., VERA, S., OLIVEROS, C., 1998. Filtros verdes, un sistema para la depuración y reutilización de aguas residuales. Tecnoambiente, 79, 73-76.

CAÑELLAS, I., HUELIN, P., HERNÁNDEZ, M., CIRIA, P., CALVO, R., GEA-IZQUIERDO, G., SIXTO, H., 2012. The effect of density on Short Rotation Populus spp. plantations in the Mediterranean area. Biomass Bioenerg. 46, 645-652.

COM/2010/639- Communication from the Commission to the European Parliament, the Council, the European Economic and Social Committee and the Committee of the Regions Energy 2020: A strategy for competitive, sustainable and secure energy

COM/2014/015- Communication from the Commission to the European Parliament, the Council, the European Economic and Social Committee and the Committee of the Regions: A policy framework for climate and energy in the period from 2020 to 2030

COM/2011/0885- Communication from the Commission to the European Parliament, the Council, the European Economic and Social Committee and the Committee of the Regions Energy Roadmap 2050

CIVITARESE, V., FAUGNO, S., PICCHIO, R., ASSIRELLI, A., SPERANDIO, G., SAULINO, L., CRIMALDI, M., SANNINO, M., 2018. Production of selected short-rotation wood crop species and quality of obtained biomass. European Journal of Forest Research, 1-12.

DIRECCION GENERAL DE INVESTIGACION E INNOVACIO (CE) 2012. Innovating for Sustainable Growth: A bioeconomy for Europe. DOI 10.2777/6462

EUROSTAT, 2017. EUROPEAN PARLIAMENT. Report <NoDocSe>A8-0391/2017

FACCIOTTO, G., BERGANTE, S., LIOIA, C., MUGHINI, G., NERVO, G., GIOVANARDI, R., MANAZZONE, S., CARRETTI, R., 2005. Short rotation forestry in Italy with poplar and willow. In, 14th European Biomass Conference, pp. 17-21.

GONZALEZ-GONZALEZ, B., OLIVEIRA, N., GONZÁLEZ, I., CAÑELLAS, I., SIXTO, H., 2017. Poplar biomass production in short rotation under irrigation: A case study in the Mediterranean. Biomass & Bioenergy Vol.107:198-206.

HUBER, J.A., MAY, K., HÜLSBERGEN, K.J., 2017. Allometric tree biomass models of various species grown in short-rotation agroforestry systems. European Journal of Forest Research 136, 75-89.

IDAE,2011. Plan de fomento de energias renovables 2011-2020. (www.idae.es)

IUFRO, 2018. WOODY CROPS 2018 - International Short Rotation Woody Crops Conference, Wisconsin, USA;

MANZONE, M., BERGANTE, S., FACCIOTTO, G., 2014. Energy and economic evaluation of a poplar plantation for woodchips production in Italy. biomass and bioenergy 60, 164-170.

MINECO,2016. Estrategia Española de Bioeconomía: Horizonte 2030. Secretaría de estado de I+D+i, 46pp.

MINCOTUR, 2010. Plan de Acción Nacional de energías Renovables en España (PANER) 2011-2010. 173 pag.

MOLA-YUDEGO, B., 2010. Regional potential yields of short rotation willow plantations on agricultural land in Northern Europe. Silva Fennica 44, 63-76.

MONEDERO, E; HERNANDEZ,JJ; CAÑELLAS,I; OTERO, JM; SIXTO,H, 2016. Thermochemical and physical evaluation of poplar genotypes as short rotation forestry crops for energy use. Energy Conversion and Management Vol.129:131-139.

NAVARRO, A., STELLACCI, A.M., CAMPI, P., VITTI, C., MODUGNO, F., MASTRORILLI, M., 2016. Feasibility of SRC species for growing in Mediterranean conditions. Bioenerg. Res. 9, 208-223.

OLIVEIRA, N., CIRIA, P., CAMPS, F., SÁNCHEZ-GONZÁLEZ, M., SÁNCHEZ, M., CAÑELLAS, I., SIXTO, H., 2015. Assessing genotypes in second rotation for lignocellulosic biomass production. Orion 34, 12.70.

OLIVEIRA, N., DEL RÍO, M., FORRESTER, D.I., RODRÍGUEZ-SOALLEIRO, R., PÉREZ-CRUZADO, C., CAÑELLAS, I., SIXTO, H., 2018a. Mixed short rotation plantations of Populus alba and Robinia pseudoacacia for biomass yield. Forest Ecology and Management 410, 48-55.

OLIVEIRA, N., RODRÍGUEZ-SOALLEIRO, R., HERNÁNDEZ, M.J., CAÑELLAS, I., SIXTO, H., PÉREZ-CRUZADO, C., 2017a. Improving biomass estimation in a Populus short rotation coppice plantation. Forest Ecology and Management 391, 194-206.

OLIVEIRA, N., RODRÍGUEZ-SOALLEIRO, R., PÉREZ-CRUZADO, C., CAÑELLAS, I., SIXTO, H., 2017b. On the Genetic Affinity of Individual Tree Biomass Allometry in Poplar Short Rotation Coppice. Bioenerg. Res. 10, 525-535.

OLIVEIRA, N., RODRÍGUEZ-SOALLEIRO, R., PÉREZ-CRUZADO, C., CAÑELLAS, I., SIXTO, H., CEULEMANS, R., 2018b. Above- and below-ground carbon accumulation and biomass allocation in poplar short rotation plantations under Mediterranean conditions. Forest Ecology and Management 428, 57-65.

PÉREZ-CRUZADO, C., SANCHEZ-RON, D., RODRÍGUEZ-SOALLEIRO, R., HERNÁNDEZ, M., SÁNCHEZ-MARTÍN, M., CAÑELLAS, I., SIXTO, H., 2013. Biomass production assessment from Populus spp. short-rotation irrigated crops in Spain. GCB Bioenergy.

RENEWABLE ENERGY DIRECTIVE (2009/28/EC)

SIXTO,H; M.J. HERNÁNDEZ, P. CIRIA, J.E. CARRASCO, I. CAÑELLAS, 2010. Manual de cultivo de Populus spp.para la producción de biomasa con fines energéticos. Monografias INIA.60 pp. ISBN: 978-84-7498-530-6

SIXTO, H., HERNÁNDEZ, M.J., DE MIGUEL, J., CAÑELLAS, I., 2013. Red de parcelas de cultivos leñosos en alta densidad y turno corto, Madrid.

SIXTO,H; GIL,P; CIRIA,P; CAMPS,F; SANCHEZ,MM;CAÑELLAS,I; VOLTAS,J. 2014. Performance of hybrid poplar clones in short rotation coppice in Mediterranean environments: analysis of genotypic stability. Global Change Biology Bioenergy 6:661-671.

SIXTO, H., CAÑELLAS, I., VAN ARENDONK, J., CIRIA, P., CAMPS, F., SÁNCHEZ, M., SÁNCHEZ-GONZÁLEZ, M., 2015. Growth potential of different species and genotypes for biomass production in short rotation in Mediterranean environments. Forest Ecology and Management 354, 291-299.

SIXTO, H; GIL, P; CIRIA,P; CAMPS,F;CAÑELLAS,I; VOLTAS,J., 2016. Interpreting genotype-by-environment interaction for biomass production in hybrid poplars under short-rotation coppice in Mediterranean environments. Global Change Biology Bioenergy 8(6): 1124-1135.

UNION POR LA BIOMASA-, 2018. Balance Socioeconómico de las Biomasas en España 2017-2021. www.uniónporlabiomasa.org).

VERWIJST, T., LUNDKVIST, A., EDELFELDT, S., ALBERTSSON, J., 2013. Development of sustainable willow short rotation forestry in Northern Europe. In: Matovic, D.M.D. (Ed.), Biomass Now-Sustainable Growth and Use, pp. 479-502.

Agradecimientos

Acciona Energía, Iberdrola renovables, ENCE, Biopoplar, Bioplat, nuestros compañeros de la Universidad de Lugo y del Ciemat, gracias a todos. Al personal de apoyo de INIA, ilusionado e incansable siempre. Mención especial a nuestro compañero Jose Pablo de la Iglesia que no escatima un segundo para contribuir a este avance. También a los jóvenes contratados que empiezan y que derrochan trabajo e ilusión. Las convocatorias que a lo largo de los años han financiado esta tarea: RTA 2005-00182-C02, RTA2008-00025-C02, RTA2011-00006, RTA2014-00007-C3, PSE-On Cultivos, Decocel, Lignocrop.

Eficiencia en el uso del nitrógeno y respuesta fotosintética de genotipos de *Populus alba* L bajo condiciones controladas de sequía

GONZALEZ GONZALEZ, I.[1]; DE LA IGLESIA, J.P.[1]; PARRAS, A.[1]; OLIVEIRA, N.[1]; CAÑELLAS, I.[1]; SIXTO, H.[1]

[1] Centro de Investigación Forestal (CIFOR) del Instituto Nacional de Investigación y Tecnología Agraria y Alimentaria

Palabras clave:
Producción de biomasa, eficiencia intrínseca en el uso del nitrógeno, nitrógeno foliar, riego diferencial.

1. Introducción y objetivos

En las últimas décadas las plantaciones de chopos han sido ampliamente establecidas para la obtención de productos para la industria de pasta y papel, para la producción de biomasa con fines energéticos (biocombustibles) y para la mitigación de emisiones de dióxido de carbono (Luo y Polle 2009). La alta producción del chopo depende principalmente de la disponibilidad de agua, restringiendo su cultivo a zonas de ribera donde el agua no es un factor limitante. En estas zonas de cultivo la mayor parte de los suelos son pobres en nutrientes (Rennenberg *et al.,* 2010), por lo que para la obtención de un alto rendimiento sería necesario la aplicación de fertilización con el consecuente coste que se deriva de ello. La absorción de nutrientes inorgánicos por el árbol va a depender por un lado de la disponibilidad de los nutrientes y por otro de la capacidad y eficiencia fisiológica del sistema radicular del árbol (Gessler *et al*., 2005). Factores ambientales como la sequía pueden afectar a la disponibilidad de los nutrientes en el árbol, causando en general una reducción del contenido y concentración de los mismos en los árboles (Sardans *et al.,* 2008a). En el caso de especies más sensibles a la sequía, como es el caso de las especies de *Populus*, bajo sus efectos se puede producir una disminución del contenido de nutrientes, que provoquen una disminución del crecimiento y de la transpiración y por tanto una reducción de su biomasa área (Sardans *et al*., 2008b). Por lo tanto el estudio de la eficiencia en el uso de nutrientes especialmente del nitrógeno (NUE), resulta de interés para la producción comercial de los chopos debido a que el N en condiciones de sequía y de baja fertilidad del suelo, condiciones típicas de ambiente mediterráneo, podría limitar su crecimiento. Además, la selección de clones de *Populus* con mayor eficiencia en el uso del nitrógeno podría suponer un ahorro en la fertilización.

NUE ha sido definida de varias formas: (1) como la inversa de la concentración de N en la biomasa (2) como la cantidad de materia seca perdida o almacenada permanentemente dividida por la cantidad de nutriente perdido o almacenado permanente o (3) como el producto de la productividad del nutriente por el tiempo medio de residencia del nutriente. Pero la definición más comúnmente utilizada para especies de interés agronómico y forestal es la de la biomasa total producida por unidad de nutriente absorbida, lo que sería equivalente a la concentración de nutriente en la biomasa producida (Gourley *et al*., 1994). A pesar de las diferentes definiciones la mayor parte de los autores concluyen que NUE disminuye a medida que aumenta la disponibilidad del nitrógeno (Karim y Hawkins 1999; Li *et al.,* 2012). En los valores de NUE además de influir la especie, por ejemplo para chopo se han referido valores que oscilan entre 100 y 430 $g_{DM}\ g^{-1}{}_{N}$ (Jug *et al*., 1999; Berthelot *et al*., 2000), también van a influir otros factores, como los niveles del nutriente en el suelo y la cantidad de agua en el mismo. Aunque para cultivos energéticos herbáceos son abundantes los estudios sobre la influencia en NUE de la interacción genotipo y ambiente para los cultivos forestales y en concreto para el caso de *Populus spp.*, estos estudios son todavía escasos.

Durante el periodo de crecimiento la mayor parte del N va a ser utilizado para la producción de masa foliar, por lo que el contenido de N en hoja va a ser una de las propiedades principales que determinen la capacidad fotosintética al obtenerse elevadas relaciones positivas entre nitrógeno foliar y tasa fotosintética (Vapaavuori *et al*. 1995; Zhao *et al.,* 2006), además de su implicación en la conductancia estomática y en la transpiración (Prentice *et al*., 2014). La capacidad fotosintética influye en la producción de biomasa, obteniéndose una mayor producción con el incremento de la misma (Cooke *et al.,* 2005). La superficie foliar específica (SLA) es otra propiedad morfológica de la hoja altamente influenciada por las condiciones ambientales (luz, temperatura, disponibilidad de agua) y que está relacionada con la capacidad fotosintética y NUE (Rosati *et al*., 1999). Estudios recientes en ecología han incluido también el contenido de nitrógeno por área foliar (Na) como variable de interés, argumentando que elevados valores de N_a supondrían una adaptación a ambientes con baja disponibilidad de agua (Prentice *et al.,* 2014).

La eficiencia en el uso del agua es un importante indicador de la resistencia de la planta al estrés hídrico y es definida como el ratio entre la producción de biomasa y la unidad de agua utilizada. Es estimada a nivel foliar mediante el ratio entre la tasa fotosintética (A) y la transpiración (E) o la conductancia estomática (gs). La eficiencia intrínseca (a corto plazo) en el uso de agua (EIUA) es definida como el ratio entre *A* y *gs*. Variaciones en EIUA por tanto pueden venir determinadas bien por cambios en la conductancia o bien por cambios en la capacidad fotosintética, asumiendo por otro lado condiciones ambientales constantes (Guy y Holowachuk 2001). La correlación de EIUA con la producción no está del todo dilucidada, existiendo numerosos ejemplos en los que esta correlación está presente (Zhang *et al*., 2004) pero también muchos otros en los que ambas variables se comportan con independencia (Monclus *et al.,* 2005; Marron *et al*., 2005), abriendo la puerta a la mejora bidireccional.

Para obtener por lo tanto éxito en las líneas híbridas o nativas de *Populus* se debe combinar una alta productividad con una elevada tolerancia al estrés. Para conseguir este objetivo sería necesaria una mejor comprensión de la variación de las características, tanto fisiológicas como morfológicas, del material genético disponible bajo diferentes condiciones ambientales, con el fin de seleccionar los clones más aptos para el fin buscado. Para ello sería necesario estudiar las relaciones entre el uso eficiente del agua, la capacidad fotosintética, el uso eficiente del nitrógeno, y otras propiedades fisiológicas y morfológicas, con el crecimiento y la producción.

El objetivo principal de este estudio, realizado bajo condiciones controladas de invernadero, es seleccionar materiales forestales de reproducción de *P. alba* que tengan mejor adaptabilidad a condiciones de baja disponibilidad de agua. Para tal finalidad se plantearon los siguientes objetivos específicos: (1) estudiar la influencia, bajo condiciones de déficit hídrico, de parámetros fisiológicos (EIUA, A, gs) y morfológicos (SLA), así como de los contenidos de nitrógeno foliar y la determinación del uso eficiente del nitrógeno y (2) evaluar qué parámetros de los estudiados influyen en mayor medida en la producción de los materiales forestales utilizados.

2. Material y métodos

Materiales y Condiciones de cultivo

Se han ensayado cuatro genotipos pertenecientes a la especie *P. alba* L. Dos de ellos, 'GU-1-21-29' y 'PO-10-10-20', pertenecen a dos rodales diferentes ubicados en la cuenca del río Guadalquivir (ALBA, 2001), el genotipo 'J-1-3-18' procede de un rodal de la cuenca del río Jalón (ALBA, 2001), y el genotipo '111' es de origen italiano. Para el establecimiento del ensayo se han utilizado estaquillas de tallo de brotes de un

año de edad obtenidos de cepas madre. La longitud de las estaquillas fue de aproximadamente 40 cm. Previamente a la instalación se hidrataron en agua durante 48 h. con el fin de facilitar el arraigue.

El ensayo se realizó en invernadero bajo condiciones controladas de temperatura (Tmáx: 25±3 ºC y Tmín: 10±3 ºC), humedad (65%) e iluminación (1000 µE m^{-2} s^{-1}), durante los años 2016 y 2017. El cultivo se realizó en macetas individuales de 15,5 l de volumen, conteniendo una mezcla de turba TKS-2 y arena de río en proporción 3:1, al que se añadió abono mineral multicote (4-15-7-15+2MgO) de liberación lenta. En cada maceta se plantó un total de 2 estaquillas. Después de dos meses desde la instalación del material, se procedió a eliminar los brotes dobles y triples hasta dejar uno por estaquilla, procurando la mayor similitud de tamaño inicial entre las plantas. El número de plántulas utilizadas por genotipo fue de treinta y seis. La duración del ensayo en cada año fue de 4 meses.

Tratamientos

Se aplicaron tres regímenes de riego diferentes. Estos se correspondieron con la capacidad de campo (CC) (tratamiento control), el 60% de la capacidad de campo (R1) y el 40% de la misma (R2). La determinación y ajuste de las dosis se realizó mediante métodos volumétricos, utilizando sensores de humedad, lo que permitió la determinación tanto de la capacidad de campo como del punto de marchitez, así como el ajuste tanto de la dosis de riego como de la frecuencia óptima para lograr el mantenimiento de las concentraciones elegidas. Para tal fin, en las macetas se instalaron sondas ECH2O (mod. EC-5) a aproximadamente 15 cm de profundidad que permitieron determinar el contenido de humedad. El riego se aplicó de manera programada de tal forma que se mantuvieran las concentraciones de riego elegidas, utilizando goteros individualizados con un caudal de 4 l h^{-1}.

Cada maceta (combinación de tratamiento de riego y genotipo) se consideró como réplica en un diseño aleatorizado, disponiendo de 6 réplicas para cada combinación de genotipo y tratamiento.

Parámetros evaluados

a) Crecimiento y producción: supervivencia, crecimiento relativo en altura y diámetro, peso seco foliar y peso seco de la biomasa leñosa aérea.
b) Intercambio gaseoso: Tasa de asimilación neta de CO_2 (A, µmol.m^{-2}.s^{-1}), conductancia estomática al vapor de agua (*gs*, mol H_2O m^{-2} s^{-1}), infiriendo a partir de ambos valores la eficiencia intrínseca a corto plazo en el uso del agua (EIUA, µmol CO_2 mol^{-1} H_2O). La evaluación de estos parámetros se realizó sobre seis hojas desarrolladas en seis réplicas diferentes de cada combinación genotipo/ tratamiento, utilizando un LICOR LCpro+, ADC BioScientific Ltd. Hoddesdon, U.K. Las mediciones se repitieron cada 15 días a lo largo del ensayo sobre hojas totalmente expandidas y situadas en el tercio superior de la planta.
c) Morfológicos: determinación de la superficie foliar específica (SLA) mediante el peso seco de 3 discos de superficie conocida obtenidos para cada una de las seis réplicas diferentes de cada combinación genotipo/ tratamiento. La masa seca foliar por área (LMA, g.m^{-2}) se determinó dividiendo la masa foliar seca por el área total foliar, la cual fue estimada multiplicando el SLA por el peso seco foliar.
d) Nitrógeno foliar: una vez determinada la biomasa foliar seca de cada planta, al final del ensayo y previa molienda de las hojas, se determinó la concentración del nitrógeno total en hoja (N) mediante el método de combustión seca utilizando un analizador elemental (LECO, CN-2000). La concentración de N por unidad de área foliar (N_a) se determinó multiplicando la concentración de nitrógeno por LMA. El contenido de nitrógeno por masa foliar (N_m), calculado como el producto de la concentración de N por el peso seco foliar, fue utilizado para el estudio

de las relaciones entre variables. NUE fue calculada dividiendo la biomasa total por el contenido de nitrógeno en hoja.

Análisis de datos

La evaluación de la información relativa al efecto de los tratamientos de riego sobre los genotipos para las variables relativas al crecimiento, producción o arquitectura así como para las variables fisiológicas se analizó mediante un análisis de la varianza (ANOVA) de dos vías, considerando los tratamientos y los genotipos como factores principales. Se realizaron también ANOVAS de una vía cuando lo que se perseguía era valorar la respuesta a nivel de genotipo para una situación de riego concreta o por el contrario analizar la respuesta al riego para un genotipo concreto. Cuando existieron diferencias, las medias individuales se compararon mediante el test de Newman-Keulss ($p<0,05$).

Se ha utilizado la correlación de Pearson para determinar el grado de relación entre las variables analizadas. Además se realizó un análisis de regresión múltiple con la técnica de regresión en pasos (Stepwise), para determinar el efecto de las variables independientes (N, Nm, Na, sla, A, gs, altura, diámetro, biomasa foliar y biomasa leñosa) en la producción de biomasa total y NUE como variables dependientes, transformando aquellas variables que no cumplieron con el test de normalidad.

Para la realización de los citados análisis se empleó el paquete informático Statgraphics Plus.

3. Resultados

Crecimiento y producción

El crecimiento y la producción de biomasa, tanto leñosa como foliar, presentó diferencias significativas tanto entre las diferentes dosis de riego aplicadas como entre genotipos. El efecto conjunto de ambos factores también influyó de forma significativa en todas las variables estudiadas, si bien el factor tratamiento fue el que presentó un nivel de significación más elevado (Tabla 1).

Tabla 1. Estadístico F y p-value de los análisis de varianza (ANOVA) para las variables: altura, diámetro basal (Dn), biomasa foliar (BF), biomasa leñosa aérea (BL) en los factores tratamiento y genotipo

	Altura		Dn		BF		BL	
Factor	F	p-value	F	p-value	F	p-value	F	p-value
Genotipo	13.79	0.0000	3.60	0.0166	9.81	0.0000	5.76	0.0012
Tratamiento	49.51	0.0000	32.81	0.0000	32.3	0.0000	46.16	0.0000
Gen. x Trat.	28.07	0.0000	15.28	0.0000	18.4	0.0000	21.92	0.0000

La producción de biomasa leñosa y la altura son las variables cuyo porcentaje de variación explicado por ambos factores han sido los más relevantes, 54% y 61%, respectivamente. Tanto el crecimiento como la producción de biomasa leñosa (BL) y foliar (BF) se reducen de manera significativa con el aumento de estrés hídrico. Para la producción de biomasa foliar y de biomasa leñosa, variable de mayor interés comercial, el genotipo autóctono de *P. alba* 'GU-1-21-29' mostró el mayor rendimiento medio seguido del genotipo de origen italiano '111' (Tabla 2).

Para el tratamiento control (ausencia de estrés), no existieron diferencias significativas de BL entre clones, siendo muy bajas para BF. Sin embargo, para el tratamiento de reducción de riego (R1 y R2), los clones 'J-1-3-18' y '111' son los que presentaron una disminución significativa más acusada, tanto en producción de biomasa foliar como leñosa.

Tabla 2. Valores medios y desviación típica de parámetros de crecimiento (altura y diámetro basal, Dn) y producción (biomasa leñosa aérea, BL y biomasa foliar, BL) en los diferentes genotipos para las distintas dosis de riego ensayadas

Variable	Tratamiento	Genotipos de *Populus alba L.* evaluados				Media
		'111'	'GU 1-21-29'	'J 1 3 18'	'PO 10 10 20'	Trat.
Altura (cm)	Control	212±18 a*	185±21 c*	192±7 c*	167±11 b*	189 *
	R1	179±13 a**	168±23 a*;**	172±18 a**	145±23 b**	166 **
	R2	149±11 ab***	157±10 a**	144±16 ab***	136±19 b**	146 ***
	Media Gen.	**180 a**	**170 a**	**169 a**	**149 b**	
Dn (cm)	Control	13,24±1,05 a*	13,95±1,42 a*	13,47±0,49 a*	13,25±0,77 a*	13,48 *
	R1	12,16±0,76 a**	13,31±1,73 b*	12,10±0,77 a**	11,68±0,80 a**	12,31 **
	R2	11,14±0,41 ab***	11,69±0,84 ab**	10,83±0,58 a***	11,97±1,47 b***	11,41 ***
	Media Gen.	**12,18 a**	**12,99 b**	**12,13 a**	**12,30 ab**	
BF (g)	Control	30,07±6,63 a*	29,22±5,17 ab*	24,66±2,14 b*	26,20±2,82 ab*	27,40 *
	R1	24,84±4,37 a **	27,18±7,94 a*;**	19,36±2,67 b**	19,63±2,38 b**	22,75 **
	R2	17,99±1,69 c***	20,98±4,50 ab**	13,82±1,81 a***	21,78±2,61 b**	18,64 ***
	Media Gen.	**24,05 b**	**25,64 b**	**19,28 a**	**22,54 b**	
BL (g)	Control	54.66±13.41 a*	50.49±14.05 a*	46.53±5.81 a*	48.76±7.94 a*	50.11 *
	R1	40.08±8.06 ab**	48.09±16.09 a**	30.97±5.10 b**	32.73±6.14 b**	37.97**
	R2	27.40±4.19 a***	31.35±4.23 b**	20.77±3.06 c***	32.61±6.71 b**	28.03 ***
	Media Gen.	**40.71 a**	**43.31 a**	**32.76 b**	**38.03 ab**	

La significación de las medias generales para el conjunto de tratamientos se muestra en negrita y con asteriscos, y para el conjunto de genotipos mediante letras en negrita. La significación entre genotipos para un determinado tratamiento se muestra mediante letras sin negrita y la comparación de medias en los tratamientos en un mismo genotipo se representa con asteriscos sin negrita. En todos los casos la comparación se realizó mediante el test de Newman-Keulss ($p < 0.05$).

En el caso del diámetro basal las diferencias medias entre genotipos fueron muy pequeñas siendo 'GU-1-21-29' el que presentó la media significativamente más elevada. Para la altura habría que destacar que el valor medio significativamente más bajo lo presentó el genotipo 'PO 10 10 20' tanto para el tratamiento control como para los tratamientos R1 y R2.

Nitrógeno foliar, uso eficiente del nitrógeno y SLA

El efecto de los tratamientos así como de los genotipos de *P. alba* ensayados, influyeron significativamente, tanto de manera individual como para su interacción, en la concentración de nitrógeno foliar (N), en el contenido de nitrógeno por área (Na) y en la superficie foliar específica (SLA). El tratamiento fue el factor que tuvo un impacto más relevante (mayor significación) sobre N y NUE, aunque no para SLA, en el cual el factor genotipo fue el que tuvo un nivel de significación más alto. En el valor de NUE influyó de forma significativa en las dosis de riego aplicadas pero no los genotipos ensayados (tabla

3). Na y NUE son las variables cuyo porcentaje de variación explicado por ambos factores han sido los más elevados, 45% y 32%, respectivamente.

Tabla 3. Estadístico F y p-value de los análisis de varianza para las variables concentración de nitrógeno foliar (N), contenido de nitrógeno por área (Na), uso eficiente del nitrógeno (NUE) y superficie foliar especifica (SLA) en los factores tratamiento y genotipo

	N		Na		NUE		SLA	
Factor	F	p-value	F	p-value	F	p-value	F	p-value
Genotipo	3.38	0.0215	7.50	0.0002	1.71	0.1710	7.5	0.0002
Tratamiento	10.03	0.0001	16.15	0.0000	16.53	0.0000	3.18	0.0463
Gen. x Trat.	6.89	0.0000	14.99	0.0000	8.28	0.0000	5.67	0.0001

Tabla 4. Valores medios y desviación típica de la concentración de nitrógeno foliar (N), contenido de nitrógeno por área (Na), uso eficiente del nitrógeno (NUE) y superficie foliar específica (SLA) en los diferentes genotipos para las distintas dosis de riego ensayadas

Variable	Tratamiento	Genotipos de *Populus alba* L. evaluados				Media
		'111'	'GU 1-21-29'	'J 1 3 18'	'PO 10 10 20'	Trat.
N (%)	Control	1,42±0,18 a*	1,56±0,42 ab*	1,77±0,37 b*	1,55±0,20 ab*	1,57 *
	R1	1,80±0,33 a**	1,73±0,45 a*	2,27±0,38 b**	1,87±0,31 a**	1,92 **
	R2	1,88±0,23 a**	1,80±0,24 a*	1,90±0,33 a*;**	1,97±0,27 a**	1,89 **
	Media Gen.	1,70 a	1,69 a	1,98 b	1,80 ab	
Na (g/m^2)	Control	0,73±0,10 a*	0,88±0,10 a*	1,15±0,20 b*	1,08±0,19 b*	0,96 *
	R1	1,10±0,26 a**	1,29±0,29 ab**	1,29±0,20 ab**	1,38±0,24 b**	1,27 **
	R2	1,11±0,11 a **	1,21±0,15 a **	1,32±0,29 ab**	1,51±0,37 b**	1,29 **
	Media Gen.	0,98 a	1,12 ab	1,26 bc	1,32 c	
NUE (g_M/g_N)	Control	190±31 a*	180±61 a*	169±34 a*	186±24 a*	181 *
	R1	150±28 ab**	170±48 b*	118±22 a**	146±29 ab**	146 **
	R2	136±17 a**	143±25 a*	135±22 a**	129±22 a**	136 **
	Media Gen.	159 ab	164 b	141 a	154 ab	
SLA (m^2/kg)	Control	19.81±4.17 a*	17.66±3.68 ab*	15.33±1.45 b*	14.55±2.00 b*	16.84 *
	R1	16.78±2.95 a*	13.36±1.18 b**	17.65±2.87 a**	13.67±1.15 b *	15.37 *;**
	R2	16.89±1.97 a*	14.93±0.96 ab**	14.56±1.49 b*	13.73±3.63 b*	15.03 **
	Media Gen.	17.83 a	15.32 bc	15.85 b	13.98 c	

La significación de las medias generales para el conjunto de tratamientos se muestra en negrita y con asteriscos, y para el conjunto de genotipos mediante letras en negrita. La significación entre genotipos para un determinado tratamiento se muestra mediante letras sin negrita y la comparación de medias en los tratamientos en un mismo genotipo se representa con asteriscos sin negrita. En todos los casos la comparación se realizó mediante el test de Newman-Keulss ($p < 0.05$).

La concentración media de N y Na aumentó de forma significativa con la reducción de la dosis de riego, aunque no se obtuvieron diferencias significativas entre la reducción de riego moderado (R1) y la reducción de riego más severa (R2). El genotipo '`PO 10 10 20' procedente de la cuenca de rio Guadalquivir y el genotipo 'J 1 3 18' procedente de la cuenca del rio Jalón son los que presentan los valores medios más elevados tanto de N como de Na. Estos resultados se mantienen para Na en el tratamiento control y en el tratamiento R2. En el caso de N, el genotipo 'J 1 3 18' presenta valores medios significativamente más elevados que el resto de los genotipos para el tratamiento de reducción moderada de riego, no existiendo diferencias significativas entre genotipos para el de reducción más severa de riego (Tabla 4).

NUE disminuyó sus valores medios con el aumento del estrés hídrico, aunque no se obtuvieron diferencias significativas entre los tratamientos R1 y R2. El genotipo 'GU 1-21-29' procedente de la cuenca del rio Guadalquivir es el que presenta una NUE media más elevada seguido del '111', resultados opuestos a los obtenidos para N y Na cuyos valores medios más bajos los presentaban dichos genotipos. Los valores medios de NUE para el tratamiento control y tratamiento R2 no fueron significativamente diferentes entre genotipos, mientras que para el tratamiento de reducción moderada de riego el genotipo 'J 1 3 18' presentó los valores medios más bajos, resultado también opuesto al obtenido en el caso de N cuyo genotipo obtuvo los valores medios significativamente más elevados. Habría que destacar que para el genotipo 'GU 1-21-29', el estrés hídrico no ha influido de forma significativa en los valores de NUE (Tabla 4).

La superficie foliar específica media (SLA) disminuye de forma significativa entre el tratamiento control y el tratamiento de reducción de riego más severo, pero no en el tratamiento de reducción de riego moderado. El genotipo '111' es el que presenta los valores medios más elevados. El estrés hídrico no ha influido de forma significativa en los valores medios de SLA para los genotipos '111' y 'PO 10 10 20'.

Parámetros fisiológicos

La tasa fotosintética (A) no se vio alterada (diferencias no significativas) ni entre diferentes dosis de riego aplicadas ni entre los genotipos ensayados. Sin embargo la conductancia estomática (gs) y por tanto el uso eficiente del agua (EIUA) si se mostraron afectados tanto de forma individual como conjunta, siendo las diferencias más relevantes para el factor tratamiento (Tabla 5).

Tabla 5. Estadístico F y p-value de los análisis de varianza (ANOVA) para las variables tasa fotosintética (A), conductancia estomática (gs) y uso eficiente del agua (EIUA) en los factores tratamiento y genotipo

	A		gs		EIUA	
Factor	F	p-value	F	p-value	F	p-value
Genotipo	1,31	0,2698	14,69	0,0000	9,92	0,0000
Tratamiento	2,11	0,1230	23,85	0,0000	19,8	0,0000
Gen. x Trat.	1,62	0,1527	18,35	0,0000	13,9	0,0000

El genotipo 'J 1 3 18' presentó el valor medio más elevado de gs en ausencia de estrés. Junto con 'GU 1-21-29' son sin embargo los que muestran mayores caídas a medida que aumenta el estrés hídrico (Tabla 6).

La EIUA presenta valores medios que aumentan de forma significativa entre el tratamiento control y los tratamientos de reducción de riego moderada (R1) y severa (R2). El genotipo '111' es el que ha mostrado mayor eficiencia en el uso del agua en todas las dosis de riego aplicadas, siendo junto con "GU 1-21-29' los genotipos "más ahorrativos de agua" en los dos escenarios de baja disponibilidad del recurso (Tabla 6).

Tabla 6. Valores medios y desviación típica de tasa fotosintética (A), conductancia estomática (Gs) y uso eficiente del agua (EIUA) en los diferentes genotipos para las distintas dosis de riego ensayadas

Variable	Tratamiento	Genotipos de *Populus alba L.* evaluados				Media
		'111'	'GU 1-21-29'	'J 1 3 18'	'PO 10 10 20'	Trat.
A	Control	9.10±4.05 a*	9.63±3.87 a*	10.34±3.05 a*	9.33±2.94 a*	9.60 *
	R1	10.16±3.24 a*	10.58±4.03 a*;**	10.00±3.86 a*	11.16±4.45 a*	10.48 **
	R2	9.73±2.74 a*	11.64±3.79 b**	9.35±2.88 a*	10.03±4.47 ab*	10.18 *;**
	Media Gen.	**9.67 a**	**10.61 a**	**9.90 a**	**10.19 a**	
Gs	Control	0.35±0.14 a*	0.44±0.11 b*	0.53±0.17 c*	0.50±0.18 bc*	0.45 *
	R1	0.30±0.16 a*;**	0.38±0.13 a**	0.43±0.18 b**	0.46±0.16 b*	0.38 **
	R2	0.26±0.14 a**	0.32±0.14 b***	0.35±0.17 b***	0.31±0.17 ab**	0.33 ***
	Media Gen.	**0.31 a**	**0.38 b**	**0.43 c**	**0.42 bc**	
EIUA	Control	30.22±13.67 a*	23.13±11.64 b*	22.47±12.48 b*	23.52±15.67 b*	24.83 *
	R1	45.09±25.43 a**	37.23±16.98 ab**	28.50±16.99 bc*;**	27.91±15.57 c *	34.68 **
	R2	44.30±21.80 a**	35.42±17.81 ab**	32.60±15.65 b**	36.96±20.22 ab**	37.34 **
	Media Gen.	**39.87 a**	**31.89 b**	**27.86 b**	**29.18 b**	

La significación de las medias generales para el conjunto de tratamientos se muestra en negrita y con asteriscos, y para el conjunto de genotipos mediante letras en negrita. La significación entre genotipos para un determinado tratamiento se muestra mediante letras sin negrita y la comparación de medias en los tratamientos en un mismo genotipo se representa con asteriscos sin negrita. En todos los casos la comparación se realizó mediante el test de Newman-Keulss ($p < 0.05$

Análisis multivariado

NUE se ha correlacionado negativa y muy significativamente con la concentración de nitrógeno en hoja en todos los escenarios de riego estudiados y también con Na y el contenido de N por masa foliar (Nm), aunque con un menor coeficiente de correlación (Tabla 7).

Tabla 7. Coeficientes de correlación entre las variables de crecimiento y producción, fisiológicas y bioquímicas para las distintas dosis de riego ensayadas

		Altura	Dn	BL	BF	A	gs	EIUA	SLA	N	Na	Nm
NUE (g/g)	Control	0,25	0,10	0,30	0,46	-0,44	0,35	0,35	-0,43	-0,92	-0,42	-0,57
	(p-value)	0,1675	0,6029	0,0919	0,0099	0,0671	0,1557	0,0540	0,0130	0,0000	0,0172	0,0011
	R1	0,23	0,18	0,27	0,11	-0,37	-0,40	-0,03	-0,35	-0,93	-0,66	-0,53
	(p-value)	0,1973	0,3147	0,1329	0,5421	0,0979	0,0753	0,8906	0,0518	0,0000	0,0000	0,0016
	R2	0,09	0,22	0,15	-0,10	-0,43	-0,62	0,52	-0,10	-0,90	-0,55	-0,55
	(p-value)	0,6184	0,2195	0,4104	0,5691	0,0142	0,0002	0,0025	0,6000	0,0000	0,0012	0,0011

Altura, diámetro basal (Dn), biomasa leñosa,(BL), biomasa foliar (BF), tasa fotosintética (A), conductancia estomática (gs), eficiencia intrínseca en el uso del agua (EIUA), área foliar específica (SLA), concentración de nitrógeno foliar (N), contenido de nitrógeno por unidad de área foliar (Na) y contenido de nitrógeno por masa foliar(Nm)

NUE bajo el escenario de restricción de agua más severo se correlacionó positivamente con EIUA.

La tasa fotosintética (A) y conductancia estomática (gs) se correlacionaron positiva y significativamente con la concentración de nitrógeno foliar, especialmente en los escenarios de riego restrictivos. EIUA se correlacionó negativa y significativamente con gs en todos los escenarios. Se observó también correlación con A, en este caso positiva aunque solo para las condiciones de riego óptimo (Tabla 8).

Tabla 8. Coeficientes de correlación entre tasa fotosintética (A) y conductancia estomática (gs) con nitrógeno foliar (N) y eficiencia intrínseca en el uso del agua (EIUA) para los escenarios de riego ensayados

		Control	R1	R2
A				
	N	0.51*	0.70 ***	0.54**
	EIUA	0.63***	-0.10 ns	-0.25 ns
gs				
	N	0.22 ns	0.68***	0.69***
	EIUA	-0.74***	-0.71***	-0.73***

*(P<0.05) ** (p<0.01) *** (p<0.001) ns (no significativo)

La producción de biomasa total área (Biomasa leñosa + biomasa foliar) se ha correlacionado, como cabría esperar, positiva y significativamente con los parámetros de crecimiento, especialmente con el diámetro, en todos los escenarios de riego estudiados. Habría que destacar que solamente en el escenario de riego óptimo la producción se ha correlacionado positivamente con NUE y negativamente con la concentración de N. Sin embargo para los escenarios de baja disponibilidad de agua cuando la concentración de nitrógeno fue expresada por masa foliar (Nm) se ha obtenido una correlación positiva de la producción de biomasa con el nitrógeno. No se han obtenido correlaciones significativas de la producción con EIUA y SLA (Tabla 9).

Tabla 9. Coeficientes de correlación entre la biomasa total aérea (BT) y la altura, diámetro basal (Dn), concentración de nitrógeno foliar (N), contenido de nitrógeno (Nm) , eficiencia en el uso del nitrógeno (NUE), eficiencia en el uso del agua (EIUA) y superficie foliar específica (SLA) para las distintas dosis de riego ensayadas

		Altura	Dn	N	Nm	NUE	EIUA	SLA
BT	Control	0,48	0,69	-0,52	0,30	0,60	0.27	-0.34
	(p-value)	0,0076	0,0000	0,0034	0,1109	0,0004	0.1509	0.0673
	R1	0,53	0,84	-0,13	0,68	0,22	-027	-0.28
	(p-value)	0,0018	0,0000	0,4695	0,0000	0,2214	0.1368	0.129
	R2	0,17	0,74	-0,01	0,78	0,05	0.16	-0.16
	(p-value)	0,3601	0,0000	0,9471	0,0000	0,7741	0.2824	0.3699

Los modelos obtenidos en el análisis de regresión múltiple mostraron que la concentración de nitrógeno foliar (N) predomina como variable explicativa de la variación de NUE en todos los escenarios de riego aplicado. El contenido de nitrógeno en hoja (Nm) y NUE, explicaron para todos los tratamientos un elevado porcentaje de variación de la producción de biomasa total (Tabla 10).

Tabla 10. Regresión múltiple por pasos (stepwise) entre NUE, BT (biomasa total aérea) y las variables predictoras: concentración de nitrógeno (N), contenido de nitrógeno por masa foliar (Nm) y por unidad de área foliar (Na_l, SLA, altura (Alt), diámetro basal (Dn), tasa fotosintética (A) y conductancia estomática (gs).

	Tratamiento	Ecuación	R^2	P-value
Log_{10} NUE				
	Control	Log_{10} NUE= 2,94 - 0,27 N - 0,22 log_{10} SLA	0,93	0,0000
	R1	Log_{10} NUE= 2,56 - 0,24 N + 0,01 A	0,93	0,0000
	R2	Log_{10} NUE= 2,45 - 0,25 N + 0,01 Dn	0,86	0,0000
Log_{10} BT				
	Control	Log_{10} BT= -0,83 + 1,06 N_m + 1,01 Log_{10} NUE	0,99	0,0000
	R1	Log_{10} BT= -0,37 + 1,00 N_m + 0,80 Log_{10} NUE	0,94	0,0000
	R2	Log_{10} BT= -0,81 + 1,33 N_m + 0,94 Log_{10} NUE	0,98	0,0000

4. Discusión y conclusiones

Sería deseable identificar genotipos que pudieran crecer bien bajo condiciones de baja fertilidad junto con una reducida disponibilidad de agua, condiciones típicas de ambientes mediterráneos, siendo estos genotipos capaces de maximizar la producción de biomasa por unidad de área, suponiendo así un ahorro en los costes de los tratamientos culturales. En este estudio, la baja disponibilidad de agua afectó al crecimiento y producción media en los genotipos estudiados, de manera similar a lo referido por otros autores (Weih 2001) para especies de crecimiento rápido. Los genotipos más productivos y con mayor incremento en el diámetro medio basal en condiciones de reducción de agua más severas, han sido “GU 1-21-29” y “PO 10 10 20”, y “GU 1-21-29” y “111” para condiciones de reducción de agua moderada.

La mayor productividad obtenida en el caso del genotipo "GU 1-21-29" es coincidente con los valores medios de concentración de N foliar más bajos y el valor medio de NUE más elevado, no produciéndose una disminución significativa de los valores de NUE con la menor disponibilidad de agua. Este genotipo junto con "111" incrementa EIUA significativamente en los dos escenarios de riego restrictivo respecto al escenario de riego óptimo, lo que indicaría una mayor tolerancia a un incremento de la sequía (Smit y Nowak 1990). Este resultado está en sintonía con la elevada correlación positiva obtenida entre EIUA y NUE para el escenario de riego más restrictivo, lo que previamente ha sido puesto de manifiesto en suelos con baja disponibilidad de agua por Broeckx *et al*. (2014) para seis genotipos de *Populus*. "GU 1-21-29" por lo tanto utilizó el N foliar de manera más eficiente para la producción de biomasa en situaciones de baja disponibilidad de agua. Si bien el estrés hídrico disminuyó significativamente la producción de biomasa en todos los casos, los contenidos de nitrógeno foliar y NUE fueron las variables que mostraron mayor porcentaje de variación para explicar la producción de biomasa. Esto podría indicar que la baja disponibilidad de agua sería compensada por una mayor eficiencia en el uso del nitrógeno. La ausencia de correlación obtenida entre la producción de biomasa y EIUA, que indicaría según Farqhar *et a*l. (1989) que la variabilidad de la misma podría estar controlada por la conductancia estomática, es un hecho que se constata en este estudio, al obtener relaciones significativas de EIUA con gs para todos los escenarios de riego estudiados y solo respecto a A para condiciones de riego óptimas. Esta información es coincidente con otros estudios realizados en chopo (Monclus *et al*. 2005; Gornall y Guy 2007), si bien en otros sí se han obtenido correlaciones positivas entre producción y EIUA (Zhang *et a*l. 2004).

Las variaciones obtenidas de NUE para todos los escenarios de riego estuvieron altamente relacionadas con la concentración de N en hoja, disminuyendo NUE con el aumento de la concentración de nitrógeno foliar, resultado obtenido también en otros estudios (Karim y Hawkins 1999; Li *et al*. 2012; Gan *et al.* 2015). El aumento de NUE con la disminución de N podría estar asociado con la completa utilización del nitrógeno almacenado para la producción de biomasa, debido a que bajos niveles de N pueden dar lugar a que el N almacenado en las vacuolas se libere al citosol para la síntesis de biomasa (Lambers *et al.* 2012).

Los valores de NUE disminuyeron significativamente con la menor disponibilidad de agua, resultado que puede ser explicado por el aumento significativo de la concentración de N con el incremento del estrés hídrico. Este aumento, así como también el obtenido con el contenido de nitrógeno por área foliar, puede deberse a una estrategia de adaptación a la sequía (Prentice *et al*. 2014). Esta estrategia se puede llevar a cabo por varios mecanismos: (1) incrementando la tasa fotosintética, debido a que un aumento de la concentración de N implica un aumento de la enzima Rubisco implicada en la fijación del carbono incrementando el consumo de CO_2 intercelular (Evans 1989; Vapaavuori *et al*. 1995, Zhao *et al*. 2006) sin que este incremento suponga una respuesta de la conductancia estomática (Liu y Dickman 1996) (2) controlando la conductancia estomática para evitar pérdidas de agua sin influencia de la tasa fotosintética (Guehl *et al.* 1995) y (3) aumentando la tasa fotosintética y disminuyendo ligeramente gs (Wang *et al.* 1998). En este estudio, para los dos escenarios de riego restrictivo, el aumento de la concentración de N foliar produjo un incremento de la tasa fotosintética (A) pero también de la conductancia estomática (gs), lo que estaría parcialmente de acuerdo con los mecanismos de adaptación a la sequía mencionados anteriormente. En la misma línea estarían los resultados obtenidos por otros autores (Liu y Dickman 1996; Adams *et al*. 2016). El incremento de la tasa fotosintética como consecuencia del incremento en N foliar explicaría en parte que no se haya obtenido, para los genotipos estudiados, una reducción significativa de A bajo escenarios de reducción de la disponibilidad de agua. Sin embargo gs sí ha disminuido significativamente en los escenarios de riego restrictivos, lo que podría indicar una mayor sensibilidad de este parámetro a la sequía. SLA se ha relacionado negativamente con NUE solo en condiciones de riego óptimo y no se ha relacionado con la concentración de N foliar ni con la producción de biomasa. Esta ausencia de relaciones pueden ser debidos a que la variabilidad de SLA ha sido más dependiente del

genotipo que del tratamiento, no obteniéndose una disminución sensible de SLA con la reducción de la disponibilidad de agua, lo que podría indicar una elevada plasticidad de SLA respecto a variaciones de contenidos de agua en el suelo y condiciones ambientales (Monclus *et al,.* 2005).

En conclusión, la producción de biomasa en los genotipos de *P. alba* estudiados fue sensible al estrés hídrico, siendo el genotipo "GU 1-21-29" el más productivo en condiciones de baja disponibilidad de agua al combinar mayor NUE con mayor EIUA. En este estudio el estrés hídrico ha sido controlado principalmente por la conductancia estomática y por la concentración de nitrógeno foliar que ha mantenido elevadas tasas fotosintéticas. El contenido de nitrógeno foliar fue la variable más determinante en la producción de biomasa tanto para escenarios de riego optimo como de riego restringido, constatando por tanto el importante papel del nitrógeno en la producción. La independencia obtenida entre EIUA y productividad puede suponer una ventaja que abriría la puerta a una mejora bidireccional, tal y como sugirió Monclus *et al.* (2005).

5. Bibliografía

ADAMS, M.A.; TURNBULL, T.L.; SPRENT, J.I.; BUCHMANNC, N.; 2016. Legumes are different: Leaf nitrogen, photosynthesis and water use efficiency. *PNAS* 113 (15): 4098-4103.

Berthelot, A.; Ranger, J.; Gelhaye, D.; 2000. Nutrient uptake and immobilization in a short-rotation coppice stand of hybrid poplars in north-west France. Forest Ecol. Manage. 128: 167–179.

Broeckx, L.S.; Fichot, R.; Verlinden, M.S.; Ceulemans, R; 2014. Seasonal variations in photosynthesis, intrinsic water-use efficiency and stable isotope composition of poplar leaves in a short-rotation plantation. Tree Physiology 34(7):701-715.

Cooke, J.E.K.; Martin, T.A.; Davis, J.M.; 2005. Short-term physiological and developmental responses to nitrogen availability in hybrid poplar. New Phytol. 167:41-52.

EVANS, J.R.; 1989. Photosynthesis and nitrogen relationships in leaves of C3 plants. *Oecologia* 78(1):9-19.

FARQUHAR, G.D.; EHLERINGER, J.R.; HUBICK, K.T.; 1989. Carbon isotope discrimination and photosynthesis. Annual Review of *Plant Physiology and Plant Molecular Biology* 40: 503-537.

GAN, H.; JIAO, Y.; JIA J.; WANG, X.; LI, H.; SH, I.W.; PENG, C.; POLLE, A.; LUO Z.B.; 2015. Phosphorus and nitrogen physiology of two contrasting poplar genotypes when exposed to phosphorus and/or nitrogen starvation. *Tree Physiology* 36:22-38.

GESSLER, A.K.; JUNG, R.; GASCHE, H.; PAPEN, A.; HEIDENFELDER, E.; BORNER, B.; METZLER, S.; HILDEBRAND, E.; RENNENBERG, H. 2005. Climate and forest management influence nitrogen balance of European beech forests: microbial N transformations and inorganic N net uptake capacity of mycorrhizal roots. *Eur. J. For. Res.* 124:95-111.

Gornall, J.L.; Guy, R.D.; 2007. Geographic variation in ecophysiological traits of black cottonwood (Populus trichocarpa). Can. J. Bot. 85(12):1202-1213.

Gourley, C.J.P.; Allan, D.L.; Russelle, M.P.; 1994. Plant nutrient efficiency a comparison of definitions and suggested improvement. Plant Soil 158: 29-37.

Guehl, J.M.; Nguyen-Queyrens, A.; Loustau, D. and A. Ferhi.1994. Genetic and environmental determinants of water-use efficiency and carbon isotope discrimination in forest trees. In EUROSILVA Contribution to Forest Tree Physiology. Eds.H.J. Sandermann and M. Bonnet-Masimbert. INRA, Versailles, pp 297-321.

Guy, R.D.; Holowachuk, D.L.; 2001. Population differences in stable carbon isotope ratio of Pinus contorta Dougl. Ex Loud. relationship to environment, climate of origin, and growth potential. Can. J. Bot. 79(3): 274-283.

Jug, A.; Hofmann-Schielle, C.; Makeschin, F.; Rehfuess, K.E. 1999. Short-rotation plantations of balsam poplars, aspen and willows on former arable land in the Federal Republic of Germany. II. Nutritional status and bioelement export by harvested shoot axes. Forest Ecol. Manage. 121:67-83.

Karim, A.; Hawkins, b.j. 1999. Variation in response to nutrition in a three-generation pedigree of Populus. Can. J. For. Res. 29: 1743-1750.

Lambers, H.; Cawthray, G.R.; Giavalisco, P.; 2012. Proteaceae from severely phosphorus-impoverished soils extensively replace phospholipids with galactolipids and sulfolipids during leaf development to achieve a high photosynthetic phosphorus-use-efficiency. New Phytol 196:1098-1108.

Li, H.; Li, M.C.; Luo, J.; 2012. N-fertilization has different effects on the growth, carbon and nitrogen physiology, and wood properties of slow and fast-growing Populus species. J Exp Bot 63:6173-6185.

Liu, ZJ; Dickmann, DI; 1996. Effects of water and nitrogen interaction on net photosynthesis, stomatal conductance, and water-use efficiency in two hybrid poplar clones. Physiologic Plantarun 97 (3): 507-512

Luo, Z.B.; Polle, A.; 2009. Wood composition and energy content in a poplar short rotation plantation on fertilized agricultural land in a future CO2 atmosphere. Glob Chang Biol 15:38-47.

Marron, N.; Villar, M.; Dreyer, E.; Delay, D.; Boudouresque, E.; Petit, J.M.; Delmotte, F.M.; Guehl, J.M.; Brignolas, F. 2005. Diversity of leaf traits related to productivity in 31 Populus deltoides x Populus nigra clones. Tree Physiol 25:425-435

MONCLUS, R.; DREYER, E.; DELMOTTE, F.M.; VILLAR, M.; DELAY, D.; BOUDOURESQUE, E.; PETIT, J.M.; MARRON, N.; BRECHET, C.; BRIGNOLAS, F.; 2005. Productivity, leaf traits and carbon isotope discrimination in 29 *Populus deltoides* x *Populus nigra* clones. *New Phytol* 167(1):53-62.

PRENTICE, I.C.; DONG, N.; GLEASO, S.M.; MAIRE, V.; WRIGHT, I.J.; 2014. Balancing the costs of carbon gain and water transport: Testing a new theoretical framework for plant functional ecology. Ecol Lett 17(1):82-91.

RENNENBERG, H.; WILDHAGEN, H.; EHLTING, B.; 2010 Nitrogen nutrition of poplar trees. *Plant Biol* 12:275-291.

ROSATI, A.; ESPARZA, G.; DEJONG, T.M.; PEARCY, R.W.; 1999. Influence of canopy light environment and nitrogen availability on leaf photosynthetic characteristics and photosynthetic nitrogen-use efficiency of field-grown nectarine trees. *Tree Physiol*. 19:173-180.

SARDANS, J.; PENUELAS, J.; R. OGAYA, R.; 2008a. Drought-induced changes in C and N stoichiometry in a Quercus ilex Mediterranean forest. *For. Sci*. 54:513-522.

SARDANS, J.; PENUELAS, J.; OGAYA, R.; 2008b. Drought's impact on Ca, Fe, Mg, Mo and S concentration and accumulation patterns in the plants and soil of a Mediterranean evergreen Quercus ilex forest. Biogeochemistry 87:49-69.

SMITH, S.D.; NOWAK, R.S.; 1990. Ecophysiology of plants in the intermountain lowlands. In: Osmond CB, Pitelka LF, Hidy GM (eds) Plant biology of the basin and range. *Ecological studies* 80: 179-241.

VAPAAVUORI, E.M.; VUORINEN, A.H.; APHALO, P.J.; SMOLANDER, H.; 1995. Relationship between net photosynthesis and nitrogen in Scots pine: seasonal variation in seedlings and shoots. *Plant Soil* 168: 263-270.

WANG, J.R.; HAWKINS, C.D.B.; LETCHOLD, T.; 1998. Photosynthesis, water and nitrogen use efficiencies of four paper birch (Betula papyrifera) populations grown under different soil moisture and nutrient regimes. *For. Ecol. Manage*. 112:233-244.

WEIH, M.; 2001. Evidence for increased sensitivity to nutrient and water stress in a fast-growing hybrid willow compared with a natural willow clone. *Tree Physiol*. 21:1141-1148.

Zhang, X.; Zang, R.; Li, C.; 2004. Population differences in physiological and morphological adaptations of Populus davidiana seedlings in response to progressive drought stress. Plant Sci 166(3): 791–797.

Zhao, L.J.; Xiao, H.L.; Liu, X.H.; 2006. Variations of foliar carbon isotope discrimination and nutrient concentration in Artemisia ordosica and Caragana korshinskii at the southeastern margin of China's Tengger Desert. Environ Geol 50:285–294

Ensayo clonal de *Populus* en la Vega de Granada: resultados preliminares de supervivencia, crecimiento y desarrollo fustal

RIPOLL MORALES, M.A.[1]; NAVARRO REYES, F.B.[1]; SÁNCHEZ-MIRANDA, A.[2]; GÁLVEZ GARRIDO, C.[1]; SÁNCHEZ PEINADO M.J.[1]

[1] IFAPA Centro Camino de Purchil. Consejería de Agricultura, Pesca y Desarrollo Rural de la Junta de Andalucía.
[2] Instituto de Estudios Pirenaicos. C.S.I.C. Zaragoza.

Palabras clave
Clon, chopo, rectitud, dominancia, densidad, diámetro normal.

1. Introducción y objetivos

En la provincia de Granada la selvicultura agraria, en concreto la populicultura, siempre ha tenido una gran importancia socioeconómica. A finales del siglo XIX se iniciaron las plantaciones de chopos en la Vega de Granada para proteger los cultivos de remolacha de las frecuentes avenidas del río Genil, que por entonces no estaba encauzado. Eran plantaciones muy densas (más de 3000 pies/ha) que se entresacaban progresivamente hasta llegar al 50% del número plantado.

Resulta sorprendente releer en la actualidad el trabajo titulado "El chopo granadino y su aprovechamiento para envases" (Ocaña, 1965) ya que después de más de 50 años sigue describiendo de forma bastante fehaciente la realidad de la populicultura granadina.

A grandes rasgos las características diferenciales de los cultivos de chopo en Granada con respecto a los de otras zonas de España son: (1) plantaciones superficiales con riego y turnos de 8/10 años; (2) elevadas densidades de plantación (1200/700 pies/ha); (3) bajos precios de la madera en rollo ya que su destino es el aserrío (Tolosana, 2017) y la fabricación de embalajes; (4) El diámetro medio de las trozas es de 25 cm (López, 2002), sensiblemente menor que el obtenido en la zona norte de España y no apto para la industria de la chapa; (5) los costes de arrendamiento del terreno y riego son muy elevados (Aunós et al, 2002) y los populicultores no cuentan con ningún tipo de subvención; (6) el material forestal de reproducción utilizado no cuenta con ningún tipo de identificación, no existiendo en la provincia ningún vivero que comercialize planta certificada; (7) la madera de los chopos de Granada sigue siendo percibida por los industriales no locales como de baja calidad (baja densidad y poco rendimiento); (8) el clon mayoritario sigue siendo 'I-214', desconociéndose la actitud de otros clones que están dando muy buenos resultados en otras zonas.

A pesar de la importancia socioeconómica que la Populicultura tiene en la provincia de Granada, es la primera vez que se realiza un ensayo clonal de *Populus*. En una finca particular de la Vega de Granada, y en colaboración con la Asociación de Cultivadores de Chopo de Granada, y dentro de las actividades propuestas en el Proyecto "Transforma Cultivos de Regadío al Aire Libre" (PP. TRA.TRA201300.12) desarrollado en el IFAPA Camino de Purchil. Se instaló en marzo de 2015 una parcela para evaluar la actitud forestal como productores de madera de calidad de 3 clones de chopo (muy utilizados en el norte de España con buenos resultados) *Populus ×interamericana* ('Unal') y *Populus trichocarpa × deltoides* ('Beaupré' y 'Raspalje') utilizando como testigo el clon *Populus ×euramericana* 'I-214' por ser el más utilizado en esta zona.

La aprobación del proyecto PP.TRA.TRA2016.14 “Selvicultura agraria de calidad: ampliación y mantenimiento de la red de ensayos demostrativos de cultivos forestales” ha permitido continuar con el estudio clonal de Populus durante el periodo 2016/2017.

El objetivo de este trabajo es evaluar la actitud forestal de los clones estudiados en la zona de la Vega de Granada. Para ello se han recogido anualmente datos de (1) Supervivencia; (2) DBH; (3) Altura total; (4) Rectitud y (5) Dominancia.

2. Material y métodos

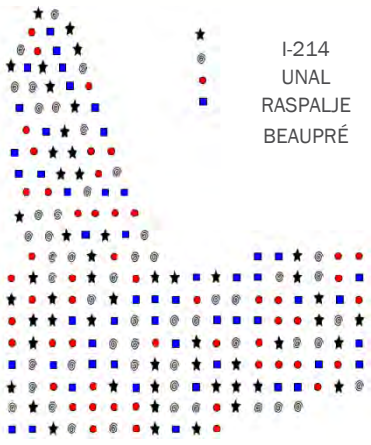
La parcela de ensayo se sitúa en la Vega de Granada, entre los municipios de Granada y Santa Fe. Los suelos son básicos, profundos, aluviales, formados a partir de los ríos Beiro y Genil y el clima es seco mediterráneo.

Es una parcela irregular de 0,7 ha . El marco de plantación es de 5×5 (400 pies/ha). La plantación se realizó en marzo de 2015. Se preparó el terreno con grada y se señalaron los puntos de plantación. Los hoyos de plantación se realizaron con una barrena helicoidal acoplada al tractor (hoyos de 80 cm).

Los plantones de un año sin raíz procedían de Viveros San Froilán (León). Los árboles del ensayo se rodearon por dos hileras de ‘San Martino’, que no forman parte de este ensayo, al no ser planta certificada. Los riegos a manta se realizaron cada 15 días durante el periodo vegetativo anual.

Las podas (operarios con podadoras neumáticas sobre plataformas elevadoras y autopropulsados por brazo telescópico) se iniciaron en el año 2016, y fueron realizadas en marzo de este año. Al año siguiente también se realizó la poda mecanizada en la misma época.

El diseño (Figura 1) es completamente aleatorizado (52 árboles por clon, 208 árboles en total).



Fiigura 1: Diseño experimental de la parcela de ensayo

Los parámetros del árbol medidos a lo largo del ensayo han sido:

- **Supervivencia:** porcentaje de plantas vivas al final del ensayo.
- **Diámetro normal (DBH):** se midió tras la plantación (DBH inicial) y los años 2015, 2016 y 2017 al final del período vegetativo.
- **Altura total (Ht):** se midió tras la plantación (altura inicial) y los años 2016 y 2017 al final del período vegetativo.
- **Rectitud del tronco:** 7 si el tronco es recto, 4 si presenta una ligera curvatura que desaparecerá con el tiempo y 1 si la curvatura es tan pronunciada que no desaparecerá con el tiempo. Se midió los años 2016 y 2017 antes y después de la poda anual (Aletà et al 2003).
- **Dominancia apical:** 7 si hay un solo eje, 4 si hay dos y 1 si hay más de dos. Se midió los años 2016 y 2017 antes y después de la poda anual (Aletà *op. Cit.*).

Además, durante cada año se realizó un seguimiento de los tratamientos selvícolas realizados y del estado fitosanitario de la plantación.

Se ha utilizado el ANOVA de medidas repetidas para probar el efecto del clon y del año en los parámetros de crecimiento y aptitud forestal. Se ha aplicado el Test LSD cuando se detectaron diferencias significativas mediante el ANOVA factorial. Se determinaron diferencias significativas para un nivel de p-value < 0,05. La normalidad y homegeneidad de los datos fué testada con la prueba de Bartlett.

El análisis de los datos se realizó con el paquete estadístico STATISTIX 8 (Analytical Software®,Tallahassee, Florida, USA).

3. Resultados

Supervivencia

Los clones 'Beaupré' y 'Unal' tuvieron menor porcentaje de supervivencia (84,6 %) que el clon 'I-214' (98,1 %), mientras que para el clon 'Raspalje' este porcentaje fue aún menor (73,0 %).

Diámetro Normal (DBH)

Las mediciones anuales del DBH se muestran en la Figura 2

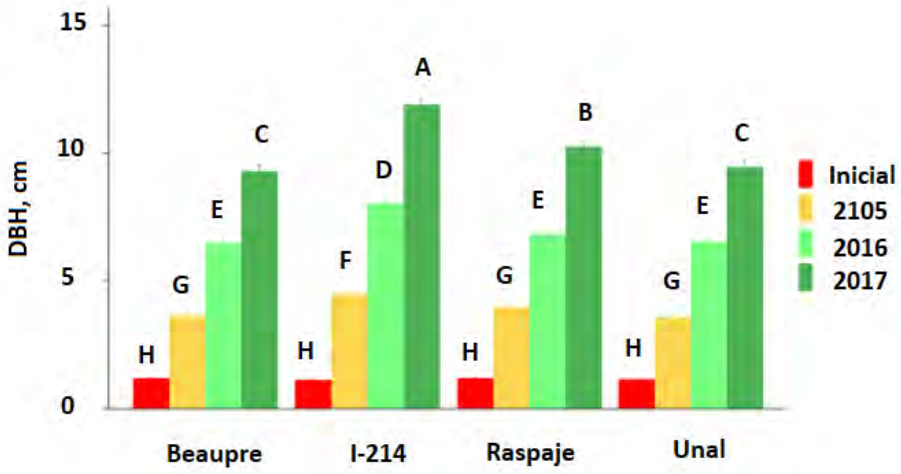


Figura 2: Serie de diámetros normales (Media ± ES, cm). Letras distintas indican diferencias significativas entre clones y años.

El diámetro normal mostró diferencias significativas entre clones a partir del año 2015 (Df = 3; F = 47,98; p <0,05), entre años (Df = 3; F = 1963,63; p <0,05) existiendo interacción significativa entre clones y años (Df = 9; F = 9,55; p <0,05) que se mantuvieron en 2016 y 2017.

De los resultados obtenidos en la última medición se obtiene la siguiente secuencia de DBH: 'I-214' > 'Raspalje' > 'Unal' = 'Beaupré'. El clon 'I-214' destacó por su mayor incremento de DBH desde el primer año en campo.

Altura Total

Las mediciones anuales del altura total se muestran en la Figura 3

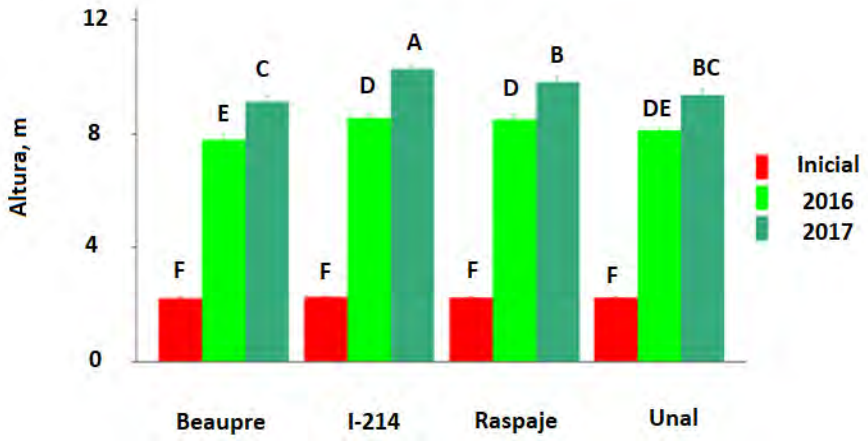


Figura 3: Serie de alturas totales (Media ± ES, m). Letras distintas indican diferencias significativas entre clones y años.

La altura mostró diferencias significativas entre clones a partir del año 2016 (Df = 3; F = 9,55; p <0,05), entre años (Df = 3; F = 2252,23; p <0,05) existiendo interacción significativa entre clones y años (Df = 6; F = 2,67; p <0,05) que se mantuvieron en 2017.

El clon que mayor altura alcanza es 'I-214', seguido de 'Raspalje' y 'Unal' y el que menor es 'Beaupré'.

Rectitud y Dominancia

La rectitud mostró diferencias significativas entre clones (Df = 3; F = 18,78; p <0,05) no resultando significativo ni el momento de la medición ni la interacción entre medición y clon (Tabla 1).

El clon 'I-214' es el que muestra valores más bajos de rectitud, no habiendo diferencias entre los otros tres clones estudiados.

La dominancia (Figura 4) mostró diferencias significativas entre clones (Df = 3; F = 8,20; p <0,05), entre años (Df = 4; F = 898,81; p <0,05) existiendo interacción significativa entre clones y años (Df = 12; F = 6,57; p <0,05). Trás la poda, todos los clones recuperan los valores máximos de dominancia. Los clones que mantiene mayores valores de dominancia antes de la poda del último año son 'Raspalje' y 'Unal', seguidos de 'Beaupré', mientras que 'I-214' es el que presenta valores de dominancia más bajos antes de la poda.

Tabla 1: Serie de rectitud (Media ± ES) antes de la poda (AP) y después de la poda (PD). Letras distintas indican diferencias significativas entre clones y época de medición.

Clon	2015	2016		2017	
		AP	PP	AP	PP
Beaupré	6,11 ± 0,14 abcdefg	5,72 ± 0,41 defghi	5,97 ± 0,15 bcdefg	5,88 ± 0,15 cdefg	6,13 ± 0,11 abcdef
Unal	5,86 ± 0,13 cdefgh	5,58 ± 0,46 fghi	5,77 ± 0,15 defghi	6,00 ± 0,18 abcdefg	6,25 ± 0,11 abcde
Raspalje	6,45 ± 0,14 abc	6,14 ± 0,35 abcdef	6,31 ± 0,13 abcd	6,55 ± 0,11 ab	6,57 ± 0,09 a
I-214	5,70 ± 0,13 efghi	5,27 ± 0,44 ghi	5,50 ± 0,15 hi	5,33 ± 0,14 i	5,31 ± 0,12 i

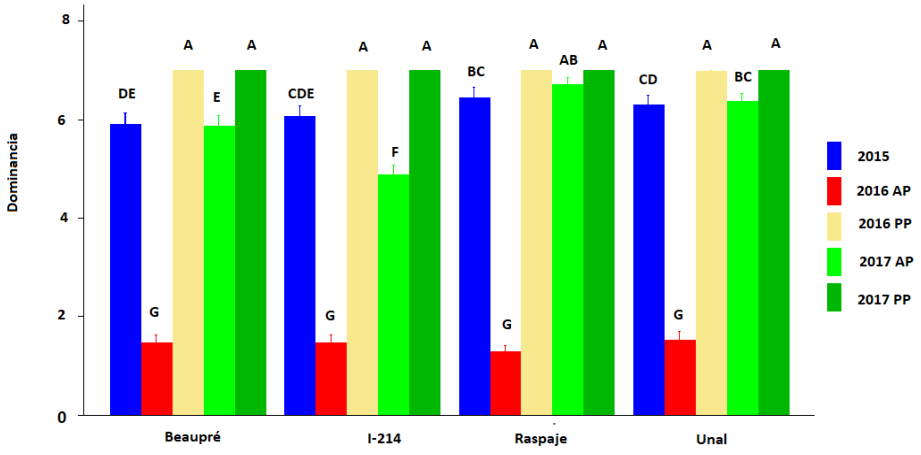


Figura 4: Serie de dominancia (Media ± ES). Letras distintas indican diferencias significativas entre clones y años.

4. Discusión y conclusiones

La menor supervivencia observada para el clon 'Raspalje' puede ser debida al riego por inundación que se realiza en la populicultura granadina, pues hay autores (Rueda *et al,.* 2011) que señalan que este clon no resiste el terreno que presenta una acusada hidromorfía primaveral. Estos riegos que se inician en el mes de marzo implican la inundación completa de la parcela de experimentación que puede durar 2/3 días.

Los diámetros normales alcanzados en el período de estudio por los clones del ensayo superan, incluso duplican, el DBH alcanzado en parcelas experimentales del Norte de España (Rueda et al 2006; Rueda *et al,.* 2007; Rueda y García 2013, Rueda 2014, Rueda et Rossignoli, 2015, Rueda y García 2018).

En los estudios antes mencionados se indica que el clon 'Raspalje' tiene un mayor crecimiento que 'I-214', mientras que los clones 'Beaupré' y 'Unal' tienen un crecimiento similar o algo inferior al de 'I-214'. En nuestro ensayo 'I-214' alcanza un DBH significativamente mayor al resto de clones ensayados.

En cuanto a los parámetros de conformación del fuste destacar que tanto la la rectitud como la dominancia son menores en el clon 'I-214' que en el resto, lo que obliga a podas más intensas y cuidadosas para evitar bifurcaciones de la guia principal y troncos curvados en este clon.

La evaluación futura de parámetros que afecten a la conformación forestal del chopo (rectitud del fuste y dominancia apical) y de parámetros de crecimiento, pueden ofrecer resultados que confirmen cual de estos clones se adapta mejor a las características de la populicultura granadina con el fin de favorecer el desarrollo de árboles de alta calidad.

5. Agradecimientos

Este trabajo se ha realizado gracias al Proyecto Transforma PP.TRA.TRA201300.12 "Cultivos de regadío al aire libre", cofinanciado al 80% con Fondo Europeo de Desarrollo Regional y Fondo Social Europeo (Programa Operativo FEDER de Andalucía 2007-2013) y actualmente, estas parcelas de ensayo del IFAPA se incluyen dentro de la red Experimental del Proyecto Transforma TRA.TRA201600.14 "Selvicultura Agraria: ampliación y mantenimiento de la red de ensayos demostrativos de cultivos forestales", cofinanciado al 80% con Fondo Europeo de Desarrollo Regional, dentro del Programa Operativo FEDER de Andalucía 2014-2020. Además del personal investigador y técnico del IFAPA, han participado Ángela Sánchez-Miranda (contratada del IFAPA), Cristina Galvez Garrido (becaria del IFAPA) y Mª José Sánchez Peinado (contratada del IFAPA), cuyos contratos fueron cofinanciados por el Fondo Social Europeo.

6. Bibliografía

ALETÀ, N.; NINOT, A.; VOLTAS, J.; 2003. Caracterización del comportamiento agroforestal de doce genotipos de nogal (Juglans sp) en dos localidades de Cataluña. Invest. Agrar. Sist. Recur. For. 12. 39 – 50.

AUNÓS, A.; RODRÍGUEZ, F.; GARASA, M.; 2002. Análisis de sensibilidad sobre la rentabilidad financiera de choperas de Huesca y Lérida. Universidad de Lérida. Rev Montes 69. 25-32.

LÓPEZ, F. 2002. Selvicultura y mecanización de los aprovechamientos del chopo en la Vega de Granada. E.T.S. de Ingenieros Agrónomos y de Montes. Universidad de Córdoba. 137 pp.

OCAÑA, M.C.; 1965. El chopo granadino y su aprovechamiento para envases de fruta. FAOA. Roma. Segunda edición. 139 – 184.

TOLOSANA, E.; LAINA, R.; HERRERO, S.J.; 2017. Análisis de ciclo de vida de la obtención de astilla a partir de biomasa residual de cortas de choperas: estudio de caso en el Valle del Genil (Granada). 7CFE01 – 553. 7º Congreso Forestal Español (Plasencia).

RUEDA, J.; GARCÍA CABALLERO J.L.; LÓPEZ, L.; GÓMEZ, C.; (2006). Parcela de experimentación de clones de chopos LE-1 Valencia de Don Juan. Consejería de Fomento y Medio Ambiente, Junta de Castilla y León. Valladolid. 74 pp.

RUEDA, J.; LÓPEZ, L.; BARRIO, J.M.; PEÑA, M. (2007). Parcela de experimentación de clones de chopo SO-1 Almazán. Consejería de Fomento y Medio Ambiente, Junta de Castilla y León. Valladolid. 27 pp.

RUEDA J., GARCÍA CABALLERO J.L.; VILLAR C., (2011). Elección de clones idóneos para la populicultura en la cuenca del Duero. Consejería de Fomento y Medio Ambiente, Junta de Castilla y León. Valladolid. 12 pp.

RUEDA J., GARCÍA CABALLERO J.L.; (2013). Parcela de experimentación de clones de chopos LE-3 Gradefes. Consejería de Fomento y Medio Ambiente, Junta de Castilla y León. Valladolid. 35 pp.

RUEDA J.; (2014). Parcela de experimentación de clones de chopos PA-1 Villaturde. Consejería de Fomento y Medio Ambiente, Junta de Castilla y León. Valladolid. 17 pp.

RUEDA J., ROSSIGNOLI A., (2015). Parcela de experimentación de clones de chopos PA-5 Celadilla del Río. Consejería de Fomento y Medio Ambiente, Junta de Castilla y León. Valladolid. 20 pp.

RUEDA J., GARCÍA CABALLERO J.L. (2018). Parcela de experimentación de clones de chopos LE-4 La Milla del Río. Consejería de Fomento y Medio Ambiente, Junta de Castilla y León. Valladolid. 48 pp.

Modelos de estimación de biomasa en plantaciones de turno corto y alta densidad de *Populus* spp.

OLIVERIA, N.[1,2]; PÉREZ-CRUZADO, C.[2]; RODRÍGUEZ-SOALLEIRO, R.[2]; CAÑELLAS, I.[1]; SIXTO, H.[1]

[1] Departamento de Selvicultura y Gestión de los Sistemas Forestales. INIA-CIFOR. Ctra. A Coruña, km 7,5; 28040 Madrid
[2] Grupo de Gestión Forestal Sostenible. Escuela Politécnica Superior. Universidad de Santiago de Compostela. Rúa Benigno Ledo, s/n; 27002 Lugo

Palabras clave
Chopo, SRC (Short Rotation Coppice), biomasa.

1. Introducción a la modelización de cultivos forestales de chopo bajo SRC

Las plantaciones forestales a turno corto y alta densidad (denominadas en la literatura anglosajona como *Short Rotation Coppice*-SRC) son una alternativa viable para la producción de biomasa de calidad tanto para la producción de bioenergía como para la obtención de múltiples bioproductos (Zhang *et al.*, 2011). La biomasa procedente de las plantaciones en corta rotación pueden llegar a ser esencial en un futuro cercano como un elemento adicional a la biomasa proporcionada por los bosques para suplir las necesidades de biomasa en la industria europea (European Commission, 2014). La biomasa producida en SRC se caracteriza por una periodicidad y un rendimiento previsible según las áreas de cultivo. Existe una variedad de fuentes de biomasa, dentro de los cuales las especies leñosas han adquirido una importancia especial (Tallis *et al.*, 2013), siendo una realidad comercial en muchas partes del mundo (Mareschi *et al.*, 2005). El objetivo principal con respecto a estos cultivos es lograr una producción elevada y más eficiente, maximizando los beneficios y combinando la viabilidad económica con la sostenibilidad ambiental. Esto requiere una amplia comprensión de los factores que intervienen en el proceso de producción.

En las últimas décadas se ha avanzado en muchos de los aspectos específicos de este tipo de cultivos: la selección de material genético más productivo y su respuesta al ambiente, el sistema de manejo y los diferentes cuidados culturales a aplicar, entre otros (Sixto *et al.*, 2014; Sixto *et al.*, 2013). Uno de los principales puntos de estudio es el diseño y el manejo de la plantación. Los avances han sido importantes, definiéndose diferentes tipos de diseño en relación a la densidad de plantación (Cañellas *et al.*, 2012), a las posibilidad de mezclas (Oliveira *et al.*, 2018a), así como a diferentes tipos de manejo (turnos de corta, tratamientos aplicados como control de malas hierbas, etc.) (Sixto *et al.*, 2013). La disponibilidad de herramientas que permitan la estimación de la biomasa en pie para este tipo de plantaciones en turno corto es un factor esencial para la gestión, contribuyendo a la toma de mejores decisiones, como por ejemplo: el turno de máxima renta en especie o el turno financiero, el número de rotaciones a aplicar y su extensión, el cálculo de energía primaria disponible al final del turno o el balance nutricional, entre otros. Estos modelos no solo son útiles a escala de árbol individual (que son los más comunes), sino también a nivel de plantación así como también a escala de territorio, con el fin de poder extrapolar la gestión a ámbitos más extensos.

Los modelos en sí se pueden describir en función de su complejidad, así como por el detalle en el que describen el proceso modelizado. En un extremo de ese rango están los modelos empíricos, los cuales no tienen en cuenta otros factores que puedan afectar al crecimiento del árbol, considerando éstos habitualmente solo variables de tipo dendrométrico (Bruce and Wensel, 1988), y en el otro extremo se encuentran los modelos de procesos, que sí consideran otros mecanismos que influyen en el crecimiento,

incorporando para ello una amplia gama de información (Johnsen *et al.*, 2001). Korzukhin *et al.* (1996) concluyeron que los modelos de procesos ofrecen ventajas significativas sobre los modelos empíricos para predecir e incrementar el conocimiento del comportamiento de los bosques (Barrio-Anta *et al.*, 2008). Sin embargo, muchos autores consideran que el futuro está en la combinación de ambos modelos, es decir en modelos híbridos que combinen tanto procesos fisiológicos como relaciones empíricas basadas en mediciones a nivel de árbol individual o de masa (Landsberg, 2003; Mäkelä *et al.*, 2000; Pinjuv *et al.*, 2006; Valentine and Mäkelä, 2005).

Si bien en este trabajo nos centraremos en los modelos de estimación de biomasa, existen otros muchos tipos de modelos en función de qué se persigue modelizar: forma, dinámica, biomodelos de nicho o eventos externos. Hay que tener en cuenta que en los modelos forestales es de especial relevancia la escala temporal de los procesos, por lo que normalmente se introducen medidas repetidas para subsanar estos problemas. Dentro de los modelos empíricos, los modelos alométricos que relacionan la biomasa con el diámetro o con cualquier otra variable fácilmente medible, son los más usados a la hora de estimar biomasa en inventarios forestales o estudios ecológicos (Peichl and Arain, 2007; Shaiek *et al.*, 2011). Estos modelos se han adaptado a cultivos SRC (Mosseler *et al.*, 2014; Verlinden *et al.*, 2015; Verwijst *et al.*, 2013)

2. ¿En qué hemos avanzado en España?

En nuestro país disponemos de una amplia base de ecuaciones específicas para plantaciones de chopo, desde las primeras tablas de producción publicadas para chopos con fines madereros (González Antoñanzas, 1978), modelos de cubicación (Bravo *et al.,* 1996; Rodríguez y Molina, 2003; Rodríguez 2005; Barrio Anta *et al.,* 2007; Rodríguez *et al.,* 2010), a los modelos específicos de biomasa que son los que nos conciernen en este trabajo (Figura 1). En cuanto a los modelos de estimación de biomasa, por un lado se han desarrollado ecuaciones de estimación biomasa generales para 32 de las especies forestales más representativas (Montero *et al.*, 2005), entre las que ya se encontraba el género *Populus* spp., si bien a densidades menores y turnos madereros, más largos de los habituales definidos para SRC. Se dispone también de una versión más actualizada de estas ecuaciones en la revisión realizada por Ruiz-Peinado *et al.* (2011) en las que se incluye la propiedad de aditividad y se incorpora el diámetro y la altura del árbol como variables independientes (Bravo *et al.*, 2011).

En la última década se han desarrollado modelos específicos para plantaciones de chopo bajo SRC (Oliveira *et al.*, 2017b; Oliveira *et al.*, 2018b), así como herramientas dirigidas tanto a la planificación como a la gestión, como es el caso de un diagrama de referencia para el genotipo 'I-214' bajo condiciones mediterráneas (Oliveira *et al.*, 2015). A partir de la información de una red de parcelas SRC a lo largo de la geografía española se han desarrollado también modelos predictivos de la producción a escala de territorio que se han utilizado para crear mapas de posibles zonas de producción para este tipo de cultivos (Pérez-Cruzado *et al.*, 2013). Estas últimas, específicas para plantaciones de chopo en corta rotación y alta densidad, se examinarán en mayor detalle en este trabajo.

A lo largo de estos años no solo se ha avanzado en el desarrollo de modelos de estimación específicos para este tipo de cultivos, sino también en conocer la variabilidad de los mismos, con el fin de mejorar tanto la precisión como su aplicabilidad (Oliveira *et al.*, 2017a). Hay un gran número de factores que crean incertidumbre en las relaciones alométricas entre la biomasa y variables independientes comúnmente usadas en los modelos como pueden ser el diámetro o la altura (Verwijst *et al.*, 2013). Por un lado, los factores que afectan a la relación biológica (la especie o genotipo, la edad del brote o el turno de recepado) y por otro los factores que afectan a la modelización de la relación (los algoritmos de ajuste, el tamaño de muestra usado para ajustar el modelo o el criterio de selección de la muestra en función del

estado de desarrollo del cultivo). Algunos de estos factores son comunes a la modelización forestal en general. Sin embargo, factores como la edad, la formulación del modelo utilizada, el tamaño e incluso el criterio de selección de la muestra cobran mayor relevancia en plantaciones de chopo bajo SRC debido al diferente estado de desarrollo de la parte aérea y subterránea, tras los sucesivos recepados. Lo cierto es que algunos de esos factores se pueden abordar desde diferentes aproximaciones, de forma que se reduzca la incertidumbre que generan en el modelo. La edad, por ejemplo, podría abordarse desde el criterio de selección de la muestra, tomando datos únicamente en el momento en el que se quiere predecir la biomasa (por ejemplo, al final del turno) o utilizando una formulación adecuada que incluya la edad en el modelo mediante variables dummy, si la finalidad es la predicción de la biomasa a lo largo del periodo de la rotación. Otro ejemplo sería la inclusión del número de brotes como variable independiente, lo cual reduce la desviación media e incrementa la precisión del modelo. En cualquier caso, hay que tener en cuenta la finalidad del modelo a la hora de planificar tanto la toma de datos como la formulación y el ajuste en sí en busca de una predicción más exacta.

Teniendo esto en cuenta, se han desarrollado ecuaciones para la predicción de la biomasa al final del turno tanto para la parte aérea como para la parte subterránea. La capacidad de predecir los niveles de producción es particularmente importante cuando se debe evaluar la viabilidad económica de un cultivo determinado (Pérez-Cruzado *et al.*, 2013) o cuando se deben tomar decisiones con respecto a la duración de la rotación. El hecho de que los modelos de estimación de biomasa sean específicos del sitio (Tumwebaze *et al.*, 2013) o genotipo (Sixto *et al.*, 2014) limitan claramente su uso práctico como herramientas de gestión predictivas de la producción de biomasa y/o de la planificación del manejo del cultivo. Si bien gran parte de la investigación relacionada con la creación de modelos de biomasa para SRC se ha centrado en el desarrollo de modelos de biomasa específica de sitio y genotipo (Barrio-Anta *et al.*, 2008; Mosseler *et al.*, 2014; Verwijst and Telenius, 1999), también hay algunos ejemplos de modelos desarrollados en niveles jerárquicos superiores (Ben Brahim *et al.*, 2000; Dillen *et al.*, 2007). La falta de modelos específicos para algunos genotipos concretos, se aborda comúnmente mediante el uso de modelos creados para genotipos próximos taxonómicamente (Dillen *et al.*, 2007). Esto supondría que la distribución de biomasa se basa principalmente en la afinidad taxonómica debido a su especie progenitora común. Sin embargo, los resultados de Oliveira *et al.* (2017b) muestran que la afinidad genética no explica las similitudes en la alometría de la biomasa entre los diferentes genotipos estudiados. Por lo tanto, la aplicación de modelos de genotipos próximos genéticamente implicaría una pérdida de precisión, de hecho, tras probar diferentes niveles jerárquicos (modelos a nivel de genotipo, a nivel de grupo taxonómico y a nivel general) se ha comprobado que en algunos casos los modelos a nivel general se comportan mejor que los modelos a nivel de grupo taxonómico para algunos de los genotipos estudiados (Oliveira *et al.*, 2017b). Hay que tener en cuenta que el uso de modelos generales para estimaciones a nivel de genotipo, al tiempo que permite una mayor flexibilidad, puede implicar una pérdida considerable de precisión. Por lo tanto, la calibración de modelos de biomasa generalizada para grandes regiones debe basarse en una muestra del sitio (Pérez-Cruzado *et al.*, 2015) y las condiciones climáticas que abarca el rango de condiciones ambientales cubiertas (Muukkonen, 2007; Shaiek *et al.*, 2011). Por este motivo Oliveira *et al.* (2017b) utilizaron un amplio rango de datos, cubriendo un total de 22 localidades y 29 genotipos pertenecientes a 7 grupos taxonómicos del género *Populus* diferentes. Esto ha permitido disponer de modelos de estimación de biomasa específicos para la mayoría de los genotipos comúnmente utilizados en las plantaciones de chopo en corta rotación, siendo estos modelos herramientas de gran utilidad para la gestión y planificación de este tipo de cultivos.

Por otra parte, aunque no menos importante, la disponibilidad de modelos de estimación de biomasa subterránea es de gran relevancia a la hora de cuantificar el carbono fijado por las plantaciones de chopo a través de la biomasa radicular. A la hora de realizar el cómputo de carbono no solo hay que tener en cuenta el carbono fijado en el suelo (Smith, 2004), ni el carbono que se va incorporando con la

descomposición tanto de las raíces como de las hojas (Walter *et al.*, 2015), sino también el carbono fijado en las raíces que es de especial relevancia en este tipo de cultivos (Pacaldo *et al.*, 2014), en los que, en rotaciones sucesivas, se presenta diferente estado de desarrollo de la parte aérea y de la parte subterránea. A pesar de la dificultad de estudio de esta fracción de la biomasa, algunos autores se han centrado en la biomasa radical de las plantaciones bajo SRC (Berhongaray *et al.*, 2015; Block *et al.*, 2006) y han desarrollado modelos de estimación específicos (Berhongaray *et al.*, 2015; Coyle and Coleman, 2005; Fang *et al.*, 2007). Sin embargo, para las condiciones específicas de nuestro país, en las que se produce una fuerte sequía estival que obliga a la aplicación de riego, no se disponía de unos modelos de biomasa subterránea en plantaciones de chopo a turno corto hasta el presente año (Oliveira *et al.*, 2018b). Estos modelos fueron desarrollados para tres de los genotipos más utilizados en plantaciones para la producción de biomasa en España. Al igual que en el caso de los modelos de estimación de la parte aérea, se desarrollaron también modelos a nivel de genotipo y a nivel general aplicables a cualquier genotipo bajo condiciones Mediterráneas.

Además de los modelos de estimación de biomasa en sí mismos, existen otras muchas herramientas de gestión que se fundamentan indirectamente en la modelización. Este es el caso por ejemplo de los diagramas de manejo de la densidad o de los mapas de distribuciones, entre otros. Los diagramas de manejo de la densidad (DMDs) se utilizan para ilustrar gráficamente las relaciones entre densidad, rendimiento y densidad de mortalidad dependiente en todas las etapas del desarrollo de la parcela (Newton and Weetman, 1994), incluidos conceptos como competencia, ocupación del sitio y autoaclareo. En plantaciones de chopo en SRC, la reducción de densidad no es una práctica de manejo común y, debido a la corta rotación, estos cultivos raramente alcanzan límites de autoaclareo, por lo que la aplicación de DMD estará severamente limitada. Por lo tanto, se aplicaron los conceptos básicos utilizados en la construcción de DMDs para desarrollar un *diagrama de referencia* para la gestión de SRC (Oliveira *et al.*, 2015). Este diagrama de referencia específico para la primera rotación de una plantación en turno corto y alta densidad del genotipo 'I-214' permite una rápida y sencilla comparación de las diferentes situaciones de manejo que se pueden presentar, tanto en relación al momento de la plantación (densidad) como a la hora de la corta (turno). Estos modelos pueden jugar un papel importante para ayudar a entender los patrones de producción de las plantaciones de chopo en corta rotación, ya que la adaptación de los modelos puede ayudar en la evaluación del potencial de producción energética y un manejo óptimo en términos de densidad y turnos, como ya se ha hecho para eucaliptos (Pérez-Cruzado *et al.*, 2011), así como en el cálculo de los beneficios económicos y en la toma de decisiones de los administradores sobre el momento idóneo de la corta.

Por último, no hay que olvidar las nuevas tecnologías que se están abriendo paso a la hora de facilitar la gestión de este tipo de cultivos, como por ejemplo la aplicación del sistemas laser (LiDAR y Escaner Láser Terrestre) para la caracterización de árboles individuales y rodales para su posterior extrapolación y estimación de la biomasa disponible (Andújar *et al.*, 2016), o la aplicación de herramientas SIG (Sistemas de información geográfica) para la creación de mapas a escalas superiores como es la escala nacional. Los resultados de Pérez-Cruzado *et al.* (2013), en los que se evaluó en 144 ensayos la producción de biomasa potencial en España para el genotipo 'I-214' bajo diferentes condiciones de sitio y tipos de manejo con el fin de determinar la contribución futura en España a la energía demandada, es un claro ejemplo de la aplicación de modelos empíricos a escala mayor utilizando tecnologías SIG para el desarrollo de mapas a escala nacional. Las conclusiones a una escala amplia no se pueden extrapolar de ensayos puntuales a pequeña escala (Mitchell *et al.*, 1999; Sims *et al.*, 1999), por ello los modelos estadísticos basados en un amplio rango de datos empíricos se están usando cada vez más en la investigación de la producción en SRC (Aylott *et al.*, 2008; Dickmann, 2006; Headlee *et al.*, 2013; Pérez-Cruzado *et al.*, 2011; Tallis *et al.*, 2013).

La información derivada de la aplicación de modelos en plantaciones de chopo bajo SRC puede ser de gran utilidad para los gestores a la hora de la toma de decisiones, tanto con relación al establecimiento de la plantación como con relación al manejo posterior. Igualmente puede resultar de utilidad para otros actores implicados en la gestión de la biomasa, facilitando la identificación de las áreas más adecuadas para establecer industrias de consumo de biomasa o bien para los legisladores, ayudando a estimar la contribución de las plantaciones de chopo bajo SRC al suministro total de energía a escala nacional.

3. Perspectivas futuras

A pesar de los avances realizados con relación a la modelización como herramientas de estimación de la producción de biomasa en los cultivos de chopo en corta rotación, aún quedan muchas debilidades por resolver. La brecha entre la evidencia científica y la relevancia práctica se está incrementando (Pretzsch, 2009), y se espera de los modelos que permitan solventar esta brecha, sin olvidar el objetivo que se persigue y a quién van destinados. Por ello, los modelos de estimación e biomasa deberían cubrir las necesidades de los gestores en la toma de decisiones para el manejo de los cultivos, proporcionando herramientas de simulación a diferentes escalas que hagan llegar los avances científicos realizados al usuario final (Bravo *et al.*, 2011).

Una de las mayores necesidades a la hora de manejar y evaluar la sostenibilidad de las plantaciones de chopo es la disponibilidad de herramientas para predecir las producciones futuras (Rodríguez et al, 2002). Los modelos desarrollados en los últimos años para condiciones mediterráneas en España suponen actualmente un amplio abanico de herramientas fácilmente aplicables por los gestores para predecir el comportamiento futuro de las plantaciones de chopo en corta rotación. Sin embargo, la incertidumbre en cuanto a la calidad de las predicciones de esos modelos bajo una situación de cambio climático, acentuada por el elevado efecto de interacción genotipo × ambiente sobre la producción de biomasa, hace que sea necesario la elaboración de modelos más complejos que tengan en cuenta factores que permitan conseguir estimaciones más precisas y adaptadas a las condiciones cambiantes. Como alternativa, el desarrollo de modelos de proceso e híbridos que incorporan factores climáticos y respuestas fisiológicas para las condiciones de cultivo del chopo en alta densidad, podrían proporcionar predicciones más realistas a largo plazo. Esto requiere sin embargo de una toma de datos más compleja que permita una buena parametrización de este tipo de modelos teniendo en cuenta variables específicas como el área foliar específica, las relaciones dimensionales entre distintas partes de las plantas o variables de rodal, diferentes variables relacionadas con la descomposición de hojas y raíces, etc. para el cultivo de chopo bajo condiciones de cultivo en alta densidad. En esta tarea estamos actualmente implicados persiguiendo la mejor predicción de las estimaciones de biomasa futuras.

4. Bibliografía

ANDÚJAR, D.; ROSELL-POLO, J.; SANZ, R.; RUEDA-AYALA, V.; FERNÁNDEZ-QUINTANILLA, C.; RIBEIRO, A.; DORADO, J.; 2016. A LiDAR-Based System to Assess Poplar Biomass. En: LiDAR-basiertes System um Biomasse von Pappelbäumen zu bewerten. Gesunde Pflanzen 68, 155-162.

AYLOTT, M.J.; CASELLA, E.; TUBBY, I.; STREET, N.R.; SMITH, P.; TAYLOR, G.; 2008. Yield and spatial supply of bioenergy poplar and willow short-rotation coppice in the UK. New Phytol. 178, 358-370.

BARRIO-ANTA, M.; SIXTO, H.; CAÑELLAS, I.; CASTEDO-DORADO, F.; 2008. Dynamic growth model for I-214 poplar plantations in the northern and central plateaux in Spain. Forest Ecol. Manag. 255, 1167-1178.

BARRIO-ANTA, M.; SIXTO, H.; CAÑELLAS, I.; GONZÁLEZANTOÑANZAS, F.; 2007. Sistema de cubicación con clasificación de productos para plantaciones de Populus ×euramericana (Dode) Guinier cv.'I-214'en la meseta norte y centro de España. Forest Systems 16, 65-75.

BEN BRAHIM, M.; GAVALAND, A.; CABANETTES, A.; 2000. Generalized Allometric Regression to Estimate Biomass of Populus in Short-rotation Coppice. Scand. J. Forest Res. 15, 171-176.

BERHONGARAY, G.; VERLINDEN, M.S.; BROECKX, L.S.; CEULEMANS, R.; 2015. Changes in belowground biomass after coppice in two Populus genotypes. Forest Ecol. Manag. 337, 1-10.

BLOCK, R.; VAN REES, K.; KNIGHT, J.; 2006. A review of fine root dynamics in Populus plantations. Agrofor. Syst. 67, 73-84.

BRAVO, F.; GRAU, J.M.; GONZÁLEZ ANTOÑANZAS F.; 1996. Análisis de modelos de producción para Populus ×euramericana en la cuenca del Duero. Invest. Agr.: Sist. Recur. For. 5, 77-95.

BRAVO, F.; ÁLVAREZ GONZÁLEZ, J.G.; RIO, M.D.; BARRIO, M.; BONET LLEDOS, J.A.; BRAVO OVIEDO, A.; CALAMA, R.; CASTEDO DORADO, F.; CRECENTE CAMPO, F.; CONDES, S.; 2011. Growth and yield models in Spain: historical overview, contemporary examples and perspectives. For. Syst., 2011, vol. 20, núm. 2, p. 315-328.

BRUCE, D.; WENSEL, L.C.; 1988. Modelling forest growth: approaches, definitions, and problems. USDA Forest Service general technical report NC-North Central Forest Experiment Station (USA).

CAÑELLAS, I.; HUELIN, P.; HERNÁNDEZ, M.; CIRIA, P.; CALVO, R.; GEA-IZQUIERDO, G.; SIXTO, H.; 2012. The effect of density on Short Rotation Populus spp. plantations in the Mediterranean area. Biomass Bioenerg. 46, 645-652.

COYLE, D.R.; COLEMAN, M.D.; 2005. Forest production responses to irrigation and fertilization are not explained by shifts in allocation. Forest Ecol. Manag. 208, 137-152.

DICKMANN, D.; 2006. Silviculture and biology of short-rotation woody crops in temperate regions: then and now. Biomass Bioenerg. 30, 696–705.

DILLEN, S.Y.; MARRON, N.; BASTIEN, C.; RICCIOTTI, L.; SALANI, F.; SABATTI, M.; PINEL, M.P.C.; RAE, A.M.; TAYLOR, G.; CEULEMANS, R.; 2007. Effects of environment and progeny on biomass estimations of five hybrid poplar families grown at three contrasting sites across Europe. Forest Ecol. Manag. 252, 12-23.

EUROPEAN COMMISSION; 2014. State of play on the sustainability of solid and gaseous biomass used for electricity, heating and cooling in the EU (SWD 259 final).

GONZÁLEZ ANTOÑANZAS, F.; 1978. Tablas de cubicación para Populus ×euramericana (Dode) Guinier cv. 'Campeador'. Comunicaciones INIA. Serie: Recursos Naturales 8, 31 pp.

FANG, S.; XUE, J.; TANG, L.; 2007. Biomass production and carbon sequestration potential in poplar plantations with different management patterns. J. Environ. Manage.85, 672-679.

HEADLEE, W.L.; ZALESNY JR, R.S.; DONNER, D.M.; HALL, R.B.; 2013. Using a process-based model (3-PG) to predict and map hybrid poplar biomass productivity in Minnesota and Wisconsin, USA. Bioenerg. Res. 6, 196-210.

JOHNSEN, K.; SAMUELSON, L.; TESKEY, R.; MCNULTY, S.; FOX, T.; 2001. Process models as tools in forestry research and management. For Sci 47, 2-8.

KORZUKHIN, M.D.; TER-MIKAELIAN, M.T.; WAGNER, R.G.; 1996. Process versus empirical models: which approach for forest ecosystem management? Can. J. Forest Res. 26, 879-887.

LANDSBERG, J.; 2003. Modelling forest ecosystems: state of the art, challenges, and future directions. Can. J. Forest Res. 33, 385-397.

MÄKELÄ, A.; LANDSBERG, J.; EK, A.R.; BURK, T.E.; TER-MIKAELIAN, M.; ÅGREN, G.I.; OLIVER, C.D.; PUTTONEN, P.; 2000. Process-based models for forest ecosystem management: current state of the art and challenges for practical implementation. Tree Physiol. 20, 289-298.

MARESCHI, L.; PARIS, P.; SABATTI, M.; NARDIN, F.; GIOVANARDI, R.; MANAZZONE, S.; MUGNOZZA, G.; 2005. The new varieties of poplar biomass guarantee interesting yield. Informatore Agrario 6, 49-53.

MITCHELL, C.P.; STEVENS, E.A.; WATTERS, M.P.; 1999. Short-rotation forestry - operations, productivity and costs based on experience gained in the UK. Forest Ecol. Manag. 121, 123-136.

MONTERO, G.; RUIZ-PEINADO, R.; MUÑOZ, M.; 2005. Producción de biomasa y fijación de CO2 por los bosques españoles. INIA-Instituto Nacional de Investigación y Tecnología Agraria y Alimentaria.

MOSSELER, A.; MAJOR, J.; LABRECQUE, M.; LAROCQUE, G.; 2014. Allometric relationships in coppice biomass production for two North American willows (Salix spp.) across three different sites. Forest Ecol. Manag. 320, 190-196.

MUUKKONEN, P.; 2007. Generalized allometric volume and biomass equations for some tree species in Europe. Eur. J. For. Res. 126, 157-166.

NEWTON, P.F.; WEETMAN, G.F.; 1994. Stand density management diagram for managed black spruce stands. Forest Chron. 70, 65-74.

OLIVEIRA, N.; DEL RÍO, M.; FORRESTER, D.I.; RODRÍGUEZ-SOALLEIRO, R.; PÉREZ-CRUZADO, C.; CAÑELLAS, I.; SIXTO, H.; 2018a. Mixed short rotation plantations of Populus alba and Robinia pseudoacacia for biomass yield. Forest Ecol. Manag. 410, 48-55.

OLIVEIRA, N.; RODRÍGUEZ-SOALLEIRO, R.; HERNÁNDEZ, M.J.; CAÑELLAS, I.; SIXTO, H.; PÉREZ-CRUZADO, C.; 2017a. Improving biomass estimation in a Populus short rotation coppice plantation. Forest Ecol. Manag. 391, 194-206.

OLIVEIRA, N.; RODRÍGUEZ-SOALLEIRO, R.; PÉREZ-CRUZADO, C.; CAÑELLAS, I.; SIXTO, H.; 2017b. On the Genetic Affinity of Individual Tree Biomass Allometry in Poplar Short Rotation Coppice. Bioenerg. Res. 10, 525-535.

OLIVEIRA, N.; RODRÍGUEZ-SOALLEIRO, R.; PÉREZ-CRUZADO, C.; CAÑELLAS, I.; SIXTO, H.; CEULEMANS, R.; 2018b. Above- and below-ground carbon accumulation and biomass allocation in poplar short rotation plantations under Mediterranean conditions. Forest Ecol. Manag. 428, 57-65.

OLIVEIRA, N.; SIXTO, H.; CAÑELLAS, I.; RODRÍGUEZ-SOALLEIRO, R.; PÉREZ-CRUZADO, C.; 2015. Productivity model and reference diagram for short rotation biomass crops of poplar grown in Mediterranean environments. Biomass Bioenerg. 72, 309-320.

PACALDO, R.S.; VOLK, T.A.; BRIGGS, R.D.; 2014. Carbon sequestration in fine roots and foliage biomass offsets soil CO2 effluxes along a 19-year chronosequence of shrub willow (Salix x dasyclados) biomass crops. Bioenerg. Res. 7, 769-776.

PEICHL, M.; ARAIN, M.A.; 2007. Allometry and partitioning of above- and belowground tree biomass in an age-sequence of white pine forests. Forest Ecol. Manag. 253, 68-80.

PÉREZ-CRUZADO, C.; FEHRMANN, L.; MAGDON, P.; CAÑELLAS, I.; SIXTO, H.; KLEINN, C.; 2015. On the site-level suitability of biomass models. Environ. Modell. Softw. 73, 14-26.

PÉREZ-CRUZADO, C.; MERINO, A.; RODRÍGUEZ-SOALLEIRO, R.; 2011. A management tool for estimating bioenergy production and carbon sequestration in Eucalyptus globulus and Eucalyptus nitens grown as short rotation woody crops in north-west Spain. Biomass Bioenerg. 35, 2839-2851.

PÉREZ-CRUZADO, C.; SANCHEZ-RON, D.; RODRÍGUEZ-SOALLEIRO, R.; HERNÁNDEZ, M.; SÁNCHEZ-MARTÍN, M.; CAÑELLAS, I.; SIXTO, H.; 2013. Biomass production assessment from Populus spp. short-rotation irrigated crops in Spain. GCB Bioenergy 6, 312-326.

PINJUV, G.; MASON, E.G.; WATT, M.; 2006. Quantitative validation and comparison of a range of forest growth model types. Forest Ecol. Manag. 236, 37-46.

RODRÍGUEZ, F.; 2005. Modelos de producción de las choperas del valle del Cinca. Tesis doctoral. Universitat de Lleida.

RODRÍGUEZ, F.; MOLINA, C.; 2003. Análisis de modelos de perfil del fuste y estudio de la cilindridad para tres clones de chopo (Populus ×euramericana) en Navarra. Invest Agrar: Sist. Recur. For. 12(3), 73-85.

RODRÍGUEZ, F.; PEMÁN, J.; AUNÓS, A.; 2010. A reduced growth model based on stand basal area. A case for hybrid poplar plantations in northeast Spain. Forest Ecol. Manag. 259, 2093-2102.

RUIZ-PEINADO, R.; DEL RIO, M.; MONTERO, G.; 2011. New models for estimating the carbon sink capacity of Spanish softwood species. For. Syst. 20, 176-188.

SHAIEK, O.; LOUSTAU, D.; TRICHET, P.; MEREDIEU, C.; BACHTOBJI, B.; GARCHI, S.; AOUNI, M.H.E.; 2011. Generalized biomass equations for the main aboveground biomass components of maritime pine across contrasting environments. Ann. For. Sci. 68, 443-452.

SIMS, R.E.H.; SENELWA, K.; MAIAVA, T.; BULLOCK, B.T.; 1999. Eucalyptus species for biomass energy in New Zealand - Part II: Coppice performance. Biomass Bioenerg. 17, 333-343.

SIXTO, H.; GIL, P.; CIRIA, P.; CAMPS, F.; SÁNCHEZ, M.; CAÑELLAS, I.; VOLTAS, J.; 2014. Performance of hybrid poplar clones in short rotation coppice in Mediterranean environments: analysis of genotypic stability. GCB Bioenergy 6, 661-671.

SIXTO, H.; HERNÁNDEZ, M.J.; DE MIGUEL, J.; CAÑELLAS, I.; 2013. Red de parcelas de cultivos leñosos en alta densidad y turno corto. pp. 176. Madrid.

SMITH, P.; 2004. Carbon sequestration in croplands: the potential in Europe and the global context. Eur. J. Agron.20, 229-236.

TALLIS, M.J.; CASELLA, E.; HENSHALL, P.A.; AYLOTT, M.J.; RANDLE, T.J.; MORISON, J.I.L.; TAYLOR, G.; 2013. Development and evaluation of ForestGrowth-SRC a process-based model for short rotation coppice yield and spatial supply reveals poplar uses water more efficiently than willow. GCB Bioenergy 5, 53-66.

TUMWEBAZE, S.B.; BEVILACQUA, E.; BRIGGS, R.; VOLK, T.; 2013. Allometric biomass equations for tree species used in agroforestry systems in Uganda. Agrofor. Syst. 87, 781-795.

VALENTINE, H.T.; MÄKELÄ, A.; 2005. Bridging process-based and empirical approaches to modeling tree growth. Tree Physiol. 25, 769-779.

VERLINDEN, M.S.; BROECKX, L.S.; CEULEMANS, R.; 2015. First vs. second rotation of a poplar short rotation coppice: Above-ground biomass productivity and shoot dynamics. Biomass Bioenerg. 73, 174-185.

VERWIJST, T.; LUNDKVIST, A.; EDELFELDT, S.; ALBERTSSON, J.; 2013. Development of sustainable willow short rotation forestry in Northern Europe. En: Matovic, D.M.D. (Ed.), Biomass Now-Sustainable Growth and Use pp. 479-502.

VERWIJST, T.; TELENIUS, B.; 1999. Biomass estimation procedures in short rotation forestry. Forest Ecol. Manag. 121, 137-146.

WALTER, K.; DON, A.; FLESSA, H.; 2015. No general soil carbon sequestration under Central European short rotation coppices. GCB Bioenergy 7, 727-740.

ZHANG, X.; TU, M.; PAICE, M.; 2011. Routes to Potential Bioproducts from Lignocellulosic Biomass Lignin and Hemicelluloses. Bioenerg. Res. 4, 246-257.

Agradecimientos: Este trabajo está financiado por el MINECO a través del proyecto RTA2014-00007-C3 y el contrato predoctoral FPI-SGIT-2015-04.

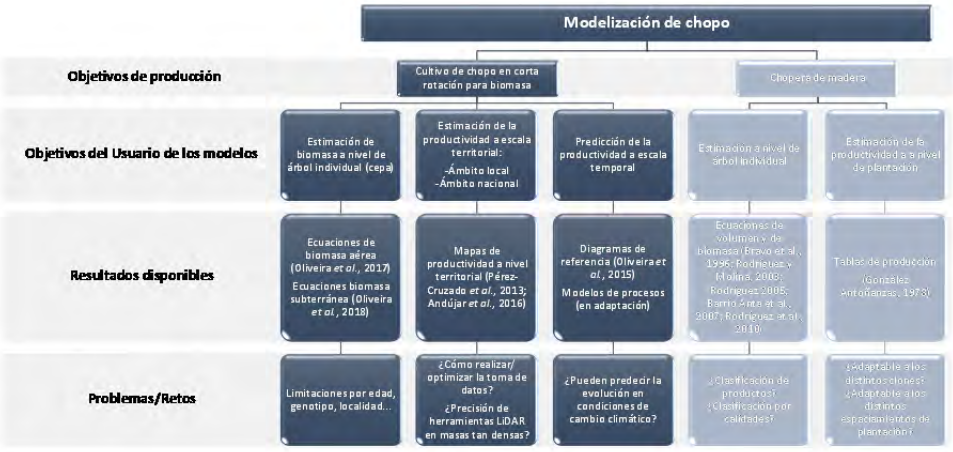


Figura 1. Esquema de la modelización específica de plantaciones de chopo disponible a escala nacional.

Nota breve sobre el crecimiento comparado de dos clones de chopo en suelos con diferente pH

RUEDA FERNÁNDEZ, J.[1]; BENGOA MARTÍNEZ DE MANDOJANA, J.[1]

[1] Junta de Castilla y León

Palabras clave
Choperas, pH, 'I-214', 'Raspalje'.

1. Introducción y objetivos

La Junta de Castilla y León ha instalado en las últimas décadas varias parcelas de ensayo de clones de chopos, aprovechando para ello terrenos y actuaciones gestionados o controlados por esta administración. El objetivo principal de estas parcelas es comparar el comportamiento de distintos clones de *Populus* en determinadas localizaciones situadas en las principales áreas choperas de Castilla y León.

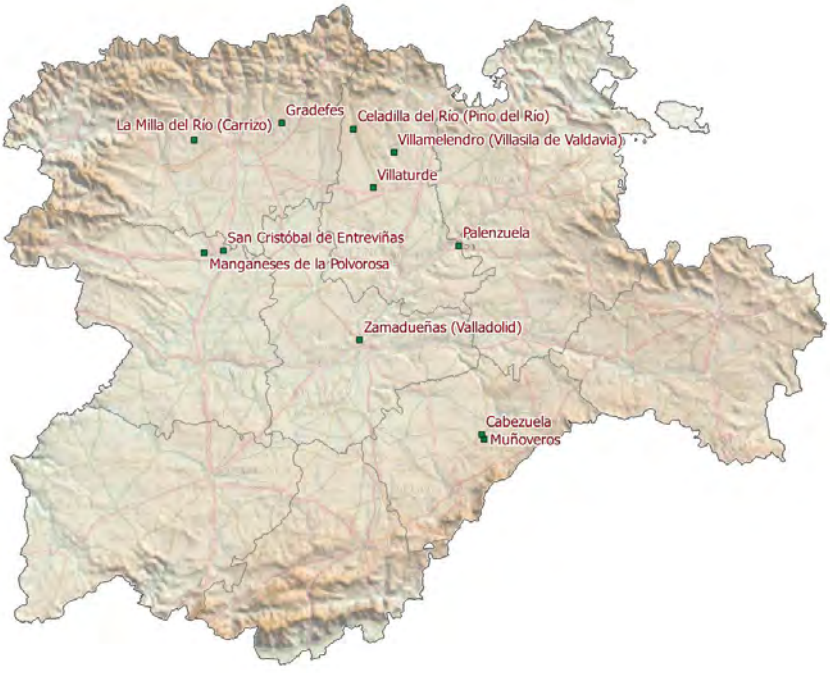


Figura 1. Localización de las parcelas de ensayo

2. Metodología

El desarrollo de estas plantaciones depende de diversos factores entre los que destacan los aspectos térmicos del clima, la profundidad de la capa freática, la textura y pedregosidad del suelo, su fertilidad química, la presencia de caliza activa, el pH y la incidencia de daños debidos a plagas, enfermedades u otros eventos. En esta nota breve se analiza la relación entre el pH del suelo y el crecimiento de los árboles.

Para evaluar el desarrollo de las parcelas se utiliza el diámetro normal a los 15 años en cm (media de los 9 árboles centrales del cuadrado de 5x5, D15). Dicho diámetro depende tanto del clon como de los factores del medio que contribuyen, condicionan o limitan el crecimiento del árbol. El pH puede explicar una parte de las diferencias de crecimiento cuando el clon presenta una sensibilidad variable al pH dentro del rango de trabajo y no hay otros condicionantes que enmascaran dicha circunstancia.

Para la medición del pH se tomaron cuatro muestras de los 50 cm superiores del suelo en cada bloque de cada parcela y se mezclaron y homogeneizaron para obtener aproximadamente unos cinco kilos de suelo que fueron posteriormente llevados al laboratorio a analizar. En algunos casos, una vez recogidas las cuatro muestras y antes de mezclarlas, se observó que eran sensiblemente diferentes unas de otras. En estos casos, en lugar de reunirlas en una sola (mezcla de las cuatro), se formaron dos muestras. De esta forma se pretende reflejar en los resultados la heterogeneidad interna del correspondiente bloque. Sin embargo, en lo que respecta al pH, las diferencias fueron muy pequeñas, por lo que se asigna un solo valor de pH a cada bloque. La elección de los puntos de muestreo se hizo de forma sistemática. La medición del pH se realizó de acuerdo con el ISSS, en suspensión suelo: agua 1:2,5, con pHmetro.

Las parcelas de ensayo están compuestas por dos o tres bloques, que pueden estar contiguos o disjuntos dentro de una misma plantación de chopos. Con carácter general, cada bloque incluye un cuadrado de cada uno de los clones ensayados, formado por 25 árboles (dispuestos en marco real con espaciamiento de 6 m). Los cuadrados están separados entre sí por una línea de árboles del clon 'I-214' destinada a amortiguar las diferentes influencias de cada cuadrado sobre los contiguos. Excepciones: PA-1 (Villaturde), en lugar de cuadrado, cada clon forma un rectángulo de 5×6 árboles con espaciamiento de 5 m; SG-2 (Muñoveros), el espaciamiento es de 5×6 m; SG-1 (Cabezuela), en lugar de cuadrado, cada clon forma una fila de 5 árboles. Los bloques se han dispuesto aprovechando la ejecución de plantaciones de chopos de carácter productivo, disponiéndolos, dentro de las posibilidades de cada parcela, en ubicaciones mesológicamente diferentes en términos de proximidad al curso del agua, de textura edáfica, etc.

Los clones ensayados en estas parcelas son numerosos. Con carácter general, los más ensayados han sido 'I-214', 'MC', 'Triplo', 'Raspalje', 'Flevo' y 'Luisa Avanzo'. Estos dos últimos dejaron de ensayarse en las últimas parcelas porque han mostrado crecimientos poco satisfactorios o problemas que hacen poco recomendable su utilización.

Estas parcelas de ensayo responden a un diseño experimental en bloques aleatorios, formados por dos ó tres bloques, cada uno de ellos con 4-16 unidades experimentales (4-16 clones). Cada unidad experimental es un cuadrado, rectángulo o fila de árboles de un mismo clon, tal y como se ha expuesto anteriormente.

La descripción detallada de cada parcela puede consultarse en la correspondiente publicación de resultados disponible en el portal del chopo (http://www.populuscyl.es/webs-publicaciones).

Para evaluar la relación entre el pH del suelo y el crecimiento de los chopos, no se ha considerado el diseño experimental en bloques, sino que se ha utilizado de forma individual la respuesta de cada clon en cada bloque representando gráficamente la nube de puntos formada por los pares de valores [pH, D15]. Esto significa que dos bloques de una misma parcela son dos muestras distintas. La distribución de estos puntos y la valoración individual de los que se salen de la pauta general permite hacer algunas observaciones que pueden ser de interés para el cultivo de algunos clones de chopo y que son el objeto principal de esta nota breve.

3. Resultados

En la figura 2 se muestran los diámetros medios de los árboles de cada clon en cada parcela-bloque (con carácter general, media de 25 diámetros).

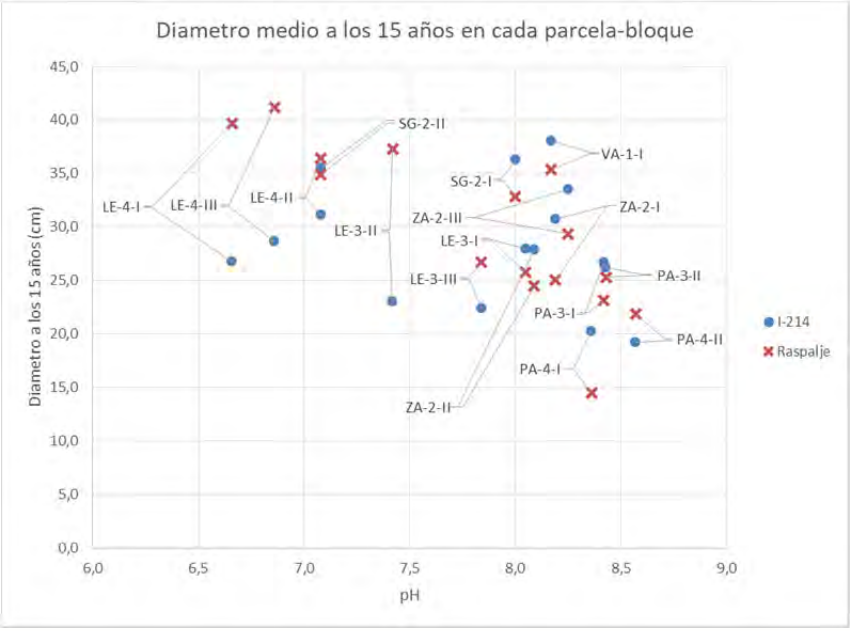


Figura 2. diámetro de 'I-214' y 'Raspalje' a los 15 años.

4. Discusión y conclusiones

Las diferencias de calidad de las parcelas, motivadas por factores distintos al pH, enmascaran en parte el efecto de este factor sobre el comportamiento de los clones. La principal observación que se puede hacer a la vista de la figura 2 es que, en los sitios ensayados con pH inferior a 7,5, el crecimiento de 'Raspalje' ha resultado siempre muy bueno, alcanzando los 35-40 cm de diámetro a los 15 años, mientras que 'I-214' suele quedarse en los 23-35 cm. Lógicamente este buen crecimiento de 'Raspalje' no está garantizado en ese rango de pH por la posible coexistencia de otros factores que afecten al crecimiento.

Este diferente comportamiento frente a 'I-214' no se observa en la parte derecha del gráfico, con pH superior a 7,5.

Para visualizar mejor el comportamiento diferencial de estos dos clones frente al pH se muestra en la Figura 3 la diferencia de diámetros de estos dos clones a los 15 años.

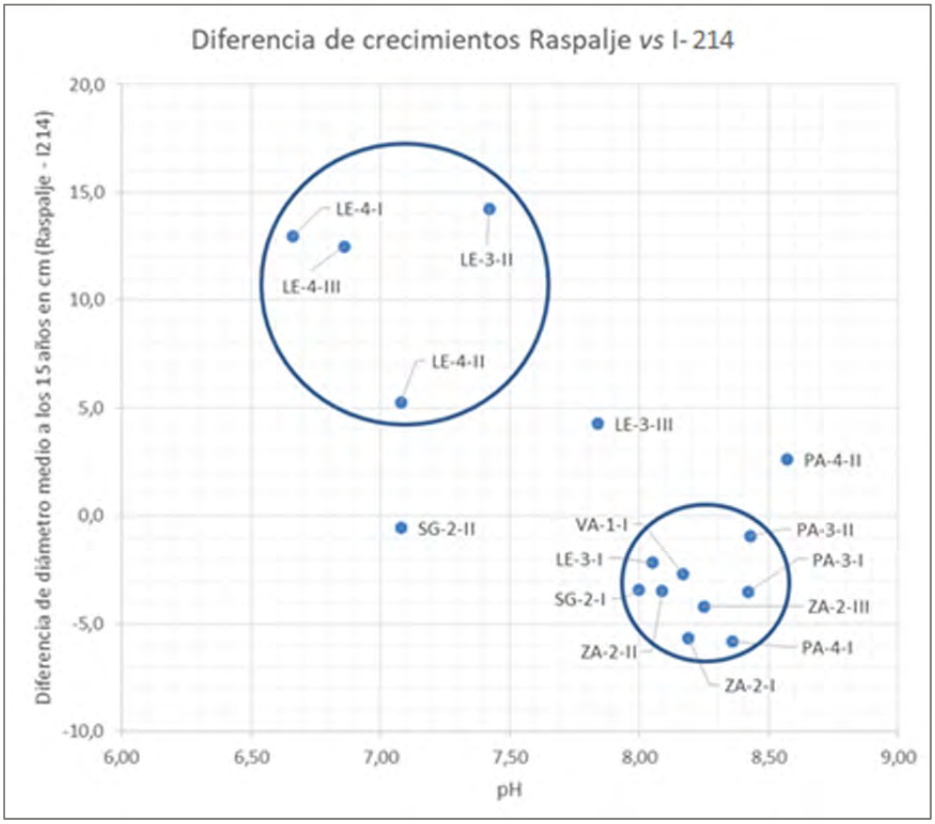


Figura 3. Diferencias de Diámetro entre 'I-214' y 'Raspalje' a los 15 años.

'Raspalje' muestra un crecimiento netamente superior (diámetro 5-15 mayor cm a los 15 años) en terrenos con pH inferior a 7,5, mientras que 'I-214' es ligeramente superior (1-6 cm) en terrenos con pH mayor de 8. Esta observación está avalada por 13 puntos, cada uno de los cuales promedia pH superficial de la zona plantada y crecimiento de varios árboles. Además de estos 13 puntos, hay otro adicional con características intermedias de pH y diferencia de crecimientos, que va en la línea de lo expuesto y dos más que se salen de esta pauta general y que, por lo tanto, merecen comentarios particulares:

Pa-4-II (bloque II de Villamelendro): Esto puede estar relacionado con la mala calidad de la parcela en términos de fertilidad química y disponibilidad de agua. La baja fertilidad y la profundidad de la capa freática parece que afectan más a 'I-214' que a 'Raspalje', lo que motiva que, a pesar de presentar un pH elevado, el crecimiento de 'Raspalje' sea algo superior al de 'I-214'. Algunos datos que ponen de

manifiesto la baja calidad del suelo son: pedregosidad elevada, bastante superior a la media (46% de elementos gruesos frente a una media de las parcelas del 28%); muy pocos elementos finos (sólo 6% de limo y 6% de arcilla, cuando la media de las parcelas se acerca al 10% de cada); bajos niveles de fósforo, potasio y magnesio asimilables (1 ppm de fósforo Olsen cuando la media de las parcelas es de 7 ppm; 33 ppm de K extraído con acetato cuando la media de las parcelas es de 56 ppm; 0,19 meq/l de Mg extraído con acetato cuando la media de las parcelas es de 0,90 meq/l). Los bajos crecimientos detectados llevaron a verificar la profundidad de la capa freática y se comprobó que en los años siguientes al de plantación el nivel de la capa freática había descendido ostensiblemente.

SG-2-II (bloque II de Muñoveros): a pesar de presentar un pH que es favorable a Raspalje, el clon I-214 muestra un crecimiento similar a aquel. Esto puede estar relacionado con que la parcela es particularmente buena en términos de fertilidad química y, en estas circunstancias, el clon 'I-214' tiene cierto recorrido para mejorar sus crecimientos frente a condiciones de fertilidad normal. En cambio, el clon 'Raspalje', que es menos exigente y menos sensible en términos de fertilidad química, no tiene la misma respuesta diferencial y muestra crecimientos similares a los de otras parcelas con fertilidad normal (en todo caso, muy buenos, con diámetros cercanos a los 35 cm a los 15 años). La buena calidad del suelo se pone de manifiesto por el porcentaje casi nulo de elementos gruesos y los altos niveles de fósforo, potasio y magnesio asimilables (32 ppm de fósforo Olsen; 130 ppm de K extraído con acetato; 3,70 meq/l de Mg extraído con acetato). Los porcentajes de limo y de arcilla son 20% y 16% respectivamente.

Presencia de *Lonsdalea populi* en un banco clonal de chopos de producción

RUEDA, J.[1]; VILLAMEDIANA, J.[2]; SANTOS, L[3]; OLAIZOLA, J[3]

[1] Junta de Castilla y León
[2] TRAGSA
[3] IDForest

Palabras clave
Chancro bacteriano, susceptibilidad clonal, *Populus.*

Con objeto de mantener una reserva de clones de chopos de cierto interés, se instaló un banco clonal en el antiguo vivero de Calabazanos, perteneciente a la Junta de Castilla y León. Este antiguo vivero se encuentra en el término municipal de Villamuriel de Cerrato, en la provincia de Palencia, junto al río Carrión, a una altitud de 720 metros.

El banco clonal se estableció en varias fases sobre distintas parcelas del antiguo vivero. En la parcela C2 se plantaron 25 clones en el año 2004 y en la parcela C3 se plantaron 10 clones en 2006. Hay dos clones que se repiten en estas dos parcelas, por lo que el total de clones entre las dos parcelas es de 33, que pertenecen a las especies *Populus nigra* L., *P. deltoides* Bartr, *P. ×euramericana* (Dode) Guinier y *P. ×interamericana* Broekhuizen.

Con la finalidad de realizar un seguimiento del comportamiento de los clones del banco clonal, en ambas parcelas los pies de chopos se establecieron con un diseño experimental de bloques aleatorios al azar, con 3 bloques. Cada bloque está compuesto por tantas unidades experimentales como clones hay presentes en la parcela. Cada unidad experimental se compone de 5 árboles en alineación. Por tanto, cada clon está representado por 15 pies, con excepción de los dos clones que se encuentran en ambas parcelas, de los que hay 30 pies.

En algunos pies de la parcela C3 se detectó en 2013 la presencia de chancros, de aspecto similar a los provocados por bacterias. El ataque se observó inicialmente en pies del clon '184-411' y, en menor medida, en el clon 'San Martino'. Posteriormente, la aparición de los chancros fue extendiéndose rápidamente por el resto de la plantación y también por la parcela C2 del banco clonal. Sin embargo, no se ha observado expansión alguna durante el período comprendido entre mayo de 2017 y mayo de 2018, habiéndose mantenido el mismo número de pies dañados.

En 2014 se tomaron muestras de la corteza y la madera de chopos afectados para su análisis en laboratorio. El análisis realizado consistió inicialmente en el aislamiento en medio de cultivo generalista PDA e incubación a 23 ºC, durante 5 días. Posteriormente, las colonias observadas fueron transferidas y subcultivadas en nuevas placas, con el fin de conseguir un cultivo puro. Se realizó una identificación taxonómica bajo microscopio. También se procedió a la identificación taxonómica de las colonias de bacterias mediante la secuenciación de la región genómica que codifica para la subunidad de ARN ribosómmico 16S. Esta región es ampliamente utilizada en taxonomía de bacterias. La metodología consistió en el aislamiento de ADN a partir de bacterias originadas en una misma colonia, la amplificación por PCR de la región 16S con los cebadores 27F y 1492R, la secuenciación del producto de PCR y el cotejado de la secuencia en bases de datos internacionales (BALST). Este último paso dio como resultado la coincidencia de la muestra con otras registradas previamente como *Lonsdalea populi*.

Lonsdalea populi (= *Brenneria quercina* subsp. *populi* = *Brenneria populi*) es una bacteria con forma bacilar, Gram-negativa, anaeróbica facultativa, que presenta varios flagelos y no forma esporas. La enfermedad que ocasiona (chancro bacteriano del chopo) se caracteriza por la aparición de manchas oscuras en el tronco y las ramas principales de los chopos, que se van extendiendo paulatinamente, acompañadas de una exudación de color variable (Figura 1). Al levantar la corteza, se observan en ésta y en el cámbium lesiones internas de color pardo o rojizo. El árbol afectado se debilita y experimenta una defoliación prematura. Como consecuencia del ataque, la madera se deteriora y el chopo termina muriendo.

Figura 1. Chancro con exudaciones en el clon '184-411'.

Daños similares se han observado igualmente en otras choperas de Castilla y León, al norte del río Duero, sobre pies de chopos de edades muy variadas. En España, también hay citas de esta bacteria al menos en Zaragoza, Teruel, La Rioja y Murcia.

En mayo de 2018 se realizó una evaluación cualitativa de los daños causados en estas dos parcelas del banco clonal por *Lonsdalea populi*. Los pies de las unidades experimentales se clasificaron en función de la intensidad del ataque: no afectados, poco afectados, medianamente afectados y muy afectados. Los chopos no afectados son los que no presentan ningún síntoma de la enfermedad; se consideran poco afectados los que manifiestan manchas oscuras sobre el tronco, sin que se aprecie pérdida de vitalidad del árbol; en los medianamente afectados se han incluido los pies con chancros patentes y abundancia de exudaciones; Los muy afectados presentan además una defoliación generalizada y ramas secas, o ya están muertos. Las frecuencias obtenidas con esta evaluación cualitativa se presentan en la Tabla 1.

Tabla 1. Frecuencias para clones y estado de los árboles

Clon	Nº pies no afectados	Nº pies poco afectados	Nº pies medianamente afectados	Nº pies muy afectados	Total
Agathe F	0	13	2	0	15
Anadolu	5	10	0	0	15
A2A	1	6	8	0	15
A3A	9	0	6	0	15
A4A	0	4	6	5	15
Beaupré	0	15	0	0	15
Branagesi	0	14	0	0	14
B-1M	1	14	0	0	15
Canadá Blanco	1	11	3	0	15
Dorskamp	0	10	4	0	14
Flevo	1	12	2	0	15
Guardi	1	11	3	0	15
I-45/51	2	5	8	0	15
I-214	10	20	0	0	30
I-262	4	11	0	0	15
I-454/40	0	15	0	0	15
I-488	0	15	0	0	15
Luisa Avanzo	0	10	5	0	15
Lux	0	15	0	0	15
MC	12	8	10	0	30
Mincio	0	6	9	0	15
Neva	7	8	0	0	15
Orba	0	5	10	0	15
Raspalje	0	15	0	0	15
San Martino	0	1	9	5	15
Ticino	0	0	15	0	15
Trebbia	7	0	8	0	15
Triplo	1	14	0	0	15
Unal	0	15	0	0	15
49-177	4	4	7	0	15
184-411	8	0	7	0	15
198-565	5	0	5	5	15
2000 Verde	1	5	9	0	15
Total	80	292	136	15	523

El análisis estadístico se llevó a cabo mediante la prueba de razón de verosimilitud (LR), considerando los datos categóricos como ordinales (desde no afectados a muy afectados) y comparando dos modelos, uno de ellos sin variable explicativa y el otro que incorpora la variable clon. El resultado de esta prueba indica que la variable clon efectúa una gran contribución a la modelización y hace que el modelo que incorpora dicha variable se ajuste mejor a los datos; es decir, que hay diferencias entre los clones respecto de su sensibilidad a la bacteria (Tabla 2). En la Tabla 3 se ofrece el resultado de la prueba de Tukey.

Tabla 2. Resultado de la prueba de razón de verosimilitud

	Razón de verosimilitud	Grados de libertad	Valor de P
Clon	202,45	32	<0.0000

Tabla 3. Resultado de la prueba de Tukey

Clon								
Neva	a							
I-214	a							
Anadolu	a	b						
I-262	a	b	c					
A3A	a	b	c	d				
MC	a	b	c	d	e			
184-411	a	b	c	d	e	f		
B-1M	a	b	c	d	e	f		
Triplo	a	b	c	d	e	f		
Beaupré	a	b	c	d	e	f		
Branagesi	a	b	c	d	e	f		
I-454/40	a	b	c	d	e	f		
I-488	a	b	c	d	e	f		
Lux	a	b	c	d	e	f		
Raspalje	a	b	c	d	e	f		
Unal	a	b	c	d	e	f		
Agathe F	a	b	c	d	e	f		
Canadá Blanco	a	b	c	d	e	f		
Flevo	a	b	c	d	e	f		
Guardi	a	b	c	d	e	f		
Trebbia	a	b	c	d	e	f	g	
49-177	a	b	c	d	e	f	g	
Dorskamp	a	b	c	d	e	f	g	
Luisa Avanzo	a	b	c	d	e	f	g	
I-45/51		b	c	d	e	f	g	
A2A			c	d	e	f	g	h
2000Verde				d	e	f	g	h
Mincio					e	f	g	H
198-565					e	f	g	H
Orba						f	g	H
Ticino							g	H
A4A							g	H
San Martino								h

Los clones de chopos más afectados por el ataque de *Lonsdalea populi* son: 'San Martino', 'A4A', 'Ticino', 'Orba' y '198-565'. Por su parte, los menos afectados son: 'Neva', 'I-214', 'Anadolu', 'I-262' y 'A3A'. A este respecto, sería interesante que se efectuaran ensayos de susceptibilidad en ambiente controlado con los clones más utilizados y más prometedores en Castilla y León.

Bibliografía

GONZÁLEZ BIOSCA E, GONZÁLEZ R, LÓPEZ MJ, SORIA S, MONTÓN C, PÉREZ-LAORGA E, LÓPEZ MM (2003): Isolation and characterization of Brenneria quercina, causal agent for bark canker and drippy nut of Quercus spp. In Spain. *Phytopathology* 93:485-492.

GONZÁLEZ BIOSCA E, PÉREZ-LAORGA E, ÁGUILA B, CATALÁ-SENENT JF, DELGADO R, GONZÁLEZ R, LÓPEZ MM (2008): Distribución de Brenneria spp en la Comunidad Valenciana y especies forestales a las que afecta. *Cuad. Soc. Esp. Cienc. For.* 26:113-118.

LI Y, HE W, REN F, GUO L, CHANG J, CLEENWERCK I, MA Y, WANG H (2014): A canker disease of Populus ×euramericana in China caused by Lonsdalea quercina subsp. populi. *Plant Dis*. 98:368-378.

LI Y, FANG W, XUE H, LIANGT WX, WANG LF, TIANG GZ, WANG XZ, LIN CL, LI X, PIAO CG (2015): Brenneria sp. nov. isolated from symptomatic bark of Populus ×euramericana canker. *Int. J. Syst. Evol. Microbiol.* 65:432-437.

LI Y, XUE H, GUO LM, KOLTAY A, PALACIO-BIELSA A, CHANG J, XIE S, YANG X (2017): Elevation of three subspecies of Lonsdalea quercina to species level: Lonsdalea Britannica sp. nov., Lonsdalea iberica sp. nov. and Lonsdalea populi sp. nov. *Int. J. Syst. Evol. Microbiol.* 67:4680-4684.

PALACIO-BIELSA A, BERRUETE IM, COLLADOS R, CAMBRA MA, PALAZÓN MA, IBARRA N, CUBERO J, MONTERDE AM, LÓPEZ MM (2017): Lonsdalea quercina ssp. populi, agente causal del chancro de la corteza del chopo, una nueva bacteria identificada en España. *Phytoma* 289.

TÓTH T, LAKATOS T, KOLTAY A (2013): Lonsdalea quercina subsp. populi subsp. nov., isolated from bark canker of poplar trees. *Int. J. Syst. Evol. Microbiol.* 63:2309-2313.

WEISBURG WG, BARNS SM, PELLETIER DA, LANE DJ (1991): 16S ribosomal DNA amplification for phylogenetic study. Journal of Bacteriology 173: 697-703.

Promoción y difusión del sector de la populicultura: el Portal del Chopo en Castilla y León

SÁNCHEZ MARTÍN, A.[1]; GÓMEZ CONEJO, R.[2]; RUEDA FERNÁNDEZ, J[1]; VILLADA ROJO, D.[1]; CAMPANERO RHODES, I.[2]; CRESPO PINILLOS, O.

[1] Junta de Castilla y León
[2] Fundación Cesefor

Palabras clave
Populus, Internet, sitio web, comunicación, vertebración, redes sociales, visores de mapas, cartografía, cálculos de rentabilidad.

1. Introducción y objetivos

En Castilla y León, las primeras plantaciones de chopos a gran escala, realizadas por el Patrimonio Forestal del Estado, comenzaron en la década de los años 1950 en las riberas del río Esla. Las excelentes condiciones para el cultivo de chopos que se dan en la Cuenca del Duero (capa freática próxima a la superficie en amplias áreas, inviernos fríos y clima seco poco propicio para el desarrollo de enfermedades foliares) han motivado que Castilla y León sea la primera región europea en producción de madera de chopos.

Se estima que hay unas 44.000 hectáreas de choperas en Castilla y León, que suponen un 60% de la superficie cultivada a escala estatal. Sin embargo, si se comparan con otras masas arboladas, las choperas de producción no alcanzan el 3% de la superficie forestal arbolada regional; pese a ello, producen más del 20% de la madera cortada anualmente y más del 40% de los ingresos por ventas de madera.

Por tanto, debido a la gran importancia que posee la populicultura en la región, la Junta de Castilla y León, en colaboración con Cesefor, decidió crear el Portal del Chopo en Castilla y León (www.populuscyl.es).

El portal del Chopo de Castilla y León tiene como finalidad dar servicio a los profesionales de la populicultura y propietarios de explotaciones en la Comunidad.

Con este sitio web la Administración regional abre un nuevo canal de intercambio de información entre gestores, productores e industria, en el que además se ofrecen una serie de innovadoras herramientas para acompañar a los agentes del sector en la toma de decisiones, así como abundante documentación técnica de consulta.

El objetivo principal del proyecto es promocionar entre propietarios la plantación de nuevas choperas en Castilla y León.

2. Funcionalidades

Viendo la necesidad de crear un lugar común para todo el sector del chopo, se decidió crear este portal para concentrar en un sitio web la información más esencial referente a la populicultura y a todos los actores de su cadena de valor: propietarios, gestores, industria y Administración.

Se ha estructurado el portal en 5 grandes bloques: Populicultura, El Chopo y su Sector, Mercado de Madera, Documentación y Herramientas.

- La sección de **Populicultura** recoge información general de las choperas, incluyendo la plantación, los cuidados culturales que necesitan, los clones más utilizados y sus propiedades, las plagas y enfermedades más frecuentes con los tratamientos más útiles para combatirlas, la utilización de madera de chopo para biomasa, los beneficios ambientales de la populicultura y el aprovechamiento de las choperas y los precios medios de la madera.
- También se describe el Sector del Chopo, incluyendo a los diferentes **actores** (Asociaciones de propietarios, Empresas y Viveros) y la manera de contactar con ellos. Se incluye información de las ventajas de la certificación de la madera y los pasos a seguir para certificarla. También se explican los posibles usos que se le puede dar a la madera del chopo, cifras generales de la populicultura y la normativa a la que se tienen que acoger los actores del mercado de la madera de chopo.
- Ofrece una sección muy útil en la que se publican regularmente las **subastas** de madera de chopo de la comunidad (incluyendo una herramienta en la que el usuario puede subir al portal nuevas subastas no publicadas) así como información de la tributación en la venta de la madera.
- La sección **Documentación**, que también es actualizada regularmente, incluye publicaciones relacionadas con el chopo, presentando documentos sobre clones, plagas y enfermedades, manuales de populicultura, etc.

Por último, en la sección más innovadora del portal se presentan dos herramientas muy útiles para gestores y posibles gestores de choperas:

- **Calculadora de Rentabilidad:** una herramienta de fácil uso que orienta al propietario de una chopera sobre la rentabilidad que podría obtener de la misma en función de su superficie, la calidad del terreno, la necesidad de destoconado y la posibilidad de plantación a raíz profunda.

Cálculo de rentabilidad

La rentabilidad de una chopera depende de muchos factores: realizar una plantación adecuada, correcta elección del clon, calidad del terreno, trabajos culturales, disponibilidad de agua durante todo el turno ya que pueden ocurrir variaciones en el nivel freático, daños abióticos o bióticos, tamaño de la chopera, rectitud del fuste, facilidad de saca, proximidad a la industria, etc.

Es por tanto prácticamente imposible modelizar con exactitud la rentabilidad de esta inversión. Sin embargo a continuación puedes emplear la siguiente herramienta que hemos elaborado para ayudarte a poder estimar el rendimiento de tu inversión.

Los siguientes aspectos son fundamentales para poder obtener un buen precio por tu madera:

- Realizar las podas adecuadamente ya que la industria del desenrollo requiere de fustes limpios en los primeros 6 metros.
- Fustes rectos ya que estos maximizan el rendimiento del torno y disminuyen el riesgo de rajado. Las trozas rajadas no son válidas para el desenrollo por lo que se ha de seleccionar adecuadamente el clon en aquellas estaciones con mayor riesgo de rajado.
- Diámetro adecuado: 30 – 45 cm a 1,30 metros de altura, en el momento de la corta
- Turno de corta: 12-18 años, las choperas alcanzan su turno habitualmente entre los 12 y los 16 años, alargarlo en el tiempo puede tener consecuencias negativas sobre el precio de venta por la menor calidad de la madera.
- Calidad: Según el valor seleccionado recoge una estimación de la rentabilidad en función de tres calidades de estación, turnos y precios de madera. Los turnos empleados son 15, 16 y 18 años, siendo posible disminuir significativamente estos turnos (hasta los 12 años en zonas muy favorables y con un clima más cálido).

CALIDAD	D (cm)	m3/chopo	Altura total (m)	Biomasa aerea (kg/árbol)	Biomasa radical (kg/árbol)	Carbono total (kg/árbol)	t C/Ha año	t CO2/Ha año
Buena	38.3	0.94	29.5	728.3	190.1	459.2	8.5	31.2
Media	35.1	0.76	26.0	526.7	150.0	150.0	5.9	21.6
Mala	29.2	0.56	23.9	413.5	126.3	126.3	4.2	15.3

El diametro medido a h(altura)=1.30 m

Figura 1: Metodología para el uso de la calculadora de rentabilidad para los propietarios

- **Visor de potencialidad:** un visor SIG que orienta al propietario de un terreno sobre su potencialidad para la plantación de una chopera en él. Tiene en cuenta distintos factores como la existencia previa de choperas, el tipo de suelo (aluvial o de terraza fluvial) y la cercanía a ríos. También muestra las zonas con factores que limitan la plantación de choperas, principalmente la altitud (se considera un terreno no apto si está a más de 1100 m de altitud) y la pendiente (los terrenos con más del 5% de pendiente también se consideran no aptos). El visor incluye además información acerca de existencias en base a distintos inventarios realizados en la región.

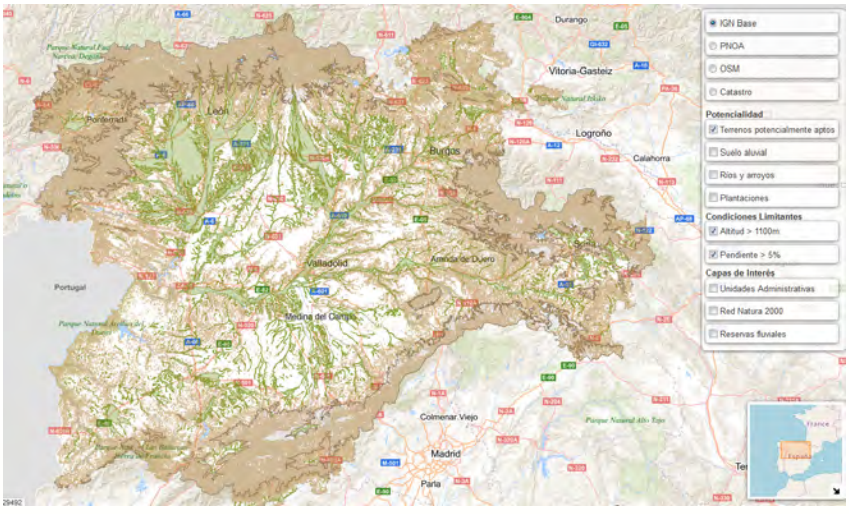


Figura 2: Captura del visor de mapas de potencialidad de terrenos, con la visualización de limitante de altitud y pendiente activos

3. Resultados

La arquitectura del proyecto se basa en una aplicación web desarrollada bajo el CMS de código abierto Drupal 7 y un SGBD PosgreSQL + Postgis. El visor de mapas se ha construido bajo la tecnología Leaflet + Geoserver.

El Portal del chopo comenzó a funcionar en 2016. Desde entonces y hasta final de Junio de 2018 se han contabilizado más de 16.000 sesiones en la web para la consulta de más de 44.000 contenidos en sus páginas.

Más del 90% de los accesos al portal se han hecho desde España, siendo el 10% restante visitas desde países americanos fundamentalmente, como Colombia, México, Ecuador y Chile.

Figura 3: Estadísticas de accesos suministradas por Google Analytics.

En cuanto a contenidos, sin duda la calculadora de rentabilidad ha sido la herramienta más utilizada, con más de 600 cálculos realizados por los usuarios. Destaca también, como los 5 contenidos informativos más visitados, la información sobre tributación de la venta de madera, plagas, uso de la biomasa, documentación y consejos para la plantación.

4. Discusión y conclusiones

Un proyecto de comunicación digital presenta una serie de dificultades a abordar desde su fase de diseño, como es el mantenimiento de una información de calidad y actualizada. Para ello, se ha formado un equipo de trabajo que incluye personas de la Administración y de las Industrias para poder garantizar una correcta gestión del proyecto en los próximos años.

El proyecto se apoya también en una estrategia en redes sociales para poder difundir, a través de los canales de las entidades involucradas en el mismo el canal propio de Twitter @populuscyl.

El reto es consolidar el portal como punto de encuentro del sector, dada la importancia de la populicultura en Castilla y Leon respecto al total nacional, y que siga creciendo en funcionalidades útiles para todos sus agentes.

Revisión de la aportación del INIA a la Populicultura para madera

GRAU CORBÍ, J.M.[1]; SIXTO BLANCO, H.[1]

[1] Instituto Nacional de Investigación y Tecnología Agraria y Alimentaria (INIA)

Palabras clave
Desenrollo, mejora genética, técnicas selvícolas, tecnología de la madera.

1. Introducción y objetivos

El objetivo consiste en tratar de realizar una revisión descriptiva de la contribución del INIA a la populicultura española, orientada a la producción de madera, y en especial para desenrollo, que ha sido el aprovechamiento de mayor rentabilidad de este cultivo forestal durante la segunda mitad del siglo XX.

A lo largo de más de 50 años, investigadores del IFIE (Instituto Forestal de Investigaciones y Experiencias, organismo incorporado al INIA en 1972) y posteriormente del INIA, pertenecientes principalmente a las Secciones o Departamentos de Genética Forestal, Selvicultura, Repoblaciones y Maderas de dicho Organismo, han realizado una notable contribución a la mejora del material vegetal utilizado y al avance en el conocimiento de las técnicas de cultivo utilizadas en Populicultura, así como a la caracterización tecnológica de la madera de chopo.

El comienzo de una investigación sistemática en Populicultura se produce en 1948, cuando la Sección de Repoblaciones del IFIE inicia el plan de mejora del chopo por selección e hibridación. Al efecto comenzó por importar material de los clones más interesantes de diferentes países.

Estos trabajos de investigación y experimentación en esta línea (Populicultura para obtención de madera) se dan por concluidos en el INIA en el año 2004, al no existir recursos para su continuidad.

Durante el citado período, 1948-2004, diversos programas y proyectos relacionados con dicha materia fueron aportando informes, comunicaciones, publicaciones, etc. de forma continuada, pero desde la creación de la Comisión Nacional del Chopo en 1952, toda la información obtenida se recoge periódicamente en la contribución del INIA al Informe de la Comisión Nacional del Chopo, informe que esta Comisión eleva a la "International Poplar Comission" (IPC) con motivo de las Sesiones que la IPC celebra cada cuatro años. Esto facilita la recuperación bibliográfica.

- No obstante, toda esta información recopilada en los sucesivos informes cuatrienales, resulta en muchos casos reiterativa y además existe la imposibilidad de recuperar algunos de dichos informes; motivos por los que se ha considerado tener en cuenta para esta revisión exclusivamente la información aportada por INIA a los tres eventos o reuniones más importantes relacionados con la populicultura celebrados en España en dicho periodo. Los libros de actas de estas reuniones recogen en sus comunicaciones las aportaciones de los diferentes centros de investigación, y en particular las del INIA. También sirven para constatar los avances habidos entre reuniones. Estas reuniones han sido:

- VIII Sesión de la Comisión Internacional del Chopo (IPC), celebrada en Madrid en 1955.
- XIX Sesión de la IPC celebrada en Zaragoza en 1992.

- I Simposio del Chopo, celebrado en Zamora, los días 9 al 11 de mayo de 2001, organizado por la Junta de Castilla y León, INIA y COSE.

A partir de 2005 la investigación de INIA, relacionada con la populicultura, se orienta hacia la producción de biomasa, la cual ya no es objeto de esta revisión.

2. Material y métodos

Para esta revisión se ha recogido como base de datos, todos los títulos de las comunicaciones recogidas en los libros de actas de los tres eventos indicados anteriormente en la introducción y que constan en sus respectivos índices o sumarios. Todos estos títulos componen el conjunto de las referencias bibliográficas recogidas en el apartado de bibliografía de esta revisión, separadas según reunión y ordenadas alfabéticamente por autores.

Con objeto de abreviar el texto y facilitar la cita de las referencias bibliográficas, éstas se han numerado consecutivamente entre corchetes al final de las mismas.

La metodología utilizada es meramente descriptiva, ya que se trata tan sólo de una revisión descriptiva.

3. Resultados

Al igual que en el apartado de bibliografía, en este apartado de resultados, se describen estos separadamente para su mejor comprensión en subapartados, relativos a cada una de las reuniones comentadas.

3.1. VIII Sesión de la IPC celebrada en Madrid en 1955

Con motivo de esta reunión el IFIE aporta 3 comunicaciones [1], [2] y [3] de gran interés que conviene comentar por su trascendencia y por ser muy poco conocidas.

La comunicación [1] redactada por el Ingeniero Jefe de la Sección de Genética del IFIE, D. José Elorrieta y Artaza, comienza con la exposición de los antecedentes habidos hasta esa fecha en nuestro país relativos a la selección clonal y que se transcriben íntegramente en cursiva por su interés.

La mejora por selección empírica de los chopos autóctonos españoles empezó a finales de la primera mitad del siglo XIX en la provincia de Gerona, con las primeras plantaciones regulares de chopos que se realizaron en los terrenos de los ríos Ter y Tordera. Ya en 1985 había adquirido cierta preponderancia el cultivar denominado "Bordils". Más tarde surgió el cultivar denominado "Poncella", y posteriormente, los cultivadores de esta comarca importaron de Francia, a finales del siglo XIX, el chopo "Carolino", que superó en rendimiento a las plantaciones seleccionadas de P. nigra. En 1914 surge el "Ultramort", híbrido del anterior por P. nigra.

A partir de 1920 se inician en los terrenos más fértiles y frescos de estos ríos, plantaciones de P. ×euramericana, con diverso material procedente de Francia, y como resultado de su selección progresiva llegaron a destacar los denominados "Canadiensis". Esta selección empírica realizada en Cataluña fue de

excepcional importancia, por haber logrado cultivares que destacaron por su inmunidad a enfermedades y por sus crecimientos vigorosos.

En Granada, en la vega del Genil, se llevó a cabo una populicultura intensiva realizando una importante mejora selectiva de los chopos. Mediante selección empírica se consiguieron el "Blanquito" y el "Negrito", el primero derivado del P. nigra y el segundo de P. ×euramericana, que destacaron por su inmunidad a enfermedades y por sus grandes crecimientos.

También hay que destacar la labor que realizaron los Servicios Forestales, desde 1925 adquirieron preponderancia los cultivos de chopo en los viveros del Estado para su reparto a particulares y repoblación de las cuencas hidrográficas, a base principalmente, del P. nigra pyramidalis, pero pronto distintas formas de P. ×euramericana, importadas de Francia e Italia, se ensayaron con gran éxito, destacando, entre todas, en los suelos buenos y frescos, por su desarrollo e inmunidad a enfermedades, dos formas femeninas "Virginiana", en Madrid, y la de "Canadiense", en el resto de España. La demanda por los particulares de estos dos cultivares aumentó considerablemente, y los Servicios Hidrológicos Forestales del Estado realizaron grandes plantaciones de estos chopos en Aragón y Valladolid.

En 1948, la Sección de Repoblaciones del Instituto Forestal de Investigaciones y Experiencias (IFIE) comenzó un plan de mejora del chopo por selección e hibridación, dando comienzo la investigación y experimentación planificada del género *Populus* en España. El citado plan de mejora del chopo fue expuesto en la comunicación ya citada [1] y que se continúa transcribiendo a continuación.

Al efecto se comenzó por importar sucesivamente de Holanda, Italia, Francia, Alemania y Marruecos, material de sus clones más interesantes. Más tarde el doctor S.S. Pauley envió desde Norteamérica, semilla de diversos orígenes de P. deltoides, así como de P. angustifolia y de los temblones. En el año 1954 se recibió del Canadá, por intercambio con el doctor C. Heinburger, semillas de sus temblones, y, de Siria, estaquillas de "Roumi" y "Hamoui".

Todo este material, unido con el procedente de España, representó en conjunto cerca de 150 taxones entre especies, variedades y clones diferentes, que se mostraron a los participantes de la VIII Sesión de la IPC celebrada en Madrid en 1955. Todo este material se cultivó en los Viveros de Experimentación de Puerta de Hierro del IFIE para estudiar en investigaciones comparativas su resistencia a enfermedades y su vigor vegetativo, seleccionando los mejores tipos con la idea de repartirlos más tarde en distintos sitios de ensayo y proseguir su estudio en campo.

Al mismo tiempo que se fue realizando el cultivo y la selección del material importado, se eligieron en diversos lugares, árboles femeninos de P. ×euramericana que sobresalían por su vigor vegetativo y fustes más rectos y limpios, de los cuales se recolectaban sus frutos, que por vía aérea natural habían sido fecundados con polen de los pies de P. nigra que se desarrollaban en su proximidad (Hibridación natural). La semilla producida por estos frutos, una vez limpia, se sembraba inmediatamente, en cantidad suficiente para obtener de cinco a diez mil plantitas, sobre las cuales se realizaba, año tras año, una selección cada vez más rigurosa.

En los terrenos del IFIE en Puerta de Hierro se han desarrollado buenos ejemplares femeninos de P. ×euramericana, y aprovechando los mejores pies, se han realizado los primeros cruzamientos (controlados al aire libre) con polen de P. nigra itálica y con brotes florales femeninos de P. ×euramericana cv. Carolino.

También se han realizado cruzamientos controlados en aisladores, siguiendo la técnica ideada por el ilustre profesor Wetstein, se cultivaron en tiesto distintas especies de chopo para utilizarlas como

patrones de los injertos florales femeninos. Las especies que mejores resultados dieron fueron P. przewalskii, P. berolensis y P. theysiana.

Los vasos donde se sumergían los extremos libres de los injertos se llenaban de agua que se renovaba con frecuencia, sirviéndose de un aparato a presión cuya lanza se sumergía hasta el fondo, sin necesidad de mover ni vaciar los vasos. Una vez desarrollados los brotes florales femeninos se polinizaban mediante un pulverizador.

Como en los cruzamientos naturales y en los controlados al aire libre de la Sección Aigeiros se obtuvo un número de plantas más que suficiente para estos primeros ensayos, se decidió darle atención preferente a la Sección Leuce, en los cruzamientos controlados en aisladores, realizándose cruzamientos de P. tremula x P. bolleana y de P. tremula x P. alba. El objetivo de estos cruzamientos era obtener clones que se adaptaran a suelos más pobres y menos frescos que los que exigen los chopos de la Sección Aigeiros, ya que en la mayor parte de nuestro territorio no se desarrollan bien si no es a lo largo de los cursos de agua o en terrenos de regadío, a causa de la excesiva sequedad estival en las dos terceras partes de España.

De la labor realizada por el IFIE, gracias a la ayuda económica prestada por el Patrimonio Forestal del Estado, es una prueba las 600.000 estaquillas de los clones más interesantes, que fueron distribuidos en los años 1953 y 1954 entre los viveros más importantes del Estado.

Otra aportación de interés fue la comunicación [2] del Ingeniero de Montes del IFIE D. José Benito Martínez denominada "Los hongos en los Chopos españoles". Se trata de una comunicación de 24 páginas con 35 fotografías, de gran interés para el conocimiento de la patología del chopo, que se compone de las siguientes partes: A. Enumeración sistemática de los hongos identificados en los chopos cultivados en España. B. Enfermedades causadas por hongos, bacterias y virus. C. Pudriciones de la madera. D. Alteraciones cromógenas de la madera (Azulado de la madera apeada y corazón negro).

También conviene resaltar, por su interés en el estudio de la tecnología de la madera de chopo, la comunicación [3] del Ingeniero de Montes del IFIE D. Fernando Nájera Angulo titulada "Utilización en España de la madera del chopo, su empleo en ebanistería". Esta comunicación consta de 15 páginas y 14 figuras o fotografías. En ella hace ver que hasta entonces eran escasas en España las aplicaciones de la madera de chopo en carpintería y más limitado su empleo en ebanistería; embalajes y muebles económicos, principalmente mesas, sillas y armarios por lo que se refiere a la primera, quedando reducido, en cuanto a la segunda, a las estructuras interiores del mueble de lujo en forma de entramado o de soporte de otras más bellas maderas.

En ese momento, el profundo cambio que había experimentado la técnica de la manufactura de la madera, tanto en lo que se refiere a la estructura (colas) como a su presentación (barnices) abría nuevos horizontes. También animaba en la comunicación a que se avanzara en la genética del chopo, con el fin de que se consiguiesen variedades con clases de madera que reuniesen, en lo que se refiere a sus propiedades físicas (contracción, grano, veteado y espejuelos) las más altas calidades industriales.

En la primera parte de la comunicación estudia, por un lado, las estructuras encoladas que comprenden los tableros contrachapados y las maderas laminadas y contralaminadas; y por otro lado, los barnices de resinas sintéticas. En la segunda parte se ocupa de las diferentes clases y calidades de la madera de chopo y especialmente de ciertas anomalías de su estructura leñosa que aparecen, en forma de trepas o mosquetas, en la chapa de desenrollo de determinados ejemplares de algunos clones.

3.2. XIX Sesión de la IPC celebrada en Zaragoza en 1992

Especial relevancia adquiere la aportación del INIA en la XIX Sesión de dicha Comisión celebrada en Zaragoza en 1992. Esta aportación consiste en 24 aportaciones entre los dos volúmenes.

El libro de actas o "Proceedings" de la mencionada sesión consta de 2 volúmenes. El volumen I recoge las comunicaciones nacionales e internacionales agrupadas por mesas temáticas, en total 67 comunicaciones y 6 posters, de las cuales 8 comunicaciones y 1 poster son aportadas por el INIA. Estas comunicaciones son las siguientes: [9], [10], [11], [15], [18], [19], [20] y [23]. De las cuales la comunicación [23] pertenece al Comité de Aprovechamientos y Tecnología de la madera y las 7 restantes al Comité de Mejora Genética y Selvicultura.

El volumen II de "Procedings" consta de dos Anexos, el Anexo I "Tecnología selvícola e industrial del chopo" contiene 16 capítulos que totalizan 418 páginas, aportación totalmente del INIA a la XIX sesión de la IPC.

De la nota del editor de "Procedings" de dicha sesión de la IPC, D. Antonio Padró Simarro, se ha extraído textualmente lo siguiente:

En los últimos años, la investigación española en materia de populicultura se ha relanzado de forma significativa, estando este impulso, sin duda relacionado con el que ha tenido el cultivo de chopos en el marco de una agricultura excedentaria que precisa de propuestas culturales alternativas.

El Centro de Investigación y Tecnología del Instituto Nacional de Investigación y Tecnología Agraria y Alimentaria (CIT-INIA), ha sido una de las instituciones que más ha contribuido a desarrollar esa labor investigadora dentro del ámbito del género Populus.

Con ocasión de la celebración de la 19ª Sesión de la Comisión Internacional del Álamo, el CIT-INIA tomó la iniciativa de realizar un esfuerzo de síntesis para presentar el balance de la situación de la investigación en chopo que ha venido desarrollando en los últimos años. Este balance, se presenta bajo el atractivo título de "TECNOLOGÍA SELVÍCOLA E INDUSTRIAL DEL CHOPO", y constituye sin lugar a dudas, la aportación española más relevante a las sesiones del congreso.

Esta monografía recoge la práctica totalidad de los aspectos, genéticos selvícolas y tecnológicos de la investigación que se está desarrollando en el seno de la referida institución, y en su redacción han participado un buen número de investigadores a los que el Editor quiere expresar su agradecimiento por el esfuerzo realizado.

Conviene para una mayor comprensión de la magnitud de esta aportación exponer los capítulos que la componen y su referencia bibliográfica correspondiente:

» Capítulo 1. Destoconado químico. [27]
» Capítulo 2. Técnicas de plantación, riegos y labores. [13]
» Capítulo 3. Fertilización. [16]
» Capítulo 4. Herbicidas. [17]
» Capítulo 5. Podas. [12]
» Capítulo 6. Turno de corta, crecimientos, tarifas de cubicación y producción. [14]
» Capítulo 7. Tallares de chopo a turno corto. [26]
» Capítulo 8. Mejora genética de *Populus alba*. [5]
» Capítulo 9. Nuevas técnicas de propagación: cultivo "*in vitro*" del género *Populus*. [8]

» Capítulo 10. Selección clonal y colección clonal INIA. [21]
» Capítulo 11. Características físico-mecánicas. [22]
» Capítulo 12. Valores característicos de la madera de chopo para su utilización en estructuras. [25]
» Capítulo 13. Desenrollo. [24]
» Capítulo 14. Secado de la madera aserrada. [6]
» Capítulo 15. Protección. [7]
» Capítulo 16. Aplicaciones celulósicas de la madera de pequeñas dimensiones. [4]

3.3. I Simposio del chopo celebrado en Zamora en 2001

Esta constante contribución del INIA a la mejora de la populicultura para madera culmina con motivo de la celebración del I Simposio del Chopo celebrado en Zamora, los días 9 al 11 de mayo de 2001, organizado por la Junta de Castilla y León, INIA y COSE.

En este I Simposio se editaron dos volúmenes, el primero denominado "Libro de Actas" y un segundo volumen denominado "Populicultura en Castilla y León". El "Libro de Actas" contiene 47 comunicaciones repartidas en 6 mesas temáticas, de las cuales 16 de ellas corresponden a la aportación del INIA. Estas comunicaciones son las siguientes: [35], [38], [46] y [47] pertenecen a la Mesa Temática II (Selvicultura); [39], [37], [40], [42], [44], [45], [30] y [29] pertenecen a la Mesa Temática IV (Mejora Genética); y [31], [34], [41] y [43] pertenecen a la Mesa Temática V (Industrias de la Madera).

El volumen "Populicultura en Castilla y León" consta de 6 aportaciones, de las cuales 4 corresponden a la contribución de INIA. Estas aportaciones (capítulos) son las siguientes: [28], [33], [32] y [36] y cuyos títulos son:

» Catalogación de material base de especies autóctonas del género *Populus*. [28]
» Propagación *in vitro* de *Populus tremula* L. y *Populus alba* L. [33]
» Marcadores moleculares de ADN en *Populus* spp. [32]
» Populicultura intensiva en terrenos de ribera: investigaciones sobre técnicas de cultivo y de comparación de clones en la cuenca del río Duero [36]

4. Discusión y conclusiones

Resumiendo lo anteriormente comentado, las contribuciones del INIA a las 3 reuniones nombradas ascienden a 3 comunicaciones en la VIII Sesión de la IPC (1955); 8 comunicaciones más 16 capítulos de la monografía recopilatoria (24 aportaciones) en la XIX Sesión de la IPC (1992); y 16 comunicaciones más 4 aportaciones a la monografía en el I Simposio del Chopo (2001).

En total las 27 comunicaciones y las 20 aportaciones a las monografías recopilatorias dan una cifra de 47 contribuciones, que componen la aportación del INIA a estas tres reuniones celebradas en el periodo 1955-2001. Estas contribuciones recogen la mayor parte de los avances habidos en populicultura sobre todo en mejora genética, selvicultura y tecnología de la madera.

Llama la atención, sin embargo, que el IFIE aportó una muy completa comunicación referente a la patología del chopo en la VIII Sesión de la IPC (1955) pero el INIA no ha aportado nada al respecto en las dos reuniones posteriores.

La conclusión, a la que se llega fácilmente, es que el INIA ha realizado en el periodo considerado (1955-2001) un importante esfuerzo plasmado en las contribuciones (comunicaciones y aportaciones a las monografías) a las reuniones mencionadas.

En estas aportaciones del INIA han participado 35 investigadores, en mayor o menor medida en función de los proyectos a los que estuviesen adscritos. Gracias a los proyectos de INIA orientados a la populicultura para madera pudieron participar en esta contribución.

Esta aportación a la populicultura ha facilitado la divulgación de los avances habidos en el periodo de tiempo considerado, tanto en la mejora del material vegetal (nueva clonologia y calidad de planta) como en la mejora de las técnicas selvicolas y en la caracterización tecnológica de la madera.

5. Bibliografía

5.1. Comunicaciones del IFIE a la VIII Sesión de la IPC

BENITO MARTÍNEZ, J.; 1955. Los hongos en los chopos españoles. Libro de Actas de la VIII Sesión de la Comisión Internacional del Chopo (1955) pp. 406-429. Madrid. [1]

ELORRIETA Y ARTAZA, J.; 1955. Genética y Selección de los Chopos españoles. Libro de Actas de la VIII Sesión de la Comisión Internacional del Chopo (1955) pp. 371-378. Madrid. [2]

NÁJERA ÁNGULO, F.; 1955. Utilización en España de la madera del chopo, su empleo en ebanistería. Libro de Actas de la VIII Sesión de la Comisión Internacional del Chopo (1955) pp. 434-448. Madrid. [3]

5.2. Comunicaciones del INIA a la XIX Sesión de la IPC

ACUÑA, L.; 1992. Aplicaciones celulósicas de la madera de pequeñas dimensiones. XIX Sesión de la Comisión Internacional del Álamo (1992). PROCEEDINGS, Volumen II, pp. 373-392. Zaragoza. [4]

ALBA, N.; 1992. Mejora genética de *Populus alba*. XIX Sesión de la Comisión Internacional del Álamo (1992). PROCEEDINGS, Volumen II, pp. 157-170. Zaragoza. [5]

ALVAREZ, H.; 1992. Secado de la madera aserrada. XIX Sesión de la Comisión Internacional del Álamo (1992). PROCEEDINGS, Volumen II, pp. 319-348. Zaragoza. [6]

BAONZA, V.; TROYA, M.T.; NAVARRETE, A.; SÁNCHEZ E.; 1992. Protección. XIX Sesión de la Comisión Internacional del Álamo (1992). PROCEEDINGS, Volumen II. pp. 349-372. Zaragoza. [7]

BUENO, M.A.; ASTORGA, R.; GARCÍA de los RIOS, M.D.; MANZANERA, J.A.; 1992. Nuevas técnicas de propagación: cultivo "in vitro" del género Populus. XIX Sesión de la Comisión Internacional del Álamo (1992). PROCEEDINGS, Volumen II, pp. 171-188. Zaragoza. [8]

BUENO, M.A.; ASTORGA, R.; MANZANERA J.A.; GARCÍA de los RÍOS, M.D., 1992. Propagación clonal de árboles adultos de *Populus tremula* L. de la sierra de Madrid por cultivo de tejidos. XIX Sesión de la Comisión Internacional del Álamo (1992). PROCEEDINGS, Volumen I, pp. 523-530. Zaragoza. [9]

GONZÁLEZ ANTOÑANZAS, F.; GRAU CORBÍ, J.M.; 1992. El *Populetum* de Zamadueñas. Río Pisuerga. Valladolid. XIX Sesión de la Comisión Internacional del Álamo (1992). PROCEEDINGS, Volumen I, pp. 560-569. Zaragoza. [10]

GONZÁLEZ ANTOÑANZAS, F.; GRAU CORBÍ, J.M.; 1992. Investigaciones de comparación de clones de chopo llevadas a cabo en el *Populetum* de Torrelaguna. Río Jarama (Madrid). XIX Sesión de la Comisión Internacional del Álamo (1992). PROCEEDINGS, Volumen I, pp. 591-600. Zaragoza. [11]

GONZÁLEZ ANTOÑANZAS, F.; GRAU CORBÍ, J.M.; 1992. Podas. XIX Sesión de la Comisión Internacional del Álamo (1992). PROCEEDINGS, Volumen II, pp. 91-114. Zaragoza. [12]

GONZÁLEZ ANTOÑANZAS, F.; GRAU CORBÍ, J.M.; 1992. Técnicas de plantación, riegos y laboreos. XIX Sesión de la Comisión Internacional del Álamo (1992). PROCEEDINGS, Volumen II, pp. 31-54. Zaragoza. [13]

GONZÁLEZ ANTOÑANZAS, F.; GRAU CORBÍ, J.M.; SAN MIGUEL J.; 1992. Turno de corta, crecimientos, tarifas de cubicación y producción. XIX Sesión de la Comisión Internacional del Álamo (1992). PROCEEDINGS, Volumen II, pp. 115-142. Zaragoza. [14]

GRAU CORBÍ, J.M.; GONZÁLEZ ANTOÑANZAS, F.; 1992. Fertilización de choperas en semiprofundidad. XIX Sesión de la Comisión Internacional del Álamo (1992). PROCEEDINGS, Volumen I, pp. 601-611. Zaragoza. [15]

GRAU CORBÍ, J.M.; GONZÁLEZ ANTOÑANZAS, F.; 1992. Fertilización. XIX Sesión de la Comisión Internacional del Álamo (1992). PROCEEDINGS, Volumen II, pp. 55-76. Zaragoza. [16]

GRAU CORBÍ, J.M.; GONZÁLEZ ANTOÑANZAS, F.; 1992. Herbicidas. XIX Sesión de la Comisión Internacional del Álamo (1992). PROCEEDINGS, Volumen II, pp. 77-90. Zaragoza. [17]

GRAU CORBÍ, J.M.; GONZÁLEZ ANTOÑANZAS, F.; 1992. Investigaciones de comparación de clones de chopo llevadas a cabo en el *Populetum* de Villanueva de las Manzanas. Río Esla (León). XIX Sesión de la Comisión Internacional del Álamo (1992). PROCEEDINGS, Volumen I, pp. 570-580. Zaragoza. [18]

GRAU CORBÍ, J.M.; GONZÁLEZ ANTOÑANZAS, F.; 1992. Investigaciones de comparación de clones de chopo llevadas a cabo en la provincia de Palencia. Río Carrión. XIX Sesión de la Comisión Internacional del Álamo (1992). PROCEEDINGS, Volumen I, pp. 581-590. Zaragoza. [19]

GRAU CORBÍ, J.M.; GONZÁLEZ ANTOÑANZAS, F.; 1992. Nuevas técnicas de cultivo de choperas. Laboreo nulo y aplicación de herbicidas. XIX Sesión de la Comisión Internacional del Álamo (1992). PROCEEDINGS, Volumen I, pp. 612-621. Zaragoza. [20]

GRAU CORBÍ, J.M.; GONZÁLEZ ANTOÑANZAS, F.; 1992. Selección clonal y colección clonal INIA. XIX Sesión de la Comisión Internacional del Álamo (1992). PROCEEDINGS, Volumen II, pp. 189-226. Zaragoza. [21]

GUTIÉRREZ OLIVA, A.; 1992. Características físico-mecánicas. XIX Sesión de la Comisión Internacional del Álamo (1992). PROCEEDINGS, Volumen II, pp. 227-278. Zaragoza. [22]

MIRANDA, M.; 1992. Aptitud al desenrollo del Género *Populus*. XIX Sesión de la Comisión Internacional del Álamo (1992). PROCEEDINGS, Volumen I, pp. 109-115. Zaragoza. [23]

MIRANDA, M.; 1992. Desenrollo. XIX Sesión de la Comisión Internacional del Álamo (1992). PROCEEDINGS, Volumen II, pp. 291-318. Zaragoza. [24]

ORTIZ GUTIERREZ, J.; 1992. Valores característicos de la madera de chopo para su utilización en estructura. XIX Sesión de la Comisión Internacional del Álamo (1992). PROCEEDINGS, Volumen II, pp. 279-290. Zaragoza. [25]

SAN MIGUEL A.; SAN MIGUEL, J.; YAGÜES, S.; 1992. Tallares de chopo a turno corto. XIX Sesión de la Comisión Internacional del Álamo (1992). PROCEEDINGS, Volumen II, pp. 143-156. Zaragoza. [26]

ZULUETA, J.; 1992. Destoconado químico. XIX Sesión de la Comisión Internacional del Álamo (1992). PROCEEDINGS, Volumen II, pp. 19-30. Zaragoza. [27]

5.3 Comunicaciones del INIA al I Simposio del Chopo

ALBA, N.; IGLESIAS, S.; ALÍA, R.; 2001. Catalogación de material base de especies autóctonas del género *Populus*. I Simposio del Chopo (2001). En: Populicultura en Castilla y León, pp. 9-26. Zamora. [28]

ALBA, N.; MAESTRO, C.; AGÜNDEZ, D.; 2001. La conservación de los recursos genéticos en la populicultura. I Simposio del Chopo (2001). Libro de Actas, pp. 391-400. Zamora. [29]

ÁLVAREZ, A.; CERVERA, M.T.; AGÜNDEZ, D.; ALBA, N.; GONZÁLEZ ANTOÑANZAS, F.; ZAPATER, J.M.; GRAU CORBÍ, J.M.; 2001. Aplicación de la técnica AFLPs para identificación de clones del género *Populus*. I Simposio del Chopo (2001). Libro de Actas, pp. 381-390. Zamora. [30]

BAONZA MERINO, M.V.; GUTIÉRREZ OLIVA, A.; 2001. Características morfológicas de los troncos de diferentes clones de chopo. I Simposio del Chopo (2001). Libro de Actas, pp. 435-441. Zamora. [31]

BUENO, M.A.; MANZANERA, J.A.; GRAU, J.M.; SÁNCHEZ, N.; GÓMEZ, A.; 2001. Marcadores moleculares de ADN en Populus spp. I Simposio del Chopo (2001). En: Populicultura en Castilla y León, pp. 53-80. Zamora. Marcadores moleculares de ADN en Populus spp. I Simposio del Chopo (2001). En: Populicultura en Castilla y León, pp. 53-80. Zamora. [32]

BUENO, M.A.; MANZANERA, J.A.; GRAU, J.M.; SÁNCHEZ, N.; GÓMEZ, A.; 2001. Propagación *in vitro* de *Populus tremula* L. y *Populus alba* L. I Simposio del Chopo (2001). En: Populicultura en Castilla y León, pp. 27-52. Zamora. [33]

GARCÍA VALLEJO, M.C.; CADAHÍA FERNÁNDEZ, E.; FERNÁNDEZ DE SIMÓN, B.; 2001. Características químicas de la madera de chopo. I Simposio del Chopo (2001). Libro de Actas, pp. 453-460. Zamora. [34]

GARCÍA, R.; ALBA, N.; SIXTO, H.; 2001. Caracterización morfológica en plantas de vivero de *Populus alba* L. del S.E. español. I Simposio del Chopo (2001). Libro de Actas, pp. 123-130. Zamora. [35]

GONZÁLEZ ANTOÑANZAS, F.; GRAU CORBÍ, J.M.; MONTOTO QUINTEIRO, J.L.; DOMINGO GARCÍA, P.; 2001. Populicultura en terrenos de ribera: investigaciones sobre técnicas de cultivo y de comparación de clones

de chopo en la cuenca del río Duero. I Simposio del Chopo (2001). En: Populicultura en Castilla y León, pp. 81-110. Zamora. [36]

GONZÁLEZ ANTOÑANZAS, F.; GRAU CORBÍ, J.M.; MONTOTO, J.L.; MONTES, P.; 2001. Ensayos comparativos de los últimos y más modernos clones de chopo como alternativa de cultivo en terrenos agrícolas de la cuenca del río Tajo. I Simposio del Chopo (2001). Libro de Actas, pp. 317-324. Zamora. [37]

GONZÁLEZ ANTOÑANZAS, F.; GRAU CORBÍ, J.M.; MONTOTO, J.M.; HERNÁNDEZ ALONSO, E.; 2001. Populicultura sostenible: Once años de una nueva populicultura para la recuperación de tierras abandonadas por la agricultura tradicional en ecologías difíciles para el género *Populus*. I Simposio del Chopo (2001). Libro de Actas, pp. 131-138. Zamora. [38]

GONZÁLEZ ANTOÑANZAS, F.; GRAU CORBÍ, J.M.; SIXTO, H.; MONTOTO, J.L.; 2001. Comparación de nuevos clones de *P. xinteramericana* en terrenos de media montaña. I Simposio del Chopo (2001). Libro de Actas, pp. 309-316. Zamora. [39]

GRAU CORBÍ, J.M.; GONZÁLEZ ANTOÑANZAS, F.; SIXTO, H.; HERNÁNDEZ, E.; 2001. Comparación de clones de chopo clásicos de *P. xinteramericana* para ecologías difíciles de media montaña en terrenos abandonados por la agricultura tradicional. I Simposio del Chopo (2001). Libro de Actas, pp. 325-332. Zamora. [40]

GUTIÉRREZ OLIVA, A.; BAONZA MERINO, M.V.; 2001. Propiedades físicas de la madera de diferentes clones de chopo. I Simposio del Chopo (2001). Libro de Actas, pp. 461-470. Zamora. [41]

MONTOTO, J.L.; GRAU CORBÍ, J.M.; GONZÁLEZ ANTOÑANZAS, F.; HERNÁNDEZ E.; 2001. Primeros resultados obtenidos en la comparación de clones de chopo a 1000 m de altitud en terrenos abandonados por la agricultura tradicional. I Simposio del Chopo (2001). Libro de Actas, pp. 333-340. Zamora. [42]

NAVARRETE VARELA, A.; DE TROYA, M.T.; 2001. Determinación de un método rápido para evaluar la impregnabilidad de madera de chopo. I Simposio del Chopo (2001). Libro de Actas, pp. 481-490. Zamora. [43]

SÁNCHEZ, N.; MANZANERA, J.A.; BUENO, M.A.; 2001. Resistencia de yemas de álamo blanco a antibióticos. I Simposio del Chopo (2001). Libro de Actas, pp. 357-364. Zamora. [44]

SIXTO, H.; GRAU CORBÍ, J.M.; MONTOTO, J.L.; RUIZ, V.; GARCÍA-BAUDÍN, J.M.; 2001. Respuesta clonal a herbicidas en el género *Populus*. I Simposio del Chopo (2001). Libro de Actas, pp. 365-372. Zamora. [45]

SIXTO, H.; RUIZ, V.; GRAU CORBÍ, J.M.; MONTOTO, J.L.; 2001. Primeros resultados de un ensayo de riego en vivero de planta de chopo. I Simposio del Chopo (2001). Libro de Actas, pp. 159-166. Zamora. [46]

ZULOAGA, F.; GRAU CORBÍ, J.M.; GONZÁLEZ ANTOÑANZAS, F.; MONTOTO, J.L.; MONTES, P.; 2001. El *Populetum* de la sierra de Pela, a 1400 m de altitud en el término municipal de Campisábalos en la la provincia de Guadalajara. I Simposio del Chopo (2001). Libro de Actas, pp. 193-200. Zamora. [47]

Mesa

Mejora de servicios y funciones ambientales de plantaciones y bosques de ribera

143

Riberas y choperas: del conflicto a la oportunidad

FERNÁNDEZ YUSTE, J.A.
ETSI Montes, Forestal y Medio Natural. Universidad Politécnica de Madrid.

1. Introducción

Las choperas -en este texto denominaremos así a las plantaciones de chopo con fines comerciales- ocupan espacios riparios que tienen un papel esencial a la hora de garantizar la integridad de los ecosistemas acuáticos, y por tanto para el buen estado de nuestras masas de agua1. Precisamente por ocupar esos espacios, es frecuente encontrar referencias a estos cultivos forestales señalando la radical alteración que su presencia supone respecto a la composición y estructura natural de la vegetación de ribera. Siendo esto cierto, no lo es menos que contemplar sólo este aspecto es presentar una visión incompleta de una realidad mucho más compleja. Esa visión limitada estigmatiza a las choperas evitando presentar otros aspectos en los que su papel positivo es muy relevante. También favorece que se lleguen a atribuir efectos infundados sobre la degradación de los ríos, creando una imagen de estos cultivos que es perversa por no ajustarse a una realidad mucho más amplia.

Una incompleta y/o inadecuada caracterización de los efectos, funciones y servicios que puede proporcionar las choperas adecuadamente gestionadas, pueden llevar a perder las oportunidades que estos cultivos pueden ofrecer para mejorar procesos y funciones ambientales y proporcionar también mejoras en aspectos económicos y sociales. Además, esas mejoras se alcanzan desde soluciones basadas en la naturaleza y con infraestructura verde, que incrementan sustancialmente los servicios ecosistémicos respecto a cualquier otro uso alternativo (WWAP, 2018).

Los objetivos de este documento son analizar de manera objetiva y actualizada, aunque necesariamente breve, (1) los impactos -positivos y negativos- que las choperas generan, (2) las oportunidades para minimizar los impactos negativos y optimizar los servicios y funciones ambientales, sociales y económicos y por último, (3) presentar oportunidades emergentes para conseguir esa optimización.

2. Choperas y ecosistemas fluvial

El análisis de las choperas se plantea considerando sus efectos potenciales sobre la composición y funciones naturales que se deben satisfacer en el ecosistema fluvial para garantizar su integridad. Como

[1] Masa de agua superficial: una parte diferenciada y significativa de agua superficial… (artículo 40 bis.e TRLA). Es la unidad de gestión que se utiliza en los planes hidrológicos de cuenca.

las choperas ocupan el espacio ripario y sustituyen, en todo o en parte, a la vegetación de ribera, este análisis se focaliza en este componente del ecosistema, considerando su composición y sus funciones. En el texto de Magdaleno (2013), puede encontrarse una buena caracterización de las riberas -tanto desde el punto de vista físico, como ecológico y legal- y de sus servicios ambientales.

2.1. Composición y estructura

Sin duda, estos son los aspectos más negativos e intensamente afectados por las choperas, ya que las labores de plantación, el gradeo, y la competencia por la luz, limitan la presencia de las especies propias de esos espacios riparios, favoreciendo a las especies ruderales a expensas de las especies tolerantes al estrés y de las competidoras (Martín-García, J. et al. 2016). La pluriestratificación característica de la vegetación de ribera desaparece, siendo sustituida por una estructura muy simplificada dominada por el estrato arbóreo.

El rápido ciclo de producción, que conlleva la aparición de especies heliófilas pioneras que van desapareciendo en beneficio de otras más tolerantes a la sombra a medida que la masa crece y se cierra, en una secuencia cíclica constante y muy rápida, es ajena a los procesos naturales de sucesión.

Sin embargo, esta alteración en la composición y estructura de la vegetación puede paliarse. En unos casos, como consecuencia de la aplicación de limitaciones legales, y en otros por iniciativa del titular.

Como ejemplo del primer caso, puede citarse el artículo 17.2 de la normativa del Plan Hidrológico de la Demarcación Hidrográfica del Duero (R.D. 1/2016), en el que, con la finalidad de mejorar la protección de la morfología fluvial, se fijan unas bandas de protección con una anchura que oscila entre los 15 y los 5 metros, en función de la magnitud del río *(Clase 1: ríos principales de la cuenca; anchura de la banda de protección 15 metros. Clase 2: ríos medios; anchura de la banda de protección 10 metros. Clase 3: resto de ríos; anchura de la banda de protección 5 metros, coincidiendo con la anchura de la zona de servidumbre)*

En dichas bandas de protección del cauce *podrán realizarse plantaciones con vegetación autóctona de ribera, en marcos irregulares, estructurados en distintas clases de edad y con diversas especies arbóreas y arbustivas que no comprometan la riqueza genética de las especies y poblaciones propias de la cuenca del Duero*. En ningún caso podrán hacerse plantaciones de cultivos arbóreos en los cinco primeros metros -correspondientes a la zona de servidumbre-, y en los ríos de las clases 1 y 2 podrían llevarse a cabo en los 10 y 5 metros restantes de sus respectivas bandas de protección*, sólo si el preceptivo informe medioambiental de la administración competente así lo determina.*

Este condicionado, que obliga a respetar bandas de vegetación natural de entre 5 y 15 metros, es muy coherente con la anchura mínima que puede encontrarse en la literatura para garantizar las principales funciones de la ribera (CORPEN, 2007; Bentrup 2008). También puede citarse, ya en el marco normativo, el ejemplo del estado de Minnesota, que para el 1 de noviembre de 2018 tiene previsto que entre en vigor la obligación de respetar una anchura de 15 metros a lo largo de los principales cursos de agua (https://mn.gov/portal/natural-resources/buffer-law/).

Ejemplo de cómo la iniciativa privada asume acciones que pueden limitar el impacto sobre la composición y estructura de la vegetación podemos encontrarlo en las plantaciones con certificación PEFC y FSC, que acreditan la gestión forestal sostenible. Por ejemplo, la certificación FSC impone, entre otras cosas, crear y mantener unas zonas de conservación cuya superficie oscila entre el 10 % y el 25 % de la explotación,

dependiendo del monte, y con una composición acorde a las formaciones vegetales típicas de las riberas fluviales y los humedales (Álvarez et al., 2015).

2.2. Funciones ambientales

2.2.1. Hábitat y ecotono

La alteración en la composición y estructura de la vegetación, ya comentada en el párrafo anterior, y el corto ciclo de aprovechamiento, determinan los efectos sobre la función hábitat, transformándola sensiblemente. La ausencia de estratos subarbustivos y arbustivos, de árboles muertos en pie y la monoespecificidad limitan considerablemente esta función respecto a la que se presenta en las riberas naturales. En consecuencia, la diversidad en avifauna (Zapater & Chapelet, 2012), mamíferos y reptiles es menor.

Pero esta realidad puede paliarse sensiblemente si en la gestión se contemplan zonas de conservación -como las requeridas por las certificaciones forestales y/o las exigidas por las administraciones- en las que, además de especies arbóreas propias de las zonas de ribera, se incorporan y mantienen estratos subarbustivos y arbustivos que pueden generar condiciones adecuadas y permanentes de hábitat, junto con algunos árboles que se mantienen muertos en pie a disposición de aves y quirópteros. Las choperas pueden contribuir a la biodiversidad de la avifauna, siempre que se aplique una gestión adecuada con especial atención al sotobosque (Martín-García et al. (2013).

La función ecotono es especialmente importante en países como el nuestro, en los que por las condiciones climáticas se genera un fuerte gradiente entre la ribera y el territorio adyacente que no goza de esa disponibilidad hídrica adicional. Esa condición de ecotono es una de las causas que hacen de nuestra riberas unos espacios con una gran biodiversidad, ya que son utilizados por muchas especies como espacios estanciales, además de para alimentación, refugio y movimiento (Magdaleno, 2013).

Un aspecto al que cada vez se le da más importancia es la disponibilidad de un hábitat adecuado tanto para insectos polinizadores como para entomofauna capaz de ejercer un control natural sobre plagas de los cultivos. Las choperas que respeten esa anchura de 5-15 metros para la banda de protección y que ofrezcan bosquetes con sotobosque y arbolado natural, pueden ejercer muy adecuadamente esta función (Cole et al. 2015).

2.2.2. Filtro y sumidero

Nitrógeno y Fósforo

Nitrógeno (N) y fósforo (P) son nutrientes cuya presencia excesiva en las aguas superficiales continentales genera procesos de eutrofización. Estos nutrientes, aportados a los cultivos agrícolas como abono, pueden alcanzar fácilmente el río arrastrados por la escorrentía superficial y subsuperficial. El papel filtro y sumidero de las riberas es esencial frente a estos procesos de contaminación difusa.

La dinámica del fósforo -disuelto y particulado-, y del nitrógeno -en general en forma de nitrato-, es muy distinta, y la manera en la que el espacio ripario ejerce su función de filtro y/o sumidero respecto a estos nutrientes lo es también (CORPEN, 2007). Sin embargo, la capacidad de retenerlos no está vinculada a

una composición determinada de especies vegetales; esta característica hace que las choperas puedan desarrollar una función filtro y sumidero respecto al nitrógeno y el fósforo tan valiosa como la de la ribera natural, o, como veremos más adelante, incluso superior.

El N es absorbido fácilmente por los sistemas radicales desde la forma de nitrato y queda incorporado a la biomasa. En ambiente anóxico, situación que puede alcanzarse habitualmente en las choperas cuando quedan parcialmente inundadas durante periodos de tiempo significativos, puede producirse la desnitrificación, y el nitrógeno pasa a forma gaseosa.

Mientras que como hemos visto la cantidad de nitrógeno del sistema puede reducirse por volatilización, la de fósforo sólo puede reducirse exportando biomasa. Así, al extraer los restos de poda y la madera de las choperas, se sacan del sistema cantidades de fósforo y nitrógeno que pueden ser importantes. Fortier et al. (2015), en un estudio desarrollado en Canadá sobre choperas de 9 años, y comparando la retención de nitrógeno y fósforo en la biomasa respeto a un buffer de vegetación herbácea, encuentran valores 4 a 10 veces más altos en N y de 3 a 7 veces en P en la biomasa de la chopera. Aunque esas cifras no puedan extrapolarse directamente a nuestro territorio, sí que permiten tener un rango cuantitativo de la eficiencia del efecto sumidero que sobre estos nutrientes pueden ejercer las choperas, y la capacidad de retirar esos sumideros cuando se extraen los restos de poda y la madera.

Para cumplir de manera significativa este papel de sumidero de nitrógeno y fósforo, la anchura mínima oscila, según los autores, entre 12 y 15 metros (Bentrup 2008; Minessota Center for environmental advocacy:
http://www.mncenter.org/uploads/7/9/3/5/79357940/mcea_buffer_facts_width_matters.pdf).

Además de su capacidad para secuestrar nitrógeno y fósforo, las choperas, pueden contribuir significativamente a degradar componentes tóxicos y acumular metales pesados, por lo que también pueden ejercer un importante papel en la fitorremediación.

Carbono

La importancia que la lucha contra el efecto invernadero ha otorgado a los sumideros de carbono, ha propiciado que esta capacidad de las choperas se haya estudiado recientemente de manera intensiva. El trabajo de Fortier (2015) señala que el carbono en la biomasa de la chopera es entre 9 y 31 veces mayor que el del buffer herbáceo. En España, el secuestro de carbono de una hectárea de chopera -con una posibilidad de 20m3/ha y año-, es del orden de 10 Tn/año (Munilla, 2017).

Sedimentos y materia en suspensión

En suelo desnudo el proceso erosivo comienza con el impacto de las gotas de lluvia. Esa energía cinética propicia la fragmentación de los agregados y también la compactación de la superficie, efectos que, conjuntamente, reducen la porosidad superficial limitando la capacidad de infiltración y favoreciendo la escorrentía.

Una vez que el agua empieza a circular por la superficie del suelo, la ausencia de vegetación y restos vegetales reduce la rugosidad y favorece la concentración del flujo, con lo que aumenta la velocidad y el cortante, y con ellos la capacidad de arrastrar las partículas del suelo. Se generan surcos, regueros y pequeñas cárcavas, y así, de manera progresiva, se acentúa el proceso de erosión y transporte.

En la chopera el proceso está controlado en todos sus aspectos. La energía cinética de las gotas de lluvia se disipa en la hojas y ramas de los chopos y en la horajasca del suelo. Esa hojarasca, las ramillas y la vegetación en contacto con el suelo, limitan la concentración del flujo y reducen su velocidad. Si a eso se añade que estos cultivos forestales se desarrollan en terrenos con pendientes muy reducidas, es inmediato concluir que los procesos erosivos en la chopera son prácticamente nulos.

Pero su efecto sobre la erosión no se queda únicamente en la superficie ocupada por el cultivo. La erosión generada en las áreas limítrofes queda retenida en las choperas de manera muy eficiente. Sin duda la escasa pendiente en la que habitualmente se realizan las plantaciones contribuye a ese efecto, pero también ayudan, y mucho, la diversificación del flujo que impone la hojarasca, ramillas, vegetación y también los troncos, y la disipación de energía que requiere circular por un medio tan rugoso. En los primeros metros quedan retenidos los materiales más gruesos, y a medida que el flujo sigue avanzando, la chopera limita la llegada al río de la materia en suspensión (MES) que arrastra la escorrentía que llegó de las tierras limítrofes.

Esa MES -partículas orgánicas, limos y arcillas-, puede contribuir de una manera muy notable a la degradación de los ecosistemas acuáticos: (1) reduciendo la penetración de la luz, (2) obstruyendo el medio hiporréico -biotopo de la fauna bentónica-, (3) colmatando los lugares de desove y (4) modificando la química del medio acuático al transportar elementos potencialmente contaminantes -bacterias, contaminantes adsorbidos, pesticidas y/o metales pesados-.

La capacidad de las choperas para retener MES viene determinada por factores intrínsecos -pendiente, materia vegetal viva o muerta en contacto con el suelo, longitud en el sentido de circulación del flujo-, y extrínsecos -aportación difusa o concentrada, concentración de MES; época del año en la que se aporta-, por lo que no es fácil establecer unas cifras de capacidad de retención de validez general. En AFB (2017) se indica que para una carga media en MES y con una densidad alta de restos vegetales y vegetación en contacto con el suelo, la eficiencia oscila entre un 74 y un 99%.

2.2.3. Corredor

La conectividad2 de los distintos elementos del paisaje, es una cualidad esencial para la integridad ambiental de los sistemas naturales. Los corredores ambientales, en los que las distintas especies pueden moverse por el territorio, quedan calificados en el artículo 10 de la Directiva Habitats como elementos primordiales del paisaje, citando explícitamente a los ríos con sus correspondientes riberas.

Un reciente estudio desarrollado por la Universidad Politécnica de Madrid para WWF-España (2018), señala que los corredores prioritarios identificados discurren con gran frecuencia a lo largo de los ríos, especialmente los corredores con necesidades de restauración.

---

[2] Capacidad que ofrece un territorio para el movimiento de especies y otros flujos ecológicos (Saura, 2014)

El carácter longitudinal de los corredores riparios, su condición de ecotono y el intenso grado de uso antrópico de nuestro territorio, determina la importancia de estos espacios para garantizar una adecuada conectividad de nuestro paisaje.

Los requerimientos para una conectividad efectiva son específicos de cada especie o grupos de especies -conectividad funcional-, por lo que no se puede establecer una cualificación general de las riberas como corredores. Bentrup (2008) recomienda una anchura mínima de 30 metros para reptiles, anfibios, aves, y pequeños mamíferos, que debe aumentarse hasta los 100 metros para los grandes mamíferos. La calidad del corredor mejora sustancialmente si la chopera dispone de una banda de orilla en la que se mantiene la vegetación natural.

2.2.4. Microclima

En condiciones naturales, la ribera genera, como consecuencia de la alta tasa de transpiración y sombreado, unas condiciones microclimáticas caracterizadas fundamentalmente por el incremento de la humedad relativa y el descenso de la temperatura. Este microclima hace del ecotono ripario un espacio especialmente apetecible en los períodos cálidos. Además, cuando los ríos no tienen una gran anchura, la sombra proyectada al cauce contribuye al control de la temperatura del agua y con ello al de la concentración de oxígeno disuelto.

Las choperas pueden generar sobre el microclima unas condiciones similares a las de las riberas naturales. Sweeney & Newbold (2014), indican que en los buffers con especies forestales, para tener un efecto significativo (<2ºC), la anchura debe estar por encima de los 30 metros.

2.2.5. Fuente de materia orgánica y restos vegetales.

En los tramos altos y medios de los ríos, cuando éstos aún mantienen un estatus de heterótrofos, las riberas naturales suponen un aporte de materia orgánica fresca esencial para la espiral trófica del ecosistema acuático.

También tienen un papel importante los restos vegetales -ramas, grandes ramas y troncos- que aportan diversidad de biotopos al ecosistema fluvial, además de propiciar una importante variabilidad en calados y velocidades.

Para satisfacer estos requerimientos, una anchura de cinco metros, inmediata al cauce es suficiente.
En el caso de las choperas, estas funciones estarían desempeñadas por la vegetación natural de la banda de orilla que debe respetarse.

2.3. Funciones sociales

2.3.1. Gestión del riesgo de inundación

Las llanuras de inundación tienen un papel relevante en los procesos naturales de laminación de avenidas. Cuando el agua desborda y entra en la llanura de inundación, la presencia de vegetación, tanto

arbustiva como arbórea, reduce la velocidad, diversifica las líneas de flujo y de esa manera aumenta la intensidad del proceso de laminación, reduciendo tanto el tiempo al pico como el caudal punta.

Una chopera desarrollada, con el espaciamiento habitual, le puede corresponder una rugosidad ("n" de Manning) de 0,08–0,12 (Chow ,1959; Thomsen and Hjalmarson,1991; Gillihan 2013), mientras que para un campo de cultivo, también desarrollado, el valor oscila entre 0,03 y 0,05. Esto supone que, a igualdad del resto de variables, la velocidad del agua en el cultivo será más del doble que en la chopera. Cuanto mayor sea la superficie, mayor será el volumen de agua que acoge y con él, mayor la reducción tanto de la punta del hidrograma como del tiempo al pico.

2.3.2. Económico y social

No es objeto de este texto entrar en los detalles de los flujos económicos que las choperas generan, pero resulta imprescindibles citarlos, y hacerlo vinculándolos al territorio en el que se efectúan las plantaciones, se desarrollan los tratamientos culturales y se hacen las cortas. Estos trabajos generan unos ingresos que, junto con los que resultan de la venta de la madera, pueden tener una importancia notable en la economía de comunidades rurales que con frecuencia soportan un desarrollo limitado.

2.3.3. Escénica y recreativa

El valor escénico de las choperas está limitado por la regularidad del marco de plantación y el carácter monoespecífico. Sin embargo, el verde vivo e intenso en verano y los colores amarillentos en otoño les otorgan un indudable y reconocido valor escénico.

Su valor recreativo es importante, porque las condiciones microclimáticas que generan las hacen especialmente atractivas en los meses más cálidos. Además, si la anchura de la chopera es mayor de 25 metros (Bentrup, 2008), ofrece una notable reducción del ruido producido por el tráfico rodado, permitiendo así disfrutar de todos los valores ambientales, escénicos y climáticos que se ofrecen en la chopera.

2.3. Chopera, ribera y cultivo agrícola.

Como síntesis de lo presentado en los párrafos anteriores, en la tabla 1 se ofrece una valoración cualitativa del grado de cumplimiento de las funciones según el suelo esté ocupado por una ribera natural, una chopera -se consideran tres niveles de gestión- y un cultivo agrícola. Se asume que la chopera, para los tres niveles de gestión, tiene una anchura de unos 30 metros. Según Sweeney &. Newbold (2014) esa anchura es suficiente para para proteger la integridad física, química y biológica de los cursos de agua.

El primer nivel de gestión (chopera) implica que la chopera llega hasta la orilla, y ocupa todo el espacio. En el segundo (chopera + banda de orilla), se asume que se respeta una banda de orilla de entre 5 y 10 metros, siguiendo lo establecido en la normativa del Plan Hidrológico del Duero (2016-2021). Para el tercero, además de la banda de orilla, se supone que se dedica entre un 10% y un 20% de la explotación a zonas de conservación, con una composición acorde a las formaciones vegetales naturales del espacio ripario.

Las funciones se han agrupado incluyéndolas dentro de uno de los cuatros tipos de servicios ecosistémicos que habitualmente se consideran, siguiendo los criterios utilizados por Fortier et al. (2016).

La valoración, aunque apoyada en lo presentado en este texto, es subjetiva y por tanto no cabe otorgarle más validez que la de una opinión.

Servicios del ecosistema	Funciones	Ribera natural	Chopera	Chopera+banda de orilla	Chopera+banda de orilla + zonas de conservación.	Cultivo agrícola
Provisión	Hábitat	+++	-	+	++	- -
	Corredor	+++	+	++	++	- -
	Materia orgánica fresca y grandes restos vegetales	+++	+	++	++	- -
Regulación	Filtro y sumidero	+++	++	++	++	- -
	Microclima	+++	++	++	++	- -
	Protección del suelo	+++	+	+	++	-
	Laminación de avenidas	+++	++	++	++	- -
	Polinización	+++	-	+	++	- -
Producción	Madera	- -	++	++	++	- -
	Alimentos	- -	- -	- -	- -	++
Cultural	Escénico	+++	+	++	++	- -
	Recreativo	+++	+	++	++	- -

Tabla 1. Valoración cualitativa del grado de cumplimiento de las principales funciones ambientales de las riberas.

Se asume una chopera de más de 30 metros de anchura, una banda de orilla de 10 metros de anchura con vegetación natural y zonas de conservación ocupando el 15% de la chopera con sotobosque y árboles correspondientes a las especies naturales.
+++:Óptimo; ++:Bueno; +:Aceptable; -:Insuficiente; –:Muy deficiente.

Aunque las valoraciones aportadas son discutibles, y en cada caso concreto pueden variar sensiblemente, es fácil aceptar que una chopera (1) de más de 30 metros de anchura, (2) que respete una banda de orilla de vegetación natural de entre 5 y 15 metros y (3) que incorpore en su interior áreas de reserva en las que se permita el desarrollo de sotobosque y vegetación arbórea natural, respeta los servicios ecosistémicos básicos de la ribera, proporcionando, además, madera. Evidentemente tiene un coste ambiental, porque la composición y estructura de la vegetación, incluso en el caso de la gestión más ambiental, se resiente considerablemente. Es importante terminar este apartado recordando que las choperas generan un flujo económico en zonas rurales con un nivel de desarrollo bajo.

3. Choperas y oportunidades emergentes.

Estoy seguro de que nadie aceptará el sofisma que establece: puesto que unas choperas bien gestionadas prestan adecuadamente los servicios ecosistémicos de las riberas que ocupan, proporcionando, además, ingresos en zonas rurales deprimidas... ¡desmontemos las riberas para plantar chopos!

Seguro estoy que tampoco se aceptará ese otro que afirma que las choperas deben desmantelarse y prohibirse porque destruyen el ecotono ripario y con él hieren de muerte al ecosistema fluvial.
Las choperas pueden tener un papel relevante sustituyendo cultivos agrarios en determinadas zonas, o como bandas de protección para amortiguar los efectos de la contaminación difusa, o como una medida

natural para la retención de agua y así contribuir a la gestión de los riesgos de inundación, generando servicios ecosistémicos y contribuyendo al desarrollo de la economía local.

Las choperas pueden ser una oportunidad para aportar soluciones basadas en la naturaleza a problemas importantes a los que como sociedad nos tenemos que enfrentar. A continuación, se presentan algunos de esos retos vinculados con tres importantes Directivas.
La Directiva Marco del Agua establece que el objetivo de la planificación hidrológica debe ser alcanzar el buen estado de las masas de agua. En España, el segundo ciclo de planificación ha puesto de manifiesto que uno de los grandes retos a los que nos enfrentamos para alcanzar ese objetivo es el problema de la contaminación difusa procedente de los cultivos agrícolas. Crear bandas de protección con choperas puede contribuir a paliar ese problema, pero para que esa medida se lleve a cabo de una manera generalizada y produzca efectos significativos, es necesario crear las condiciones que la hagan atractiva para los agricultores que, de aplicarla, tendrán un lucro cesante en sus producciones.

La Directiva Marco de Inundaciones hace recaer el mayor peso de la gestión de riesgos de inundación en las medidas no estructurales y, especialmente, en las medidas naturales de retención de aguas. Dentro de dichas medidas, a los procesos (http://ec.europa.eu/environment/water/adaptation/ecosystemstorage.htm) de laminación natural y a los usos compatibles con la inundación, se les otorga un valor muy destacado.

La Directiva Hábitats, adoptada en 1992, va a estar sometida a una sensible modificación, a través del recientemente presentado Plan de acción en pro de la naturaleza, las personas y la economía (Comisión Europea, 2017). El propio título de este plan ya indica claramente que las nuevas líneas apuntan hacia una reconsideración de las políticas ambientales, integrando de una manera más estrecha aspectos sociales y económicos

Es el momento de ponerse a trabajar, de identificar oportunidades, de explicar a los técnicos de la administración y a los políticos lo que la populicultura puede y debe ofrecer y lo que necesita. A continuación, y para cada una de las Directivas citadas, se indican unas cuántas líneas de ese trabajo. No son ni las únicas ni, probablemente, las más importantes. Son, quieren ser, un punto de partida para iniciar la tarea.

Directiva Marco del Agua:

Recientemente se ha difundido el borrador del reglamento de la PAC para el período 2021-2027, con importantes modificaciones y otorgando a los Estados miembros una mayor libertad a la hora de fijar criterios y asignaciones. Es conveniente identificar las oportunidades que las choperas pueden aprovechar en el marco de ese nuevo reglamento, y hacer llegar a los puntos de toma de decisiones información precisa y relevante que facilite la integración de las choperas como elementos a considerar en la nueva PAC.

Como se ha hecho en el caso del carbono, pueden explorarse las oportunidades de establecer un mercado de nutrientes -N y P-, de manera que los agricultores que desarrollen prácticas de control puedan vender su “excedente” a otros agricultores, empresarios o ganaderos que los necesiten. Estos mercados ya se han puesto en marcha en algunos Estados de EE.UU.

Las confederaciones hidrográficas y las agencias equivalentes en las administraciones autonómicas, han comenzado ya a dar los primeros pasos para la evaluación del segundo ciclo de planificación y la preparación del tercero (ciclo 2022-2027). En diciembre de 2021 deben publicarse los Planes hidrológicos

de cuenca, con sus correspondientes programas de medidas, que es donde se definen y priorizan las actuaciones. Es el momento de establecer una estrategia para hacer llegar la información adecuada a los componentes del Comité de Autoridades Competentes de cada demarcación hidrográfica para que conozcan lo que las choperas pueden hacer especialmente en el control de la contaminación difusa, y valoren la conveniencia de incluir medidas en el próximo ciclo para fomentarlas.

Directiva Marco de Inundaciones

Las áreas con cultivos agrícolas que se inundan con alta frecuencia, o aquellas en las que esto no ocurre porque se han establecido motas a lo largo de las orillas, son candidatas a un análisis detallado con el que puede evaluarse la conveniencia de destinar una parte de dichas superficies a choperas en las que la laminación de avenidas sea uno de los servicios ambientales más significativos.

La puesta en marcha de pagos por los servicios ambientales proporcionados por las medidas naturales de retención de agua, puede ser una interesante vía de trabajo. Estos pagos podrían estar respaldados por el programa de medidas de los planes de gestión de los riesgos de inundación, y sería muy conveniente que cuantificase el efecto que sobre la laminación pueden ejercer las choperas, porque de esa manera, evaluando la reducción de los riesgos de inundación que eso conlleva, es fácil valorar en términos económicos este servicio.

Directiva Hábitats

Hacer una lectura detallada del Plan de acción en pro de la naturaleza, las personas y la economía para identificar las oportunidades que pueden aprovecharse en función de las características y cualidades de las choperas. Como ejemplo se transcriben dos de las quince medidas recogidas en el plan:

Medida 9: *Fomentar sinergias con la financiación de la política agrícola común, incluyendo la utilización eficaz de los pagos efectuados en el marco de Natura 2000 y las medidas agroambientales y climáticas, el desarrollo de regímenes basados en los resultados, la ayuda a los agricultores a través de servicios de extensión agraria, y la innovación y transferencia de conocimientos a través de la Asociación Europea para la Innovación en materia de productividad y sostenibilidad agrícolas.*
Medida 12: Ofrecer orientaciones para apoyar el despliegue de una infraestructura verde a fin de mejorar la conectividad de las zonas Natura 2000; apoyar proyectos que propongan soluciones basadas en la naturaleza a través de la política de investigación e innovación de la UE y los fondos Horizonte 2020.

Establecer vínculos con ayuntamientos, organizaciones empresariales, sociales y de conservación de la naturaleza para diseñar estrategias que permitan utilizar la figura de custodia del territorio establecida en el art. 3 de la Ley 3/2015 de Patrimonio Natural y Biodiversidad. La Confederación Hidrográfica del Duero ha sido la pionera en utilizar esta figura para implicar a los ciudadanos en la conservación de los ríos y su entorno.

4. Conclusiones.

Las choperas bien gestionadas pueden ofrecer con un nivel aceptable los servicios ecosistémicos de las riberas que ocupan, proporcionando, además, ingresos en zonas rurales deprimidas.

La optimización de esos servicios se alcanza con choperas de, al menos, 30 metros de anchura, que respeten una banda de orilla de vegetación natural de entre 5 y 15 metros -en función del tamaño del río-, y que incorpore en su interior al menos un 15% de áreas de reserva en las que se permita el desarrollo del sotobosque y vegetación arbórea natural.

Las choperas pueden ser una oportunidad para aportar soluciones basadas en la naturaleza a retos importantes a los que como sociedad nos tenemos que enfrentar: (i) alcanzar el buen estado de las masas de agua, (ii) gestionar de manera eficiente y con medidas naturales de retención de agua los riesgos de inundación y (iii) proteger los hábitats naturales y las poblaciones de las especies silvestres, conciliando intereses ambientales, socioeconómicos y culturales.

Las funcionalidades ambientales, sociales y económicas de las choperas son muchas y buenas, pero hay que difundirlas y hacerlas llegar a los puntos de decisión. Identificar oportunidades emergentes y actores relevantes es una tarea esencial que no puede dilatarse.

5. Referencias.

AFB (Agence française pour la biodiversité). 2017. Guide d'aide à l'implantation des zones tampons pour l'atténuation des transferts de contaminants d'origine agricole – 68 p.

Álvarez, D.; Calderón, D.; Calleja, A.; González, C.E.; Zaldívar, R.; Chacel, B.; Ortega, E.; Martínez, S.; Estévez, M. 2010. La certificación FSC en España y su contribución a la mejora de los servicios ecosistémicos. FSC España. 203 p.

Bentrup, G. 2008. Conservation buffers: design guidelines for buffers, corridors, and greenways. Gen. Tech. Rep. SRS-109. Asheville, NC: Department of Agriculture, Forest Service, Southern Research Station. 110 p.

Cole, J.; Brocklehurst, S.; Robertson, D.; McCracken, D. 2015. Riparian buffer strips: Their role in the conservation of insect pollinators in intensive grassland systems. Agriculture, Ecosystems & Environment Vol 211, 15. Pages 207-220

Comisión Europea, 2017. Plan de acción en pro de la naturaleza, las personas y la economía. Natura 2000. Boletín de información naturaleza y biodiversidad. Nº 42; julio de 2017: 3-7.
CORPEN (Comite d'orientation pour des pratiques agricoles respectueuses de l'environnement), 2007. Les fonctions environnementales des zones tampons - Proctection des eaux. 177 p.

Fortier, J.; Truax, B.; Gagnon, D.; Lambert, F. 2015. Biomass carbon, nitrogen and phosphorus stocks in hybrid poplar buffers, herbaceous buffers and natural woodlots in the riparian zone on agricultural land. Journal of Environmental Management 154: 333-345.

Fortier, J.; Truax, B.; Gagnon, D.; Lambert, F. 2016. Potential for hybrid poplar riparian buffers to provide ecosystem services in three watersheds with contrasting agricultural land use. Forests 7, 37; doi:10.3390/f7020037

Magdaleno, F. 2013. Las riberas fluviales. Ambienta 104 (sep-2013): 90-101

Martín-García, J.; Díez, J.J.; Barbaro, L.; Jactel, H. 2013. Contribution of poplar plantations to bird conservation in riparian landscapes. Silva Fennica vol. 47 no. 4 article id 1043. 17 p.

Martín-García, J.; Jactel, H.; Oria de Rueda, J.A.; Diez, J.J. 2016. The effects of poplar plantations on vascular plant diversity in riparian landscapes. Forests 7, 50; doi:10.3390/f7030050.

Munilla, P. 2017. El cultivo del chopo en el Plan Hidrológico de la Demarcación del Ebro. Jornada forestal: El chopo. Pamplona. Presentación.

Sweeney, B. W.; Newbold, J. D. 2014. Streamside forest buffer width needed to protect stream water quality, habitat, and organisms: a literature review. Journal of the American Water Resources Association (JAWRA) 50(3): 560-584.

WWAP (Programa Mundial de las Naciones Unidas de Evaluación de los Recursos Hídricos) / ONU-Agua. 2018. Informe Mundial de las Naciones Unidas sobre el Desarrollo de los Recursos Hídricos 2018: Soluciones basadas en la naturaleza para la gestión del agua. París, UNESCO. 168 p

WWF España. 2018. Autopistas salvajes. Propuesta para una Red Estratégica de Corredores Ecológicos. 40 p.

Zapater, M.; Chapelet, B. 2012. Peupleraie et envorinnement. Un regard partagé sur la place de la peupleraie dans notre territoire. Centre Régional de la Propriété Forestière. Nord-Pas de Calais Picardie. 36 p

Diversidad genética de las poblaciones del género *Populus* en Castilla y León y su aplicación en las recomendaciones de uso

TRANQUE PASCUAL, F. J.[1]; DE LUCAS HERGUEDAS, A[2]; I., HIDALGO RODRÍGUEZ, E.[3]
[1] Junta de Castilla y León
[2] El Cid, 1. Palencia 34004
[3] Instituto Universitario de Gestión Forestal Sostenible. Universidad de Valladolid

Palabras clave
Marcadores moleculares, microsatélites, chopos, conservación recursos genéticos.

1. Introducción

El conocimiento de la diversidad genética de las poblaciones forestales es un paso previo básico para su conservación, así como para su correcta utilización como material forestal de reproducción (en adelante MFR). Las especies del género *Populus* son ampliamente utilizadas en revegetaciones de riberas, frecuentemente mediante propagación vegetativa. Sin embargo no es demasiado conocida la variabilidad que presentan estas poblaciones, lo que condiciona la conservación y la utilización del material obtenido, tanto semilla como partes de planta.

En Castilla y León están presentes tres especies de *Populus* (*Populus alba*, *P. nigra* y *P. tremula*), así como un híbrido de *P. alba* y *P. tremula* (*P. ×canescens*). Pertenecientes a la familia de las salicáceas, son árboles dioicos, de hojas simples alternas y caedizas y flores dispuestas en amentos colgantes cuyas pequeñas semillas están provistas de un vilano blanco de aspecto algodonoso que es dispersado por el viento.

Habitualmente asociadas a cursos fluviales, estas poblaciones sufren las amenazas comunes a esta vegetación azonal, como la alteración de los ecosistemas riparios o su sustitución por cultivos agrícolas, y en menor medida, su sustitución por plantaciones forestales. Caso especial es *P. tremula* que, aunque vegeta también en valles fluviales, ocupa un amplio rango de estaciones edafoclimáticas de la orla montañosa de Castilla y León.

La facilidad para la hibridación interespecífica de los *Populus* y su amplio uso por parte del hombre con objetivos variados, ha supuesto un movimiento del material por muchas subcuencas, favoreciendo que se asilvestren y entremezclen, lo que complica en muchas ocasiones la identificación de las especies e híbridos únicamente con caracteres morfológicos.
Disponer de información genética de estas poblaciones permitiría orientar los trabajos de conservación de estas valiosas masas forestales manteniendo la variabilidad genética existente en las zonas más interesantes y favoreciendo su incremento en las más degradadas.

2. Objetivos

Es objetivo de esta comunicación divulgar los trabajos desarrollados por la Junta de Castilla y León en materia de conservación de los recursos genéticos de las especies del género *Populus* en el ámbito de Castilla y León. Se muestra la diversidad genética de las poblaciones prospectadas, obtenida mediante el

empleo de marcadores microsatélites, así como la estrategia orientadora para la conservación de estos recursos genéticos y las recomendaciones de uso y suministro de un material forestal de reproducción de variabilidad genética conocida.

3. Material y métodos

3.1. Parcelas de muestreo

La localización de las poblaciones a muestrear se basó principalmente en el catálogo de materiales de base de MFR en Castilla y León ya que se quería aprovechar los trabajos de prospección y genotipado de las parcelas para su revisión. Dicho Catálogo se consideraba una base de información válida y actualizada, pero se decidió completar con otras fuentes (MFE, IFN3, consulta a agentes medioambientales,...etc).

Se intentaba disponer de una amplia red de muestreo que cubriera, en la medida de lo posible, la distribución en Castilla y León de los cuatro taxones objeto de estudio (*Populus alba*, *P. nigra*, *P. tremula* y *P. ×canescens*). Cada muestra fue asignada (previamente a su confirmación genética) a la población establecida a priori, aun cuando en el momento de la colecta ya se sospechara, por caracteres morfológicos, que la especie no pertenecía a dicho grupo.

Se intentó muestrear el mayor número de poblaciones posibles, priorizando la información de diversidad a nivel regional sobre el conocimiento de la diversidad intrapoblacional. Así, se estableció un máximo de diez muestras por población, reduciéndose en algunos casos donde la población era muy escasa.

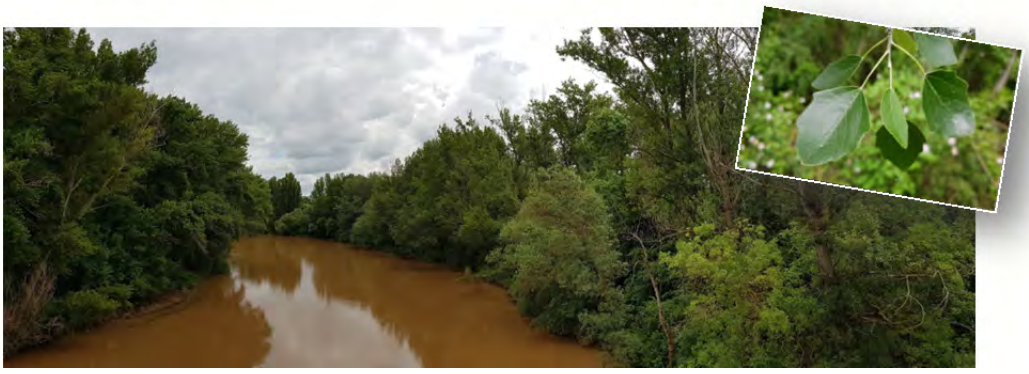


Fig. 1. Población ALB-47-001, con ejemplares de P. *×canescens;* detalle de hojas (río Pisuerga, Valladolid).

3.2. Toma de muestras

Durante los años 2012 y 2013 se recolectaron muestras vegetales (hojas) en las diferentes poblaciones de Castilla y León de los 4 taxones de *Populus* contemplados. La recogida se ejecutó aplicando un estricto protocolo establecido a tal efecto entre la Dirección los trabajos (Junta de Castilla y León) y el laboratorio que procesaría las muestras (ITAGRA.CT-UVa). Así pues, cada una de las poblaciones se caracterizó

mediante una ficha de campo donde se recogía una serie de datos descriptivos y una clave única de parcela (Fig. 1). En cada una de las parcelas muestreadas, que intentaban representar poblaciones distintas, se identificaron 10 ejemplares (separados un mínimo de 30 metros entre sí) de los que se tomaron muestras vegetales que se guardaban en sobres de papel Kraft que se identificaban con el código de la muestra. Cada árbol muestreado quedaba georreferenciado con GPS y documentado mediante fotografía.

Se recogieron muestras en 1996 árboles de 276 poblaciones, según se ilustra en la figura nº 2. El muestreo por provincia y especie intentó ser proporcional a su representación territorial. La cuarta parte de las poblaciones muestreadas se preasignaron a *P. alba*, el 12% a *P. ×canescens s*, el 37% a *P. nigra* y el 24% a *P. tremula*. Sin embargo, y como se verá más adelante, algunas muestras resultaron pertenecer a otra especie según los resultados genéticos, modificándose ligeramente estos porcentajes de representación.

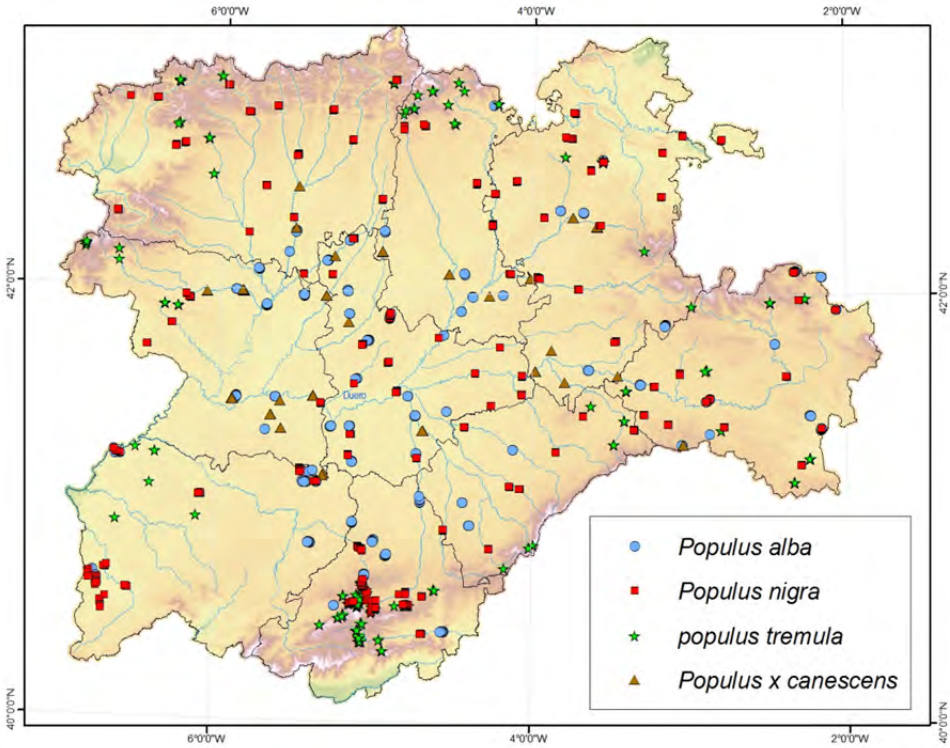


Fig 2. Poblaciones recolectadas por taxón (según asignación inicial).

3.3. Procesado de muestras en laboratorio

Las muestras de material vegetal recolectado se entregaron, adecuadamente etiquetadas, en el laboratorio de diagnóstico (ITAGRA.CT-UVa) para su procesado inmediato. No obstante, cuando el volumen de muestras era elevado se hacía necesario la conservación en frío (4ºC) del material.
Se realizó la extracción de ADN de las muestras y su genotipado mediante el empleo de 10 marcadores microsatélites de ADN nuclear (nuSSR). La asignación genética de taxones se realizó mediante el programa STRUCTURE versión 2.3.4 (PRITCHARD et al. 2000), que asigna los individuos de una muestra a una población de manera probabilística sin necesidad de la localización geográfica de los individuos. También permite detectar híbridos cuando la probabilidad de asignación (Q) se situaba en una franja intermedia (Q>0.10 ó Q<0.90) de la asignación establecida para parentales puros.

Mediante el programa SpaGeDi (HARDY AND VEKEMANS 2002) se obtuvieron diversos parámetros genéticos como la heterozigosidad (He), la diferenciación genética (Fst) y las distancias genéticas (D_S) entre subcuencas. HP-Rare (KALINOWSKI 2005) se utilizó para determinar la riqueza alélica (A) y el número de alelos únicos (A^P). El parámetro de diferenciación genética (F_{ST}) mide la posible subestructuración poblacional y, por tanto, ayuda a realizar recomendaciones específicas de uso de MFR entre subcuencas, indicando lo parecidas o distintas que son las poblaciones entre sí.

4. Resultados y discusión

4.1. Asignación de especies/clones y diversidad genética

El número de muestras finalmente analizadas en laboratorio, y asignadas al taxón correcto de acuerdo a la información genética, se muestran en la Figura 3.

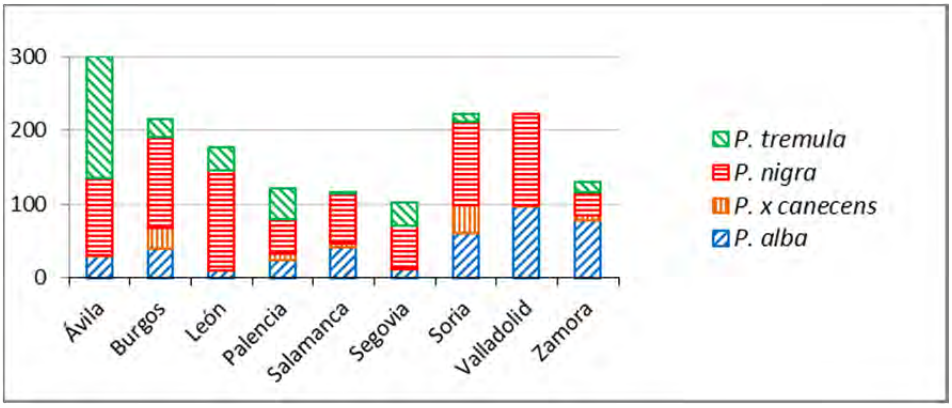


Fig. 3. Número de muestras analizadas por provincia y especie

Aproximadamente un tercio de las muestras pertenecían al complejo taxonómico compuesto por *P. alba* y *P. ×canescens*, la mitad a *P. nigra* y algo menos de un 20% se corresponden con la especie *P. tremula*.

Los mayores errores de asignación de especies (aplicando criterios morfológicos) fueron detectados en *P. ×canescens* (que mayoritariamente resultaron ser *P. alba*) y, en menor medida, en *P. tremula* y *P. alba*.

Este hecho pone de manifiesto la utilidad de estos marcadores moleculares frente a criterios morfológicos para la discriminación de taxones, especialmente en el caso de especies que se cruzan entre sí.

A continuación se resumen los principales resultados de identificación y diversidad genética para cada uno de los taxones considerados y, a continuación, la tabla 1 resume los valores medios de los principales parámetros de diversidad genética (y que fueron calculados también por subcuencas).

Populus alba

Tras los análisis genéticos descritos, se identificaron 45 genotipos distintos de *Populus alba* (Fig. 4), 19 de los cuales presentaron un único ejemplar y 24, una horquilla de 2 a 18 individuos.

Especialmente reseñable es que uno de los clones (codificado como A01) apareció de forma masiva, representando el 61% de las muestras analizadas de la especie. Este clon, triploide para uno de los marcadores, y que ya había sido identificado y descrito en un estudio previo de la misma zona (Santos-del-Blanco et al. 2012), aparece en todas las provincias de Castilla y León a excepción de Soria, Segovia y Burgos, siendo extremadamente abundante en la parte oeste de la región. Así, presenta un carácter dominante, o en algunos casos exclusivo, en las subcuenca de los ríos Adaja, Esla, Órbigo, Tera y Tormes, Cea y mitad oeste de la subcuenca del río Duero.

También sorprende la distribución del clon A02, que aunque no es tan masivo (n=20) como el A01, aparece en las distantes cuencas del Alberche, Pisuerga, Duero, y Cea en la provincia de Valladolid.

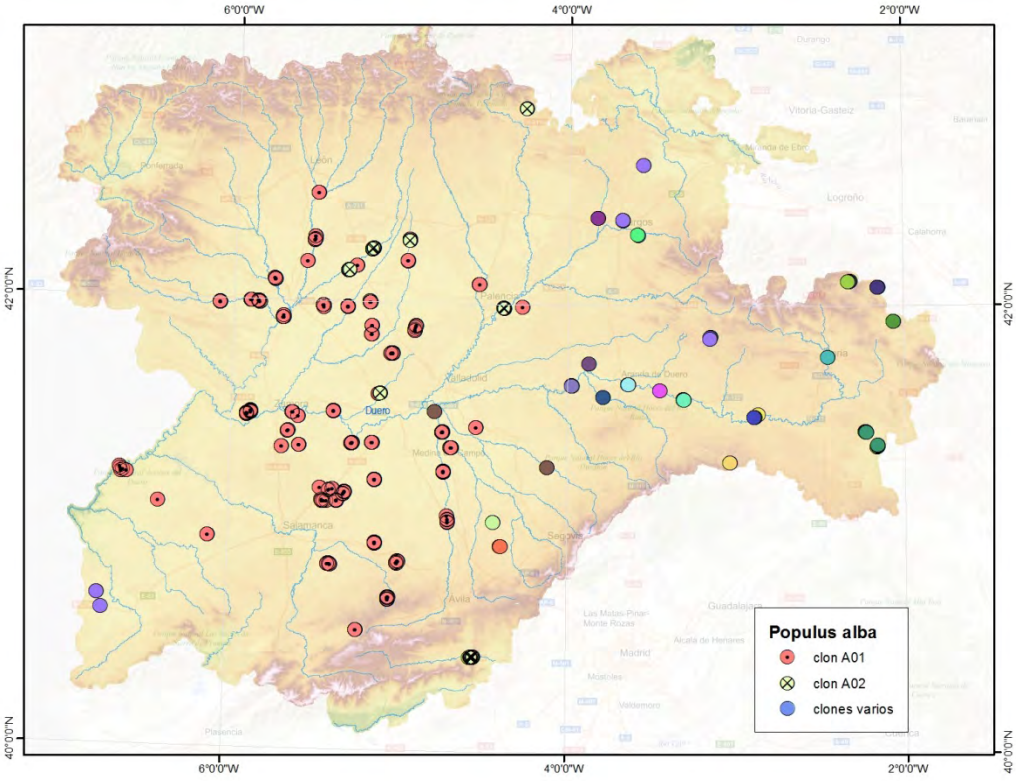


Fig. 4. Distribución espacial de los genotipos de Populus alba, con identificación de los clones A01 y A02, y el resto de clones, agrupados por color.

Populus alba presenta en la región un valor de diversidad (He=0.35 si se consideran todas las poblaciones y He=0.33 si se excluyen el clon A01) algo inferior al de otras zonas europeas, He=0.45 en Austria (LEXER et al. 2005) y He=0.61 en Italia (BRUNDU et al. 2008).

Con el programa STRUCTURE se identificaron dos grupos genéticos bien diferenciados (k=2); uno al este de la región donde el clon A01 tiene escasa o nula presencia y otro más al oeste donde, salvo alguna excepción en los ríos Águeda y Almar de Salamanca, absolutamente todas las muestras pertenecen a dicho "clon del oeste". Entre ambos grupos existe una zona de transición donde el clon A01 aparece con otros genotipos.

Populus tremula

Se detectaron 85 genotipos distintos, de un total de 319 ejemplares de *P. tremula*. Las poblaciones se distribuyen en rodales no excesivamente extensos y en los que se identificaron de 1 a 3 clones en general, llegando hasta los 8 en algún caso; los clones son prácticamente exclusivos de cada rodal, salvo algún

clon como T11, que aparece ampliamente representado en numerosas poblaciones muestreadas de la provincia de Ávila (Fig. 5).

La diversidad genética obtenida (He=0.44) es algo inferior a la encontrada en diferentes poblaciones de álamo temblón distribuidas por Europa (He=0.52; DE-CARVALHO et al. 2010) siendo las subcuencas de los ríos Luna, Razón, Sil y Tera las que presentaron unos valores más bajos de heterozigosidad.

En casi dos terceras partes de las parcelas se ha identificado un único genotipo, aunque quizás este resultado de monoclonalidad se deba al número de muestras por parcela, que no pretendía analizar la diversidad intrapoblacional. Así, estudios en la provincia de Palencia, donde se analizaron con isoenzimas un mayor número de ejemplares, obtuvieron numerosos genotipos por población (CRISTÓBAL et al. 2014; LÓPEZ-DE-HEREDIA et al., 2004).

Se detectó una gran variación genética entre poblaciones, aun cuando están relativamente próximas entre sí, que ya había sido constatada en otros trabajos (SIERRA DE GRADO et al. 2002), así como el hecho de que los bosquetes no compartieran los mismos genotipos. Probablemente la gran capacidad colonizadora de la especie por la vía sexual y su posterior reproducción vegetativa masiva por rebrotes de raíz, provoca el avance de la masa y configura bosquetes homogéneos, pero diferentes entre sí.

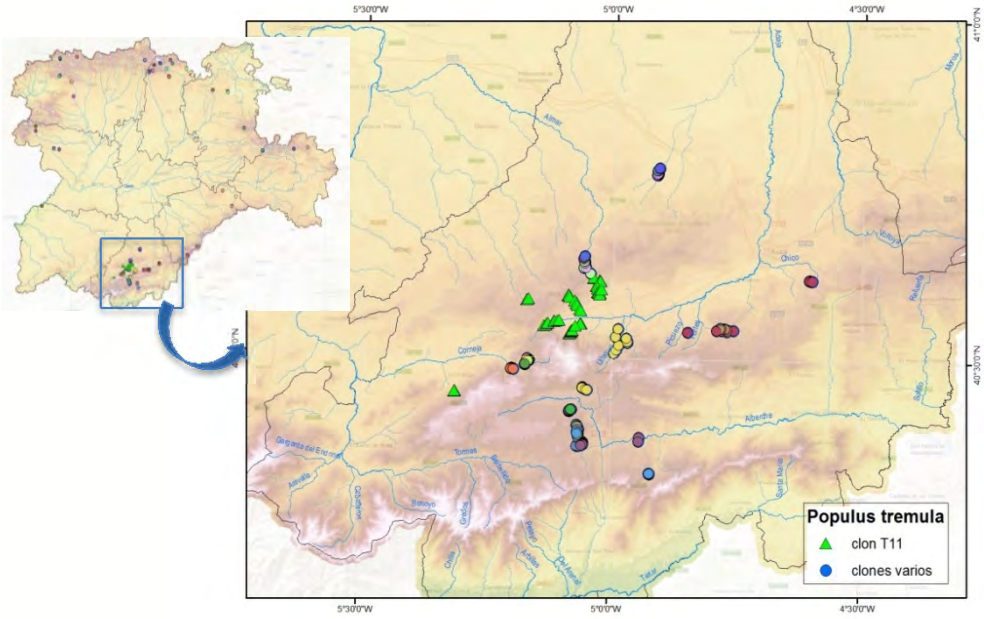


Fig. 5. Distribución del clon T11 de *P. tremula* en la provincia de Avila.

Populus ×canescens

El híbrido *P. ×canescens* fue, con diferencia, el taxón en el que más errores de identificación se cometieron respecto a la asignación a priori. Cerca del 80% de las muestras preasignadas a *P. ×canescens* resultaron ser en realidad *P. alba*, con 20 parcelas en las que no se detectó ningún ejemplar del taxón híbrido. Por el contrario, algunas parcelas muestreadas como *P. alba* o *P. tremula* resultaron ser *P. x canescens* (10% de las muestras en cada caso).

Así pues, 91 de las muestras analizadas, repartidas en mayor o menor medida en 27 poblaciones distintas (Fig. 6), resultaron ser *P. ×canescens* según el programa STRUCTURE. Salvo en Burgos y Soria, se detectó un único genotipo por población, cohabitando en ocasiones con ejemplares de *P. tremula* y, sobre todo, de *P. alba*.

El valor medio de diversidad genética encontrado en la región (He=0.50) supera el obtenido en ambos parentales y está por encima de los observados en otros estudios realizados en el Danubio (Austria) con He=0.42 y 0.43, VAN-LOO et al. 2008 y LEXER et al. 2005 respectivamente.

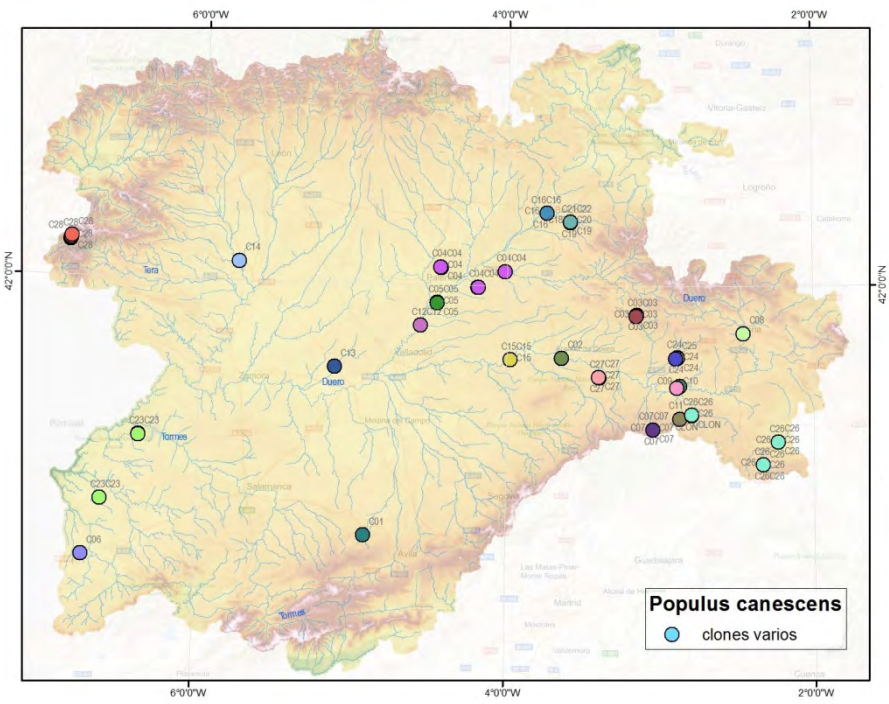


Fig. 6. Distribución de genotipos de *P. ×canescens* identificados en el muestreo.

Populus nigra

La especie de chopo más recolectada fue *Populus nigra* (n=813) como se representa en la figura 7, identificándose un total de 463 genotipos distintos. 429 ejemplares presentaron genotipos únicos, mientras que 83 árboles se repartían en 30 clones distintos agrupados de 2 a 6 ejemplares cada uno.

Diversos clones comerciales aparecieron en el muestreo: el clon Canadá Blanco se detectó en 34 muestras, en 3 ejemplares el clon I-214, y 50 individuos resultaron ser chopo Lombardo (*P. nigra* var. *italica*).
Especial relevancia tiene la identificación en 212 muestras de un clon no comercial (codificado como N01), ampliamente extendido por todas las provincias de Castilla y León y sin ningún tipo de patrón geográfico aparente. Dicho clon aparece en 30 subcuencas distintas, en algunas de forma muy predominante (como en la de los ríos Porma, Luna, Águeda, Arlanzón y Cabrera), lo que debe extremar precauciones en el caso de la multiplicación vegetativa de estas poblaciones.

Según los análisis realizados, *Populus nigra* muestra un nivel de diversidad genética (He=0.49) inferior a la media europea (He=0.76; heterozigosidad promedio de 16 poblaciones de P. *nigra* distribuidas por Europa entre las que se encuentran dos poblaciones de la cuenca del río Ebro, SMULDERS et al. 2008).

Las subcuencas de los ríos Adaja, Alberche, Porma, Luna, Tera y Manzanas presentaron altos valores de diferenciación (Fst) con respecto al resto, aunque la utilización de material local en alguna de estas zonas (por ejemplo Porma y Luna), es conflictiva dada la baja diversidad genética y la masiva presencia del clon N01 antes citado.

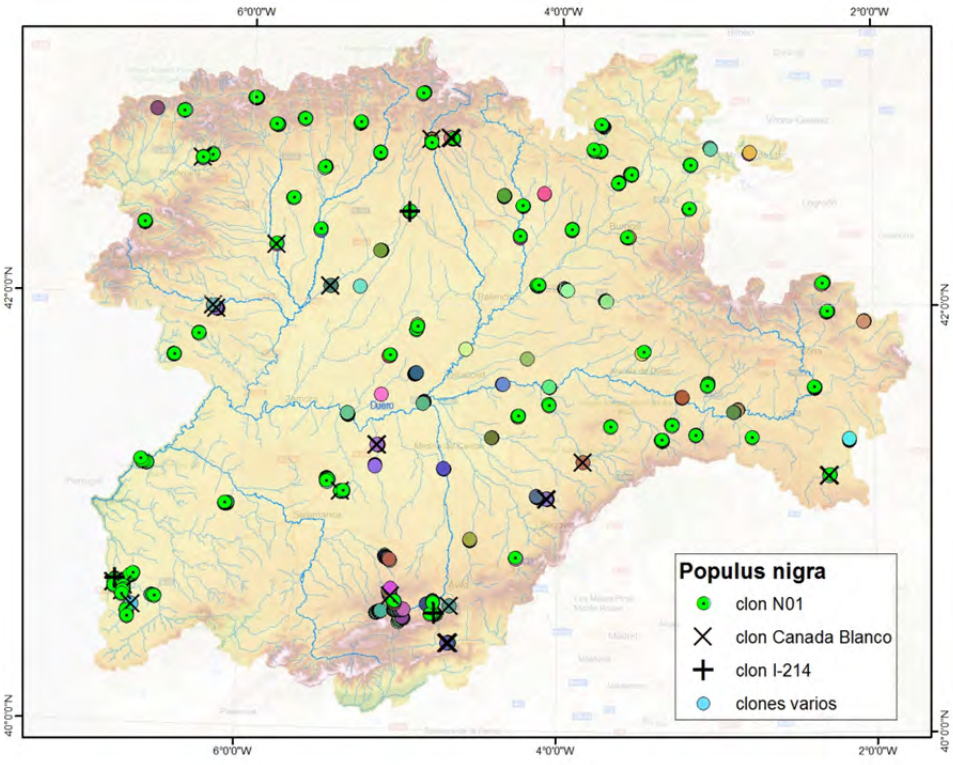


Fig. 7. Distribución de los genotipos (identificados por colores) de *Populus nigra*

Tabla 1. Diversidad genética de las especies estudiadas por cuencas. n: número de individuos; He: Diversidad genética (Nei 1978); A: Riqueza alélica y Ap: número de alelos únicos.

Taxón	n	He	A	Ap
*P. alba**	176	0.325	1.326	0.071
P. tremula	335	0.444	1.956	0.113
P. ×canescens	103	0.503	1.582	0.123
*P. nigra**	726	0.493	2.080	0.092

* Se ha prescindido de los datos del clon A01 en *P. alba* y de los clones comerciales y chopo lombardo en *P. nigra*.

4.2. Recomendaciones de uso en *Populus*

4.2.1. Problemática del uso de MFR en especies de ribera

Muchas de las especies forestales empleadas en la restauración de riberas, como es el caso de los taxones autóctonos de *Populus* spp, están reguladas por el Real Decreto 289/2003, *de 7 de marzo, sobre comercialización de los materiales forestales de reproducción* (BOE nº 58, 08-III-2003), debiendo cumplir unas normas para su producción y comercialización. Sin embargo, las especies ripícolas presentan una serie de singularidades diferenciadoras del resto, como son la difícil adecuación a las regiones de procedencia y de utilización generales (ALÍA et al. 2009), y las dificultades normativas en el empleo de la propagación vegetativa en especies reguladas. Por ello, el Comité para la mejora y conservación de recursos genéticos forestales consensuó un sistema alternativo que las CCAA pueden utilizar para autorizar la producción y comercialización de partes de plantas o plantas de especies reguladas bajo el amparo de excepcionalidad establecido en el artículo 5.4 del RD 289/2003, justificado en la conservación genética y que encaja en las revegetaciones de riberas.

Este sistema de control específico (PRADA et al. 2012) establece dos posibilidades para el uso de partes de planta: (1) la recogida de estaquillas en campo y su inmediato estaquillado en la zona de recolección o producción de planta en vivero, y (2) la recogida de estaquilla para la instalación de campos de plantas madre en vivero y la producción vegetativa ulterior.
Aunque en principio un estaquillado directo favorecería la diversidad genética, a la vista de los resultados genéticos del presente trabajo y de la poca diversidad que presentan algunas poblaciones, puede que esta práctica esté favoreciendo la réplica de uno o pocos genotipos en algunas localizaciones concretas, debiéndose valorar en estos casos la posibilidad de utilizar material suministrado de un campo de plantas madre de variabilidad conocida.

4.2.2. Recomendaciones de uso generales en *Populus*

La conservación de la diversidad genética obliga no sólo a seleccionar las especies idóneas en revegetación para el objetivo buscado, sino también las procedencias más adecuadas, ya que se debe garantizar una adaptación al medio y garantizar cierta variabilidad genética que facilite superar situaciones cambiantes.

Las recomendaciones de uso habituales de las poblaciones riparias, a falta de información sobre la composición genética, son el manejo de varios genotipos procedentes de zonas próximas (GARCÍA DEL BARRIO et al. 2001) y la restricción del uso de los materiales a la cuenca de origen, evitando en lo posible la transferencia de materiales entre cuencas (PRADA & ARIZPE et al. 2008). Sin embargo esto puede no ser suficiente si no aseguramos suficiente variabilidad genética así como una proporción de sexos adecuada.

A continuación se resumen algunas recomendaciones generales para la utilización de MFR de *Populus* autóctonos:

Usar un criterio general de proximidad geográfica y ecológica del material recolectado a la zona de utilización.

- Dada la poca adaptación de las delimitaciones ecogeográficas de MFR (ALÍA et al. 2009) para las especies de ribera, se recomienda utilizar el material en la misma subcuenca y sector ripario recolectado (Fig. 8), según zonificación de riberas incluida en PRADA et al. (2012).
- Emplear la información genética de las poblaciones, si se dispone de ella, para recomendar el uso según similitud de subcuencas y, sobre todo, para garantizar la variabilidad genética. Igualmente, prestar especial atención a los niveles elevados de riqueza alélica y de alelos únicos, que pudieran suponer poblaciones aisladas genéticamente que no deberían perderse.
- En el caso concreto de utilizar partes de planta (estaquilla) para su utilización directa o su propagación en vivero, deben tomarse como recomendaciones de recolección las consideraciones establecidas en la guía técnica para el uso de MFR en revegetación de riberas (PRADA et al. 2012), en especial en lo referido a distancias entre árboles, número de clones y proporción equilibrada de material por genotipo y sexo.
- En el caso de subcuencas muy degradadas, poco diversas o con ausencia de poblaciones de donde recoger material, realizar los movimientos de MFR atendiendo a los criterios de distancia geográfica y ecológica entre subcuencas, así como a diferenciación genética (F*st*) de las poblaciones. Para ello se puede plantear definir grupos (*pool*) genéticos generales para cada especie (como el que se presenta en la figura 8) para su utilización en forma de mezcla de clones, tanto en estaquillado directo como para la instalación de un campo de plantas madre, con la posibilidad de que determinados genotipos participen de varios *pool* si así se determina. Estos *pool* se basarían en criterios de proximidad geográfica y genética, pero asegurando variabilidad genética.

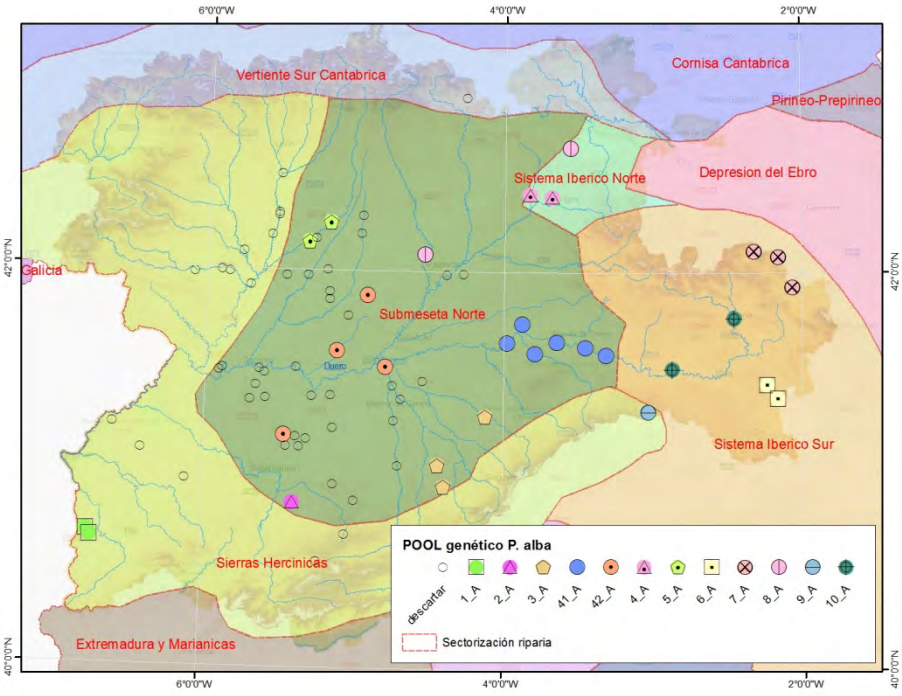


Fig. 8. Sectorización riparia y pool genéticos de P. alba (1ª aproximación) para su utilización como partes de planta; puntos sin colorear, se desaconseja su utilización.

4.2.3. Recomendaciones de uso específicas

A continuación se profundiza en las recomendaciones de utilización para cada taxón concreto:

Populus alba

En comparación con el resto de especies de chopo, el álamo blanco muestra un reducido número de genotipos, agrupados espacialmente. A la vista de los resultados obtenidos en este trabajo, el manejo de los MFR de esta especie deberá realizarse teniendo muy en cuenta el sexo de los genotipos y la distribución del clon A01, evitando favorecer su diseminación de forma no natural. Así mismo, se podría introducir en la parte occidental de la región clones provenientes de poblaciones adyacentes (pero mismo *pool* genético) y con valores de diferenciación genética bajos. En el caso de utilizar partes de planta, hay que garantizar el empleo de suficientes genotipos diferentes, empleando un *pool* genético apropiado con suficiente diversidad genética, lo cual puede incluso desaconsejar utilizar material local, si este corresponde con un mismo clon.

La masiva presencia del clon A01 en el oeste de la región tiene sumo interés, por lo que debiera profundizarse en las razones de dicha distribución. Causas antrópicas (poco probable dada la extensión y

la ausencia de otros clones) o una reciente colonización postglacial según una ruta este-oeste, son algunas teorías esgrimidas (SANTOS-DEL-BLANCO et al. 2012). En cualquier caso, sería interesante analizar su naturaleza genética (posible triploidía o trisomía) y su aparente buena adaptabilidad en la región.

Populus tremula

En la mayoría de los casos no se detectó en el álamo temblón una elevada variabilidad intrapoblacional, aunque se desconoce cuánto se debe al escaso número de muestras por población o a la alta capacidad de la especie para propagarse vegetativamente. Por el contrario, sí parece existir una gran variación entre poblaciones, por lo que se mantiene la recomendación general de recolectar material de varias poblaciones próximas para aumentar la variabilidad genética de los lotes.

En el caso del material para propagación vegetativa, se debería asegurar la recolección en individuos de ambos sexos para favorecer una reproducción sexual en las poblaciones futuras, así como intentar capturar el máximo número de genotipos tomando el material vegetal distanciado entre sí a falta de información genética. Por otra parte, avanzar en el conocimiento de la diversidad intrapoblacional de esta especie orientaría en mayor medida su conservación.

Populus ×canescens

Este híbrido resulta sumamente interesante desde el punto de vista de su adaptación y de las barreras ecológicas entre especies, por lo que su conservación es fundamental. Como en el resto de taxones de *Populus*, se recomienda prestar especial atención a las cuencas que cuentan con las poblaciones más diversas y las que tienen valores altos de riqueza alélica y de alelos privados, como las subcuencas de los ríos Bibey, Arlanzón o Ucero.

Populus nigra

El gran número de genotipos distintos de *P. nigra* detectados en las muestras analizadas puede obedecer a una masiva propagación sexual, con un escaso número de clones que se repiten por población, lo que es indicador de un elevado flujo genético.

En lo que respecta al clon N01, de amplia y aleatoria distribución y que presenta unos elevados niveles de homozigosis para los marcadores moleculares utilizados, su distribución pudiera explicarse por un componente antrópico. Por lo tanto, y por mantener un principio de precaución, sería recomendable no utilizar este clon en revegetaciones en la medida de lo posible, evitando extraer material vegetativo de las poblaciones en las que se ha detectado de forma predominante. Se recomienda realizar transferencias de MFR atendiendo al *pool* genético y a criterios de diferenciación y diversidad genética.

Por último, se ha de reseñar la importancia de no emplear en restauraciones vegetales el chopo Lombardo, procedente de Italia y ampliamente utilizado y extendido por todo el mundo. Este clon macho y de porte característico, ha sido localizado en varias parcelas muestreadas mezclado con poblaciones naturales.

5. Conclusiones y perspectivas

El exhaustivo muestreo realizado y la información genética recopilada en este proyecto, aumenta el conocimiento para la conservación de las poblaciones de *Populus* en Castilla y León y orienta la recolección de material vegetal para su utilización en revegetaciones, tanto *in situ* por estaquillado directo como a través de planta producida en vivero, siguiendo las recomendaciones y el sistema de control establecido en el protocolo elaborado a tal efecto. Además, permite acometer la conservación *ex situ* de los genotipos identificados en las distintas poblaciones y el establecimiento de un campo de plantas madre que suministre material con suficiente diversidad. Actualmente la Junta de Castilla y León está trabajando en la identificación de la proporción de sexos de las poblaciones de *Populus* muestreadas, la recogida de material y la instalación de un campo de plantas madre (Fig. 9) para el suministro de plantones. Este campo, una vez genotipado para conocer la diversidad recogida, permitirá suministrar mezclas de clones en base a los diferentes *pool* genéticos preestablecidos de cara a su utilización en zonas degradadas donde no exista posibilidad de recoger material en cantidad ni diversidad suficiente. El material clonal de *Populus tremula* cedido por la Universidad de Valladolid, y que comprende numerosos genotipos distintos, complementará el campo de plantas madre.

Fig. 9. Estaquillas de *Populus nigra* preparadas (izqda.) y establecidas en parcela (dcha.)

Por otra parte, la prospección de poblaciones suministró mucha información sobre distribución de las poblaciones de *Populus*. Además, la caracterización genética mediante marcadores moleculares permitió detectar poblaciones mal identificadas o con escasa variabilidad lo que supone, además de una fuente de información para orientar la conservación de recursos genéticos, una herramienta de actualización del catálogo de materiales de base del género *Populus*.

6. Bibliografía

ALÍA, R., GARCÍA DEL BARRIO, J.M., IGLESIAS, S., MANCHA, J.A., DE MIGUEL, J., NICOLAS, J.L., PÉREZ, F., SÁNCHEZ DE RON, D., 2009. Regiones de procedencia de especies forestales en España. MARM, Org. Autónomo Parques Nac. Madrid.

BRUNDU, G., LUPI, R., ZAPELLI, I., FOSSATI, T., PATRIGNANI, G., CAMARDA, I., SALA, F., CASTIGLIONE, S., 2008. The origin of clonal diversity and structure of *Populus alba* in Sardinia: evidence from nuclear and plastid microsatellite markers. Ann. Bot. 102, 997–1006.

CRISTÓBAL, D., MARTÍNEZ-ZURIMENDI, P., VILLAMEDIANA, I., CIRIZA, J., VILLAR, J., NANOS, N., SIERRA-DE-GRADO, R., 2014. Clonal structure and dynamics of peripheral *Populus tremula* L. populations. iForest-Biogeosciences For. 7, 140.

DE CARVALHO, D., INGVARSSON, P.K., JOSEPH, J., SUTER, L., SEDIVY, C., MACAYA SANZ, D., COTTRELL, J., HEINZE, B., SCHANZER, I., LEXER, C., 2010. Admixture facilitates adaptation from standing variation in the European aspen (*Populus tremula* L.), a widespread forest tree. Mol. Ecol. 19, 1638–1650.

GARCÍA DEL BARRIO, J.M., DE MIGUEL, J., ALÍA, R., IGLESIAS, S., 2001. Regiones de Identificación y Utilización de material forestal de reproducción. Minist. Medio Ambient. Madrid.

HARDY, O.J., VEKEMANS, X., 2002. SPAGeDi: a versatile computer program to analyse spatial genetic structure at the individual or population levels. Mol. Ecol. Resour. 2, 618–620.

KALINOWSKI, S.T., 2005. HP-RARE 1.0: a computer program for performing rarefaction on measures of allelic richness. Mol. Ecol. Resour. 5, 187–189.

LEXER, C., FAY, M.F., JOSEPH, J.A., NICA, M.-S., HEINZE, B., 2005. Barrier to gene flow between two ecologically divergent *Populus* species, *P. alba* (white poplar) and *P. tremula* (European aspen): the role of ecology and life history in gene introgression. Mol. Ecol. 14, 1045–1057.

LOPEZ-DE-HEREDIA, U., SIERRA-DE-GRADO, R., CRISTÓBAL, M.D., MARTÍNEZ-ZURIMENDI, P., PANDO, V., MARTÍN, M.T., 2004. A comparison of isozyme and morphological markers to assess the within population variation in small populations of European aspen (*Populus tremula* L.) in Spain. Silvae Genet. 53, 227–233.

NEI, M., 1978. Estimation of average heterozygosity and genetic distance from a small number of individuals. Genetics 89, 583–590.
PRADA, A., ARIZPE, D., 2008. Manual de propagación de árboles y arbustos de ribera. Una Ayud. para la restauración riberas en la región mediterránea. General. Valencia. Val.

PRADA, A., CUBERO, D., RUEDA, J., MAGDALENO, F., PÉREZ, F., MARTÍNEZ, R., BELLERA, M., NICOLÁS, J., APARICIO, M., TRANQUE, J., HERRERO, A., MARTÍNEZ, S., MARTÍN, E., 2012. Guía técnica para la gestión de materiales forestales de reproducción en la revegetación de riberas. Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente, Madrid.

PRITCHARD, J.K., WEN, W., 2002. Documentation for STRUCTURE software: version 2. Univ. Chicago, Chicago.

SANTOS-DEL-BLANCO, L., DE-LUCAS, A.I., GONZÁLEZ-MARTÍNEZ, S.C., SIERRA-DE-GRADO, R., HIDALGO, E., 2013. Extensive Clonal Assemblies in *Populus alba* and *Populus ×canescens* from the Iberian Peninsula. Tree Genet. genomes 9, 499–510.

SIERRA DE GRADO, R., ZURIMENDI, P.M., DE HEREDIA, U.L., 2002. Reproducción sexual y diversidad genética de *Populus tremula*. En Sierra de Grado R (coord.). El álamo temblón (*Populus tremula* L.). Bases para su cultivo, gestión y conservación. Ed. Mundi-Prensa, Madrid. 151–166.

SMULDERS, M.J.M., COTTRELL, J.E., LEFÈVRE, F., VAN DER SCHOOT, J., ARENS, P., VOSMAN, B., TABBENER, H.E., GRASSI, F., FOSSATI, T., CASTIGLIONE, S., 2008. Structure of the genetic diversity in black poplar (*Populus nigra* L.) populations across European river systems: consequences for conservation and restoration. For. Ecol. Manage. 255, 1388–1399.

VAN LOO, M., JOSEPH, J.A., HEINZE, B., FAY, M.F., LEXER, C., 2008. Clonality and spatial genetic structure in *Populus ×canescens* and its sympatric backcross parent *P. alba* in a Central European hybrid zone. New Phytol. 177, 506–516.

Agradecimientos

Los autores quieren agradecer la dedicación y esfuerzo de todos aquellos que han colaborado en las variadas fases del proyecto, sobre todo en la prospección de poblaciones, toma de muestras y recogida de material vegetal para estaquillar. Especial reconocimiento al trabajo de Miguel Reinares, Jose Mª Gonzalez, Ángel Iglesias, Javier González, Marino Saiz, Mar Lejárraga, Oscar Cisneros, Javier Ligos, Pablo Galende, José Antonio Peral, Armando Herrero, Virginia Escudero y Luis Carlos Jovellar, así como al personal del Vivero Forestal Central de la Junta de Castilla y León. Rosario Sierra aportó valiosos comentarios que ayudaron a mejorar el texto.

Parte de estos trabajos estaban incluidos en el proyecto *Actuaciones de Conservación de los recursos genéticos forestales en RN2000 Castilla y León*, financiado con fondos FEDER, con acuerdo de colaboración entre MAPAMA y la Junta de Castilla y León.

Criterios orientadores para la gestión de los materiales forestales de reproducción en revegetación de riberas: aplicación al género *Populus*

PÉREZ MARTÍN, F.[1]; TRANQUE PASCUAL, F.J.[2]
[1] Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación
[2] Junta de Castilla y León

Palabras clave
MFR, chopo, partes de planta, estaquillas, conservación recursos genéticos.

1. Introducción

Las actuaciones de revegetación de riberas, como cualquier restauración forestal, tienen distintas fases relacionadas con la producción, comercialización y utilización de los materiales forestales de reproducción (en adelante MFR), por lo que es imprescindible tener en cuenta sus aspectos normativos, además de las características e idoneidad del material a utilizar.

Además de la normativa específica en MFR, existe variada información técnica relacionada con la producción y utilización de especies forestales (recomendaciones de uso de especies y procedencias, regiones de utilización, parámetros de cultivo,...etc.), y que en ocasiones no es tenida en cuenta en la medida que debiera, a pesar de estar disponible.

El Real Decreto 289/2003, *de 7 de marzo, sobre comercialización de los materiales forestales de reproducción* (BOE nº 58, 08-III-2003), que incorpora al ordenamiento jurídico español la Directiva 1999/105/CE, y que está modificado por el Real Decreto 1120/2011, de 5 de septiembre, tiene como objetivo garantizar la identidad de los materiales forestales de reproducción , que son los frutos, semillas, plantas y partes de plantas, así como asegurar que éstos sean de calidad genética y fenotípica adecuada, de forma que el utilizador final conozca la adecuación del material a utilizar. Establece diferentes categorías del material (identificado, seleccionado, cualificado y controlado) de acuerdo con el grado de selección y mejora del material de base del que proceden (fuente semillera, rodal, huerto semillero, progenitor de familia, clon, mezcla de clones), el cual debe ser previamente autorizado e incluido en el correspondiente Registro.

Los MFR de especies reguladas por la normativa sectorial que se utilizan en las revegetaciones de las riberas deben cumplir una serie de requisitos durante las fases de producción y comercialización. Estas fases están recogidas en el RD 289/2003, de ámbito estatal, pero la normativa autonómica puede incrementar el listado de especies reguladas, como por ejemplo el Decreto 54/2007, *de 24 de mayo, por el que se regula la comercialización de los materiales forestales de reproducción en la Comunidad de Castilla y León*, por lo que hay que tener en cuenta este aspecto según el ámbito de actuación. Esta regulación pretende asegurar la trazabilidad de los materiales y garantizar la autenticidad y procedencia, así como su nivel de selección genética y su calidad externa en el proceso de comercialización. Para ello se requiere una supervisión de las diferentes fases (recolección, producción, comercialización) y la emisión de una serie de documentos, etiquetas y certificados que permita al usuario final tener control del material a utilizar y de la trazabilidad (ALÍA et al., 2005).

El sistema general de control del MFR establecido en el RD 289/2003 sólo permite el uso de estaquillas y plantones de especies reguladas, como por ejemplo los taxones e híbridos artificiales del género *Populus*,

si se emplean materiales mejorados (habitualmente clones de categoría controlada), y que actualmente solo se han seleccionado para producción de madera; esto es un problema para la utilización de partes de plantas en las restauraciones de riberas, donde lo que se desea es un material autóctono y lo más diverso posible.

Para solventar este problema, el Comité para la mejora y conservación de recursos genéticos forestales (órgano de coordinación entre los órganos competentes de la Administración General del Estado y de las comunidades autónomas) estableció un sistema alternativo de autorización para el uso de partes de planta amparado en el artículo 5.4 del RD 289/2003, avalado para la conservación de los recursos genéticos, y por tanto con perfecto encaje en el caso de revegetaciones de riberas. Estos criterios técnicos orientadores se recogieron finalmente en una guía técnica (PRADA *et al.,* 2012) en la que participaron organismos implicados como son las Comunidades Autónomas, CEDEX, Comisión Nacional del Chopo, Dirección General del Medio Natural y Política Forestal y Dirección General del Agua del por entonces Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente.

Dicha guía incorpora los condicionantes técnicos para el manejo de este MFR utilizable en revegetaciones, así como diversos aspectos relacionados con recomendaciones de especies, de utilización, o una sectorización del territorio en unidades homogéneas, basadas en características y singularidades de las especies riparias, para ser utilizadas en revegetación de riberas de manera específica. Por ejemplo, en la Figura 1 se compara las regiones de procedencia delimitadas por el método divisivo (ALÍA *et al.,* 2009) de aplicación actualmente para la mayoría de especies forestales reguladas (*Populus* entre ellas), frente a la sectorización propuesta por el CEDEX, confeccionada en base a las formaciones vegetales de ribera en España y que se recomienda para selección y utilización de las especies de ribera más idóneas, sugiriendo asimismo el uso de materiales del mismo sector y de la misma subcuenca en la que se va a efectuar la revegetación.

Figura 1. Regiones de procedencia (izqda) y sectorización de las formaciones vegetales de ribera en España propuesta para especies riparias (dcha)

A efectos prácticos, el sistema de control alternativo propuesto para el uso de partes de plantas en revegetación de riberas es similar al contemplado para los materiales de la categoría identificada del sistema general (RD 289/2003), pero fijando unos requisitos técnicos mínimos en la recogida y el manejo de los materiales con el fin de asegurar cierta diversidad genética.

El procedimiento contempla la aprobación y supervisión de las recolecciones por parte de los organismos autonómicos correspondientes, la emisión del preceptivo certificado de control y los sucesivos controles de material y documentación en la fase productiva, aún cuando se trate de autoconsumo. Así mismo, el material deberá ir acompañado en todo su movimiento por la documentación establecida en la normativa, esto es, documento del proveedor y etiqueta identificativa para un correcto control de la trazabilidad.

2. Objetivos

Es objetivo de esta comunicación divulgar de manera práctica el sistema de control establecido *ad hoc* con base en el artículo 5.4 del RD 289/2003, para la gestión de los MFR en el caso de propagación vegetativa (partes de plantas) de especies reguladas para su utilización en revegetación de riberas.

Se expone, particularizando al género *Populus*, el procedimiento administrativo de control, así como los criterios técnicos para la recogida del material y posterior utilización mediante estaquillado directo en campo, en vivero para la producción de plantas, o para la instalación de campos de plantas madre, de partes de plantas.

3. Resultados

Aplicación en *Populus* del sistema establecido en el artículo 5.4 del RD 289/2003

Como se ha visto, el sistema general del RD 289/2003 sólo permite la propagación vegetativa de especies reguladas si se emplean materiales mejorados, y por tanto poco recomendables para su utilización en revegetaciones de ribera. Sin embargo, numerosas especies son utilizadas masivamente en restauraciones riparias en forma de estaquillas que habitualmente se recogen en la misma zona de utilización. Al amparo del artículo 5.4 del RD 289/2003, comentado en los apartados anteriores, se aprobó un sistema de autorización justificado por la conservación de recursos genéticos.
A continuación se detallan las condiciones técnicas y el procedimiento de control propuesto para la correcta utilización de las partes de plantas en la revegetación de riberas, y que fueron consensuados en el seno del Comité para la mejora y conservación de recursos genéticos forestales.

a. Condiciones del sistema de control establecido con base en el art. 5.4

Las directrices, centradas básicamente en *P. alba* y *P. nigra,* pero extensibles a otras especies de ribera, establecen dos posibles casos de certificación y producción de partes de plantas; uno consistente en la recolección en campo y su estaquillado directo o bien su propagación en vivero, y un segundo caso consistente en el establecimiento de un campo de plantas madre y la posterior multiplicación vegetativa. A continuación se indican las condiciones para ambos casos.

Caso 1. Recolección de partes de plantas en el campo para su estaquillado directo in situ o para la producción de plantas en vivero (Fig. 2 y 4).

- La recolección debe efectuarse, exclusivamente, en fuentes semilleras catalogadas (Fig. 3).

- Es preciso recoger de un mínimo de 20 árboles por zona, o 20 puntos de recogida si se recolectan rebrotes de raíz o sierpes.
- Los puntos de recogida en cada zona estarán separados un mínimo de 10 m (*P. nigra) o* 20 m (*P. alba)*. Estas distancias carecen de sentido si se dispone de información genética que asegure individuos diferentes.
- Se debe procurar recoger una proporción equilibrada de material por punto y por sexos para asegurar cierta variabilidad.
- Se debe evitar recoger en árboles y poblaciones con signos de enfermedades.

Fig. 2. Estaquillado directo in situ (izqda) y estaquillado en vivero para producción de planta (dcha)

Fig. 3. Estaquillas de *P. tremula* (izqda) recogidas en la fuente semillera FS/52/05/34/004 (dcha) (arroyo de la Cueva, Velilla del Río Carrión, Palencia)

Fig. 4. Revegetación de ribera mediante estaquillado directo en el río Carrión (Palencia). Comparativa años 2017-2018

Caso 2. Instalación y producción en campos de plantas madre

- Cada genotipo debe mantenerse individualizado durante todo momento desde la recolección hasta el lugar de plantación.
- En el campo de plantas madre cada clon debe estar individualizado e identificado, con su correspondiente etiqueta y su croquis de localización (Fig. 5).

Fig. 5. Campo de plantas madre de *Populus nigra* a partir de estaquilla recolectada en ribera

- Cada clon debe estar caracterizado genéticamente y tener un código identificativo.
- Debe conservarse la trazabilidad de cada ortet respecto del lugar de procedencia (especie, sexo, región de procedencia, curso de agua, término municipal, coordenadas,...) y la asignación de un código identificativo (Fig. 6).

Fig. 6. Posible ortet de P. alba preseleccionado por la Junta de Castilla y León (código ALB-05-001-05, El Tiemblo, Ávila)

- Los materiales obtenidos en un campo de plantas madre deben suministrarse en forma de **mezclas de clones**, con los requisitos de número mínimo de genotipos establecido en el caso de las recolecciones en campo (20 genotipos distintos), y procurando que haya un número equilibrado por genotipo y de ambos sexos.
- Cada mezcla de clones llevará asociada un código identificativo.
- Se debe limitar la producción de estaquillas por genotipo a un máximo de 120.
- Un mismo clon puede formar parte de distintas mezclas, siempre que, en conjunto, no se supere el número máximo autorizado de estaquillas.
- Se debe variar las mezclas de clones en el tiempo, sustituyendo clones por nuevos genotipos, que deben cumplir los criterios anteriormente comentados.
- Las dimensiones de las partes de planta comercializadas (varetas y estaquillas) no tienen por qué ajustarse a las requeridas por la normativa; no obstante, se debe cumplir con las exigencias de calidad externa establecidas en el RD 289/2003.

b. Sistema de control y documentos de comercialización

Los aspectos que deben tenerse en cuenta respecto al sistema de control y los documentos de comercialización correspondientes son los siguientes:

- La recolección, tanto en poblaciones naturales como en campos de plantas madre, debe informarse previamente al organismo de control autonómico.
- Los campos de plantas madre deben estar dados de alta en el registro autonómico correspondiente.
- El material obtenido estará avalado con un preceptivo **certificado de control** (Fig. 7) válido para el territorio español y emitido por el organismo de control autonómico que «*certifica que los MFR descritos a continuación se han producido en virtud de la aplicación del artículo 5.4a del RD 289/03 para la producción y comercialización de partes de plantas de especies de ribera autóctonas con fines no productivos*».

Junta de Castilla y León
Consejería de Fomento y Medio Ambiente
Dirección General del Medio Natural

CERTIFICADO CONTROL EMITIDO EN VIRTUD DE LA APLICACIÓN DEL ARTÍCULO 5.4.a DEL RD 289/2003 PARA LA PRODUCCION Y COMERCIALIZACION DE PARTES DE PLANTAS DE ESPECIES AUTOCTONAS CON FINES DE CONSERVACIÓN DE RECURSOS GENÉTICOS

ESTADO MIEMBRO: ESPAÑA	**CERTIFICADO Nº CE (CÓDIGO DE ESTADO MIEMBRO/Nº): E/CL/15/002/P/Ex**

Se certifica que los materiales forestales de reproducción forestal descritos a continuación se han producido en virtud de la aplicación del artículo 5.4.a de RD 289/2003 para la producción y comercialización de partes de plantas de especies autóctonas con fines de conservación de recursos genéticos:

De conformidad con la Directiva comunitaria: ☐ En virtud de acuerdos transitorios: ☐

1. Nombre botánico: *Populus nigra L.*

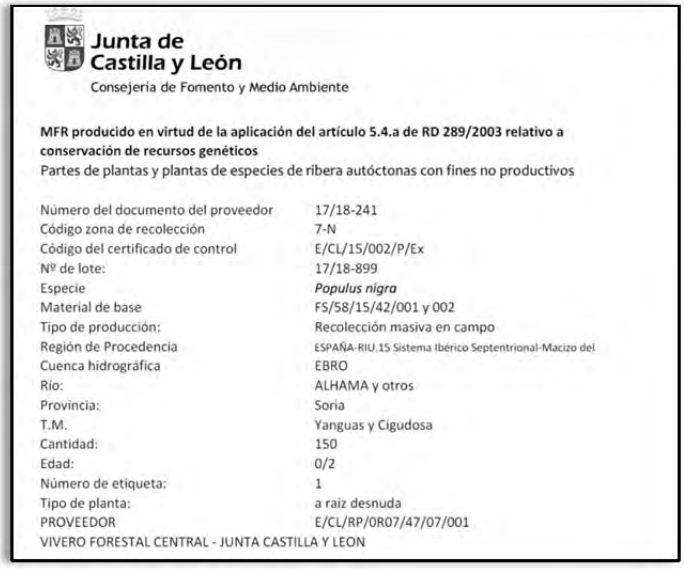
2. Datos geográficos:

T.M.: Yanguas y Cigudosa (Soria) Cuenca hidrográfica: Duero Río: Alhama

3. Código Zona recolección: 7-N (FS/58/15/42/001 y FS/58/15/42/001)

Fig. 7. Ejemplo de parte de certificado control emitido en recolección masiva de estaquillas.

- El certificado de control se emitirá para la mezcla de clones, consignando la fuente semillera y el número de ortets (caso 1), o el código del campo de plantas madre y el código de los clones que componen la mezcla y su proporción (caso 2).
- Cuando se recolecte material para la instalación de un campo de plantas madre, se deberá emitir un certificado de control para cada uno de los clones.
- La producción y comercialización de estos materiales debe cumplir con las obligaciones establecidas en el sistema de control general, registrando declaración de cultivo y libro de registro, y emitiendo documentos de proveedor y etiquetas.
- En los documentos del proveedor debe figurar la frase «*Partes de plantas y plantas de especies de ribera autóctonas con fines no productivos*».
- En dicho documento figurará, además de la información pertinente requerida para dichos documentos por el RD 289/2003, la cuenca hidrográfica de procedencia del material, si el material se ha recolectado masivamente en ribera o en un campo de plantas madre y, en este último caso, el código de los diferentes clones que componen la mezcla.
- El material debe identificarse con una etiqueta (fig. 8) de color diferente a los establecidos para las cuatro categorías reguladas (color blanco).



Junta de Castilla y León

Consejería de Fomento y Medio Ambiente

MFR producido en virtud de la aplicación del artículo 5.4.a de RD 289/2003 relativo a conservación de recursos genéticos

Partes de plantas y plantas de especies de ribera autóctonas con fines no productivos

Número del documento del proveedor	17/18-241
Código zona de recolección	7-N
Código del certificado de control	E/CL/15/002/P/Ex
Nº de lote:	17/18-899
Especie	*Populus nigra*
Material de base	FS/58/15/42/001 y 002
Tipo de producción:	Recolección masiva en campo
Región de Procedencia	ESPAÑA-RIU.15 Sistema Ibérico Septentrional-Macizo del
Cuenca hidrográfica	EBRO
Río:	ALHAMA y otros
Provincia:	Soria
T.M.	Yanguas y Cigudosa
Cantidad:	150
Edad:	0/2
Número de etiqueta:	1
Tipo de planta:	a raíz desnuda
PROVEEDOR	E/CL/RP/0R07/47/07/001

VIVERO FORESTAL CENTRAL - JUNTA CASTILLA Y LEON

Fig. 8. Ejemplo de etiqueta de lote de plantón a partir de estaquilla recogida de forma masiva

4. Conclusiones

El sistema general de control de MFR establecido por la normativa vigente no está adaptado al uso de material empleado en la revegetación de riberas, especialmente si se opta por la multiplicación vegetativa, habitual en muchas de las especies empleadas en la restauración fluvial. Como alternativa para estos

casos, se ha desarrollado un procedimiento amparado en la excepcionalidad del artículo 5.4 del RD 289/2003 y justificado en la conservación de recursos genéticos forestales.

Los criterios técnicos orientadores incluidos en dicho sistema de control permiten la correcta gestión del material vegetal empleado en revegetaciones de ribera, favoreciendo cierta diversidad genética y garantizando la trazabilidad, lo cual facilitará al usuario final su adecuada utilización.

5. Bibliografía

ALÍA, R., ALBA, N., AGÚNDEZ, D., IGLESIAS, S. (coord); 2005. Manual para la comercialización y producción de semillas y plantas forestales. Ministerio de Medio Ambiente, Organismo Autónomo de Parques Nacionales.

ALÍA, R., GARCÍA DEL BARRIO, J.M., IGLESIAS, S., MANCHA, J.A., DE MIGUEL, J., NICOLAS, J.L., PÉREZ, F., SÁNCHEZ DE RON, D.; 2009. Regiones de procedencia de especies forestales en España. Ministerio de Medio Ambiente, y Medio Rural y Marino. Organismo Autónomo Parques Nacionales.

PRADA, A., CUBERO, D., RUEDA, J., MAGDALENO, F., PÉREZ, F., MARTÍNEZ, R., BELLERA, M., NICOLÁS, J., APARICIO, M., TRANQUE, J., HERRERO, A., MARTÍNEZ, S., MARTÍN, E.; 2012. Guía técnica para la gestión de materiales forestales de reproducción en la revegetación de riberas. Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente. Madrid.

Agradecimientos

Los autores quieren agradecer el trabajo de los miembros del grupo de trabajo de revegetación de riberas del Comité para la mejora y conservación de recursos genéticos forestales, que permitieron desarrollar los criterios técnicos que han sido expuestos en esta comunicación.

El chopo cabecero en Aragón, entre el agrosistema y el patrimonio cultural

DE JAIME, CH.[1]

[1] Parque Cultural del Chopo Cabecero del Alto Alfambra. Gobierno de Aragón

Palabras clave
Álamo negro, trasmocho, cultura, ecología, paisaje, Aragón.

1. Introducción y objetivos

Hay especies de árboles que son capaces de rebrotar desde el extremo de su tronco cuando alguna perturbación natural elimina completamente su ramaje. Generan brotes que conforman un árbol en el que todas las ramas tienen la misma edad y nacen a una misma altura. Este es el origen de los árboles trasmochos. El ser humano conoció pronto esta capacidad y desde hace siglos la utiliza para obtener diversos productos forestales (Green, 1996). El desmoche, es decir la corta regular de todas las ramas, proporciona madera, combustible o forraje. Los rebrotes quedan a una altura suficiente como para resultar inaccesible al diente de los ungulados domésticos, lo que asegura la viabilidad de las nuevas ramas en entornos de fuerte presión ganadera (Mansion, 2010).

Desde hace siglos esta variante de agroforestalismo ha sido muy empleada en diferentes regiones de Europa sobre hayas, robles, fresnos, carpes, abedules y sauces, pues conseguía compatibilizar la producción agrícola, ganadera y forestal. Por ello, los árboles trasmochos son todavía un elemento común en el paisaje agrícola tradicional de amplias regiones de este continente (Read, 2008). El chopo cabecero es el chopo negro o álamo negro trasmocho.

Foto 1.- Chopo cabecero centenario en Valverde (Teruel)

El chopo negro es una especie de amplia distribución en Europa. Sin embargo, en su forma de árbol trasmocho se trata de una rareza salvo en zonas muy localizadas del continente. En la península Ibérica también pueden encontrarse algunos grupos dispersos en la cuenca del Duero y del alto Ebro, pero de nuevo su contribución en el paisaje es poco significativa. Nada que ver con el sur de Aragón, donde aún es el árbol hegemónico en buena parte de sus riberas (De Jaime, 2015).

Estos viejos y monumentales árboles son testimonio de un paisaje histórico. Pero son también el hábitat de innumerables formas de vida que dependen de los servicios ecológicos ofrecidos, en forma de alimento y refugio, especialmente para organismos saproxílicos. Los chopos cabeceros constituyen la arquitectura vegetal de un amplio territorio en el que, además, representan una marca de identidad en su paisaje. Son, en definitiva, una síntesis entre el patrimonio natural y el cultural.

Estos singulares árboles han sido el motivo de un estudio que ha perseguido dos objetivos. Por un lado, el conocer la distribución geográfica, la situación de la población, el estado de conservación y los problemas de conservación de este árbol en un sector de la cordillera Ibérica aragonesa, poniéndolo en relación con otras poblaciones europeas. Y, por otro, conocer los modelos de gestión tradicional, los servicios en la economía rural tradicional, los cambios históricos de este aprovechamiento forestal en el sur de Aragón, así como presentar otros valores emergentes como su función paisajística, ecológica, histórica, cultural y educativa.

2. Material y métodos

Para alcanzar el primer objetivo ha sido necesario establecer los parámetros demográficos, biométricos, de estado de conservación y de vigencia de uso. Se han definido cuatro tipos de masas de chopos cabeceros (extensas, lineales, grupos dispersos y de ejemplares aislados), los signos que caracterizan la salud de las masas forestales (atrincheramiento, ramas desgajadas, mortalidad) y el tiempo transcurrido desde el último desmoche (menos de diez, entre diez y veinte y más de veinte años).

La localización de las masas de chopo cabecero en el territorio ha obligado a recorrerlo directamente. La prospección de campo comenzó en octubre de 2010 y concluyó en enero de 2014. El área de estudio está constituida por cuencas hidrográfica. Tres de ellas pertenecientes a la del Ebro (Huerva, Aguas Vivas y Pancrudo) y otra perteneciente a la cuenca hidrográfica del Turia (Alfambra). En conjunto, este territorio abarca una superficie de 4.248 km^2.

Mapa 1.- Área de estudio

El tramo ha sido la unidad básica en este estudio. Se ha considerado como tramo todo aquel segmento de un sistema fluvial en el que existe un chopo cabecero. Cada tramo ha sido localizado en el espacio y se le ha asignado una categoría y un número reconociéndose por un código alfanumérico. Obtener los datos biométricos, la determinación el estado de conservación y establecer el periodo transcurrido desde el último desmoche de la totalidad de los chopos cabeceros se ha conseguido a partir de una muestra del 10% de los tramos de ribera en los que están estos árboles.

El tratamiento informático de los datos se inicia con su registro en un software específico perteneciente a la familia de los sistemas de información geográfica (ArcGIS). Este programa permite la introducción de la información en capas sobre fotografías aéreas, de modo que cada uno de los tramos con chopos cabeceros se representa como una línea sobre una de estas capas que tendrá la misma situación y longitud que la que se ha registrado en el campo sobre la fotografía impresa en papel. Cada uno de los tramos es identificado sobre la capa de ArcGIS con el mismo código alfanumérico. Para recoger y tratar los datos obtenidos en la prospección de los tramos se utilizó el programa de hojas de cálculo MSExcel creándose tantos archivos como cuencas hidrográficas y tantas hojas como tramos. A cada cual le

corresponde el mismo código alfanumérico que tenía en la hoja de cálculo vinculada a las capas de ArcGIS. Cada árbol tiene un código formado por el código del tramo y por un número.

Para la consecución del segundo grupo de objetivos ha sido necesario realizar una exhaustiva búsqueda de documentación en todo tipo de fuentes para disponer de toda la información posible con el chopo como árbol de objeto de desmoche.

3. Resultados

3.1. Una práctica silvopastoril tradicional

Los chopos cabeceros proceden de ramas jóvenes obtenidas de la escamonda de otros ejemplares. Estos eran plantados por los agricultores en la confrontación de sus campos con ríos y arroyos, junto a acequias y en ribazos. Una vez arraigado el plantón, era cortada su yema apical favoreciendo el crecimiento de las ramillas laterales que entonces devendrían en las futuras grandes ramas, conocidas como vigas. Éstas eran desmochadas por primera vez a los doce años produciendo la primera cosecha de fustes. Tras el copioso rebrote sobre la cabeza solía realizarse una selección de las ramillas más vigorosas y mejor dispuestas, que serían las futuras vigas.

La acción de corta de todas las ramas de cada chopo cabecero recibe varias denominaciones populares en las localidades del sur de Aragón: escamondar (escamoldar), descabezar (escabezar), batir, remoldar, caudillar o escamochar. Hasta hace pocos años se realizaba subiendo a la cabeza y cortándolas con pequeñas hachas. Actualmente se hace con motosierra. Es un trabajo de especialistas, difícil y arriesgado. Siempre se realizaba cuando el árbol carecía de hoja.

Foto 2.- Ejemplares con brotes de una savia. Navarrete del Río (Teruel)

La principal utilidad del chopo cabecero en la cordillera Ibérica ha sido proporcionar material de construcción, fundamentalmente vigas para el tejado y solado de viviendas, graneros, pajares y parideras. Esta madera reúne óptimas cualidades mecánicas y larga vida útil. Es una especie de crecimiento rápido y era un recurso tan abundante como disponible en territorios profundamente deforestados.

El área de distribución del álamo negro trasmocho coincide con un territorio de vocación ganadera, actividad que viene realizándose en régimen extensivo desde hace siglos. Estas masas arboladas adehesadas han ofrecido pastos, zonas de descanso, vías pecuarias y, sobre todo, ramillas para la ganadería extensiva de ovino desde hace siglos. En algunas comarcas el corte y recogida de las ramillas era su aprovechamiento principal.

Los chopos cabeceros crecen en territorios con temperaturas medias anuales inferiores a 15 ºC y con más de cuatro meses con heladas. Las ramillas menores eran muy utilizadas en el pasado como combustible en hogares o en pequeñas industrias locales. En la actualidad su empleo como leña es el principal aprovechamiento. Otros usos de estos árboles fueron el proporcionar madera para carpintería, la fabricación de embalajes, el uso en las minas de galería, en las fiestas populares, la protección ante la temperie y la conservación de los taludes de campos y acequias.

Foto 3.- La leña es el principal uso de las ramas. Camarillas (Teruel)

Es escasa la documentación histórica sobre los chopos cabeceros en Aragón. En el siglo XIV Jaime II autoriza a los vecinos de Aguilar a transformar los sotos del río Alfambra en dehesas ganaderas, un paisaje muy similar al actual. En un documento del siglo XVII, posiblemente copia de otros previos, la

Comunidad de Teruel reglamenta el aprovechamiento forestal distinguiendo los árboles en los que se podía subir y mantener un hombre, alusión explícita de los trasmochos, árboles tan comunes hoy en ese territorio. Otro documento de finales del XVIII propone la desecación de la laguna de Gallocanta para obtención de tierras de labor y para la producción de madera a partir de "álamos y sauces cabeceros" siendo la primera mención a este tipo de árboles. Los Libros de Actas de municipios del valle del Jiloca de mediados del siglo XIX, entre las labores de plantación y cuidado de árboles exigidos por la Real Ordenanza para el fomento y conservación de Montes y Plantíos incluye trabajos para guiar y escamondar árboles, siendo los álamos negros los más citados. En el siglo XX una publicación del Ministerio de Agricultura elaborada por un ingeniero de montes buen conocedor del sur de Aragón, reprueba el descabezamiento de los chopos para obtener vigas y proscribe dicha práctica entonces muy habitual en la provincia de Teruel (Jaime, 1956).

3.2. Una distribución geográfica muy restringida

El álamo negro trasmocho es un árbol representativo en el paisaje agrario de ciertos territorios de Turquía (península de Anatolia) y del Reino Unido (Inglaterra). Se conoce la existencia de ejemplares dispersos en Francia, Bélgica, Hungría, Italia, Austria y Rumanía. En la península Ibérica existen poblaciones en las principales cordilleras aunque son escasas, discretas y están muy localizadas. La cordillera Ibérica alberga las principales poblaciones extraaragonesas, siendo este árbol muy representativo de ciertas comarcas de Burgos y Soria, y más puntualmente, en las de Guadalajara, Castellón y Valencia.

En Aragón el chopo cabecero está presente casi exclusivamente en la cordillera Ibérica. Hay poblaciones dispersas en las cuencas del Huecha y de Gallocanta. Dentro de la cuenca del Jalón, destacan las poblaciones de los ríos Piedra y, en especial, la del Jiloca, aunque está presente en otros afluentes como el Manubles, Ribota, Aranda, Perejiles y Grío. La cuenca del río Jiloca, sin considerar su afluente el Pancrudo, según un censo realizado en 2008, alberga un efectivo de 2.881 ejemplares (Bellido y López, 2008).

La cuenca del río Martín tiene una importante población que no ha sido cuantificada. En su mayoría se concentran en la cabecera, tanto en la ribera del propio río como en la de los afluentes que lo alimentan. Destacan las masas de Segura de Baños, Fuenferrada, Villanueva del Rebollar, Vivel del Río, Montalbán y Peñas Royas, Valdeconejos, Las Parras de Martín, Son del Puerto, Cervera del Rincón, Cuevas de Portalrubio, La Rambla de Martín, Pancrudo, Torre de las Arcas, Castel de Cabra, La Hoz de la Vieja, Cañizar del Olivar y La Zoma. Son muy comunes los ejemplares de dimensiones notables.

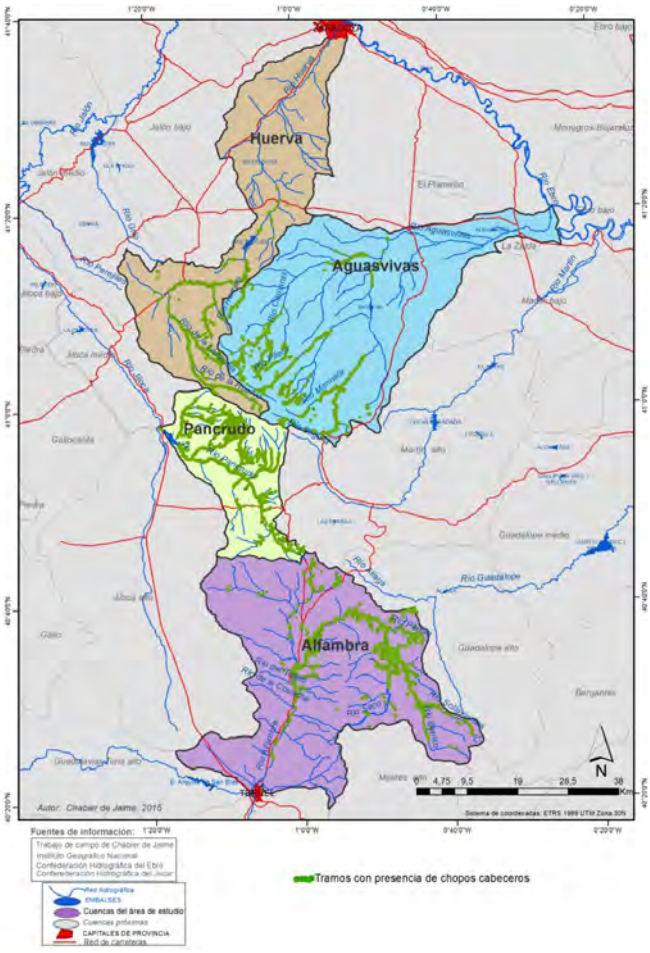
La cuenca del río Guadalope también reúne una importante y poco conocida población de álamos negros trasmochos en su cabecera. Son muy comunes en Villarroya de los Pinares, Miravete de la Sierra y Aliaga en la propia ribera, así como en algunos de afluentes. Está ampliamente repartido a lo largo de los sistemas fluviales de los términos de Mezquita de Jarque, Cuevas de Almudén, Jarque de la Val, Hinojosa de Jarque, Campos, Cañadilla, Cirugeda, Ejulve, Molinos y Berge. Aparecen de modo disperso en Villarluengo, Pitarque, Cañada de Benatanduz, Fortanete, Cantavieja, Mirambel, Tronchón, La Cuba, Bordón y Castellote.

En la cuenca hidrográfica del río Turia, fuera de la de su afluente el Alfambra, existen reductos en Royuela y Frías de Albarracín. En la del Mijares su presencia es escasa aunque algo menos rara, habiendo poblaciones en Alcalá de la Selva, Monteagudo del Castillo, Cedrillas, El Castellar, Linares de Mora y Manzanera.

3.3. Un estudio en cuatro cuencas del sur de Aragón

En las cuencas hidrográficas objeto del presente estudio (Huerva, Aguas Vivas, Pancrudo y Alfambra) se han registrado 3.948 tramos de masas arboladas de chopos cabeceros, con una longitud media de 111,85 m que suman un total de 441.586,52 m. Se aprecia un predominio de las masas con distribución longitudinal con respecto a las de distribución superficial.

Las principales arboledas de chopo cabecero de la cuenca del río Alfambra se encuentran en la ribera de dicho río en los términos de Allepuz, Jorcas, Ababuj, Aguilar del Alfambra, Camarillas y Galve. En la cuenca del río Aguasvivas son comunes en los términos municipales de Segura de Baños, Maicas, Huesa del Común y Blesa. Las masas arboladas más importantes de la cuenca del río Huerva se encuentran en la ribera de dicho río a su paso por los términos de Bea, Lagueruela, Ferreruela de Huerva y Cucalón. En la cuenca del río Pancrudo se encuentran en la ribera del citado río en los términos de Pancrudo, Torre los Negros, Barrachina y Calamocha (Cutanda y Navarrete del Río).



Mapa 2.- Distribución geográfica de las masas de chopo cabecero en el área de estudio

En el conjunto del área de estudio se ha estimado un efectivo de 60.832,12 ejemplares.

Se establecieron cuatro tipologías de arboledas considerando los chopos cabeceros presentes en los sistemas fluviales e ignorando la presencia otros árboles, trasmochos o no: ejemplares aislados, grupos dispersos, masas lineales (simples o dobles) y masas extensas (multilineales o dehesas).

Tipo de masa	Ejemplares aislados	Grupos dispersos	Lineales	Extensas
% (número de individuos)	4,67	16,66	59,71	20,96

Tabla 1.- Distribución en porcentaje del número de chopos cabeceros según la tipología de masa en el conjunto de las cuencas hidrográficas del Aguasvivas, Alfambra, Huerva y Pancrudo.

La densidad lineal media de chopos cabeceros en la red fluvial del área estudiada es de 4,18 ejemplares/hm, considerando todos los sistemas fluviales incluidos en la cartografía E 1:25.000 (I.G.N.). La densidad superficial media de chopos cabeceros en la totalidad del área de estudio es de 13,91 ejemplares/km^2.

Foto 4.- Estrechos del río Alfambra en Galve (Teruel)

El diámetro normal de tronco (d.n.t.) de los chopos cabeceros depende de factores como la edad del árbol, la disponibilidad de agua en el subsuelo, así como de aspectos culturales como son la tasa de eliminación de ejemplares viejos y decrépitos o la vigencia de la práctica de plantar y formar los jóvenes trasmochos. En el conjunto del área de estudio, el d.n.t. está comprendido entre un mínimo de 20 cm y un máximo de 300 cm. El valor que más se repite es el de entre 60-69 cm y la media es de 73,31 cm.

Diámetro normal de tronco (cm)	< 40	40-80	80-120	120-160	160-200	200-300
% (número de individuos)	12,44	60,75	21,00	4,43	0,97	0,31

Tabla 2.- Distribución en porcentaje del número de chopos cabeceros según el diámetro normal de tronco en el conjunto de las cuencas hidrográficas del Aguasvivas, Alfambra, Huerva y Pancrudo.

La altura de la cruz de un chopo cabecero depende de la edad del árbol y de factores culturales asociados a su gestión. En el conjunto del área de estudio está comprendido entre un mínimo de 45 cm y un máximo de 900 cm. El valor medio es de 318,70 cm.

Altura de cruz (cm)	45-144	145-244	245-344	345-444	445-544	545-900
% (número de individuos)	0,97	15,54	46,94	31,48	4,41	0,67

Tabla 3.- Distribución en porcentaje del número de chopos cabeceros según la altura de la cruz del árbol en el conjunto de las cuencas hidrográficas del Aguasvivas, Alfambra, Huerva y Pancrudo.

Para conocer la vigencia del desmoche y, en definitiva, el grado de aprovechamiento de los chopos cabeceros se agruparon los árboles en tres rangos temporales.

Tiempo transcurrido tras el último desmoche (años)	< 10	10-20	20 <
% (número de individuos)	11,06	18,07	70,87

Tabla 4.- Distribución en porcentaje del número de chopos cabeceros según el tiempo transcurrido tras el último desmoche en el conjunto de las cuencas hidrográficas del Aguasvivas, Alfambra, Huerva y Pancrudo.

Foto 5.- Desmoche a motosierra. Aguilar del Alfambra (Teruel)

La proporción de chopos cabeceros muertos y en pie en el área estudiada es de 6,10% estimándose en 3.710,96 ejemplares. La de ejemplares con síntomas de atrincheramiento es del 16,12% lo que corresponde a una estima de 9.207,66 ejemplares. Los chopos cabeceros vivos que muestran inestabilidad de su ramaje con resultado de caída de ramas principales durante los últimos años en la zona de estudio es del 8,81%, es decir 5.032,22 ejemplares estimados. Aquellos que presentan huecos visibles en el tronco o en la cabeza, ascienden al 38,25%, estimándose en 23,268,29 ejemplares. Los árboles afectados por el fuego en el total del área estudiada son el 6,76%, lo que supone una estima de 4.112,25 ejemplares.

3.4. Problemática del chopo cabecero

El principal problema que presenta el chopo cabecero es el desconocimiento de las funciones ecológicas y culturales entre los gestores ambientales y entre el resto de la sociedad en la mayor parte de su área de distribución y hasta tiempos muy recientes.

El abandono de la gestión tradicional por su falta de rentabilidad es el origen de diversos problemas funcionales. Los árboles que pierden el turno de poda tienen ramas cada vez más pesadas, lo que aumenta el riesgo de colapso, al tiempo que disminuye su vitalidad y capacidad de rebrote. Además, su entrada en la senescencia reduce el aprecio por parte de sus propietarios siendo más vulnerables a talas y quemas intencionadas.

Otro problema importante es la disminución de los recursos hídricos para los árboles. Un aumento de la demanda de agua de origen humano provoca un descenso del caudal en los ríos, estando entonces el nivel freático menos accesible. El abandono de acequias o la impermeabilización de las mismas afecta a los árboles que viven junto a ellas.

El desarrollo de la vegetación arbustiva bajo estos árboles por desaparición de la ganadería extensiva aumenta la competencia por este recurso. El empleo del fuego para mantener a raya la vegetación espontánea en riberas y linderos produce daños en los chopos cabeceros siendo un problema creciente.

Otros problemas que afectan a los chopos cabeceros son la tala (autorizada o no) y el anillado de los árboles, las obras de concentración parcelaria, los trabajos de limpieza de ríos, la alteración grave de los cauces fluviales, la construcción de embalses, la canalización de ríos, la minería a cielo abierto, el manejo inadecuado de los árboles en su retrasmocheo, la urbanización de riberas o la falta de reemplazo generacional.

3.5. Funciones ambientales

Los chopos cabeceros modifican los factores abióticos, mediante el filtrado de la luz, el bombeo de agua y de sales minerales desde el subsuelo, el aporte de hojarasca sobre el suelo, la modificación de la dinámica fluvial, entre otras acciones. Igualmente influyen en la composición y la organización de la biocenosis mediante la producción de materia orgánica, la presencia de estructuras (huecos, grietas, charcas, rezumaderos, etc.) o la creación de microclimas.

Son un componente de las riberas transformadas por el ser humano para formar parte de agrosistemas. No pueden considerarse verdaderos bosques, pues se trata realmente del cultivo forestal de una especie autóctona. Son formaciones arboladas que contienen elementos propios de los bosques maduros, como un gran número de árboles grandes y viejos, abundante madera muerta, árboles muertos caídos o en pie, que crean multitud de nichos ecológicos.

Foto 6.- Las larvas de ciervo volante (*Lucanus cervus*) se alimentan de las raíces en descomposición de los chopo cabeceros

La influencia va más allá del entorno inmediato del árbol pues muchos de los organismos que los necesitan pasan buena parte de su tiempo en otros ambientes. Forman también corredores ecológicos entre las montañas y los valles, despliegan kilómetros de ecotonos entre los ríos y los campos o los pastizales, siendo los únicos ambientes forestales en amplias territorios.

Los álamos negros trasmochos son el hábitat de bacterias heterótrofas, cianobacterias, diatomeas, clorofíceas, hongos, líquenes, musgos y plantas vasculares. Así mismo, mantienen a numerosas especies de insectos (especialmente coleópteros), arácnidos, miriápodos y moluscos. Entre los vertebrados destacan las aves y los mamíferos. Hay numerosas especies amenazadas o vulnerables que encuentran su hábitat en estas arboledas aunque prácticamente no han sido estudiados.

Los chopos cabeceros forman el armazón vegetal, las líneas de fuerza, del paisaje de los fondos de valle y de los barrancos en varias comarcas del sur de Aragón. Se encuentran en las riberas de los ríos y arroyos, en ramblas estacionales, acequias, balsas y manantiales entre huertas, campos de secano, prados de montaña, pastos xerófilos, matorrales, bosques, roquedos y núcleos urbanos.

3.6.- Un patrimonio cultural

Los chopos cabeceros son también un registro de la actividad humana en el pasado, pues informan sobre cómo se gestionaban los recursos naturales, los avances del proceso técnico y las relaciones de las personas con su entorno natural.

Es un paisaje cultural que se ha obtenido a partir de un aprovechamiento agrosilvopastoral muy antiguo. Los cambios estacionales que se producen en el follaje de estos árboles imprimen profundas modificaciones en el color y en la fisonomía del paisaje. Las líneas verticales contrastan con las horizontales de los páramos y secanos. Se trata de una singularidad paisajística en el entorno europeo que le otorga una identidad propia y que, como tal, merece protección.

Foto 7.- Los paseos otoñales por estas arboledas ofrecen bienestar a las personas. Allepuz (Teruel)

Los chopos cabeceros forman parte del escenario vital de muchas generaciones en el Sur de Aragón, siendo la zona de juegos, el espacio de aventuras de la adolescencia, la sombra en la comida de la romería, el lugar de trabajo o parte de la hacienda familiar. Son un patrimonio cultural para las comunidades locales que integran vivencias, sensaciones y recuerdos. Es nombrar a un sentimiento de pertenencia y de arraigo que ha conformado la manera de ser y de sentir. Estos árboles comienzan a ser considerados como un patrimonio a defender. El valor emocional de estos árboles trasmochos y la relación afectiva de las personas se ha fomentado mediante la confección de una colección de fotografías antiguas, impartiendo conferencias y a través de la participación en el certamen *European Tree of the Year* 2015.

Son el resultado de una antigua relación entre una especie de árbol y el ser humano que ha producido una sabiduría popular que forma parte de la cultura de unas gentes. Es un tesoro etnológico que es motivo de estudio y de divulgación. El Gobierno de Aragón, a través de la Consejería de Educación, Cultura y Deporte, declaró Bien de Interés Cultural Inmaterial (Decreto 175/2016, de 30 de noviembre) al conjunto de saberes populares relacionados con el cultivo, cuidado y aprovechamiento del chopo cabecero.

En la última década, diversos creadores en el ámbito de la pintura, fotografía, escultura y literatura incluyen a estos árboles como tema de sus obras. Es por ello que se han realizado exposiciones y concursos monográficos. Estos árboles han sido utilizados como un recurso didáctico, especialmente para enseñar a investigar en el ámbito de la etnología y de la ecología, para lo que se han elaborado webs y blogs educativos, cuadernos y otros materiales para trabajar en el campo, así como un aula de naturaleza.

Para darlo a conocer entre la comunidad científica y entre el resto de la sociedad, se han realizado numerosas iniciativas en los últimos años. Se organizaron en 2010 las jornadas "La cultura de los árboles trasmochos en Europa: el chopo cabecero", se han presentado comunicaciones en varios congresos, se han impartido conferencias en jornadas culturales o cursos, se han publicado artículos en revistas divulgativas o técnicas, se ha elaborado el sitio web "El chopo cabecero. La identidad de un paisaje", se han elaborado programas de televisión, una exposición monográfica, editado diversos folletos, emitido un sello postal sobre el tema así como se han realizado diversas actividades lúdicas y reivindicativas por asociaciones culturales.

Foto 8.- Participantes en la IX Fiesta del Chopo Cabecero bajo ejemplar monumental

La Fiesta del Chopo Cabecero es un evento que persigue difundir los valores de estos árboles entre la población local, dándolo a conocer en los pequeños pueblos y en el conjunto de la sociedad. Se celebra cada otoño en una localidad diferente que disponga de buenas masas arboladas. En ella se realiza una excursión para visitar una arboleda, el desmoche de un árbol, exposiciones pictóricas o fotográficas, conciertos de música tradicional, audiovisuales y se otorgan los premios "Amigo del Chopo Cabecero" a personas o entidades que se destacan en la conservación o difusión de estos árboles trasmochos.

3.7. El Parque Cultural del Chopo Cabecero del Alto Alfambra

En 2009 los ayuntamientos de Ababuj, Aguilar del Alfambra, Allepuz, Camarillas, Cedrillas, El Pobo, Galve, Gúdar, Jorcas y Monteagudo del Castillo, así como la Comarca Comunidad de Teruel presentaron a los responsables de Cultura del Gobierno de Aragón un documento para la toma en consideración la declaración de Parque Cultural del Chopo Cabecero del Alto Alfambra. Sería una herramienta de conservación del patrimonio etnológico, paisajístico e histórico que suponen las dehesas de álamo trasmocho y un medio de desarrollo socioeconómico de dicho territorio. Se propuso como eje fundamental

del Parque Cultural un bien singular en Aragón y en el resto de España, que urgía reconocer para garantizar su perpetuación y que correspondía a una tipología patrimonial que hasta el momento no ha sido objeto de reconocimiento dentro de este tipo de figura, lo que reforzaba su carácter novedoso y único, que servía de bandera de un "paisaje cultural rural" constituido por un conjunto de dehesas fluviales.

Este paisaje, que tuvo su origen en las necesidades de las sociedades campesinas preindustriales, conforma una estampa particular y querida que es parte de la identidad de los habitantes e hijos de los pueblos del sur de Aragón, y concretamente del Alto Alfambra, cuenca que condensa las masas de chopos cabeceros más importantes por su cantidad y calidad de Europa. Junto a este patrimonio paisajístico concreto, se incluían otros de excepcional valor, tanto material (arquitectónico, artístico, arqueológico, paleontológico), natural (espacios naturales pertenecientes a la Red Natural de Aragón, lugares de interés geológico, etc.) como inmaterial (tradiciones orales, habla, folclore, etc.), que también merecen estar integrados en el parque cultural. Nueve años después, el Consejo de Gobierno de Aragón, reunido el 24 de abril de 2018, firmó el Decreto 69/2018 por el que se declaraba el Parque Cultural del Chopo Cabecero del Alto Alfambra.

4. Discusión y conclusiones

Los chopos cabeceros son el fruto de un aprovechamiento agroforestal tradicional. Son álamos negros cuidados durante siglos por los agricultores para producir madera de obra, leña y forraje a partir de sus ramas. Son árboles trasmochos. La razón de esta práctica es garantizar el rebrote en un entorno agrario de gran presión ganadera. La repetición de esta corta en turnos de doce años permitía obtener largas ramas y la formación de un tronco de grosor creciente. Esta práctica mantenía al árbol en un crecimiento continuo e incrementaba su longevidad. Son comunes los ejemplares de dimensiones y edades notables para la especie. Es un caso de aprovechamiento sostenible.

Los cambios económicos y técnicos han ocasionado el abandono de la gestión tradicional de los chopos cabeceros. Su aprovechamiento como biomasa en procesos industriales en este momento no resulta rentable por el elevado coste de extracción. Sin embargo, en las últimas décadas la sociedad comienza a percibir estos árboles desde una perspectiva patrimonial, tanto por los valores ambientales que reúnen (diversidad biológica, paisaje y otras funciones ecológicas) como por su interés cultural (etnológico, histórico, artístico) por lo que tiene un potencial dentro del populiturismo. Especialmente, al conocerse que esta singularidad arbórea tiene en la provincia de Teruel su máxima representación en el marco de Europa. El chopo cabecero forma parte de la identidad de estas tierras altas.

Estos árboles conforman un paisaje dotado de personalidad propia, un acervo cultural tradicional legado por los antepasados, una arquitectura vegetal sin igual y desempeñan funciones ecológicas en los agrosistemas de la cordillera Ibérica. El Gobierno de Aragón ha reconocido su interés etnológico mediante la declaración del saber hacer que los ha generado como Bien de Interés Cultural Inmaterial.

Y en los términos municipales de Ababuj, Aguilar del Alfambra, Allepuz, Camarillas, Cedrillas, Galve, Gúdar, Jorcas, Monteagudo del Castillo y El Pobo (Teruel), igualmente el Gobierno de Aragón ha declarado el Parque Cultural del Chopo Cabecero del Alto Alfambra, como una figura de conservación y promoción de este particular patrimonio arbolado, pero también como una herramienta de promoción socioeconómica de este territorio.

5. Bibliografía

DE JAIME, CH. 2015. Distribución geográfica, estimación de la población y caracterización de las masas de chopo cabecero en las cuencas del Aguasvivas, Alfambra, huerva y Pancrudo. Tesis doctoral. Universidad de Zaragoza. 588 p. Zaragoza.

GREEN, E.; 1996. Pollarding. Origins and some practical advice. *British Wildlife,* 8:2, p. 100–105

JAIME, F.; 1956. El chopo. Práctica de su plantación y tratamiento. Ministerio de Agricultura. Madrid.

MANSION, D.; 2010. Les trognes, l'arbre paysan aux mille usages. Editions Ouest-France. 144 p. Rennes

READ, H.; 2008. Pollards and pollardin in Europe. *British Wildlife,* 19, p. 250–259

BELLIDO, T. ; LÓPEZ, J.R.; 2008. Estudio ecológico, etnológico y paisajístico de los chopos cabeceros en el Valle del Jiloca
http://chopocabecero.es/

El chopo como materia prima e instrumento medioambiental

DE BUSTAMANTE, I.[1,2]; LILLO, J.[3,2]; HERNÁNDEZ, J.[2]; LEAL, M.[4]; MEFFE, R.[2]; DE SANTIAGO, A.[2]; MARTÍNEZ-HERNÁNDEZ, V.[2]

[1] Universidad de Alcalá
[2] iMdea Agua
[3] Universidad Rey Juan Carlos
[4] CEDEX

Palabras clave
Filtro verde, reutilización.

1. Introducción

Según el Informe Mundial de las Naciones Unidas sobre el Desarrollo de los Recursos Hídricos de 2017 (UNESCO, 2017) las aguas residuales están cobrando importancia como fuente de agua alternativa fiable, cambiando el paradigma de la gestión de aguas residuales de "tratamiento y eliminación" a "reutilización, reciclado y recuperación del recurso". En este sentido, las aguas residuales ya no se consideran como un problema que necesite solución, sino como parte de la solución a los retos a los que se enfrentan las sociedades hoy en día.

Los recursos hídricos convencionales han alcanzado un grado de regulación muy elevado y no se vislumbra en el futuro un incremento sustancial de los mismos. El incremento de las demandas (más de 7.600 millones de habitantes), agravado por períodos de sequía (meteorológica e hidrológica), lleva a la necesidad de utilizar otro tipo de recursos donde esto resulte factible. Además, el gran desarrollo de la depuración en las últimas décadas permite un elevado uso potencial de agua regenerada, especialmente en zonas con escasez de agua, donde la reutilización supone un incremento de recursos. De esta forma, siempre y cuando ofrezca garantía de suministro y seguridad, tanto desde el punto de vista sanitario como ambiental, se generaría una fuente de agua alternativa para actividades que no requieran calidad de agua potable o liberando agua de fuentes naturales para destinarla al abastecimiento.

Según el índice WEI (*Water Explotation Index*), España tiene unas tasas de explotación de agua (consumo anual/recursos) del 30%, lo que nos convierte en el país europeo (excluidos Chipre y Bélgica), con mayor déficit hídrico (EIONET database). Según los últimos datos del Instituto Nacional de Estadística (INE), en el año 2014 el volumen total de agua residual depurada fue de 4.942,13 hm^3, de los cuales únicamente se reutilizaron unos 530,71 hm^3 (algo más del 10,5%). La gran variedad de factores que intervienen en la decisión sobre la reutilización de aguas residuales dificulta su cuantificación. No obstante, los estudios existentes indican el enorme potencial de nuestro país en ese tema, que algunos autores llegan a cifrar en 1.300 hm^3. Las causas por las que no se ha realizado una apuesta decidida por la reutilización de las aguas residuales en España son muy variadas: de percepción social, de tipo técnico, de tipo legal, incluso económicas (coste que supone para los usuarios finales el agua regenerada). En España, el 79,8% del agua reutilizada se usa en riegos (61,3% en agricultura y 18,5% en jardines y campos de golf), el 8,2% para usos industriales, el 0,6% para baldeo de calles y el 11,4% para otros usos (INE, 2014).

La aplicación de aguas tratadas al terreno constituye una técnica de reutilización robusta donde el tratamiento de regeneración del agua está basado en procesos naturales. Esta técnica presenta numerosas ventajas: la regeneración del efluente, el reúso del agua (para riegos, recarga de acuíferos y

producción de biomasa), la mejora paisajística (al no producir impactos visuales negativos), la mitigación de los efectos del cambio climático (fijación de carbono atmosférico) y su bajo coste de instalación y mantenimiento. Dentro de estas tecnologías se encuentran los Filtros Verdes (FVs). En el contexto legal establecido por el RD 1620/2007, donde se define el concepto de aguas regeneradas como «aguas residuales depuradas que, en su caso, han sido sometidas a un proceso de tratamiento adicional o complementario que permita adecuar su calidad al uso al que se destinan», los FVs constituyen un sistema regenerador de aguas depuradas, ya que el agua infiltrada va a experimentar una mejora adicional de su calidad en su percolación a través del suelo.

De esta manera, se puede considerar que esta tecnología no sólo constituye un método de reutilización de agua depurada, sino una buena alternativa para el riego de cultivos bioenergéticos o forestales. Este tipo de sistemas proporciona una serie de ventajas adicionales, como son: a) el agua tratada representa una fuente constante y segura de agua, aún en periodos de sequía, b) es un aporte continuo de nutrientes (N, P, K y otros microelementos) para las plantas, lo que representa además un ahorro en gastos de fertilización, c) contribuye a la conservación de los recursos hídricos de mayor calidad para otros usos y, como se ha dicho anteriormente, d) representa una posible reducción del coste económico del agua destinada a riego (De Bustamante *et al.*, 2009a).

Los cultivos forestales con especies de crecimiento rápido, como es el caso de las especies de *Populus spp*. y de sus híbridos, tanto en diseños de cultivo para la obtención de madera como en alta densidad para la producción de biomasa, han mostrado una alta adecuación para ser regados con aguas tratadas. El chopo es una especie que demanda y tolera elevados aportes de agua. Esto implica que el agua no evapotranspirada por el árbol se infiltra y sufre un tratamiento adicional a través del terreno produciendo la recarga del acuífero a través del retorno de riego. Además, el género *Populus* recoge especies muy eficaces en la fitorremediación de suelos contaminados con metales y también se utilizan plantaciones como áreas tampón para los nitratos, fosfatos y pesticidas utilizados por la agricultura, reduciendo la contaminación y la eutrofización de las aguas de superficie (Rueda *et al*. 2017).

En este trabajo se recogen los resultados de investigaciones y experiencias que se han llevado a cabo por el grupo de investigación FILVER.

2. Resultados

Un FV es una superficie de terreno cubierta por una plantación forestal a la que se aplican, de forma sistemática y programada, aguas residuales tratadas. El FV se integra fácilmente en el paisaje, contribuyendo al incremento de la masa vegetal y, por tanto, al aumento de la biodiversidad y conservación del medio. En el balance del agua aplicada, una parte se evapora y el resto es captada por las raíces de los árboles y filtrada a través del suelo. La depuración se produce mediante la acción conjunta del suelo, los microorganismos y las plantas, a través de mecanismos físicos, químicos y biológicos (De Bustamante *et al.*, 1998). Los principales problemas que presentan en la actualidad este tipo de plantas son dos: su diseño y su explotación.

Cuando se diseña un FV hay que tener en cuenta que se va a añadir una cierta cantidad de agua que va a modificar el balance hídrico natural, por lo que el diseño debe pasar por realizar un balance, decidir la carga hidráulica a aplicar y recalcular el balance con esta carga. Partiendo de esta premisa, lo primero que hay que hacer es evaluar el medio en donde se va a implantar el filtro verde, analizando factores del medio físico (clima, topografía, litología, edafología e hidrogeología), factores forestales (usos del suelo,

especie seleccionada, técnica de riego), factores de calidad (características de las aguas residuales), capacidad de autodepuración del medio (geótico y biótico y legislación vigente), factores tecnológicos (control y gestión automatizados) y factores socioeconómicos (impacto ambiental, costes de instalación y mantenimiento en el entorno de la economía sustentable) (De Bustamante *et al.*, 2001; De Bustamante *et al.*, 2009a). Una vez evaluada la zona, se pueden comenzar a manejar distintos criterios de diseño, que se basan fundamentalmente en si se quiere o no producir la recarga del acuífero subyacente. La decisión a adoptar va a depender de la calidad del efluente obtenido y condicionará la superficie de la instalación (Mateos *et al.*, 2000; De Bustamante *et al.*, 1999). Existen varias formas de calcular la superficie necesaria para la planta: habitantes equivalentes, permeabilidad del suelo, carga y balance de nitrógeno, balance hídrico, etc.

En nuestra experiencia, la metodología que da mejores resultados es la basada en balances hídricos (De Bustamante *et al.*, 2009b). Esta metodología de diseño se utilizó por primera vez en Redueña, una pequeña población en la Comunidad de Madrid, que tenía un FV de 1,85 ha para depurar las aguas residuales del municipio y que estaba en pésimas condiciones de conservación: la pérdida de ejemplares era muy alta por falta de agua y por plagas. El agua residual del municipio era pretratada a la entrada del FV y posteriormente aplicada a la plantación forestal (chopera en este caso) por inundación. Después de analizar los factores que iban a intervenir en la depuración del agua residual, se recalculó la superficie del FV, aproximándose esta a 3.000 m^2 (2.000 m^2 de FV regados a 1ETP mediante surcos y 1.000 m^2 de zona de salvaguarda). La densidad de plantación fue de 2.000 individuos por hectárea y la especie utilizada *Populus ×euramericana*.

El uso de especies de rápido crecimiento, como chopos, sauces y eucaliptos, con grandes requerimientos hídricos y nutritivos (de Miguel *et al.*, 2014) y cuyas raíces sean tolerantes a condiciones anaerobias (Herschbach *et al.*, 2005; Persson y Lindroth 1994), permite la aplicación de grandes volúmenes de agua residual mejorando además la capacidad de eliminación de nutrientes. Habitualmente, en climas fríos se utilizan sauces (Salix spp.) y en climas templados chopos (Populus spp.) (Dimitriou y Rosenqvist 2011 ; Romano *et al.*, 2013; De Miguel *et al.*, 2014; Cozzi *et al.*, 2015). Tradicionalmente, en los FVs se utilizaba una baja densidad de plantación (300-500 plantas/ha) y turnos largos de corta (15-17 años) con el fin de obtener madera de calidad (De Bustamante, 1990; Magesan y Wang, 2003; Sanz *et al.*, 2013). En la actualidad, y también con el fin de maximizar la capacidad de tratamiento del filtro frente a la superficie requerida, estos sistemas se enfocan a la producción de madera de biomasa y, por tanto, se emplean altas densidades de plantación (>10.000 plantas/ha) y turnos bajos de corta (2-4 años), pasando a denominarse filtros verdes intensivos (FVIs).

Una experiencia de este tipo de instalación de FVI, se llevó a cabo en la Fundación CENTA en el municipio de Carrión de los Céspedes (Sevilla), con el fin de evaluar la capacidad regeneradora de la zona no saturada (ZNS) en la eliminación de los contaminantes del agua residual procedente de un edificio de oficinas, caracterizado por una elevada carga orgánica y de nitrógeno y un caudal en torno a 0,21 m^3/día. El agua residual, antes de ser aplicada a la superficie forestal, es sometida a un pretratamiento mediante un tanque imhoff. El FVI ocupa una superficie de 77 m^2, la especie utilizada fue *Populus alba* y se diseñó con un marco de plantación intensivo (10.000 pies / ha) para maximizar la captación de nutrientes por la planta. Con el objetivo de controlar la eficiencia del sistema, se instaló un lisímetro de succión a 90 cm de profundidad, que permitía el muestreo periódico del agua infiltrada a través de la ZNS y un piezómetro, aguas abajo del FVI, de 10 m de profundidad y ranurado en su último metro. Los rendimientos que se alcanzaron en la reducción de contaminantes fueron del 85% para la materia orgánica, un 90% del fósforo total (P_T) y un 73% en el caso del nitrógeno total (N_T). No se observó ninguna alteración significativa en la

calidad del agua subterránea como consecuencia de la infiltración del agua lixiviada (de Miguel *et al.*, 2014).

En esta misma instalación se llevó a cabo un estudio sobre la posibilidad de emplear FVI para la eliminación de Contaminantes Orgánicos Emergentes (COEs). Los COEs son compuestos no regulados que incluyen diferentes grupos de sustancias como fármacos, productos de cuidado personal, estimulantes, productos veterinarios, industriales y aditivos entre otros, además de sus metabolitos y productos de transformación. Estas sustancias se detectan frecuentemente en el agua de distintos compartimentos ambientales debido a que los tratamientos convencionales de las aguas residuales no son capaces de eliminarlos completamente. Si bien es cierto que hasta la fecha los efectos de estos contaminantes no se conocen con detalle, la presencia de los mismos en el medio ambiente está generando cierta preocupación. Tanto es así, que algunos de ellos (un antiinflamatorio y varios antibióticos) se han incluido recientemente en una lista de observación elaborada por la Unión Europea para su control y seguimiento.

Los contaminantes estudiados son los analgésicos acetaminofén, codeína, naproxeno, dipirona y 4 de sus metabolitos (4-AA, 4-AAA, 4-DAA y 4-FAA); el betabloqueante atenolol; los estimulantes cotinina (metabolito de la nicotina), cafeína y su metabolito paraxantina; el anticonvulsivo carbamazepina; el antidepresivo citalopram; el anti-inflamatorio ketoprofeno; y el antibiótico sulfametoxazol. Los COEs se analizaron en muestras recogidas a la salida del tanque Imhoff, en el lisímetro y en el agua subterránea. Los resultados obtenidos demostraron que los primeros 90 cm del suelo son los más eficaces en la atenuación de estos compuestos, alcanzándose porcentajes de eliminación superiores al 90% en todos los casos excepto para el ketoprofeno, que podría alcanzar el agua subterránea. Los principales procesos responsables de esta atenuación son la sorción y la biodegradación. Cuando las cargas superficiales que presentan estos compuestos son positivas, se favorece la sorción por procesos de intercambio catiónico, complejación o mediante la formación de puentes de hidrógeno, mientras que los compuestos ionizados negativamente sufren repulsiones electrostáticas, como es el caso del ketoprofeno. En el caso del acetaminofén, contaminante para el que se han obtenido los mejores resultados, su eliminación debe estar fundamentalmente determinada por la biodegradación, ya que es un compuesto neutro (sin carga superficial al pH ambiental) y con baja hidrofobicidad (Martínez-Hernández *et al.*, 2018).

Siguiendo con los estudios de eliminación de COEs, se ha llevado a cabo, junto con la empresa Valoriza Agua, un estudio piloto con la instalación de un FV en la EDAR de La Franca (Principado de Asturias). El objetivo de este estudio es regenerar el efluente de la depuradora, reduciendo la concentración de nutrientes (N y P) y eliminando los COEs (Álvarez *et al.*, 2017). El FVI instalado tiene una superficie de 100 m^2 y una densidad de plantación de 10.000 plantas/ha de sauce (*Salix Purpurea*). Para mejorar el rendimiento, al suelo original se le añadió una mezcla de suelo vegetal con virutas de madera de sauce hasta una profundidad de 15 cm, atendiendo a los resultados obtenidos previamente en laboratorio (Meffe et *al.,* 2016). Los resultados mostraron cómo las concentraciones de N_T y P_T en el agua a la salida del FVI se redujeron con respecto a la entrada, en un 48,4 y 60,6% de media, respectivamente. En el caso del P_T se alcanzó un valor máximo de eliminación superior al 88,0% y en el del N_T del 68,4%. Las virutas de madera utilizadas como enmienda propiciaron la eliminación tanto del N_T como de los COEs. Con respecto a los COEs, se observó que, en tres de los cuatro muestreos realizados, existía una atenuación de su concentración en el agua a su paso por el FVI. La atenuación puede deberse a fenómenos de retención y de biodegradación que ocurren como consecuencia de la estimulación de la actividad microbiana y del aumento de los sitios de sorción por la incorporación del suelo vegetal y de las virutas de madera. El escaso recorrido del agua de entrada al FVI a través del conjunto suelo-sustrato podría explicar que los rendimientos alcanzados para N_T, P_T y COEs no sean aún mayores. En este sentido, existe una fina capa de unos 15 cm de suelo sobre la cama de grava que rodea los drenajes. Esto implica un tiempo de residencia

muy corto en el suelo y, por tanto, una limitada interacción entre los contaminantes y los distintos agentes naturales que propician su eliminación.

Actualmente, se está trabajando en el proyecto de investigación FILVER+, financiado por el Ministerio de Economía y Competitividad (Ref. CTM2016-79211-C2-1-R), con un FVI sobre una parcela experimental localizada en el Instituto iMdea Agua, en la localidad de Alcalá de Henares (Comunidad de Madrid). En dicho proyecto se aborda el desarrollo de un Filtro Verde Intensivo Enmendado (FVIE), a partir de un FVI construido previamente, que actúe como tratamiento secundario y terciario, en donde se maximice la eliminación de nutrientes, agentes patógenos y contaminantes emergentes mediante la aplicación de enmiendas de bajo coste y fácil adquisición. Con ello se busca tanto reducir los requisitos de superficie de los FVI como aumentar la calidad del agua infiltrada para disminuir las afecciones al acuífero subyacente.

En la parcela se han construido dos FVS, un FVI y un FVE con virutas de madera, ambos con una superficie de 56 m^2, en los que se ha instalado una plantación de chopos (*Populus ×euramericana* clon 'I-214') en alta densidad (8.600 pies/ha). La parcela en donde se sitúan los FVs es una terraza baja del río Henares, constituida por gravas de cantos mayoritariamente cuarcíticos. En la parte superior de la terraza se desarrolla un Calcisol, con textura franco-limosa; las aguas subterráneas son bicarbonatadas cálcico-magnésicas y el nivel piezométrico local se sitúa entre los 602 m.s.n.m. y 605 m.s.n.m, lo cual se corresponde, en términos de profunidades medidas desde la superficie del terreno, a valores que oscilan entre 0,02 m y 6,22 m. La media anual de precipitación y temperatura es de 389,8 mm y 14,5 ºC, respectivamente (AEMET, 2015).

El FVI se riega con el agua residual procedente del edificio del centro de investigación y pretratada en un tanque Imhoff. Este FVI será enmendado (evolucionando entonces a FVIE) con astillas de madera o biochar (ambos procedentes de la poda de los chopos), en función de los resultados obtenidos a escala de laboratorio en ensayos de columna que se están llevando a cabo actualmente. El FVE se riega con agua depurada procedente de un humedal artificial. Tanto el FVI como el FVE están equipados con un caudalímetro y un piezómetro ubicado aguas abajo de cada uno de ellos, para controlar la calidad del agua subterránea con la incorporación de los retornos de riego. Además, existen otros tres piezómetros distribuidos en la parcela, uno situado aguas arriba de los FVs, el cual representa la calidad del agua subterránea de fondo, y los otros dos situados en lugares estratégicos para controlar la piezometría local. El FVI se encuentra equipado con cápsulas de succión instaladas a 15 cm y 45 cm de profundidad, las cuales permiten el muestreo de agua en la zona no saturada. Ambos FVs se han diseñado en función del volumen de agua residual generado en el edificio del instituto iMdea Agua (2-3 m^3/día) en los meses con mayores necesidades hídricas. Esta agua residual se reparte entre el FVI y el humedal artificial (Pérez-Barbón *et al.*, 2017).

Los resultados preliminares, en términos de concentraciones de las principales especies de N y P (todavía no se dispone de datos de COEs), obtenidos a escala de laboratorio en las columnas se muestran en la Tabla 1. Puede observarse la mayor eficacia en la eliminación de nutrientes en la columna que contiene una mezcla de suelo con astillas de madera, siendo destacable la concentración en el efluente de NO_3-N en esta columna comparado con los valores obtenidos en el resto.

	Concentraciones en mg/L							
	N_T	P_T	NO_3^-	HPO_4^{2-}	NH_4^+	NO_3-N	NH_4-N	PO_4-P
Entrada de agua residual sintética	46,13	4,94	0,81	12,23	53,24	0,18	41,34	3,99
Efluente de la columna con suelo	73,00 (-58,3%)	0,17 (96,6%)	324,38	0,37	18,65	73,28	14,48	0,10
Efluente de la columna con suelo y astillas de madera	4,81 (89,6%)	0,15 (96,9%)	18,43	0,42	17,71	4,16	13,75	0,14
Efluente de la columna con suelo y biochar	51,63 (-11,9%)	0,27 (94,6%)	227,88	0,91	16,38	51,48	12,72	0,30

Tabla 1: Concentraciones (mg/L) de nutrientes en los ensayos en columna de laboratorio. Entre paréntesis se indican los porcentajes de eliminación por comparación entre la concentración en la entrada y en la salida.

La concentración media de NO_3-N en el agua subterránea aguas arriba de los FV es de 6,95 mg/L, mientras que en los piezómetros aguas abajo del FVE y del FVI es de 9,09 mg/L y 6,13 mg/L, respectivamente.

Las concentraciones de las principales especies de N y P (todavía no se dispone de datos de COEs) en el agua de infiltración que se recoge en las cápsulas de succión colocadas en el FV se presentan en la Tabla 2. Con la adición de astillas de madera al suelo del FV se espera reducir, en órdenes similares a lo observado en los reactores de infiltración, las elevadas concentraciones de NO_3-N detectadas a 45 cm de profundidad.

	Concentraciones en mg/L				
	NT	PT	NH4+	NO3-N	PO4-P
Agua residual pretratada	42,23	3,50	47,22	0,06	3,82
Cápsula 15 cm	107,70	2,49	13,08	7,30	2,19
Cápsula 45 cm	36,00	0,41	0,13	29,27	0,12

Tabla 2: Concentraciones de las principales especies del N y del P en el agua residual pretratada y en las cápsulas de succión colocadas en el FV

En general, la explotación de la plantación suele ser ineficiente debido a la falta de planificación de esta (dotaciones de riego no adecuadas, falta de limpieza de dispositivos, falta de control en la calidad, etc.). Desde un punto de vista ambiental, interesa que el mayor volumen posible de agua llegue a infiltrarse hasta el acuífero, ya que contribuye a su recarga, pero evitando la contaminación de las aguas

subterráneas, lo que se consigue realizando un seguimiento en tiempo real de la calidad y cantidad del agua infiltrada que permita actuar de manera inmediata sobre el caudal de riego (Alpuente *et al.*, 2002).

Como ejemplo de mala gestión, podemos mencionar el caso del FV de Redueña, en el que además del sobredimensionamiento en el diseño, se regaba por inundación, no se tenía cuidado en cambiar las parcelas de riego, no se realizaba ningún tratamiento cuando los árboles estaban enfermos, no se roturaba nunca el suelo, etc.

Como ejemplos de buena gestión, estarían los casos de CENTA, La Franca e iMdea Agua; en estas tres instalaciones, los procesos de depuración y/o regeneración se producen con altos rendimientos, las pérdidas son muy escasas y hay una producción de biomasa que puede ser valorizada.

3. Conclusiones

La experiencia adquirida por el grupo de investigación FILVER demuestra que los FVs son tecnologías de reutilización de aguas que, si son manejadas de la forma apropiada, suponen múltiples beneficios. Entre ellos destacan la regeneración del efluente, el reúso del agua y la mejora paisajística. La eficacia en la eliminación de nutrientes, materia orgánica y COEs de estos sistemas ha sido largamente demostrada por el grupo FILVER, que desde hace varios años dirige sus esfuerzos en diseñar y optimizar los FVs. La optimización de los mismos se ha basado en: i) aumentar la densidad de plantación y reducir los turnos de poda, reduciendo así la superficie necesaria; y ii) añadir enmiendas que fomenten y mejoren los procesos de depuración del agua. La optimización de los FVs siempre ha estado alineada con el concepto de Economía Circular donde las enmiendas son un producto del propio FV. Hoy más que nunca los FVs recobran su importancia estratégica de acuerdo con el informe de 2018 de Naciones Unidas que destaca el potencial de las “soluciones basadas en la naturaleza” (*Nature-based Solutions*) como una forma de afrontar los actuales desafíos de la gestión del agua en todos los sectores.

5. Bibliografía

ALPUENTE, J.; LÓPEZ-ESPÍ, P.; DE BUSTAMANTE, I.; SANZ, J.; SÁNCHEZ GOLMAYO, J.; 2002. Filtros verdes autogestionados: una solución ambientalmente correcta para la depuración de aguas residuales urbanas en el medio rural. En: CONAMA, I, 11 - 14. TIASA, Madrid.

ÁLVAREZ, A.; MEFFE, R.; PÉREZ-BARBÓN, A.; DÍAZ, A.; TERRERO, P.; CAMPOS, E.; DE BUSTAMANTE, I.; 2017. Regeneración de aguas tratadas mediante filtros verdes intensivos. La experiencia piloto en la depuradora de La Franca en Asturias. RETEMA. 30/198, 44 - 51.

COZZI, M.; VICCARO, M.; DI NAPOLI, F.; FAGARAZZI , C.; TIRINNANZI , A.; ROMANO, S.; 2015. A spatial analysis model lo assess the feasibility of short rotation forestry fertigated with urban wastewater: Basilicata region case study. Agric. Wat. Manag., 159, 185-196.

DE BUSTAMANTE; 1990. Land application: it's effectiveness in purification of urban and industrial wasters water in La Mancha (Spain). Envir. Geol. & Wat. Sci. 16: 3, 179-185.

DE BUSTAMANTE, L., DORADO, M., VERA, S., OLIVEROS, C., 1998. Filtros verdes, un sistema para la depuración y reutilización de aguas residuales. Tecnoambiente, 79, 73-76.

DE BUSTAMANTE, I.; DORADO VALIÑO, M.; TOMÁS, A.; VERA, S.; 1999. Depuración de aguas residuales mediante técnicas de depuración no convencionales: el filtro verde de Patones. Geogaceta, 26, 15-8.

DE BUSTAMANTE, I.; ALPUENTE, J.; SANZ, J.M.; LÓPEZ-ESPÍ, P.; DORADO, M.; LÓPEZ, F.; ROQUERO, E.; 2001. Nueva metodología de diseño, control y gestión de filtros verdes. Aplicación a sistemas en funcionamiento. En: Hidrogeología y Recursos Hídricos. XXIV, pp. 585-594.

DE BUSTAMANTE, I.; LILLO, J.; DE MIGUEL, A; LEAL, M.; 2009a. Hacia una definición de las buenas prácticas en la regeneración de aguas mediante tecnologías extensivas: la caracterización del medio geológico. Seguridad y Medio Ambiente, 117, 36 – 49.

DE BUSTAMANTE, I.; LILLO, J.; SANZ, J.; DE MIGUEL, A.; GARCIA, E.; CARREÑO, F.; GOMEZ, D.; MARTIN, T.; MARTINEZ, F.; CORVEA, JL.; 2009b. A comparison of different methodologies for designing land application systems: Case study at the Redueña WWTP. Desalinat. and Wat. Treat. 4, 98-102.

DE MIGUEL, A.; MEFFE, R.; LEAL MECA, M.; GONZÁLEZ NARANJO, V.; MARTÍNEZ-HERNÁNDEZ, V.; LILLO J.; MARTÍN, I.; SALAS, J.J.; DE BUSTAMANTE, I.; (2014). Treating municipal wastewater through a vegetation filter with a short-rotation poplar species. Ecol. Eng., 73, 560-568.

DIMITRIOU, I. & ROSENOVIST, H.;2011. Sewage sludge and wastewater fertilisation of Short Rotalion Coppice (SRC) for increased bioenergy production - Biological and economic potential. Biomass & Bioenergy, 35 (2), 835-842.

HERSCHBACH, C.; MULT, S.; KREUZWIESEA, J.; KDPRIVA, S.; 2005. Influence of anoxia on whole plant sulphur nutrition of flooding-tolerant poplar (Populus tremula x P. alba). Plant, Cell and Envir., 28(2), 167-175.

MARTÍNEZ-HERNÁNDEZ, V.; LEAL, M.; MEFFE, R; DE MIGUEL, A.; ALONSO-ALONSO, C.; DE BUSTAMANTE, I.; LILLO, J.; MARTÍNEZ, I.; SALAS, J.J. 2018.Removal of emerging organic contaminants in a poplar vegetation filter. Jour. Haz. Mat. 342, 482–491

MATEOS, J.; DE BUSTAMANTE, I.; DORADO, M.; SANZ, J.M.; 2000. Condicionantes hídricos en el diseño de filtros verdes. Geotemas, 1 (3), pp. 139-143.

MEFFE R.; DE MIGUEL A.; MARTÍNEZ-HERNÁNDEZ V.; LILLO J.; DE BUSTAMANTE I.; 2016. Soil amendments using poplar woodchips to enhance the treatment of wastewater-originated nutrients. Jour. Environ. Manag. 180, 517-525

MAGESAN, G. & WANG, H.; 2003. Application of municipal and industrial residuals in New Zealand forests: an overview. Soil Res., 41(3), 557-569.

PÉREZ-BARBÓN, A.; DE BUSTAMANTE, I.; LILLO, J.; 2017. Filtros verdes intensivos para depuración y reutilización de agua. RETEMA. 29/196, 82 - 88.

PERSSON, G. y LINOROTH, A.; 1994. Simulating evaporation from short-rotation forest: variations within and between seasons Jour. Hidrol., 156(1-4), 21-45.

SANZ, J.M.; DE MIGUEL, Á.; DE BUSTAMANTE, I.: DE TOMÁS, A.; GOY, J.L.; 2013. Technical, financial and location criterría for the design of land application system treatment. Environ. Earth Sci., 71 (1), 13-21

ROMANO, S.; COZZI, M.; VICCARO, M.; DINAPDLI, F.; 2013. The green economy for sustainable development: A spatial mulli-criteria analysis - ordered weighted averaging approach in the siting process for short rotation forestry in the Basílicata. Region, Italy. Italian Jour. Agr., 8 (3), 158-167.

RUEDA, J.; GARCÍA CABALLERO, J.L.; CUEVAS, Y.; GARCÍA-JIMÉNEZ, C.; VILLAR, C. 2017. Cultivo de chopos en Castilla y León. Consejería de Fomento y Medio Ambiente, Junta de Castilla y León. Valladolid. 111 pp.

UNESCO; 2017. Aguas Residuales el recurso desaprovechado. UNESCO, París, 184 pp.

Agradecimientos

Este trabajo se enmarca en el proyecto CTM2016-79211-C2-1-R, financiado por el Ministerio de Economía y Competitividad.

En qué no pensamos cuando pensamos efectuar una plantación con chopos autóctonos

PRADA SÁEZ, M.A.[1]; RUEDA, J.[2]
[1] VAERSA
[2] Junta de Castilla y León

Palabras clave
Plantas, *Populus*, diversidad genética, adaptabilidad.

1. Introducción

Los ríos españoles y su entorno próximo han sufrido históricamente un intenso deterioro por la ocupación de los espacios que les son propios con objeto de transformarlos para la actividad agropecuaria y el asentamiento urbano. Asimismo, la dinámica fluvial y la calidad de sus aguas se han visto gravemente afectadas por las infraestructuras creadas para facilitar la captación de agua para consumo humano y de regadíos, para la obtención de energía y paliar las avenidas, así como por utilizarse como vía de evacuación de residuos urbanos y rurales (González del Tánago y García de Jalón, 2007). En un estudio a escala de la Península Ibérica, Lobera *et al.* (2015) describen las alteraciones que, desde el punto de vista geomorfológico, experimentan los ríos, debido, principalmente, a la regulación de caudales. Un ejemplo de estas alteraciones a escala de río y su impacto en la vegetación, es estudiado por Magdaleno *et al*. (2011a y b). Estos autores estiman que durante el siglo XX, en el Ebro, el área de ocupación de la vegetación riparia se ha reducido en un 35% debido a la alteración de la estructura geomorfológica del río.

Esta visión de los ríos, como valor de uso directo, cambió a finales del siglo XX, en consonancia y como respuesta a las primeras políticas de conservación de la biodiversidad, entre las que destaca el llamado Convenio de Río. Así, las actuales políticas europeas sobre la gestión de las aguas continentales requieren una concepción holística en la gestión de los ríos, como ecosistemas complejos, e incorporar sus valores medioambientales y sociales (Directiva 2000/60/CE; MMA, 1998).

Como consecuencia de esta nueva consideración de los cursos de agua, se observa un incremento de las acciones de revegetación de riberas por parte de diferentes administraciones públicas, ONGs y otros colectivos, en algunos casos enmarcadas en proyectos de restauración hidrológica o simplemente en iniciativas aisladas de plantación. Estas acciones para la recuperación de la cubierta vegetal en las riberas españolas ha significado un aumento en la producción en viveros de plantas de especies riparias, incluidos los chopos. Al respecto, cabe indicar que el género *Populus* está regulado por la normativa europea de comercialización de materiales forestales de reproducción, que pretende garantizar su trazabilidad, desde la recolección de estos materiales hasta la entrega al usuario final.

Las acciones de revegetación suelen abordarse, por desconocimiento o por estar sujetas a una limitación de costes, o bien por pretender resultados visibles a muy corto plazo, sin tener en cuenta aspectos importantes que promueven la capacidad de adaptación y evolución de las nuevas poblaciones (Thomas *et al*., 2014). Asimismo, la acción humana, a través de las revegetaciones, interviene de manera acusada en los procesos evolutivos de las especies que no presentan poblaciones extensas y continuas, como las de los chopos, y que por lo tanto son más vulnerables. Estas actuaciones no deben conducir a modificaciones no controladas de los recursos genéticos existentes que podrían poner en peligro la integridad y la adaptabilidad de las poblaciones naturales.

A la vista de los diferentes conocimientos técnicos y científicos de que se dispone, de las deficiencias observadas en la praxis y de los peligros potenciales que puede acarrear una gestión inadecuada de los recursos genéticos de los chopos, esta comunicación pretende ofrecer una serie de reflexiones para mejorar la calidad de las nuevas poblaciones que se establecen y conservar los recursos existentes.

2. ¿En qué no pensamos? Algunas realidades y potenciales amenazas

Selecciones artificiales no controladas

El proceso de producción de especies autóctonas en vivero está siempre acompañado de selecciones artificiales no controladas (Espeland *et al*., 2016). Así, es frecuente que se produzcan selecciones convergentes en el momento de la recolección de las semillas, al muestrear genotipos con frutos maduros en el momento de su recolección. Se observa también, en la práctica, que se tiende a recolectar y producir un mayor número de estaquillas de pies que tienen mayor facilidad para propagarse vegetativamente. Las condiciones homogéneas de cultivo también son motivo de selección artificial, ya que las plantas se producen en un ambiente uniforme con presiones de selección que tienden a favorecer determinados genotipos. Asimismo, pueden tener lugar selecciones convergentes cuando los genotipos de distintas procedencias tienden a ser seleccionados en un ambiente común por producirse en un mismo vivero, es decir, hacia una misma dirección.

Las selecciones no controladas implican una reducción de la diversidad genética de los lotes de plantas, con resultados inciertos desde el punto de vista de la adaptabilidad de las poblaciones y de su evolución. Cabe destacar que estas selecciones en la fase de recolección de materiales forestales de reproducción se efectúan sobre caracteres reproductivos, de gran importancia desde el punto de vista adaptativo.

Selección natural a edades tempranas

Los individuos que se plantan en campo no se han visto sometidos a selección natural a edades tempranas. Debe tenerse en cuenta que esta selección es la fuerza directriz de la evolución, que actúa sobre los fenotipos, y lo hace de manera muy acusada en la regeneración natural desde los procesos reproductivos, en la fase de germinación y en las primeras etapas de desarrollo de los individuos.

En este sentido, en las plantaciones se debe efectuar un esfuerzo importante en la elección de los micrositios donde se van a instalar las plantas, ya que pueden producirse mortandades a edades más o menos tardías si no se eligen los sitios más adecuados. Desde este punto de vista la regeneración natural, cuando ésta es posible, resulta mucho más eficiente.

Flujo génico y adaptabilidad

El flujo génico en chopos se produce de manera natural por el movimiento de genes a través del polen transportado por el viento, de las semillas que son trasladadas por el viento y por el agua, y mediante el arranque y transporte de partes de plantas por las riadas. Así, las plantaciones en las riberas actúan como una fuente de migración; cuando los individuos plantados llegan a la edad reproductiva, aportan sus genes a la siguiente generación. Este movimiento artificial no es, en sí, negativo, siempre que no dé lugar a introgresiones de genes que impliquen la supresión de las adaptaciones locales en las poblaciones autóctonas o la reducción de su diversidad genética. Esta potencial amenaza presenta mayores

probabilidades de ocurrencia en especies con poblaciones relativamente pequeñas, como las de los chopos.

La introgresión de genes no deseada tiene su máxima expresión en la hibridación con especies no autóctonas. Así, se han constatado la introgresión en *Populus nigra* de genes de híbridos interamericanos (Vanden Broeck *et al*., 2004.; Pospíšková y Šálková, 2006). Lefèvre *et al*., 2002 indican que también es posible la introgresión de genes de *P. trichocarpa* en *P. nigra.*

En cualquier caso, debe evitarse el flujo génico de especies ornamentales o de cultivares. Por ello, cuando se recolectan semillas en una población, cabría preguntarse cuál podría ser la contaminación génica del lote recogido debida a cultivares.

Reducción de la diversidad genética

Además de las selecciones sesgadas a las que nos hemos referido anteriormente, se constata que las recolecciones en campo pueden efectuarse afectando negativamente a la calidad genética de los lotes en términos de diversidad genética, con las consecuencias que ello puede tener para la capacidad de evolución de las nuevas poblaciones (Thomas *et al*., 2014).

Esta situación no deseable puede ser muy acusada cuando se recolectan partes de plantas. En los chopos, por su facilidad de propagarse vegetativamente, existe un alto riesgo de recolectar materiales en poblaciones homogéneas genéticamente, en especial en *Populus alba*, *P. tremula* y su híbrido, *P. ×canescens*
. Incluso en poblaciones naturales diversas genéticamente, en la práctica se tiende a concentrar las recolecciones en puntos de la misma donde resulta más fácil la obtención de partes de plantas, bien porque en ellas hay más rebrotes, por ejemplo, en campos de cultivo abandonados o en sus lindes, porque los pies producen más plantones al haber sido estimulados en recolecciones en años anteriores o bien porque se trata de zonas con mayor facilidad de acceso. La reducción de la base genética de las nuevas poblaciones puede incluso agudizarse en los chopos, ya que se trata de especies dioicas, y, normalmente, la producción de estaquillas no va acompañada de un control del sexo del ortet. Al respecto, la producción de plantas a partir de semillas, salvo presencia de introgresiones no deseadas o hibridaciones, será preferible frente a la propagación vegetativa, puesto que la propagación sexual es fuente de diversidad genética.

¿Falta de adaptación?

No se conoce si las poblaciones ibéricas de chopos autóctonos muestran adaptaciones locales. De momento, los patrones neutrales de la estructura genética señalan la existencia de diferencias entre las poblaciones de las vertientes mediterránea y atlántica (Macaya-Sanz *et al.,* 2012; Prada *et al.*, 2013). Este patrón espacial podría deberse a la historia de migraciones o colonizaciones que hayan podido experimentar los chopos autóctonos, pero también podría ser que respondiera a adaptaciones diferenciales (por ejemplo, a condiciones más o menos continentales). En este sentido, el movimiento de materiales de reproducción podría significar una mala adaptación a las condiciones ambientales de la zona que se pretende revegetar. De hecho, el movimiento de plantas a grandes distancias es una realidad constatada (Prada *et al.*, 2013), fruto de la falta de previsión sobre las necesidades de materiales previo a la plantación.

3. Naturalización y capacidad de evolución: algunas premisas

A la vista de los efectos que puede conllevar la intervención humana si se efectúa sin reflexión y sin profesionalidad, resulta imprescindible realizar un análisis previo sobre la oportunidad y justificación de llevar a cabo una plantación. En este sentido, cabe preguntarse:

¿Es necesario revegetar? La pregunta parece banal, pero es muy frecuente la acometida de acciones de plantación en zonas perfectamente vegetadas de manera natural (no siempre plantar resulta "ecológico").

Asimismo, si la zona requiere una revegetación ¿es posible que ésta se efectúe de manera natural? Y, en caso de que esto no se vislumbre como posible ¿se puede actuar sobre las condiciones biofísicas que faciliten la regeneración natural?

Si no hay posibilidad de regeneración natural por ausencia de fuente de propágulos o porque ésta es deficiente ¿incluyo la fase de obtención de plantas en la planificación de la revegetación? ¿produciré o haré producir materiales *ad hoc* o acudiré directamente a lo que haya en el mercado? En este punto, debe considerarse: ¿las poblaciones en las que recolectaré material son diversas genéticamente? ¿de qué procedencia? ¿produciré plantas a partir de semillas o de partes de plantas? ¿cuánto esfuerzo dedicaré a la fase de recolección?

En cualquier caso, la revegetación de una ribera será realmente un éxito si las nuevas poblaciones son capaces de prosperar y evolucionar sin la intervención humana. En este sentido, se debe ser consciente de que, si las condiciones ambientales están limitadas para ello, por ejemplo, porque no existe un régimen ecológico de caudales, estaremos creando un jardín que deberemos mantener de manera artificial.

4. Algunas consideraciones relativas a la normativa de comercialización

La normativa de comercialización de materiales forestales de reproducción es una interesante herramienta para la promoción de una adecuada gestión de los recursos genéticos de los chopos autóctonos. En el marco de esta normativa, en la que juegan un papel fundamental los recolectores y viveristas y las administraciones autonómicas responsables de los sistemas de certificación y control, y con vistas a mejorar dicha gestión, se efectúan las siguientes consideraciones:

- Se debe efectuar un esfuerzo para la inclusión de un mayor número de materiales de base de chopos autóctonos y que éstos presenten cierta diversidad genética, por lo que se deberá dedicar recursos para su caracterización. Al respecto, se debe excluir o no incluir en los catálogos las poblaciones monoclonales. No obstante, se pueden considerar la inclusión de varias poblaciones monoclonales como una única unidad de admisión siempre que se garantice la recolección en todas o varias de ellas con un adecuado control *in situ*.

- No se debe descartar abordar o promover la creación de poblaciones (o huertos semilleros) diversas genéticamente para la producción de materiales, particularmente en cuencas con pocas poblaciones o cuando éstas son poco diversas. Asimismo, y siempre que exista un estricto control con objeto de evitar la producción masiva de unos pocos clones, puede promoverse la creación de campos de plantas madre cuyos componentes sean renovados con cierta frecuencia.

- Los sistemas de certificación deben, en la medida de lo posible, promover recolecciones de los distintos materiales de base disponibles, evitando autorizarlas siempre para los mismos sitios.

- El sistema de producción de estaquillas establecido a escala estatal acogiéndose a la promoción de la conservación de recursos genéticos (Prada *et al*., 2012) sólo debe utilizarse si la administración competente es capaz de efectuar los controles pertinentes que permitan asegurar su correcto uso.

- Se debe perseguir activamente la comercialización de plantas de chopos fuera de los circuitos legales. Debe hacerse controles en los viveros y, en la medida de lo posible, en el momento de su uso. Si bien no es objeto de esta comunicación, el movimiento de plantas de chopos, incluidos los clones productivos, debe controlarse también, y muy especialmente, por temas de sanidad vegetal.

5. Conclusiones

La plantación en una ribera, a la luz de lo expuesto en esta comunicación, no tiene necesariamente un valor en sí misma, ya que puede tener consecuencias negativas a largo plazo en términos de adaptabilidad y evolución. Antes de abordar una acción de este tipo, se debe efectuar una valoración sobre su oportunidad y, en su caso, llevar a cabo su planificación. En esta fase resulta imprescindible incluir las consideraciones genéticas descritas y planificar detalladamente la gestión de los materiales de reproducción que se vayan a emplear.

La normativa de comercialización de materiales forestales de reproducción debe utilizarse por parte de las comunidades autónomas para promover el uso adecuado de los recursos genéticos. Con este objetivo, se debe llevar a cabo un esfuerzo en profundizar en el conocimiento del estado actual de los recursos genéticos de los chopos, vinculado a la aprobación de materiales de base, con vistas a orientar sobre su uso. Asimismo, se debe mejorar el control en las diferentes fases de producción.

6. Bibliografía

ESPELAND, E.K.; EMERY, N.C.; MERCER, K.L.; WOOLBRIGHT, S.A.; KETTERING, K.M.; GEPTS, P.; ETTERSON, J.R.; 2016. Evolution on plant materials for ecological restoration: insights from the applied and basic literature. *J. Appl. Ecol.* 54: 102-115.

LEFÈVRE, F.; BORDÁCS, S.; COTTRELL, J.; GEBHARDT, K.; SMUDLERS, M.J.M.; VANDAM BROECK, A.; VORNAM, B.; VAN DAM, B.C.; 2002. Recommendations for riparian ecosystem management base on the general frame defined in EUFORGEN and results from EUROPOP (2002). En: VanDam, B.; Bordács, S. (eds.). Genetic diversity in river populations of European Black Poplar. Csiszár Nyomda, Budapest.

LOBERA, G.; BESNÉ, P.; VERICAT, D.; LÓPEZ-TARAZÓN, J.A.; TENA, A.; ARISTI, I.; DÍEZ, J.R.; IBISATE, A.; LARRAÑAGA, A.; ELOSEGUI, A.; BATALLA, R.J.; 2015. Geomorphic status of regulated rivers in the Iberian Peninsula. *Sci. Total Environ.* 508: 101-114.

MACAYA-SANZ, D.; HEUERTZ, M.; LÓPEZ-DE-HERDEDIA, U.; DE-LUCAS, A.I.; HIDALGO, E.; *et al*.; 2012. The Atlantic-Mediterranean watershed, river basins and glacial history shape the genetic structure of Iberian poplars. *Mol. Ecol.* 21, 3593-3609.

MAGDALENO, F.; FERNÁNDEZ, J.A.; 2011a. Hydromorphological alteration of a large Mediterranean river: Relative role of high and low flows on the evolution of riparian forests and channel morphology. *River Research and Applications* 27: 374-387.

MAGDALENO, F.; FERNÁNDEZ, J.A.; MERINO, S.; 2011b. The Ebro River in the 20th century or the ecomorphological transformation of a large and dynamic Mediterranean channel. *Earth Surf. Process. Landforms* 37: 486-498.

MMA (MINISTERIO DE MEDIO AMBIENTE), 1998. Libro blanco del agua en España. Documento de síntesis. 40 pp. Madrid.

GONZÁLEZ DEL TÁNAGO, M.; GRACÍA DE JALÓN, D.; 2007.Restauración de ríos. Guía metodológica para la elaboración de proyectos. Ministerio de Medio Ambiente. 318 pp. Madrid.

PRADA, M.A.; CUBERO, D.; RUEDA, J.; MAGDALENO, F.; PÉREZ, F.; *et al*. 2012. Guía técnica para la gestión de materiales forestales de reproducción en la revegetación de riberas. Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente. 80 pp. Madrid.

PRADA, A.; HIDALGO, E.; TRANQUE, F.J. ; BELLERA, M.C. ; CUBERO, D. ; SANTOS, L. ; GONZÁLEZ MARTÍNEZ, S. ; MACAYA, D. ; HERREROS R. ; MARTÍN, E. ; DE LUCAS, A.I.; 2013. La diversidad genética en el manejo de *Populus* spp.: lo esencial es invisible a los ojos. Actas del 6º Congreso Forestal Español. Vitoria.

POSPÍŠKOVÁ, M.; ŠÁLKOVÁ, I; 2006. Population structure and parentage analysis of black poplar along the Moravian River. *Can. J. For. Res.* 36: 1067-1076.

THOMAS E.; JALONEN R.; LOO, J.; BOSHIER, D.; GALLO, L.; CAVERS, S.; BORDÁCS, S; SMITH, P.; BOZZANO, M.; 2014. Genetic considerations in ecosystem restoration using native tree species. *For. Ecol. Manage*. 333: 66-75.

VANDEN BROECK, A.; STORME, V.; COTTRELL, J.E.; BOCKSTAELE, E.; QUATAERT, P.; VAN SLYCKEN, J.; 2004. Gene flow between cultivated poplars and native black poplar (*Populus nigra* L.): a case study along the river Meuse on the Dutch-Belgian border. *For. Ecol. Manage*. 197: 307-310.

Selección de álamos blancos (*Populus alba* L.) para su uso en restauración de riberas

GONZÁLEZ-GONZÁLEZ, B.D.[1]; OLIVEIRA, N.[1]; DE LA IGLESIA, J.P.[1]; PARRAS, A.[1]; GONZALEZ, I.[1]; NICOLAS, J.L.[2]; PEÑUELAS, J.L.[2]; SIXTO, H.[1]

[1] Departamento de Selvicultura y Gestión de los Sistemas Forestales. INIA-CIFOR. Ctra. A Coruña, km 7,5. 28040 Madrid

[2] Centro Nacional de Recursos Genéticos Forestales El Serranillo Ctra. de Fontanar, Km.2. Apdo. de Correos: 249. 19080 Guadalajara

Palabras clave

Populus alba L., selección, restauración, conglomerados.

1. Introducción y objetivos

Populus alba L. es una de las especies presentes en muchos ecosistemas de ribera, compartiendo espacio con otras especies arbóreas como fresnos (*Fraxinus angustifolia* Vahl), sauces (*Salix alba* L. o *S.atrocinerea L.*, entre otros), alisos (*Alnus glutinosa* L.) etc., dependiendo del ecosistema concreto, así como con otras especies del género como *P.nigra* L. y en ocasiones híbridos introducidos de *P. ×canadensis* Moench.

Si bien la revegetación de riberas sucede de manera natural si la dinámica del rio es adecuada, en ocasiones existen limitaciones severas de carácter natural, así como una importante presión antrópica que *de facto* la reducen (González-DelTánago, 1999; González-DelTánago y García-DeJalón, 2007). En estos casos la revegetación artificial se hace imprescindible, siendo esta en muchas ocasiones una de las principales actividades del proceso de restauración. El diseño estará, en cualquier caso, en función del objetivo buscado, sea éste la restauración, la rehabilitación o la remediación (Ollero, 2015). En todos los casos la elección de especies y la selección del material a plantar es una cuestión crucial.

En el caso de haber contemplado la utilización de la especie *P.alba* para la revegetación, hay que tener en cuenta que, con frecuencia, el material presente en viveros es de origen alóctono, considerado más por su valor ornamental, como puede ser el caso de *P. alba var. bolleana,* pero no conveniente para la revegetación de espacios naturales. La necesidad de recurrir a la utilización de material autóctono, preferentemente de su misma cuenca hidrográfica o en su defecto de zonas limítrofes (Maestro y Alba, 2008), obliga a acudir a viveros que certifiquen su identidad, garanticen la calidad de la planta y proporcionen el correspondiente certificado sanitario. En tal sentido, lo conveniente sería disponer de materiales de base autorizados de la especie a partir de los cuales obtener el adecuado material forestal de reproducción. El proceso de admisión de los materiales de base queda recogido en detalle en Alía *et al*. (2005).

En el año 2000 la Dra. Alba constituyó una colección base que incluía diferentes genotipos de la especie *P.alba* L., siguiendo una estructura de región, cuenca, rodal y familia. Las regiones objetivo se circunscriben a las cuencas de los ríos Ebro, Guadalquivir y Segura/Almanzora. Este material representa buena parte de la variabilidad geográfica de la especie en la Península Ibérica, cubriendo además un amplio rango latitudinal, lo que le confiere un alto valor, dada la importancia adaptativa de la especie (Macaya *et al.,* 2012).

El material vegetal recolectado es el resultado de décadas de selección para adaptarse a condiciones climáticas y edáficas específicas. El estado de conservación de las poblaciones que dieron origen a esta colección base, su grado de aislamiento así como el tipo de formación se consideró diverso y su variabilidad genética fue estudiada por la autora mediante caracteres isoenzimáticos y fenotípicos (Alba *et al*. 2001). Asimismo, en parte del material, también se abordó la respuesta frente a estreses abióticos (Sixto *et al*. 2005; Gonzalez-Gonzalez *et al.* 2017). La respuesta productiva dirigida a la obtención de biomasa ha sido también evaluada (Gonzalez *et al.* 2018). Además, la necesidad de conservación de la especie es un hecho reconocido, habiendo sido incluida en las redes de estudio del Programa Europeo de Recursos genéticos Forestales (EUFORGEN) (Turok y Borelli, 2000).

Si bien la colección base de *P.alba* referida no ha sido sometida a ningún proceso de admisión, este trabajo ha tenido por objetivo realizar una selección preliminar de los genotipos incluidos en ella en base a su adaptación y crecimiento juvenil, conscientes de la necesidad de disponer de información en relación con el material más adecuado para abordar tareas de restauración.

2. Material y métodos

Material vegetal y diseño

Con el objetivo mencionado, se establecieron dos plantaciones consecutivas en el tiempo en los años 2012 y 2015. La primera de ellas incluía 420 genotipos procedentes de diferentes cuencas y rodales de los ríos Ebro, Guadalquivir, Segura y Almanzora de la colección base establecida por Alba (2000). Su instalación se realizó en la finca El Serranillo, perteneciente al MAPA sobre un suelo de tipo aluvial, pobre en nitrógeno (0,085 % p/p) y con bajo contenido en materia orgánica (0,96 % p/p). La textura es franco-arenosa-arcillosa (USDA) con un pH ligeramente alcalino (8,4). La temperatura media anual durante los años en que se instaló la plantación fue de 14,1 ºC, con frecuentes heladas entre los meses de diciembre y marzo. La precipitación media anual fue de 390,4 mm, con un periodo marcado de sequía estival entre mayo y septiembre, coincidente con el periodo vegetativo, lo que obliga a la aplicación de riego. Se aplicaron labores que consistieron en un subsolado cruzado a 50 cm de profundidad, una labor de vertedera y pase de cultivador antes de la plantación.

Al tratarse de una primera fase de selección, la plantación incluyó 3 individuos por genotipo sin un diseño específico, como es por otra parte habitual en las primeras selecciones (Bissoffi y Gullberg, 1996). La instalación se realizó manualmente, utilizando estaquillas de tallo de un año de edad de una longitud aproximada de 40 cm, previamente hidratadas durante las 48h anteriores a la implantación. El marco de plantación fue de 2×0,5 m, controlando la competencia de malas hierbas dentro de la fila con herbicida (Oxifluorfen 4l ha^{-1}) previa protección de las plantas y de forma mecanizada en las calles. Entre los meses de mayo y septiembre se aplicó riego mediante surcos, regando a capacidad de campo. Al finalizar el segundo periodo vegetativo se inventariaron las marras, seleccionando aquellos genotipos en los que el arraigo había sido al menos de 2 pies por cada 3 instalados.

Los genotipos resultantes de este primer cribado (149) se instalaron de nuevo en una parcela contigua de características similares a las descritas, utilizándose igualmente estaquillas de tallo procedentes de brotes de un año. Los cuidados culturales fueron también similares a los descritos, si bien en esta ocasión la aplicación de riego se efectuó mediante goteo, con el fin de mejorar la eficiencia del mismo. En esta segunda instalación, se utilizó un diseño de tres bloques aleatorizados que incluían 3 pies por genotipo y bloque, es decir, un total de 9 individuos.

Foto: Instalación de 147 genotipos de *P.alba* L. en el Serranillo (Guadalajara)

Análisis estadístico y variables seleccionadas para el análisis

El análisis estadístico utilizado ha sido el procedimiento de análisis de conglomerados en dos fases, también llamado bietápico. Se trata de una herramienta de exploración diseñada para descubrir las agrupaciones naturales de un conjunto de datos (Pérez, 2011) que permite crear modelos de conglomerados con variables categóricas y continuas, como es el caso de este estudio. Se ha elegido como criterio para la formación de los conglomerados el algoritmo basado en la distancia log-verosimilitud, que realiza una distribución de probabilidad entre las variables, y el criterio bayesiano de Schwarz (BIC), el cual valora la calidad de los algoritmos teniendo en cuenta que una mayor cantidad de parámetros para mejorar el criterio de decisión sobre el número de conglomerados puede llevar a un sobreajuste.

Para la creación de los conglomerados se han utilizado las siguientes variables y criterios de selección:

a) Variables categóricas:

- Supervivencia: diferenciando entre: a) alta supervivencia y b) baja supervivencia
- Porte: considerando: a) porte rastrero y b) porte intermedio o completamente erecto
- Daños bióticos: a) presencia de daños y b) ausencia de daños

b) Variables cuantitativas:

- Crecimiento en área basimétrica (m2 ha-1).

Para la selección de genotipos con fines de conservación se han considerado dos escenarios diferenciados:

Escenario 1: El objetivo fue seleccionar aquellos genotipos con una supervivencia >80 %, que presentaran mayoritariamente un porte intermedio-erecto y un crecimiento en área basimétrica medio-alto en relación al crecimiento medio del conjunto de genotipos en evaluación.

Escenario 2: El objetivo fue seleccionar igualmente genotipos de porte mayoritariamente intermedio-erecto, con crecimiento en área basimétrica medio-alto en relación con el crecimiento medio global, considerando en este caso una tasa de supervivencia del 100 %.

No se tuvo en cuenta en el análisis de conglomerados la respuesta de la variable categórica relativa a daños bióticos, ya que en ningún caso se observaron daños en las condiciones de ensayo descritas.

3. Resultados

1. Ajuste y fiabilidad de los modelos

De acuerdo con el criterio de Kaufman y Rousseeuv (1990) los resultados obtenidos para ambos escenarios simulados evidencian fortaleza en cuanto a la estructura de los conglomerados generada (Figura 1). La medida de silueta de cohesión y separación ha arrojado un valor de 0,7 para ambos escenarios, poniendo de manifiesto el buen ajuste de ambos modelos bietápicos.

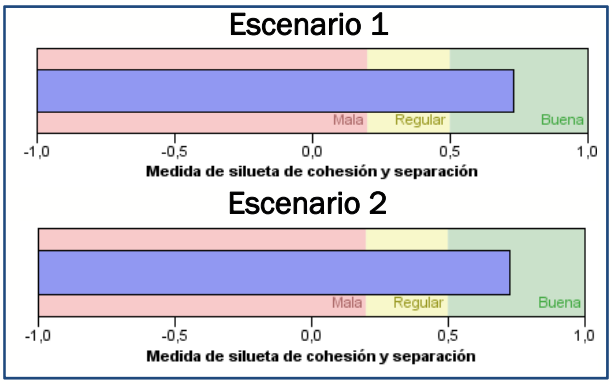


Figura 1. Calidad del conglomerado para los escenarios propuestos

2. Número y tamaño de conglomerados creados

Los modelos generados han dado lugar a tres conglomerados para cada uno de los escenarios. El tamaño de cada uno de ellos, es decir el número de casos que incluye, puede observarse en la Figura 2.

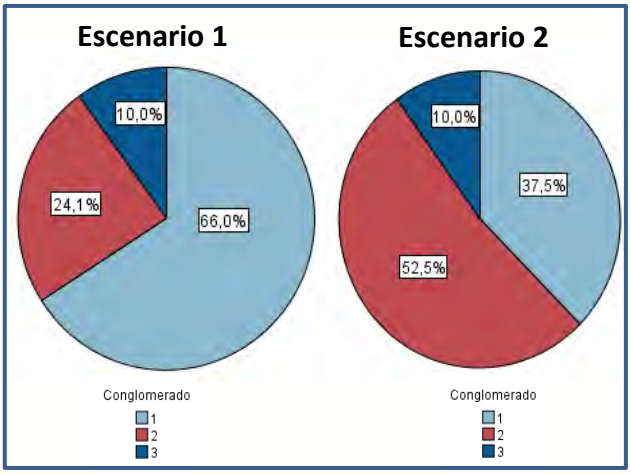


Figura 2. Porcentaje de casos incluidos en cada uno de los conglomerados y escenarios simulados

3. Comparación y selección de conglomerados

La Figura 3 muestra la comparación de los tres conglomerados obtenidos en cada uno de los escenarios simulados en base a los modelos bietápicos que se derivan del análisis. El conglomerado 1 ha sido el seleccionado en ambos escenarios, por ser aquel que incluye el mayor número de genotipos que muestran alta supervivencia (el 100 % de los genotipos incluidos cumplen la condiciones impuestas en cada escenario), un 100 % de casos con porte intermedio-erecto en ambos escenarios, presentando además el mayor crecimiento en área basimétrica media con respecto al global.

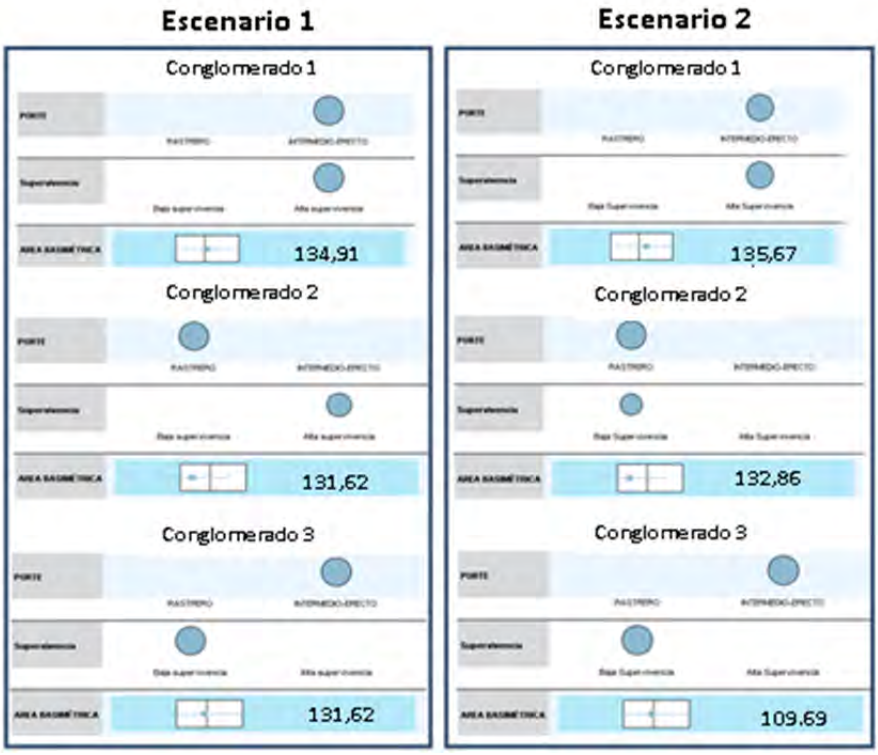


Figura 3. Comparación de conglomerados con base en las variables de entrada incluidas en el modelo bietápico en cada escenario (escenario1 y escenario 2).

4. Relación de clones seleccionados en cada escenario

Una vez efectuada la selección final en cada uno de los dos escenarios simulados, se generó un listado de cada uno de los genotipos que se encontraban incluidos en los mismos (Tablas 1 y 2). En el caso del escenario 1 el conglomerado seleccionado está compuesto por un total de 89 genotipos, cuyo nombre y cuenca y rodal al que pertenecen se detallan en la Tabla 1. Para el escenario 2, la selección comprende un total de 50 genotipos (Tabla 2).

Tabla 1. Genotipos seleccionados en el **escenario 1**, así como la cuenca y rodal al que pertenecen.

Cuenca	Rodal	Genotipo
Ebro	Montañana (Mñ)	MÑ-14-3-9; MÑ-15-18-20; MÑ-15-9-13
	Alfranca (Al y B)	AL-29-11-17; AL-29-14-28; AL-29-23-11; AL-29-8-31; AL-29-8-9; AL-30-5-19; B-2-13-18
	Jalón (J)	J-1-20-6; J-1-23-3; J-1-23-4; J-2-6-26; J-2-6-29; J-3-11-13;J-3-11-14; J-3-13-22; J-3-2-16; J-3-2-17; J-3-2-18; J-3-21-10;J-3-24-26; J-3-3-31; J-3-3-32; J-3-3-33; J-3-3-34; J-4-20-3
Guadalquivir	Villanueva (GU)	GU-1-1-31; GU-1-15-17; GU-1-16-40; GU-2-12-26; GU-2-12-28;GU-2-12-30; GU-2-19-17; GU-2-7-31; GU-2-7-32; GU-3-3-12
	Pte. Obispo (PO)	PO-10-10-20; PO-10-14-12; PO-10-14-15; PO-10-17-31;PO-10-17-33; PO-10-17-35; PO-10-19-1; PO-10-19-3;PO-10-2-23; PO-10-2-25; PO-10-20-27; PO-10-20-39;PO-10-20-40; PO-9-16-21; PO-9-18-12; PO-9-18-14;PO-9-21-38; PO-9-24-6; PO-9-24-7; PO-9-24-9; PO-9-8-2;PO-9-9-32; PO-9-9-33; PO-9-9-34
	Guadalimar (GL)	GL-1-1-7; GL-1-14-22;; GL-1-14-24; GL-1-14-25; GL-1-8-17; GL-1-8-18; GL-1-8-19; GL-2-11-32; GL-2-13-26; GL-2-13-28; GL-2-13-29; GL-2-16-15; GL-2-23-18; GL-2-4-38; GL-2-4-40
Segura	Archena (BA)	BA-17-19-30; BA-17-5-1; BA-3-12-21; BA-3-12-22; BA-3-13-34; BA-3-19-38
Almanzora	Almanzora (S)	S-18-11-8; S-18-16-5; S-18-9-19; S-21-11-21; S-21-2-1; S-21-6-34

Tabla 2. Genotipos seleccionados en el escenario 2, así como la cuenca y rodal al que pertenecen

Cuenca	Rodal	Genotipo
Ebro	Montañana (Mñ)	-
	Alfranca (Al y B)	AL-29-14-28; AL-29-8-9; AL-30-5-19; B-2-13-18
	Jalón (J)	J-1-23-4; J-2-6-29; J-3-11-13; J-3-11-14; J-3-13-22; J-3-2-18; J-3-21-10; J-3-24-26; J-3-3-31; J-3-3-32; J-3-3-33; J-4-20-3
Guadalquivir	Villanueva (GU)	GU-1-15-17; GU-2-12-26; GU-2-12-28; GU-2-12-30; GU-2-19-17; GU-3-3-12
	Pte. Obispo (PO)	PO-10-14-12; PO-10-14-15; PO-10-17-31; PO-10-17-33; PO-10-19-1; PO-10-19-3; PO-10-2-23; PO-10-20-27; PO-10-20-39; PO-10-20-40; PO-9-16-21; PO-9-18-12; PO-9-9-32; PO-9-9-33; PO-9-9-34
	Guadalimar (GL)	GL-1-14-24; GL-1-14-25; GL-1-8-17; GL-1-8-18; GL-1-8-19; GL-2-13-26; GL-2-13-28; GL-2-16-15
Segura	Archena (BA)	BA-17-5-11; BA-3-12-21; BA-3-13-34; BA-3-19-38
Almanzora	Almanzora (S)	S-21-11-21

El porcentaje de distribución de cada uno de los rodales y cuencas a la que pertenecen los genotipos seleccionados en cada escenario simulado se muestra en la Figura 4. La cuenca del Guadalquivir es la que resulta mejor representada, al incluir el mayor número de genotipos en ambos escenarios. Más de la mitad de los mismos pertenecen a dicha cuenca (52 % y 55 % para los escenarios 1 y 2, respectivamente). En concreto el rodal de Puente del Obispo (PO) es el que incluye un mayor número (26,97 % y 29,80 % para los escenarios 1 y 2, respectivamente). Los otros dos rodales pertenecientes a la cuenca del Guadalquivir (GU y GL) muestran igualmente un alto porcentaje de presencia (11 y 17%, respectivamente) (Figura 4). Para la cuenca del Ebro, el porcentaje de genotipos seleccionados fue del 30 % y 32 % para los escenarios 1 y 2 respectivamente, de entre los ensayados. Concretamente el rodal localizado en Jalón (J) es el segundo rodal con mayor número de genotipos representados respecto del total (20,22% y 23,84 % en los escenarios 1 y 2 respectivamente). Opuestamente, las cuencas con menor número de genotipos representados han sido las cuencas de Almanzora y Segura (5-10 %; Figura 4).

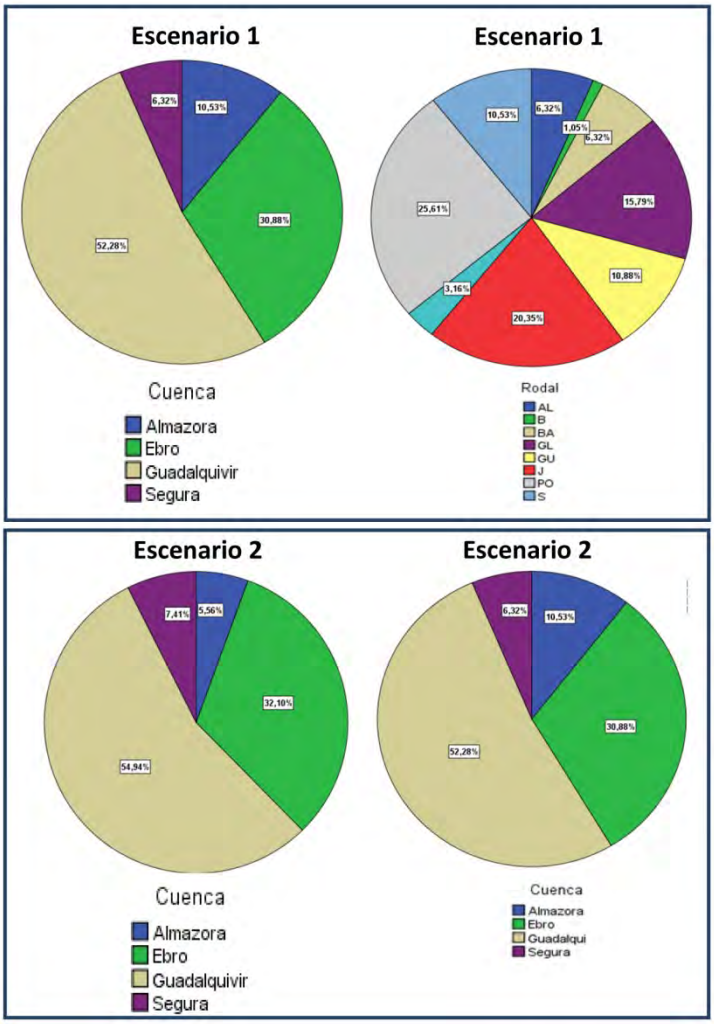


Figura 4. Distribución de los genotipos seleccionados por cuenca y rodal.

4. Discusión y conclusiones

En España la destrucción de gran parte de las riberas se debe a la combinación de diversas causas (Ollero, 2015), tanto directas (agricultura, ganadería, minería, industria, urbanización) como indirectas (embalses, canalizaciones, contaminación o protección de márgenes). Existen numerosas razones de índole hidrológica, ecológica, económica y social que han llevado a la sociedad a demandar la conservación y restauración de las riberas españolas al mismo tiempo que estas se armonizan con los usos. La continuidad o conectividad de las riberas únicamente puede estar asegurada si se lleva a cabo una correcta gestión de las mismas. Dentro de dicha gestión, la selección de material vegetal adecuado para su posterior implantación mediante revegetación artificial es un punto clave para lograr su éxito (Piégay y Dufour, 2006).

La elección errónea de las especies a plantar y/o la utilización de material vegetal genéticamente inadecuado pueden afectar seriamente al éxito de una restauración de ribera, pudiendo generar problemas a largo plazo como son la escasa regeneración o la introgresión entre poblaciones autóctonas e introducidas, debido a la falta de adaptación del material de reproducción utilizado. Como consecuencia de ello resulta imprescindible personalizar la especie a utilizar a cada destino y disponer de un material apropiado, como repetidamente se recoge en las diferentes estrategias. Las colecciones de genotipos creciendo en un ambiente común se han usado con mucha frecuencia como punto de partida para identificar genotipos particulares (clones) con características deseables (White *et al*,. 2007).

En función de la restricciones impuestas, el presente trabajo identifica para la especie *P.alba* un *pool* de 89 genotipos de interés, o de 50 para el escenario restrictivo, con base en su capacidad de arraigue y adaptación así como por su más destacado crecimiento y ausencia de daños bióticos. Este *pool* de clones incluye componentes de diferentes cuencas hidrográficas, si bien identifica la cuenca del Guadalquivir como la mejor representada dentro del conjunto, al incluir ésta un mayor número de genotipos que cumplen los requisitos impuestos. Entre las diferentes familias de la cuenca, la correspondiente a Puente del Obispo (PO) es a su vez la mejor representada. Esta alta supervivencia y crecimiento de los genotipos PO resulta especialmente destacable, al haberse identificado con anterioridad respuestas tolerantes a estreses abióticos (salinidad y sequía) (Sixto *et al*. 2005; Gonzalez-Gonzalez *et al.* 2017. De entre las numerosas especies arbóreas consideradas idóneas para la restauración de riberas, el álamo blanco es quizás una de las más representativas (Ollero-Ojea, 2015).

El Catálogo de materiales de base de nuestro país incluye para *P. alba* un número elevado de fuentes semilleras y algunos rodales, situados en su mayoría en la mitad norte peninsular. Estos materiales de base legalmente sólo son aptos para la recogida de semillas. En la actualidad, en nuestro país no existen para el género *Populus* materiales de base de tipo clonal adecuados a la obtención de material forestal de reproducción destinado a la restauración fluvial. Una solución al respecto sería la catalogación de diferentes materiales de base del tipo mezcla de clones y el consiguiente establecimiento de campos de plantas madre que proveyeran de material vegetativo de tipo policlonal, de modo que, además de adaptabilidad, se garantizara una suficiente variabilidad genética. En tanto no se disponga de este tipo de material, la única posibilidad de emplear un material de inicio distinto a las semillas se basa en la excepcionalidad de acogerse a que la actuación restauradora se realice en el marco de la conservación genética.

En nuestro país existen bancos clonales de diferentes especies del género *Populus* en las comunidades de Aragón, Castilla-La Mancha, Castilla y León y Comunidad Valenciana (www.REGBAG), de alto interés para la

conservación de la especie, si bien los componentes que se incluyen no han sido objeto de trabajos de catalogación, a fin de normalizar su comercialización y empleo con vistas a la restauración de riberas.

La situación actual es una ausencia a escala nacional de disponibilidad de materiales de *Populus* caracterizados y evaluados con fines de restauración de riberas. Este trabajo identifica un número relevante de genotipos dentro de la colección base que cumplen criterios mínimos en relación con la adaptación y el crecimiento. Se apunta la utilidad de los análisis de conglomerados para determinar agrupaciones de interés en función de caracteres relevantes, permitiendo realizar selecciones realistas que, por ejemplo, descartan aquéllos que muestran muy baja capacidad de arraigo. Esta metodología permite además utilizar variables categóricas y continuas simultáneamente, ambas necesarias en este tipo de estudios, de tal forma que la selección pueda basarse en criterios realistas y consistentes. Por tanto, estos resultados pueden suponer un punto de partida para abordar de manera más simplificada los correspondientes ensayos de comparación que permitan identificar materiales base de interés a nivel de clon o mezcla de clones.

5. Bibliografía

ALIA, R; ALBA, N; AGUNDEZ, D; IGLESIAS, S; 2005. Manual para la comercialización y producción de semillas y plantas forestales - Materiales de Base y de Reproducción. Ed. Organismo Autónomo de Parques Nacionales. Ministerio de Medioambiente. ISBN: 84-8014-611-7.

ALBA, N; AGUNDEZ, D; ALIA, R; PADRÓ, A; 2011. Estudio comparativo de diversidad genética entre caracteres isoenzimáticos y fenotípicos en Populus alba L. Actas del III Congreso Forestal Nacional. Granada 25-28 de septiembre. Vol 2, 533-538.

BISSOFFI, S; GULLBERG, U; 1996. Poplar breeding and selection strategies. En: Biology of Populus and Its Implications for Management and Conservation. Eds: Stettler, S, Bradshow, HD Jr; Heilman, PE; Hinckley, TM. NRC-CNRC. Págs. 133-158.

GONZÁLEZ-DEL TÁNAGO, M; 1999. Las riberas, elementos clave del paisaje y en la gestión del agua. 1er Congreso Ibérico sobre Gestión y Planificación de Aguas. Págs. 499-512.

GONZÁLEZ-DEL TÁNAGO, M; GARCÍA-DEJALÓN, D; 2007. Restauración de Ríos. Guía metodológica para la elaboración de proyectos. Publicaciones del Ministerio de Medio Ambiente, Programa Agua, Madrid. Pags. 41

GONZÁLEZ-GONZÁLEZ, BD; OLIVEIRA, N; CAÑELLAS, I; SÁNCHEZ, M; SIXTO, H; 2017. Poplar biomass production in short rotation under irrigation: A case study at the Mediterranean. Biomass Bioenerg. Vol 107: 198-206.

GONZALEZ, I; GONZÁLEZ-GONZÁLEZ, B; OLIVEIRA, N; DE LA IGLESIA, JP; PARRAS, A; PEÑUELAS, JL; CAÑELLAS, I; SIXTO, H; 2018. Selection of autochthonous white poplar (Populus alba L.) for the production of biomass in short rotation. Seventh International Poplar Symposium-Buenos Aires, Argentina 2018 (en prensa)

MACAYA, D; ALBA N; HEUERTZ M; LÓPEZ-DE-HEREDIA U; DE-LUCAS AI; HIDALGO E; MAESTRO C; PRADA A; ALÍA R; GONZÁLEZ-MARTÍNEZ S; 2012. The Atlantic-Mediterranean watershed, river basins and glacial history shape the genetic structure of Iberian poplars. Mol Ecol. Vol. 21: 3593-3609.

MAESTRO, C; ALBA, N; 2008. Material forestal de reproducción de Populus autóctonos: propuestas para la restauración de riberas. Cuad. Soc. Esp. Cienc. For. Vol. 24: 57-62.

OLLERO, A; 2015. Guía metodológica sobre buenas prácticas en restauración fluvial. Manual para gestores. Instituto de Ciencias Ambientales de Aragón (IUCA). Pags.143.

ORDEN de 10 de enero de 2007 DOCV 5450, 14.02.2007. Diario Oficial de la Comunidad Valenciana
PIÉGAY, H, DUFOUR, S; 2006. Fluvial dynamics and biodiversity of riparian systems. Seminario Internacional de Restauración de Ríos. Madrid. Págs. 29

REGBAG- Red Española de Bancos de germoplasma de plantas silvestres (www.redbag.es)
TUROK, J; BORELLI, S; 2000. Euforgen: El camino recorrido desde la resolución S de Estrasburgo. Invest.Agr.:Sist.Rer.For. Fuera de serie Vol. 2:9-20.

SIXTO, H; GRAU, JM; ALBA, N; ALÍA, R; 2005. Response to sodium chloride in different species and clones of genus Populus. Forestry 78 (1):93-104.

WHITE, TL; Adams, WT; Neale, DB; 2007. Forest Genetics. Cabi Publishing. Ed. Timothy L. White, W. T. Adams, David B. Neale. Oxfordshire, UK. Pags.682.

Mesa

Utilización de la madera de chopo: presente y futuro

227

Ponencia invitada

Utilización de la madera de chopo: presente y futuro

VAN ACKER, J.[1]
[1]Ghent University (UGent), Laboratory of Wood Technology (Woodlab)
Coupure links 653, 9000 Ghent, Belgium

Dos grandes organizaciones internacionales se ocupan de temas relacionados con el chopo. La Comisión Internacional del Álamo de la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO) (CIP - http://www.fao.org/forestry/ipc/en/) y el Simposio Internacional del Álamo de la Unión Internacional de Organizaciones de Investigación Forestal (IUFRO) (IPS - https://www.iufro.org/science/divisions/division-2/20000/20800/20804/).

La 25ª Sesión de la Comisión Internacional del Álamo (IPC) se celebró en Berlín, Alemania, del 12 al 16 de septiembre de 2016, mientras que el IPS celebrará su Séptimo Simposio Internacional Anual del Álamo en Buenos Aires, Argentina, del 28 de octubre al 4 de noviembre de 2018.

Además, se celebró en León, España, del 8 al 10 de septiembre de 2016, una segunda conferencia sobre productos de madera contrachapada a base de chopo y de sauce, centrada específicamente en la innovación y la mayor atención a los productos de madera contrachapada, en particular los relacionados con el chopo y el sauce. En relación con esta tendencia, la organización de base europea Pro-Populus fue fundada en 2008 y es considerada la "Asociación Europea del Chopo", ya que es única en el sentido de que, por primera vez, reúne a productores, promotores y usuarios industriales del chopo por la variedad de usos que ofrece (paneles, envases, energía, etc.).

El potencial de la producción forestal, tanto en volumen como en calidad, es clave para el futuro del sector forestal. Además, existe un creciente impacto de los parámetros socioeconómicos con una preocupación general por el suministro adecuado y sostenible de los recursos. La madera, la biomasa lignocelulósica o cualquier otro nombre que le demos al material proveniente de la silvicultura y sectores relacionados, es un recurso renovable con un alto potencial para la sostenibilidad y que seguramente proporciona excelentes servicios ecosistémicos para nuestra sociedad moderna. El equilibrio entre el uso de materiales de madera y el uso de bioenergía conducirá inevitablemente a una mayor competencia por el mismo recurso y podría evolucionar hacia una escasez crítica. La integración vertical, junto con un mejor concepto de calidad de los árboles y la madera, debería conducir a un enfoque más estructurado que se ocupe de si es necesario dar prioridad a algunos productos de madera y de cómo podríamos abordar la sustitución de materiales artificiales (de construcción) que requieren más energía para su producción. Esto debería combinarse con la importante opción de producir energía verde basada en la biomasa leñosa.

El recurso maderero obtenido de las especies arbóreas de rápido crecimiento de los géneros *Populus* y *Salix* se considera importante para permitir una mayor producción en el futuro y, por lo tanto, la selección y reproducción de estos árboles caducifolios ha sido desde hace mucho tiempo una parte importante de los marcos silviculturales e incluso agrícolas. Además, en muchos sentidos, se puede considerar que los

chopos son la mejor alternativa a las coníferas cuando se habla de productos de segunda transformación de la madera. Las aplicaciones relacionadas con la biomasa con fines energéticos y otros usos finales menos dependientes de la calidad de los árboles deben formar parte de un planteamiento integrado.

Para los productos tradicionales como la madera contrachapada, y también la madera estructural, el chopo es un producto de fácil acceso. El OSB de álamo temblón es un producto implantado desde hace décadas en Norteamérica. La resistencia y rigidez específicas son sin duda características interesantes, pero la capacidad de seleccionar árboles de calidad con un gran impacto en el rendimiento de la producción también son definitivamente una ventaja.

Hoy en día, los investigadores están reevaluando el potencial de los productos de madera sólida que utilizan madera de chopo. La estabilidad dimensional y la durabilidad biológica se mejoran utilizando métodos modernos de modificación de la madera además de los tratamientos tradicionales. En este sentido, tanto la madera laminada encolada como la madera CLT (madera contralaminada) presentan un gran potencial en combinación con, por ejemplo, la modificación térmica.

El contrachapado y la madera de chapa laminada (LVL) siguen siendo ejemplos importantes de productos de ingeniería. Los productos de ingeniería de la madera (EWP, por sus siglas en inglés) tienen en general una mayor demanda debido a muchos factores, entre los que se incluyen la disminución de los antiguos bosques de crecimiento, las nuevas tecnologías de transformación y los códigos de construcción basados en el rendimiento.

Pueden preverse tanto productos estructurales como no estructurales. El uso cada vez mayor de tableros de madera (WBP) está teniendo un gran impacto y se centra en los residuos o árboles más pequeños con beneficios que se realizan a partir de este recurso de madera dura ligera. Junto a los chips o productos a base de partículas, el despulpado permite una importante producción adicional tanto de WBP como de productos de papel. Además de las maderas blandas, la madera de chopo ha demostrado ser una buena alternativa para el embalaje a base de papel, chapa o madera contrachapada, y es aún más importante cuando está en contacto con los alimentos. En los últimos años, el creciente interés en la bioenergía e incluso en las biorrefinerías ha sido la base para evaluar otras metodologías silviculturales como los montes de corta rotación (SRC). Por lo tanto, la selección y reproducción de nuevos clones de chopos y sauces debería centrarse en la mejora de la calidad para usos energéticos, materiales o ambos.

Los productos de segunda transformación pueden tener un enfoque distinto según determinadas propiedades, pero es básico que una industria integrada de la madera considere la importancia de la fibra de la madera de chopo.

Consumo de chopo por la industria en España: evolución y necesidades futuras

GARCÍA HERNÁNDEZ, I.[1]
[1] AEFCON – Asociación Española de Fabricantes de Tablero Contrachapado

Palabras clave
Tablero, contrachapado, fondos, envase, disponibilidad, empleo, facturación, Confederación.

1. Introducción

AEFCON representa los intereses de las empresas fabricantes de tablero contrachapado en España, teniendo todas ellas el chopo como materia prima para la elaboración de sus productos. También son miembros de AEFCON, fabricantes de chapa de chopo, las principales empresas fabricantes de fondos para envase (todos fabricados con chopo) y rematantes de choperas.

La actividad de toda la industria anteriormente citada depende de la disponibilidad de chopo en España. Su evolución ha sido creciente en los últimos años y esa tendencia se mantiene para el futuro. Esto supone una mayor necesidad de materia prima y por tanto la necesidad de un incremento del número de hectáreas de choperas.

Por otro lado, la industria del chopo es una importante fuente de empleo en regiones rurales, poco industrializadas o desarrolladas, contribuye a la economía rural y favorece un desarrollo sostenible de las poblaciones locales.

Los operarios que intervienen en la plantación, explotación, mantenimiento y podas de las choperas que dan servicio a la industria, son esencialmente actores económicos locales, próximos a las plantaciones. Además, la mayoría de los centros de transformación están también próximos a las zonas de plantaciones y de sus clientes, de lo que se deriva un impacto positivo en las zonas rurales.

2. La industria en cifras

La cadena de transformación del chopo proporciona empleo a unos 11.000 trabajadores, entre puestos de trabajo directos e indirectos, todos ellos pertenecientes a zonas rurales, llegando algunas poblaciones a tener una economía dependiente completamente de las industrias de transformación del chopo.
En la actualidad, el 65% de la madera de chopo que se consume en España proviene de la cuenca del Duero, el 20% de la cuenca del Ebro y el resto está disperso por las diversas cuencas de ríos españoles.

El sector industrial que utiliza el chopo como materia prima facturó en 2017 más de 350 millones de euros. Lo podemos dividir en dos grupos:

- Fabricantes de tablero contrachapado tanto industrial como para envase y fabricantes de chapa.

- Fabricantes de fondos para envase

Por facturación y consumo de chopo, el mayor grupo es el de fabricación de tablero contrachapado. Su facturación superó en 2017 los 300 millones de euros. Este grupo utiliza además los productos procedentes de las empresas fabricantes de chapa, los cuales entran en la cadena de fabricación del tablero contrachapado.

En el año 2016 se fabricaron 364.000 m³ de tablero contrachapado con chopo español, lo que supuso un consumo de 809.000 m³ de madera de chopo. En el año 2017 esas cifras han aumentado, situándose la producción de tablero en 379.000 m³ y el consumo de chopo español en 843.000 m³.

Respecto a la fabricación de fondos para envases hortofrutícolas, en 2016 la industria consumió 167.000 m³ de chopo que aumentaron a 178.000 m³ en 2017.

En total, el consumo de chopo español en 2016 fue de 976.000 m³ y en 2017 de 1.021.000 m³, lo que supuso un incremento del 4,5%.

Si comparamos estas cantidades con los 500.000 m³ de chopo utilizados por la industria en 2009, podemos ver que en el plazo de 8 años el consumo se ha duplicado, lo que da idea de la trayectoria que ha seguido nuestra industria.

3. El consumo de chopo en los próximos años

La tendencia para los próximos años del conjunto de la industria consumidora de chopo es de crecimiento en el entorno del 5% anual, lo que supone una necesidad creciente, en la misma proporción, de materia prima.

Este sector se enfrentará en los próximos años a una situación de falta de materia prima que puede dañar o hacer desaparecer una buena parte de las empresas con la consiguiente pérdida de puestos de trabajo y graves problemas en las poblaciones que dependen de este sector industrial.

La falta de materia prima es debida a los siguientes factores:

- La Confederación Hidrográfica del Duero dejó de plantar chopos en 2005, no retomándose las plantaciones hasta 2010 por parte de SOMACYL aunque con menor intensidad que la Confederación.
- La crisis económica hizo que muchos propietarios privados dejaran de plantar.
- La política de cánones por parte de la Confederación Hidrográfica del Ebro y el retraso en la concesión de permisos de plantación y corta han desincentivado a los propietarios privados a continuar plantando chopos.

Aunque en estos momentos hay madera suficiente para abastecer a nuestra industria en la cuenca del Duero, según un estudio llevado a cabo por la Junta de Castilla y León y SOMACYL, a partir de 2020 comenzará un descenso en la disponibilidad de madera, acentuándose en 2023 en el que solamente habrá disponible 285.000 m³. Esto significa que en el mejor de los casos, es decir, si no hubiera ningún descenso en el resto de cuencas, en 2023 habría disponibles unos 500.000 m³ de chopo, por tanto menos de la mitad de las necesidades que la industria tuvo en 2017.

La realidad es mucho más dura, ya que, por ejemplo, en la cuenca del Ebro, por la política de cánones de la Confederación y los retrasos en la concesión de los permisos, la disminución de plantaciones es

significativa, decantándose los propietarios de terrenos por cultivos alternativos que no requieren de permisos de la Confederación y no están sujetos a cánones por utilización del Dominio Público Hidráulico.

4. Qué hacer para que la industria no desaparezca

Está claro que aunque ahora se comenzara a plantar a un ritmo acelerado, debido a los años necesarios para el crecimiento de los árboles, va a producirse un período de desabastecimiento de materia prima. Durante este período, la única alternativa que tienen las empresas para conseguir materia prima es la importación de chopo de otros países productores. Esto va a suponer un coste extra de transporte muy importante que va a ser imposible de repercutir al cliente, por lo que la cuenta de resultados de las empresas se verá afectada gravemente pudiendo provocar el cierre de muchas de ellas.

¿Qué medidas pueden ayudar a la industria? La Administración puede ayudar a paliar la situación con dos tipos de medidas:

A. Confederaciones Hidrográficas:

- El MAPA debería fijar unos criterios a aplicar por las Confederaciones Hidrográficas en los que se aclaren las situaciones en las que se ha de cobrar el canon por utilización del Dominio Público Hidráulico y que éste canon sea una cantidad razonable que no desincentive la plantación de chopos. A día de hoy cada Confederación aplica el canon de un modo diferente con tarifas dispares.
- La implantación de una Declaración Responsable por parte del empresario que va a proceder a la plantación o corta, como sustitución de los permisos de plantación o corta agilizaría los trámites que ahora llevan meses o incluso años. La Confederación podría luego comprobar que todo lo plasmado en la Declaración Responsable se ajusta a la realidad y está conforme a la normativa vigente.
- Para aquellas plantaciones certificadas PEFC o FSC, los permisos de plantación o corta deberían concederse automáticamente.

B. Establecer líneas de ayudas (que pueden ser fiscales) a la plantación de chopos para tratar de conseguir que la industria pueda volver a abastecerse de chopos nacionales. Estas líneas de ayudas deberían primar a las nuevas plantaciones.

Un considerable aumento de las plantaciones es necesario para poder cubrir las necesidades de la industria. A esta industria siempre le resultará más rentable tener la materia prima cerca de sus fábricas que importarla, aunque tendrá que recurrir a importaciones para salvar el tiempo de no disponibilidad de madera. Con un poco de ayuda por parte de la Administración para reducir las trabas que a día de hoy existen para la plantación de choperas, el problema de todo un sector industrial del que dependen miles de puestos de trabajo en zonas rurales puede resolverse. Por otro lado, el propietario de terrenos que decida plantar chopos, tendrá asegurada la rentabilidad de sus choperas.

Cubiför-on-cloud®, herramienta para cubicar y clasificar productos de madera y para calcular biomasa y carbono almacenado en las choperas

RODRÍGUEZ PUERTA, F.[1,2]; PÉREZ-RODRÍGUEZ, F.[1]

[1] föra forest technologies sll, Av. Eduardo Saavedra, 38, Soria

[2] Universidad de Valladolid. EiFAB. Campus Duques de Soria. 42004 Soria. Spain

Palabras clave

Chopo, perfil del árbol, cubicación, productos de madera, cálculo en la nube.

1. Introducción y objetivos

Cubiför-on-cloud® es una aplicación de software "en la nube" que ha sido desarrollada para estimar la producción de las distintas masas forestales. En esta comunicación se presenta la versión "gratuita" de cubiför-on-cloud® elaborada específicamente para plantaciones de chopo en distintos lugares del mundo.

Cubiför-on-cloud® es una evolución del complemento de Excel cubiFOR (Rodríguez *et al*., 2008), el cual se basaba en el complemento "cubica y clasifica", en la aplicación "cubica" (Rodríguez y Broto, 2003) y en "matDendro" (Rodríguez y Rodríguez, 2000). Esta versión "on cloud" se ha inspirado en la herramienta EucaTool® (Rojo-Alboreca *et al*., 2015) o FlorNExT® (Pérez-Rodríguez *et al*., 2016). Todas ellas desarrolladas por los autores de esta aplicación.

La aplicación se ha diseñado para poner a disposición de propietarios, empresas y gestores forestales la posibilidad de calcular de forma muy sencilla el volumen de los árboles y de sus distintos productos de madera, la biomasa (y el carbono almacenado) de dichas plantaciones a partir de datos de árboles individuales o de datos de rodal. cubiför-on-cloud® ofrece, además de su excelente precisión y bajo coste, el valor añadido de la clasificación y cubicación de productos, que sitúan la cubicación de madera en su correcta perspectiva: no son metros cúbicos o toneladas de madera, son metros cúbicos de madera para desenrollo, o de tronquillo o del resto de productos comerciales, ya que el valor, dinámica y mercado de cada uno de ellos es bastante independiente del resto.

Otras ventajas adicionales de la aplicación es que proporciona homogeneidad al sistema de cuantificación, es válida para diferentes escalas (rodal, monte, región) y son estables en el tiempo, permitiendo aumentar la eficiencia del proceso de gestión y venta al fijar mejor los precios y elaborar estadísticas plurianuales. Al proporcionar volumen por productos, permite además establecer una indicación objetiva de calidad de los lotes vendidos, por lo que la estadística de precios es más fiable y puede ser analizada (sin la descomposición en productos es difícil discernir los factores que dependen del mercado de los que dependen del valor de la madera). En definitiva, además de proporcionar información técnica de forma directa, nace con la vocación de promover un mercado de la madera objetivo y transparente.

Se ha seleccionado esta especie para la versión "gratuita", ya que el cultivo del chopo es de notable importancia en todo el Estado Español, abarcando una gran superficie distribuida principalmente en la Cuenca del Duero, la Vega de Granada y la Cuenca del Ebro. Por otra parte, es una especie con gran valor añadido y con productos de mucha calidad. Actualmente, de toda la madera que se corta, el 85% se destina a desenrollo, el 10% a aserrío y el resto a trituración. Por otra parte, el potencial agroforestal de este cultivo es muy importante, ya que resulta una alternativa a algunos cultivos agrícolas, cada día menos rentables (Del Peso *et al*., 1995; Díaz y Romero, 2001; Álvarez y Bengoa, 2001; Aunós *et al*., 2002), en

una época en que la importancia de la agricultura va perdiendo terreno ante las nuevas orientaciones de la Política Agraria Comunitaria.

Finalmente, cubiför-on-cloud® además de calcular madera y productos, puede resultar muy útil para estimar el carbono almacenado por estos cultivos. El conocimiento de la dinámica del flujo neto del carbono entre el bosque y la atmósfera es fundamental para poder incorporar el carbono como un objetivo más en la gestión forestal. Los procesos de captura y emisión de éste, en un bosque, se basan en cuatro grupos de almacenamiento; la biomasa aérea, la biomasa radical, la materia orgánica en descomposición y los productos forestales almacenados fuera del bosque (MONTERO *et al*., 2004). Cada uno de estos grupos posee una vida media de almacenamiento distinta, siendo el grupo de los productos forestales el que presenta un mayor valor y, dentro de éste, mayor vida útil conforme aumenta la calidad del producto.

Puede accederse a cubiför-on-cloud® desde cualquier dispositivo con conexión a internet desde la dirección: http://cubifor.fora.es. Además, toda la información relativa al uso de la aplicación está publicada en una web ligada al aplicativo.

2. Características de cubiför-on-cloud®

2.1. Características técnicas

Cubiför-on-cloud®, en su versión para chopo, es una aplicación gratuita de software “en la nube” que ha sido desarrollada para la producción de plantaciones clonales de chopo. Esta aplicación ha sido programado en Visual Studio Web 2017 Community 15.5.1, utilizando la tecnología MVC, así como los lenguajes C# y XML (para modelos, controladores y configuración) y Razor, HTML, Javascript y CSS (para las visualizaciones). Actualmente, el idioma de la aplicación es el español.

2.2. Modelos de perfil incluidos

En esta versión “gratuita” para chopo hemos integrado chopos de distintas localizaciones y tipologías. Se incluyen los modelos de:

- Hjlem (2013) para chopos en Suecia,
- Benbrahim y Gavaland (2003) para 2 clones en cultivos energéticos en Francia,
- Rodríguez y Molina (2003) para tres clones en Navarra, España,
- Rodríguez *et al*. (2015) para el valle del Duero, España,
- Barrio-Anta, *et al* (2007), para chopo en España,
- Gal y Bella (1994) y Ung *et al*. (2013) para chopo en Canadá,
- Flórez *et al*. (2014) para chopo en Chile,
- Roda (2001) para chopo en Francia,
- Sun *et al*. (2016) para chopo en China,
- Westfall y Scott (2010) para chopo en Estados Unidos, y
- Wabo *et al*. (2001) para chopo en Argentina

2.3. Instalación y requerimientos

Figura 1: Landing page de cubiför

Al ser un aplicativo desarrollado en la nube, esto es, de acceso mediante cualquier dispositivo con conexión a internet (ordenadores fijos, portátiles, teléfonos móviles, smartphones, tablets, etc.) a un servidor, no es necesaria ninguna instalación específica. Puede accederse de forma gratuita al mismo desde: http://cubifor.fora.es

El acceso ha de ser realizado mediante un navegador, de los cuales hay compatibilidad con los más importantes (Edge, Chrome, Firefox y Safari), pero puede haber ciertas incompatibilidades con Internet Explorer.

2.4. Condiciones de uso

Este aplicativo, en su versión específica de chopo, se basa en los modelos de perfil creados por distintos investigadores (entre ellos los autores) por lo que las condiciones de uso se refieren a cada uno de los trabajos que se han incluido.

Este aplicativo se presenta "tal cual", sin ningún tipo de garantía, explícita o implícita. Además, está sujeto a los cambios o traducciones a otros idiomas que puedan realizar los autores que lo han desarrollado, sin notificación previa. Los autores no se responsabilizan de la incorrecta utilización, interpretación y uso de los resultados obtenidos por cubiför-on-cloud®.

3. Utilización de cubiför-on-cloud®

3.1. Menú principal

Toda la información relativa al uso de la aplicación está publicada en una web ligada al aplicativo (http://cubifor.fora.es), desde la cual se puede descargar el "Manual de uso de cubiför-on-cloud® 1.0". Una vez que el usuario accede a la web, aterriza en una página explicativa y debe registrarse con su usuario y contraseña (Figura 1). A través del usuario y contraseña, el sistema detecta a qué servicios estamos suscritos y sólo nos permite cubicar las especies a las que estamos suscritos y nos aparece el "Menú principal" (Figura 2) con las siguientes opciones:

Opción 1: Cálculos mediante datos individuales de árboles, que se divide en:

A. Datos de árboles: botón de acceso al formulario para introducir o importar datos de pies individuales.
B. Datos de clases diamétricas: botón de acceso al formulario para introducir los datos de árboles agrupados en clases diamétricas.

Opción 2: Cálculos mediante datos medios de rodales.

Figura 2: Menú principal

3.2. Cálculos mediante datos de árboles

Con esta opción, se incluyen tres opciones para realizar estimaciones de volumen y biomasa utilizando datos de árboles:

A. Introducir datos de árboles individuales pie a pie (seleccionando la casilla de verificación "Introducir datos pie a pie" dentro de "Datos de árboles"). En este caso se requiere información del diámetro normal (cm) y de la altura total (m) de cada árbol individual.
B. Importar datos de árboles individuales (seleccionando la casilla de verificación "Importar datos" dentro de "Datos de árboles"). En este caso se despliega el panel de importación, compuesto por un cuadro de introducción de texto, donde el usuario puede arrastrar o pegar los datos (en formato ASCII y separados por tabulaciones). Seguidamente se ha de seleccionar la tipología de datos que se han importado: diámetros (cm) y alturas (m) de todos los pies; diámetros y solamente algunas alturas; o únicamente diámetros. En los casos en los que los datos estén incompletos (no se especifican todas las alturas), es necesario añadir dos variables más: altura

dominante (m) y diámetro dominante (cm) del rodal de origen de los datos, para que el programa pueda estimar las alturas no introducidas (mediante una relación h-d generalizada).

C. Introducir datos de clases diamétricas (activando la casilla "Datos de clases diamétricas"). En este caso se requiere información del diámetro normal medio (cm), de la altura total media (m) y del número de pies/ha de cada una de las clases diamétricas.

Una vez que el usuario completa la información requerida en cualquiera de los tres casos, los datos introducidos o importados se van incluyendo en la lista de árboles o de clases diamétricas, en la que aparecen dichos datos de partida y también las siguientes variables de volumen y biomasa calculadas por el programa, cuyo significado concreto puede igualmente conocerse colocando el ratón encima de cada una de ellas:

- vcc: volumen con corteza (m^3)
- vproducto: volumen de los distintos productos de madera (m^3)
- wl: biomasa de hojas (t)
- wt: biomasa de ramillos (t)
- wbr: biomasa de ramas (t)
- ww: biomasa de madera (t)
- wb: biomasa de corteza (t)
- C: carbono almacenado (t)

Además, se van sumando los volúmenes (m^3) y los pesos secos de fustes y total (kg), de árboles o clases diamétricas según el caso, en la fila resumen. Es posible limpiar el listado de manera total pulsando el botón "Limpiar Formulario", o de manera parcial, seleccionando los pies o las clases diamétricas que se desea eliminar y pulsando posteriormente el botón "Borrar seleccionados") (Figura 3).

Figura 3: Cubicación de árboles individuales

3.3. Cálculos mediante datos de rodal

Cuando se selecciona en el "Menú principal" la opción "Datos de rodal", se abre el formulario "Añadir variables" del rodal, en el que es necesario incluir la siguiente información (Figura 4):

- Edad (años): edad del rodal en el momento de la medición.
- Pies por hectárea: densidad del rodal en el momento actual.
- Altura dominante (m): altura media de los 100 árboles más gruesos por hectárea del rodal.
- Área basimétrica (m2 ha-1): sumatorio de las secciones normales de todos los árboles/ha.
- Superficie (ha): tamaño del rodal.

Una vez que se han introducido los datos del rodal en el formulario y se pulsa el botón "Añadir", se procede al cálculo de la producción del rodal, indicando en una tabla el valor de las siguientes variables, año por año:

- t: edad (años).
- N: número de árboles (pies) por hectárea.
- G: área basimétrica (m2 ha-1).
- H0: altura dominante (m).
- VCC: volumen con corteza (m^3 ha-1).
- VPROD: volumen de productos (m^3 ha-1).
- B. Hojas: biomasa en peso seco de hojas (t ha-1).
- B. Comb.: biomasa de combustibles o leñas (t ha-1).
- B. Madera: peso seco de madera en el fuste (t ha-1).
- C. Total: carbono total (t ha-1)

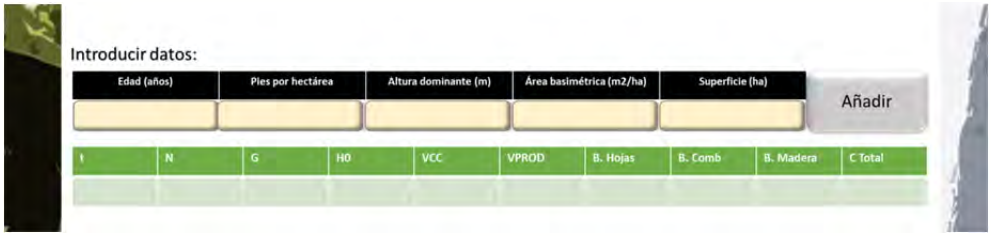


Figura 4: Cubicación a escala de rodal

4. Agradecimientos

Este aplicativo es la continuación de una serie de aplicativos para cubicar y clasificar productos de madera que se han realizado a través de la colaboración desinteresada de propietarios forestales, industrias de la madera, centros de investigación, universidades, administraciones e investigadores. Los autores quieren mostrar su especial agradecimiento a La Universitat de Lleida, donde se desarrolló "matdendro" y "cubica", la semilla de "cubiFOR" y a la fundación Cesefor y a la Junta de Castilla y León, en donde se amplió "cubica" para convertirse en "cubiFOR". También se agradece especialmente a los investigadores que han desarrollado los modelos de perfil que se utilizan en esta versión "gratuita".

5. Bibliografía

BARRIO-ANTA, M; SIXTO-BLANCO, H; CAÑELLAS, I; GONZALEZ-ANTOÑANZAS, F; 2007. Sistema de cubicación con clasificación de productos para plantaciones de Populus xeuramericana (Dode) Guinier cv. 'I-214' en la meseta norte y centro de España. Investigación Agraria: Sistemas y Recursos Forestales 16(1), 65-75

BENBRAHIM, M; GAVALAND, A; 2003. A New Stem Taper Function for Short-rotation poplar, Scandinavian Journal of Forest Research, 18:4, 377-383

FLOREZ, V; VALENZUELA, C; ACUÑA, E; CANCINO, J; 2014. Combining taper and basic wood density equations for estimating stem biomass of the Populus x canadensis I – 488 variety. Bosque 35(1).

GAL, J; BELLA, IE. 1994. New stem taper functions for 12 Saskatchewan timber species. Report NOR-X-338. Canadian Forest Service.

HJELM, B; 2011. Stem taper equations for poplars growing on farmland in Sweden. Journal of Forestry Research 24(1):15-22.

PÉREZ-RODRÍGUEZ, F, NUNES, L, SIL, A, AZEVEDO, JC; 2016. FlorNExT®, a cloud computing application to estimate growth and yield of maritime pine (Pinus pinaster Ait.) stands in Northeastern Portugal. Forest Sys. 25 (2).

RODA, JM; 2001. Form function for the 'I-214' poplar merchantable stem (Populus xeuramericana (Dode) Guinier cv cultivar 'I-214'). Ann. For. Sci. 58, 77–87

RODRIGUEZ, F; BROTO, M; 2003. Cubica v1.2: Programa informático para cubicar y clasificar productos a partir de los datos procedentes de un inventario. Revista Montes, 72. 33-38

RODRIGUEZ, F; BROTO, M; LIZARRALDE, I; 2008. CubiFOR: Herramienta para cubicar, clasificar productos y calcular biomasa y CO2 en masas forestales de Castilla y León. Revista Montes, 95. 33-39

RODRIGUEZ, F; LIZARRALDE, I; BRAVO, F; 2015. Comparison of stem taper equations for eight major tree species in the Spanish Plateau. Forest Systems, 24(3)

RODRIGUEZ, F; MOLINA, C; 2003. Análisis de modelos de perfil de fueste y estudio de la cilindricidad para tres clones de chopo (Populusxeuramericana) en Navarra. Invest. Agrar.:Sist Recur. For, 12(3), 73-85

RODRIGUEZ, F; RODRIGUEZ J; 2000. Matdendro v1.0: Un programa para el cálculo de existencias con clasificación de productos. Montes, 62, 13-20.

ROJO-ALBORECA, A; GARCÍA-VILLABRILLE, JD; PEREZ-RODRIGUEZ, F; 2015. EucaTool®, a cloud computing application for estimating the growth and production of Eucalyptus globulus Labill. plantations in Galicia (NW Spain). Forest Systems, 24(3).

SUN, Y; LIANG, X; LIANG, Z; WELHAM, X; WEIZHENG, L; 2016. Deriving Merchantable Volume in Poplar through a Localized Tapering Function from Non-Destructive Terrestrial Laser Scanning. Forests, (7)- 87.

UNG, CH; GUO, X.J., FORTIN, M; 2013. Canadian national taper models. The Forestry Chronicle 89 (2). 211-224.

WABO, E; MARQUINA, J; BRATOVICH, R. 2001. Modelos de perfil de fuste para clones comerciales de Populus deltoides Marsh en la zona continental de la provincia de Buenos Aires. Quebracho 9: 83-94

WESTFALL, JA; SCOTT, CT; 2010. Taper Models for Commercial Tree Species in the Northeastern United States. Forest Science 56(6), 515- 528

Detección del tiempo de llegada de ondas elásticas (ToF) en árboles mediante el método de Akaike. Aplicación a una chopera de *Populus* ×*euramericana* (Dode) Guinier 'I-214' de la Vega de Granada

RESCALVO, F.J.[1]; RIPOLL M.A.[2]; GALLEGO, A.[1]
1 ETS Ingeniería Edificación, Universidad de Granada, 18071, Granada
2 IFAPA Centro Camino de Purchil, 18080, Granada

Palabras clave
Chopo, ondas elásticas, velocidad en árboles, propiedades mecánicas de la madera, plantación mixta y pura.

1. Introducción

Tradicionalmente la densidad ha sido el parámetro utilizado para valorar la calidad de la madera. Sin embargo, durante los últimos años se está considerando también el uso de otros parámetros relacionados con la pared celular, como el ángulo de las microfibras de celulosa (MFA). Además, para aplicaciones estructurales es más lógico seleccionar la madera en base a su rigidez. Desde el punto de vista comercial e industrial, se valora enormemente el conocimiento de la rigidez de la madera lo antes que sea posible. De esta forma, se podrá hacer una corta más eficiente de la parcela y una selección de los troncos más acorde con las necesidades finales, a la vez que una mejor valoración económica de la misma. Básicamente existen tres fases temporales donde se puede valorar la rigidez y densidad de la madera: Fase 1) En árbol, antes de ser cortada; Fase 2) En tronco, una vez cortado y antes de ser procesado; Fase 3) En tablones, de los que se pueden extraer probetas.

Para la estimación de la rigidez en la Fase 1), sin realizar catas, se usa fundamentalmente la determinación de la velocidad de propagación de ondas elásticas, a partir de la obtención del tiempo de llegada (ToF) de una onda generada con un golpe de martillo. Para ello se usan dos sensores separados una cierta distancia (Figura 1). Si la inspección se hace a lo largo de la longitud del árbol (inspección longitudinal), la velocidad de propagación estará relacionada con la rigidez de la madera de la parte exterior del tronco. Existen algunos autores que también realizan inspección a lo largo de la dirección radial del tronco, obteniendo una velocidad de propagación radial, cuya dependencia con las propiedades mecánicas de la madera (rigidez y densidad) es muy complicada, dada la fuerte heterogeneidad que ésta presenta en dicha dirección. Para la estimación indirecta de la rigidez en la Fase 2), tradicionalmente se mide la velocidad de propagación de ondas elásticas estacionarias generadas en el árbol (método de resonancias), también generadas con un golpe de martillo. En la Fase 3), la determinación de la rigidez suele hacerse indirectamente con el método de resonancias, o bien, directamente mediante ensayos destructivos de laboratorio.

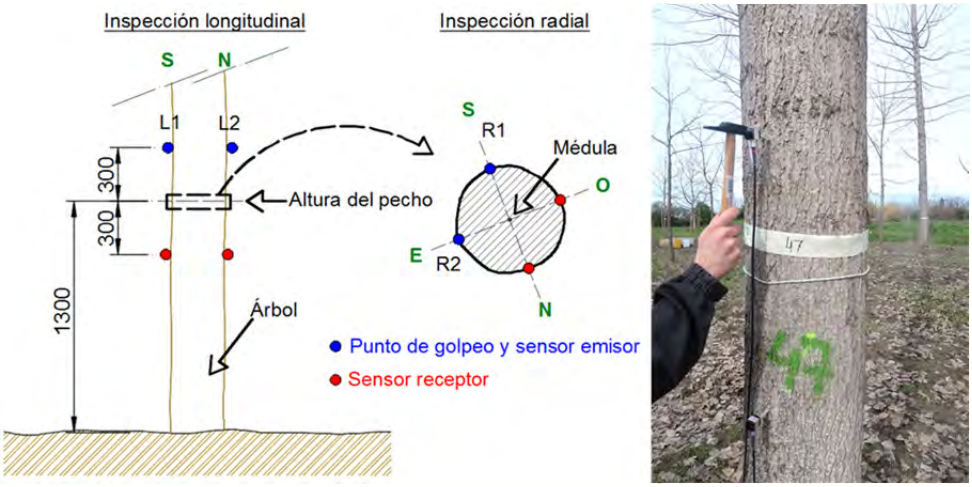


Figura 1. Izquierda: Disposición de sensores en la inspección longitudinal y radial mediante ondas elásticas en árbol. Derecha: Medida durante una inspección longitudinal. Distancias en mm.

Son múltiples los trabajos que comparan la velocidad de propagación longitudinal obtenida en la Fase 1 (árbol), con la obtenida en Fase 2 (tronco) y en Fase 3 (tablones/probetas), demostrando una clara correlación lineal entre ellas. Sin embargo, la mayoría de los trabajos exponen que la velocidad medida en árbol sobreestima la velocidad medida en tronco. Para justificarlo, Wuan argumenta que, mientras que en el tronco se propagan ondas unidimensionales (la relación velocidad-rigidez no depende del módulo de Poisson de la madera), en el árbol se propagan ondas de volumen (la relación velocidad-rigidez depende del módulo de Poisson de la madera).

Por otro lado, la totalidad de los trabajos existentes utilizan el método del umbral para la detección del ToF. Esto hace que la determinación de la velocidad no sea del todo precisa, pues la llegada de la onda es detectada con posterioridad al momento en el que realmente llega. Para solventar este problema, el presente trabajo propone una metodología alternativa para la determinación del ToF, basada en el conocido como método de Akaike.

2. Método de Akaike para la determinación del ToF

Consideremos que x(t) es la señal registrada por el sensor receptor (Figura 2). El método del umbral consiste en establecer un valor de amplitud (umbral) de tal forma que el ToF se considera el tiempo en el que la amplitud de la señal supera dicho valor. Este método es altamente dependiente del umbral elegido (Figura 2). Si el umbral es bajo, se corre el riesgo de registrar un ToF mucho menor que el real, ubicado en la zona de ruido de la señal. Si el umbral es alto, se corre el riesgo de registrar un ToF mucho mayor que el real.

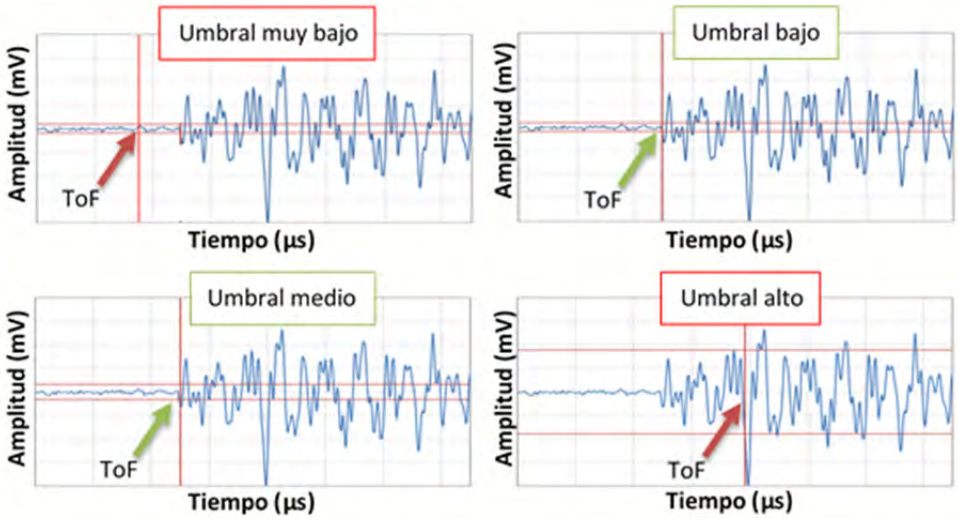


Figura 2. Obtención del ToF para diferentes valores del umbral en una señal registrada en el sensor receptor. Rojo: Mal registro del ToF. Verde: Buen registro del ToF.

El criterio de información de Akaike (AIC) se desarrolló en 1971 (Akaike, 1973). El AIC puede separar eficientemente eventos diferentes en una señal temporal, o de otra forma, detectar el tiempo de llegada de una señal. A la izquierda del tiempo de llegada, la señal es básicamente ruido, caracterizada por una alta entropía, mientras que a la derecha del tiempo de llegada, la señal tiene baja entropía. Para la detección del tiempo en el que se produce un cambio fuerte de la entropía de la señal, el método calcula la llamada función de Akaike, definida como la señal diferencia de entropía entre los segmentos izquierdo y derecho de la señal, es decir:

$$\mathrm{AIC}(k) = k\,\log(\mathrm{variance}(x(1{:}\mathrm{k})) + (N - k - 1)\log(\mathrm{variance}(x(k + 1{:}\mathrm{N}))$$

donde N es el número total de datos de la señal y k es el orden de cada muestra en la señal, que varía de 1 a N. En el momento preciso en que el punto de división de los dos segmentos coincida con la llegada de la señal, la diferencia de entropía será máxima, y la función de Akaike tendrá un claro valor mínimo (Figura 3). Justamente este punto en el que se presenta el valor mínimo de AIC, se considera el ToF.

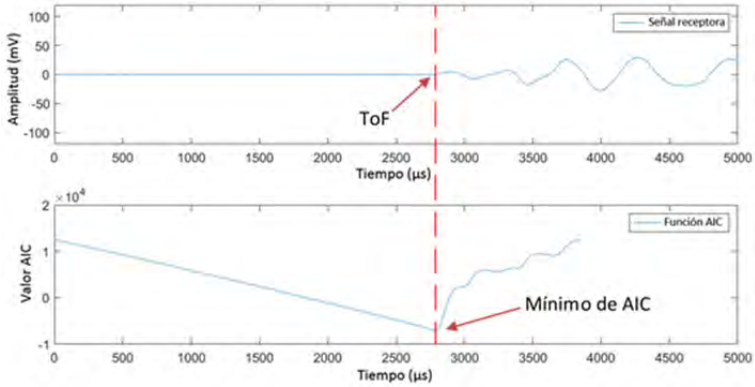


Figura 3. Ejemplo de detección del ToF de una señal registrada en el sensor receptor mediante el método de Akaike.

3. Descripción de la plantación e instrumentación

La plantación está situada en una finca particular (Huerta de la Paloma, X: 443423.0; Y: 4114357.0; cota: 630 m) de la Vega de Granada. Esta parcela pertenece a la red de ensayos del IFAPA creada gracias al proyecto PP.TRA.TRA2016.14 "Selvicultura agraria de calidad: ampliación y mantenimiento de la red de ensayos demostrativos de cultivos forestales" cofinanciado al 80% con Fondo Europeo de Desarrollo Regional, dentro del Programa Operativo FEDER de Andalucía 2014-2020. Los suelos son básicos, profundos, aluviales, formados a partir de los ríos Beiro y Genil y el clima es seco mediterráneo. Ocupa una superficie aproximada de 7.780 m^2. El espaciamiento entre árboles es de 5×5 m (400 árboles ha^{-1}). El diseño experimental es en bloques completos realizados al azar (tres bloques en total). El número total de árboles es de 270. En cada bloque hay tres tratamientos: plantación pura de nogal híbrido 'MJ209xRa' (30 nogales), plantación pura de clon de chopo 'I-214' (30 chopos) y plantación mixta de nogal y chopo (15 nogales y 15 chopos). Los 30 árboles de cada tratamiento están distribuidos en 5 filas con 6 árboles cada una. Las medidas se realizan sobre los 12 árboles centrales para evitar el efecto borde. El tipo de cultivo mixto realizado es conocido como cultivo de doble turno, en el que una especie es de crecimiento más rápido que la otra (COELLO y PIQUÉ, 2009). La plantación se realizó en febrero de 2010.

Se analizan aquí solamente los chopos, es decir, tres bloques con dos tratamientos cada uno. En total 6 sectores: Sectores S1, S3 y S5 en tratamiento mixto chopo-nogal (6 chopos analizados por sector; total, 18 chopos) y los sectores S2, S4 y S6 en tratamiento puro de chopo (12 chopos analizados por sector; total, 36 chopos).

Como transductores se usaron los acelerómetros SD-02 de Fakoop. Como sistema de registro de las señales, se usó el osciloscopio portable Picoscope. Para el tratamiento de las señales y cálculo de los tiempos de llegada, se usó el lenguaje MATLAB.

4. Resultados

A modo de ejemplo, en la Figura 4 se muestra la velocidad de propagación longitudinal y radial obtenida para un chopo elegido al azar (chopo 93 del sector 2). En cada gráfica se muestran por separado los resultados para cada una de las dos medidas realizadas para la inspección longitudinal (L1 y L2) y radial

(R1 y R2). Se muestran los resultados obtenidos con el método de detección del ToF por umbral, en función del umbral utilizado. Se observa que a medida que aumenta el umbral, la velocidad de propagación disminuye, debido a que el tiempo de comienzo de la señal detectado por el sistema, es más alto. Para valores bajos del umbral, la velocidad obtenida con la técnica del umbral va convergiendo al valor obtenido con la metodología propuesta (método de Akaike), cuyo resultado no depende del umbral. Se aprecia además, comparando las dos direcciones de inspección, una mayor estabilidad de los resultados obtenidos con el método de Akaike que con la técnica del umbral. En el caso de la velocidad de propagación longitudinal, un cambio en el umbral de 0,6 a 1 mV en la técnica del umbral, conlleva a un error en su cálculo de un 14% respecto del obtenido con el método de Akaike. El resultado fue cualitativamente similar para todos los árboles inspeccionados.

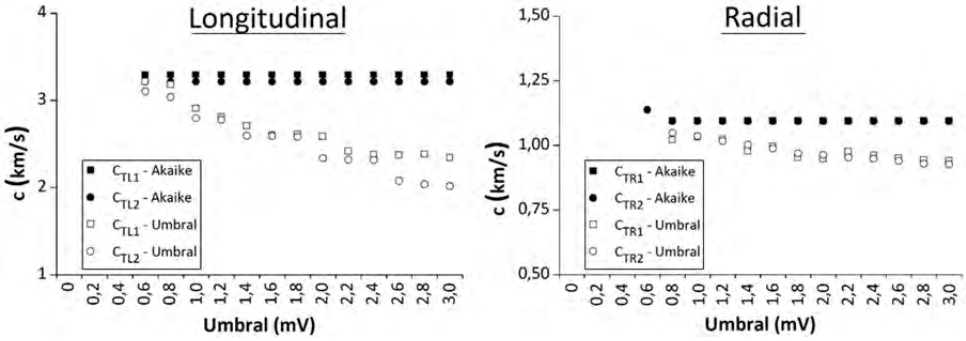


Figura 4. Velocidad de propagación en función del umbral elegido, calculada con el método del umbral y el método de Akaike. Izquierda: Inspección longitudinal. Derecha: Inspección radial. Chopo 93 (sector 2).

4.1. Estudio de la velocidad de propagación en la plantación

La Figura 5 muestra las medidas medias del DBH para los chopos de cada sector y tipo de tratamiento, realizadas en septiembre de 2015 (6 años de edad) por la empresa Madera Plus Calidad Forestal S.L. dentro del Proyecto Transforma PP.TRA.TRA201300.12 “Cultivos de regadío al aire libre”, cofinanciado al 80% con Fondo Europeo de Desarrollo Regional y Fondo Social Europeo (Programa Operativo FEDER de Andalucía 2007-2013) y en marzo de 2018 (9 años) por los autores de este trabajo dentro del proyecto COMPOP. A la izquierda se presentan los resultados de DBH medios para cada sector y año de medida. Se observa claramente cómo los sectores 1, 3 y 5 (plantación mixta) alcanzan valores de DBH mayores que los sectores 2, 4 y 6 (plantación pura). Sin embargo, no se aprecia una diferencia en el ritmo de crecimiento de cada sector, es decir, el cociente de valores a edades de 9 y 6 años es similar en los diferentes sectores, con independencia del tratamiento. A la derecha se muestra el diámetro medio en función del tratamiento (plantación pura o mixta). Claramente se aprecia cómo la parcela mixta alcanza mayores valores de DBH que la parcela pura, aunque esta última presenta menores desviaciones entre medidas.

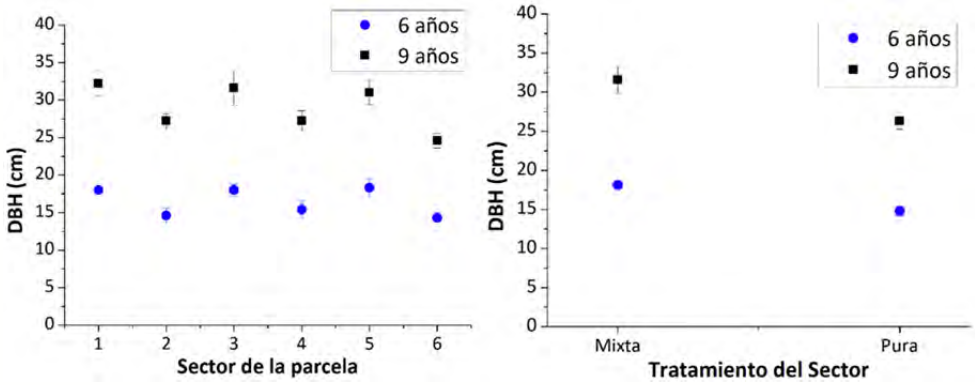


Figura 5. Valores medios del DBH para 6 y 9 años de edad. Izquierda: Valor medio en cada sector; Derecha: Valor medio en cada tipo de tratamiento.

La Figura 6 muestra las velocidades longitudinales medias obtenidas en función del diámetro de cada árbol, para cada uno de los tratamientos, y para las edades de 6 (izquierda) y 9 años (derecha). La Figura 7 muestra los mismos resultados pero para inspección radial. En las medidas a 6 años el ToF se obtuvo por el método del umbral, mientras que en las medidas de 9 años se usó el método de Akaike aquí propuesto. En ambas, y para cada edad, se hacen tres regresiones lineales en función del ángulo; una, para cada tratamiento por separado; otra, incluyendo los dos tratamientos conjuntamente. La Tabla 1 muestra los valores medios de estas velocidades para todos los árboles del mismo tratamiento y la misma edad.

En ambas velocidades, longitudinal y transversal, se observa un descenso de velocidades de los 6 a los 9 años de edad, tanto para tratamiento de parcela mixta como pura. Este comportamiento significaría un descenso de las propiedades mecánicas con el paso de la edad, lo cual es totalmente ilógico y contrario a lo obtenido por otros autores (Chauhan y Walker, 2006). Esto puede deberse fundamentalmente a que las medidas a 6 y 9 años se realizaron en diferentes estaciones (invierno y verano), con dos crecimientos vegetativos y contenidos de humedad de la madera completamente diferentes.

La variación entre el DBH máximo y mínimo de los diferentes árboles a los 6 años es de unos 7 cm, mientras que a los 9 años está alrededor de 12 cm. Como se aprecia en la Figura 6, esto permite que a los 9 años se pueda distinguir con una mayor claridad el efecto del tratamiento en la parcela (mixta o pura). Se observa una mayor velocidad longitudinal, y por tanto mayor rigidez de la madera exterior del árbol, para el tratamiento en plantación pura. Asimismo, se observa una correlación negativa con el DBH del árbol, con coeficiente de correlación de 0,46.

En cuanto a la velocidad radial, el comportamiento es completamente el contrario. La plantación mixta tiene mayores DBH y mayores velocidades de propagación. Se observa un claro comportamiento lineal positivo, con coeficiente de correlación 0,43. Algunos autores han asociado esta velocidad radial a la densidad de la madera. Sin embargo, esta asociación es cuestionable por cuando que a lo largo de la dirección radial el material es claramente heterogéneo.

Tabla 1. Velocidades medias por tratamiento y edad.

	Velocidad longitudinal - c_{TL} (km/s)		Velocidad radial - c_{TR} (km/s)	
	Mixta	Pura	Mixta	Pura
6 años (sept)	3,50	3,44	1,32	1,25
9 años (marzo)	3,02	3,19	1,20	1,11

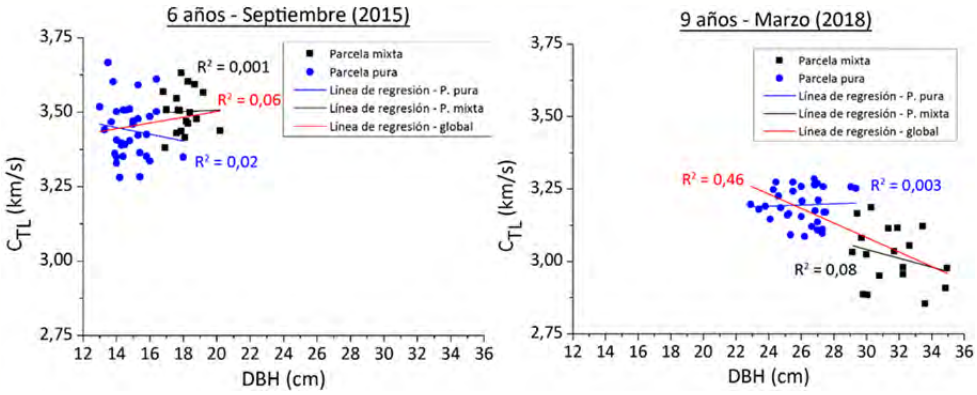


Figura 6. Velocidades longitudinales en función de DBH. Izquierda: 6 años (septiembre); Derecha: 9 años (marzo).

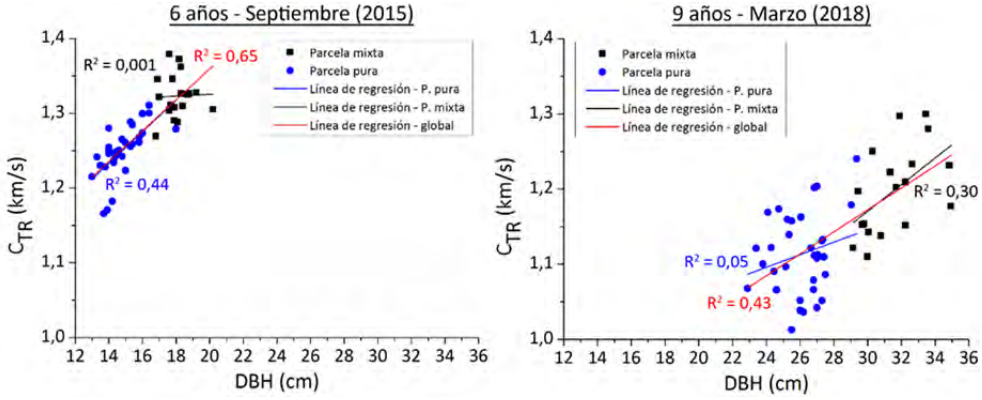


Figura 7. Velocidades radiales en función de DBH. Izquierda: 6 años (septiembre); Derecha: 9 años (marzo).

4.2. Estudio de la influencia de la distancia entre sensores

La Figura 8 muestra la medida de la velocidad longitudinal para diferentes distancias entre sensores, obteniendo el ToF con el método de Akaike y la técnica del umbral para distintos umbrales. Se han elegido dos chopos al azar. Para ello, se fijó el sensor emisor a 1,6 m de altura con respecto del suelo, y se fue variando la posición del sensor receptor de 20 a 100 cm. Se tomaron medidas cada 20 cm. Para el cálculo del ToF con el umbral, se han seleccionado umbrales de 1,5, 2,5 y 3,5 mV, siendo 1,5 mV el menor umbral posible, debido al ruido de fondo.

En líneas generales, se observa cómo a distancias cercanas entre sensores, se obtienen menores velocidades, las cuales van aumentando de manera significativa hasta una distancia de 60 cm. A partir de esta distancia los valores parecen alcanzar una cierta estabilización usando las dos metodologías de obtención del ToF. Por otro lado, se aprecia claramente que el método de Akaike proporciona siempre velocidades mayores, ya que permite detectar con antelación el inicio de la señal receptora, traduciéndose en un menor ToF. Se observa también cómo al aumentar el umbral, la velocidad desciende, siendo en algunos casos (chopo 34, umbral de 3,5 mV) una diferencia muy destacable, cambiando incluso la tendencia de las medidas registradas a partir de 80 cm. Esto tiene una influencia muy importante sobre los valores de velocidad obtenidos.

Estos resultados demuestran la enorme influencia que tiene el realizar una correcta detección del tiempo de llegada de la señal receptora con respecto al cálculo del ToF y consecuentemente sobre la velocidad longitudinal. Así mismo, los resultados confirman que una distancia demasiado cercana entre sensores (< 60 cm) puede incurrir en un importante error en el cálculo de la velocidad longitudinal, indistintamente del método usado para el cálculo del ToF, de acuerdo por lo observado por otros autores (Essien et al., 2018).

5. Conclusiones

El método de Akaike proporciona resultados más estables que el método del umbral para la detección del ToF, pues no es dependiente del umbral elegido.

A los 9 años de edad, el tratamiento mixto ofrece mayores valores de DBH que el tratamiento puro, pero valores más bajos de velocidad longitudinal y, por tanto, de rigidez de la madera exterior.
A los 9 años de edad, el tratamiento mixto presenta mayores valores de velocidad radial que el tratamiento puro.

Existe una correlación lineal con coeficientes de regresión en torno a 0.5 entre las velocidades y el DBH, de acuerdo con otros autores para otro tipo de árboles.

Las velocidades medidas están altamente influenciadas por la época en la que se hacen las medidas y, por tanto, por el desarrollo vegetativo del árbol.

Distancias entre sensores menores a 60 cm generan velocidades de propagación muy inferiores. A partir de esta distancia entre sensores, el método de Akaike proporciona resultados más estables en función de la distancia emisor-sensor, que el método del umbral.

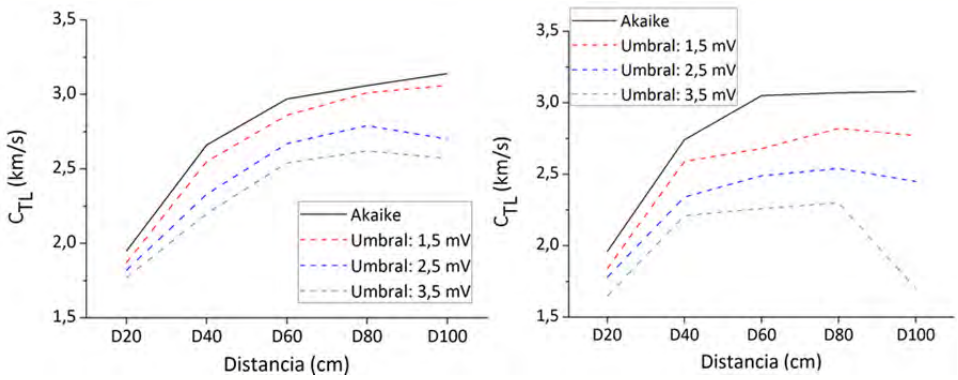


Figura 8. Velocidades longitudinales para distintas distancias entre sensores, obtenidas con los métodos del umbral y de Akaike. Izquierda: Chopo 19 – Sector 1. Derecha: Chopo 34 – Sector 1.

6. Agradecimientos

El trabajo se ha realizado con fondos del proyecto COMPOP_Timber "Desarrollo de productos de ingeniería elaborados a base de tablones y chapas de chopo con inserciones de material compuesto para su uso en construcción", código BIA2017-82650-R. Los autores quieren agradecer las colaboraciones realizadas por Mr. Antonio Aguilar y Mr. Kei Tanino (Universidad de Granada), y María José Sánchez Peinado contratada del IFAPA para el desarrollo del PP.TRA.TRA2016.14 "Selvicultura agraria de calidad: ampliación y mantenimiento de la red de ensayos demostrativos de cultivos forestales" cofinanciado al 80% con Fondo Europeo de Desarrollo Regional, dentro del Programa Operativo FEDER de Andalucía 2014-2020.

7. Bibliografía

[1] COELLO, J.; PIQUÉ, M. 2009. Plantaciones mixtas de nogal, serbal y fresno para la producción de madera de calidad y restauración forestal. 5CFE01-17.

[2] CHAUHAN, S.S.; WALKER, J.C.F. 2006. Variations in acoustic velocity and density with age, and their interrrelationships in radiata pine. Forest Ecology and Management. Vol.: 229. pp.: 388-394.

[3] ESSIEN, C.; VIA, B.K.; GALLAGHER, T.; MCDONALD, T.; ECKHARDT, L.G. 2018. Distance error for determining the acoustic velocity of standing tree using three morphological, physical and anatomical properties. Journal of the Indian Academy Wood Science. Vol.: 15. pp.: 52.

El chopo como elemento para mejorar la eficiencia energética en la construcción

DUQUE, J.A.[1]
[1] JAD arquitectos

Palabras clave
Sostenibilidad, construcción pasiva, panel.

1. Introducción

En mi experiencia en el sector de la construcción, he vivido cómo la rehabilitación de edificios y el desarrollo de nuevas tecnologías del sector han evolucionado exponencialmente, lo que, unido al interés que he tenido siempre por la sostenibilidad de la construcción, hizo que me decidiera por especializarme en estos segmentos de la arquitectura.

Sin lugar a dudas, el futuro de la construcción va de la mano de la sostenibilidad, y los productos desarrollados a partir de maderas sostenibles y de ciclo rápido como el chopo, en paralelo a nuevas tecnologías aplicadas a esta madera, hacen que las oportunidades de aplicaciones se multipliquen.

2. El chopo en la construcción de alta eficiencia energética

Uno de los conceptos más importantes desde el punto de vista de la sostenibilidad, es el ciclo de vida de los productos, donde el chopo destaca por su rápido crecimiento y sus posibilidades a muchas aplicaciones de la construcción. Paneles de fachada, acabados interiores, muebles, paneles estructurales...

Por otro lado, en certificados de alta eficiencia energética como el PASSIVHAUS, el chopo, en su formato desarrollado para panel estructural aislante, nos aporta grandes ventajas frente a sistemas constructivos tradicionales, donde destacarían la baja conductividad térmica de la madera, la incorporación de aislamientos en el núcleo de los paneles y la eliminación de permeabilidad al aire en las uniones o a través de los paneles, lo que facilita completar objetivos tan exigentes de las casas pasivas, como el *test blower door*. Esta prueba fue una de mis mayores sorpresas cuando comencé a usar los paneles de madera de chopo en los primeros proyectos hace 4 años.

3. Características del chopo como material de construcción

Gracias a los tratamientos de la madera de chopo industrializada y a la combinación con los adhesivos y espumas aislantes actuales, se ha desarrollado un concepto de panel muy acertado para la construcción.

Esta tecnología permite sacar el máximo partido a la madera, donde con apenas unos milímetros de espesor de tableros, unidos a la espuma aislante, generan una inercia mecánica tan rígida que soporta las cargas estructurales de construcciones hasta 3 plantas de altura, siendo una alternativa real a los sistemas de construcción tradicionales, especialmente interesante cuando buscamos alta eficiencia energética, donde sacamos el máximo partido del aislamiento térmico integrado en los paneles.

Las principales aportaciones del chopo a estos paneles, y que lo diferencian especialmente de otras maderas, son la estabilidad dimensional, la capacidad decorativa y sobre todo la ligereza, que hacen del sistema constructivo un sistema "mano-portable", lo que simplifica enormemente los recursos y herramientas necesarios en obra, así como una reducción importante de los tiempos de ejecución, que también repercuten en ahorros económicos importantes del proyecto.

A pesar de que la madera de chopo no se valoraba especialmente en el sector hace unos años, en la actualidad no encontramos ningún punto negativo en su aplicación, especialmente referido a la durabilidad o resistencia mecánica.

4. El futuro del chopo en la construcción

Viendo el recorrido de los últimos años en los tratamientos y nuevos productos a partir de madera de chopo para el sector de la construcción, no me cabe ninguna duda de que estamos ante una madera con mucho recorrido futuro en el sector, y que será sin duda una gran protagonista, para poder cumplir las exigencias y requerimientos necesarios, sobre las medidas que se irán adoptando en las normativas constructivas a escala internacional, para reducir cada vez más el impacto medioambiental de la construcción y el uso de los edificios.

El chopo en la construcción. Innovación en el chopo para nuevas aplicaciones

SUFRATEGUI, M.A.[1]
[1] Garnica

Palabras clave
Contrachapado, demanda, valor añadido.

Innovación en el chopo para nuevas aplicaciones
El contrachapado de chopo, tradicionalmente ha tenido un rango de aplicaciones muy limitado a aquéllas que solo demandaban ligereza y estabilidad, pero gracias a los avances tecnológicos, se ha abierto el rango de aplicaciones enormemente.

1. Nuevas soluciones

En los últimos años, hemos experimentado una crisis en el sector de la construcción muy importante en toda europa, que ha obligado a desarrollar mejores productos y buscar un aumento de la calidad de los proyectos, al mismo tiempo que intentar reducir los costes globales de la construcción final. La construcción de alta eficiencia energética, a partir de materiales de bajo impacto medioambiental y de fácil instalación y manipulación, han demostrado ser el presente y futuro del sector, y ahí es donde los productos a partir de madera de chopo encajan al 100%. Se trata de productos con los que ya hemos conseguido proyectos certificados PassivHaus, el estándar alemán más importante de eficiencia energética, en tiempos de obra récord, y con unos costes globales del proyecto inferiores a construcciones tradicionales de menor calidad.

Una de las demandas habituales del sector de la construcción es una mayor durabilidad de la madera, unida a un comportamiento óptimo frente al ataque de hongos e insectos (tratamiento de madera durable), o por ejemplo unas prestaciones frente al fuego mejoradas (ignifugado de la madera). Con los tratamientos del tablero de chopo en el 100% de su espesor, se consigue dotar a los paneles de estas propiedades tan valoradas, y conseguir por ejemplo la certificación internacional clase de riesgo 3 (para aplicación a exterior y durabilidad) o B-s1-d0 (el mejor nivel de reacción a fuego de madera posible) , situando el producto de contrachapado de chopo como referente internacional. Esta gama de producto, ha supuesto un cambio en la concepción tradicional de la madera de chopo en la construcción, y está desplazando el uso de maderas más comunes tradicionalmente, en mercados tan exigentes como los del norte de Europa, con la garantía de unas prestaciones superiores certificadas. A partir de estos tableros, se han desarrollado además diversas combinaciones en paneles sándwich, para satisfacer otras demandas del sector constructivo.

2. El contrachapado de chopo como alternativa certificada

Estos avances en tratamientos del chopo y sus aplicaciones, unidos a nuevos procesos industriales, permiten adherir industrialmente los tableros a otros materiales, como un aislante térmico de altas prestaciones mecánicas, para crear paneles estructurales aislantes, que a su vez son ligeros y decorativos.

El contrachapado de chopo, con especial durabilidad, certificado para ambientes exteriores con humedades superiores al 20%, a su vez con prestaciones mecánicas excepcionales, es adherido

industrialmente a un aislamiento de poliestireno extruido de alta resistencia a la compresión, crea un conjunto sándwich, de alta inercia mecánica, que se puede emplear como sistema constructivo conocido como paneles estructurales aislantes. Este importante avance en la construcción mejora las prestaciones energéticas del edificio, unido a una reducción de tiempos y costes de obra, y con un impacto medioambiental mínimo.

En esta línea de nuevas aplicaciones, se busca mejorar las virtudes tradicionales del contrachapado de chopo. Un buen ejemplo es la mejora de la ligereza: Partiendo del contrachapado de chopo, uno de los productos de madera más ligeros del mercado, y gracias a nuevos procesos industriales, se han desarrollado paneles que reducen el peso final hasta en un 40%, lo que, manteniendo las geniales prestaciones de acabados decorativos y estabilidad dimensional, abren un gran abanico de aplicaciones en mercados como el mueble o la aplicación a las industrias de fabricación de barcos, trenes o caravanas.

3. Crecimiento de la demanda

La demanda de estos nuevos productos a partir de madera de chopo, desde su desarrollo, ha crecido exponencialmente, con sus mercados más importantes en el centro de Europa y Estados Unidos, que a medio plazo tenderá a aumentar en mercados del norte de Europa. Esta demanda ira también apoyada por el horizonte 2020, que requiere productos más eficientes energéticamente, especialmente para el sector de la construcción. Nos situamos en un crecimiento que multiplica por 2 o 3 sus ventas de año en año, y que repercute directamente en la cadena de producción, con previsiones futuras muy esperanzadoras.

4. El valor añadido en los productos a partir de chopo

Todas estas nuevas tecnologías de tratamientos y procesos industriales abren la puerta a futuros desarrollos de producto, con un aumento importante de su valor añadido, y que en la mayoría de casos se crean en colaboración con clientes estratégicos, que permiten el aumento de la rentabilidad en toda la cadena de producto de chopo, desde las plantaciones hasta la competitividad del producto final frente a las alternativas más tradicionales, repercutiendo también de forma importante en las ventajas que aporta a los clientes.

El Tablero contrachapado de chopo, aplicación noble y mayoritaria para la madera procedente de plantaciones de chopo

MUÑOZ GARCÍA, A.[1]
[1] Grupo Garnica

Palabras clave:
Poplar plywood, tablero de envase de chopo, tablero decorativo, sostenible, tropicales, usos del chopo, industria española de contrachapado.

1. Introducción

La madera procedente de chopo es una madera relativamente nueva, de calidad óptima (clones elegidos para producir madera) y sostenible, que comienzan a utilizarse en los años 70. Con esta madera se han desarrollado contrachapados de extraordinarias características. La calidad de la madera de chopo del Duero ha permitido el desarrollo de una industria pujante en España que se ha convertido en líder mundial del tablero de calidad en base chopo.

Los productos de chopo tienen un gran presente y futuro en el sector de los paneles contrachapados; su única limitación será la cantidad de madera disponible. Por ello, el presente es bueno para los populicultores y será todavía mejor el futuro.

2. Los inicios en España.

La industria del tablero contrachapado en España comenzó en los años 70 con las primeras cortas significativas de chopo que se hicieron en la Cuenca del Duero. Algunos fabricantes de contrachapados de la zona de Valencia, que utilizaban maderas tropicales, descubrieron el chopo como una madera nueva que podía utilizarse mezclada con las tropicales a un precio mucho más económico. Posteriormente, se comenzó a utilizar para hacer un tablero sencillo de tres chapas y 3 mm, con el que se produjeron los envases de chopo. La producción de chopo se dedicó en las décadas de los 70 y 80, casi exclusivamente, a la producción de cajas de fruta alcanzando su pico a finales de los años 80, y estabilizándose a la baja desde entonces hasta hoy en día.

Justo en este máximo de la producción de tablero de envase, comenzó a producirse tablero contrachapado industrial de mayores formatos, como el 250* 122, gran variedad de espesores y acabados que podrían tener una gran amplitud de utilizaciones en la decoración, mobiliario de caravanas, yates... En la década de los 90 se desarrolló la base de industrial, y su expansión ha seguido desde entonces. España asume hoy el liderazgo de este tipo de producción Europea. Esta situación tiene actualmente tanta fuerza que su única limitación es la materia prima disponible para producir más tablero.

3. El contrachapado de chopo en el mundo.

La evolución del tablero de chopo en la industria de contrachapado para uso industrial ha sufrido enormes cambios en los últimos años. En la década de los 90 el tablero de contrachapado de chopo comenzaba a introducirse en el mercado europeo de la fabricación de caravanas y autocaravanas para la fabricación de los muebles interiores de las mismas. Dos características hacían que el producto ganase adeptos y fuera

un producto aceptado por todos: su acabado y su baja densidad. Ambas características en Europa son fundamentales en este sector. Por aquel entonces, la fabricación de tablero contrachapado de chopo estaba en manos de fabricantes italianos que fabrican sus productos vendiéndolos en el mercado local y exportando a centro Europa a través de distribuidores especializados.

Los grandes consumos de tableros se centraban en especies tropicales como el okoume, la ilomba o el fromager que se vendían principalmente en Europa, tableros poco sostenibles. El gran cambio se produce cuando a principios del siglo XXI, China comienza la fabricación de contrachapado con interiores de chopo y recubierto con especies tropicales. Comienza a comercializar sus productos por todo el mundo convirtiéndose, en un espacio de menos de 10 años, en el mayor fabricante mundial de contrachapado, posición que todavía hoy domina. El contrachapado de chopo comienza así a conocerse en todo el mundo. Existen notables características entre el contrachapado de chopo chino y el europeo, lo que redunda en mercados distintos. Como es habitual el producto chino compite por precio en el mundo, y el producto europeo por calidad y servicio.

4. Contrachapado de chopo europeo, alternativa a los de especies tropicales.

A partir de este momento y con las dificultades que rodean la explotación forestal en países tropicales, el chopo europeo se convierte en la gran alternativa a los productos tropicales en la distribución y en clientes industriales. Su ligereza, fácil mecanizado, unido a un buen servicio, gana la partida a otros contrachapados de dudoso origen o procedencia y sostenibilidad. Hoy en día ha substituido y continúa a substituyendo tableros de okoume, meranti, fuma,... y su empleo se ha extendido fuera del sector de la caravana a otros sectores como la distribución generalista, bricolaje, sector náutico, suelos, puertas y muebles.

5. El contrachapado europeo imagina y desarrolla nuevas aplicaciones.

Los recientes acontecimientos en el mundo de la madera, han perfilado un consumidor cada vez más concienciado con el medio ambiente y la necesidad de responder a una mayor demanda de madera, hace que el producto tenga un futuro prometedor, pudiendo convertirse en un tablero con un alcance global. Los productos desarrollados en contrachapado base chopo (*poplar plywood*) para las aplicaciones más exigentes están teniendo un gran éxito en el mercado. El contrachapado de chopo europeo hoy es sinónimo de calidad y sostenibilidad.

6. España se ha convertido en el líder mundial de contrachapado de calidad en base chopo.

El contrachapado de chopo español suministra la mayor parte del contrachapado de calidad que se exporta en el mundo (fuera del chino que es otro tipo de producto), por su calidad, variedad de producto y servicio. España ha logrado un modelo robusto, difícilmente replicable (grandes inversiones, disponibilidad de materia prima adecuada, eficiencia y flexibilidad, gama de productos muy amplia) y por tanto poco amenazado en el mercado final. Los números a continuación demuestran su posicionamiento y gran crecimiento:

Evolución del tablero contrachapado en Europa EU 28 con base chopo (pueden tener caras de varias especies).

Año 1990 producción de contrachapado total con base chopo: 500.000 m³.

- Volumen que aporta el contrachapado italiano: 300.000 m³.
- Volumen que aporta el contrachapado español: 200.000 m³.
  - Envase frutas: 150.000 m³.
  - Decorativo: 20.000 m³.
- Volumen que aportan otros: 20.000 m³.

Año 2005: 680.000 m³.

- Volumen que aporta el contrachapado italiano: 300.000 m³.
- Volumen que aporta el contrachapado español: 240.000 m³.
  - Envase frutas: 120.000 m³.
  - Decorativo: 120.000 m³.
- Volumen que aportan otros: 40.000 m³.

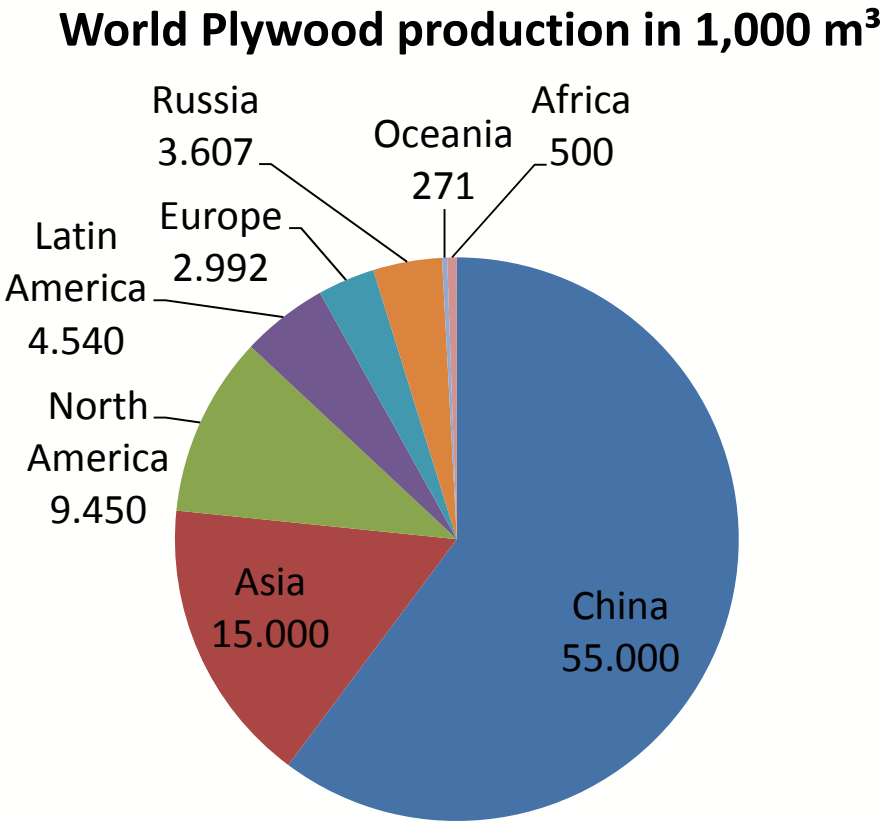
Año 2017: 800.000 m³.

- Volumen que aporta el contrachapado italiano: 300.000
- Volumen que aporta el contrachapado español: 420.000
  - Envase frutas: 120.000
  - Decorativo: 300.000
- Volumen que aportan otros: 80.000

Como se puede apreciar, el contrachapado en base chopo en Europa está en franca expansión. Esta evolución podría seguir extendiéndose, en tanto en cuanto hubiera disponibilidad de materia prima para poder seguir incrementando la producción.

Table II.16: Overall plywood production in Europe x 1,000 m³, 2013-2018

	2013	2014	2015	2016	2017	17/16	2018**
Baltic States	336.3	342.0	340.0	332.2	357.3	7.6%	365
Finland	1,090.0	1,160.0	1,152.0	1,139.0	1,241.0	9.0%	1,300
France	214.0	236.2	245.8	250.0	254.0	1.6%	255
Italy	225.0	220.0	250.0	280.0	300.0	7.1%	300
Spain	284.0	299.2	293.3	369.2	426.6	15.5%	440
Others Confidential	89.0	89.1	91.0	92.5	95.0	2.7%	98
Other*	425.8	445.2	443.4	462.9	480.0	3.7%	490
Total EU28	2,664.1	2,791.7	2,815.5	2,935.8	3,153.9	7.8%	3,248
Belarus*	165.0	165.0	165.0	165.0	165.0	0.0%	165
Russia	3,278.0	3,540.3	3,606.7	3,769.3	3,729.3	-1.1%	3,850
Turkey*	150.0	150.0	174.0	120.0	120.0	0.0%	120
Ukraine*	179.0	166.0	166.0	166.0	166.0	0.0%	166
Other*	52.0	52.1	51.7	53.2	54.0	1.5%	55
Total Europe	6,488.1	6,865.1	6,978.9	7,199.3	7,388.2	2.6%	7,604


World Plywood production in 1,000 m³
Russia 3.607
Oceania 271
Africa 500
Europe 2.992
Latin America 4.540
North America 9.450
Asia 15.000
China 55.000

La Certificación PEFC del chopo. Herramienta de marketing y comunicación

NORIEGA BRAVO, A.[1]; SALVADOR DEL POZO, M.[1]; MUÑOZ GARCÍA, A.[1]; PÉREZ OLEAGA, A.[1]
[1] PEFC ESPAÑA

Palabras clave
Certificación, PEFC, chopo, marketing, ODS, bioeconomía, capital natural, legalidad, sostenibilidad, compra verde.

1. Introducción

Las instituciones públicas, las corporaciones privadas y un creciente porcentaje de consumidores requieren garantías de legalidad y sostenibilidad a los productos que consumen. La certificación forestal PEFC, mediante su cadena de custodia, facilita a los productores de chopo y empresas de transformación la certificación como herramienta de marketing y comunicación, diferenciándose en positivo en el mercado.

2. Material y métodos

Son múltiples las ventajas del chopo como especie forestal: es una de las especies más rentables, ya que necesita poca inversión y el crecimiento es rápido; tiene una alta demanda en el mercado, ya que su madera posee unas excelentes propiedades de ligereza y robustez; es fuente de trabajo y desarrollo rural, y es una especie que mejora el entorno ambiental almacenando una gran cantidad de CO2 de la atmósfera, 1 hectárea de chopos captura 11 toneladas de CO2 al año.

A todas estas ventajas debemos poder sumar una más, la certificación forestal PEFC que garantiza la sostenibilidad en la gestión de las choperas y es el elemento diferenciador capaz de mejorar la competitividad y el posicionamiento de sus productos en los mercados.
Desde que se realizó con éxito la primera certificación de chopera, la superficie forestal certificada PEFC en España de esta especie ha crecido notablemente, alcanzado en la actualidad 11.741 hectáreas, distribuidas principalmente en Castilla y León (7.118 hectáreas), Navarra (2.142), La Rioja (1.580), Cataluña (714) y Aragón (141).

Si ampliamos a todo tipo de masas se alcanza un total de 2.183.951 hectáreas certificadas en España, de 23.698 gestores y propietarios forestales. Si nos centramos en el sector industrial, 1.339 empresas en España poseen el certificado de cadena de custodia PEFC para sus productos, siendo el sistema de certificación forestal más implantado a nivel nacional e internacional.

3. Resultados

La certificación de la gestión sostenible de choperas y la trazabilidad de su madera a través de la Cadena de Custodia PEFC, es una herramienta que permite a las empresas ofrecer las siguientes garantías a sus clientes:

Cumple con la legislación: Gobiernos de todo el mundo han impulsado una legislación diseñada para garantizar el comercio de madera legal y rechazar la entrada en el mercado de productos forestales de origen ilegal. En Europa es el Reglamento Europeo de la Madera (EUTR) y la Ley Lacey en Estados Unidos. La certificación de Cadena de Custodia PEFC está diseñada para demostrar el cumplimiento de estos requisitos normativos.

Acceso a nuevos clientes: Compradores públicos y privados están demandando o exigiendo a los proveedores que sus productos procedan de bosques gestionados de forma sostenible, en los que se garantice la conservación de la biodiversidad y la protección de zonas de importancia ecológica. Cerca de 30 gobiernos nacionales han puesto en marcha políticas de compra de madera sostenible. Del mismo modo, cada vez son más las empresas que exigen a sus proveedores que muestren su compromiso con la sostenibilidad, e influyentes asociaciones empresariales como el Foro de Bienes de Consumo (CGF) o el Consejo Empresarial Mundial para el Desarrollo Sostenible (WBCSD) animan a las empresas a exigir certificaciones como PEFC.

Desarrollo de política de RSE: Hay vínculos evidentes entre los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) 2030 y el trabajo de PEFC en base a la visión de un mundo en el que las personas gestionen los bosques de forma sostenible. PEFC hace referencia directa al objetivo número 15 relativo a la gestión forestal sostenible, protección de los ecosistemas terrestres y lucha contra la desertificación y la pérdida de la diversidad biológica.

Hay otros objetivos vinculados al trabajo de PEFC y a los bosques, como la eliminación de la pobreza (ODS 1); la contribución a la seguridad alimentaria a través de los productos silvestres (ODS 2); los bosques contribuyen a la salud y bienestar (ecoturismo, medicina...) (ODS 3); igualdad de género (ODS 5); agua limpia y saneamiento: el 75% del agua potable del mundo procede de cuencas forestales (ODS 6); la producción de energía limpia mediante la biomasa de origen forestal (ODS 7); trabajo decente y creación de empleo (ODS 8); la etiqueta PEFC permite el consumo responsable (ODS 12); la contribución a la lucha contra el cambio climático (ODS 13). Además, la madera es el material de construcción renovable más importante para que las ciudades sean más sostenibles (ODS 11). Por último, al ser una asociación global que integra diversos grupos de interés, PEFC facilita alianzas para lograr los objetivos.

Todo esto ha provocado que las grandes marcas impulsen y lideren la demanda de productos PEFC, y el motivo es sencillo, las etiquetas comunican y los consumidores esperan que los materiales utilizados en los productos que compran tengan un impacto mínimo sobre el medio ambiente.

La etiqueta PEFC es una manera clara de que las empresas hagan visible su compromiso con el suministro responsable. Asociar una marca a la etiqueta PEFC demuestra que los productos con base forestal como el papel, la madera, el corcho, las resinas e, incluso, los alimentos, provienen de fuentes no conflictivas y bien gestionadas.

Esto es cada vez más importante ya que los consumidores son muy conscientes del impacto de sus decisiones de compra y toman en consideración las etiquetas medioambientales.

Según la última encuesta realizada los productos que los consumidores españoles prefieren que tengan la certificación PEFC son el papel y productos de higiene, revistas, libros, material de oficina, bricolaje, muebles, envases y embalajes y productos alimentarios. Un 75% considera que las empresas pueden demostrar prácticas responsables a través del sello de certificación PEFC.

El sector del envase y embalaje ha vivido recientemente un fuerte incremento de la demanda de productos certificados, dado que las grandes empresas de distribución de alimentos, como ALDI, LIDL, CARREFOUR y muchas otras, están demandando, por ejemplo, que las cajas de frutas y verduras estén certificadas.

Por esta tendencia de los consumidores y por los compromisos de las grandes marcas a favor del medio ambiente, cada vez es más corriente ver productos etiquetados PEFC.

4. Discusión y conclusiones

La Certificación Forestal es el mecanismo del sector forestal de integración del boque, industria y articulación de la cadena forestal, más adecuado para dar respuesta a las exigencias ambientales y sociales de los prescriptores de productos forestales, promoviendo así la modernización y mejora de competitividad de esta industria.

5. Bibliografía

Fuente propia.

Ligero, próximo, eficiente, altamente regenerable. Potencial del chopo para la construcción con panel

OÍZA REDÍN, F.[1]
[1] Oizaa, Fernando Oíza Arquitecto

Palabras clave
Generable, ecológico, confort, expresividad.

1. Introducción y objetivos

Los arquitectos habitualmente demuestran vocación de evolución, la innovación está en su ADN. Por ello, el reto de participar en hacer progresar el tradicionalmente subdesarrollado sector de la construcción es tentador y una constante en la historia de la construcción (como ha quedado demostrado desde la construcción de catedrales a los maestros de la arquitectura moderna del pasado siglo XX: LC, Prouvé, etc).

Estamos persuadidos de que el sector de la construcción requiere de una profunda reinvención a nivel estratégico que le permita afrontar coherentemente la nueva coyuntura hacia la que los datos macroeconómicos parecen indicar que nos encaminamos.

En este contexto, estamos convencidos de que la madera como material de construcción, tiene la posibilidad de recuperar la presencia perdida frente a otros materiales (hormigón, hierro...), e incluso de liderar el proceso de cambio hacia la modernización de la construcción.

2. Madera para la nueva construcción

Es en esta coyuntura, y con el convencimiento de que "las cosas nunca volverán a ser como antes" -en una reflexión ausente totalmente de nostalgia- en la que nos situamos. Bien al contrario, interpretado como una oportunidad para hacer las cosas de otra forma: más rigurosa, aprovechando materiales y técnicas de construcción evolucionadas que asociadas a procesos de producción estandarizada (análogos a los adoptados hace décadas por el sector automovilístico) generen productos de calidad muy superior, con precios y plazos de entrega inalcanzables para la construcción tradicional.

De la conjunción de:

- industrialización
- aligeramiento,
- sostenibilidad,
- ecología, y
- avance extraordinario de los medios de unión (físicos y químicos)

resurge la madera como material de construcción reinventado

El proyecto confía plenamente en la madera como material básico para su materialización, no solo por su expresividad, sino especialmente por sus posibilidades funcionales. O mejor aún porque la sinceridad inherente a la construcción en madera sintetiza a la perfección el binomio funcionalidad-expresividad.

A lo anterior añadiremos que la madera es el único material que puede considerarse realmente polivalente, ya que admite su utilización en un amplio catálogo de soluciones: estructuras y forjados, distribución interior, también revestimientos y carpinterías tanto interiores como exteriores, en pavimentos, falsos techos y cubiertas.

3. Características de la madera como material de construcción

La madera presenta una serie de propiedades que la hacen muy adecuada para su utilización masiva en el sector de la construcción:

A. Requiere poco gasto energético para su procesado, transporte y puesta en obra.

B. Es ligera y con una buena relación resistencia/peso:

Esta relación, en tracción y compresión paralela a las fibras, es similar a la del acero, pero superior, en el caso de tracción, a la del hormigón. En cambio, comparada con estos dos materiales, el módulo de elasticidad es bajo, aunque no así la rigidez específica (relación entre elasticidad y densidad), que vuelve a ser muy similar en los dos materiales antes citados.

C. Su comportamiento ante el fuego es predecible:

Aunque la madera es un material combustible e inflamable, tiene la virtud de poseer un comportamiento predecible a lo largo del desarrollo del incendio, ya que la pérdida de sección se puede considerar constante en el tiempo. Cuando la madera o cualquier material derivado de ella se encuentra sometido a un incendio generalizado, la superficie expuesta al mismo se inflama creando rápidamente una capa carbonizada aislante que incrementa su protección natural (el carbón vegetal es un gran aislante térmico). Al ser la madera un mal conductor del calor, la transmisión hacia el interior de las altas temperaturas es muy baja, por lo que se puede considerar que la madera que no ha sido carbonizada mantiene sus características resistentes en condiciones normales, pese a la actuación del incendio. Este comportamiento es la base de una notable resistencia estructural al fuego.

D. Con un diseño y ejecución adecuados, las soluciones constructivas con madera son muy durables, incluso en ambientes con altas concentraciones de productos ácidos y soluciones de sales de ácidos. Este hecho es fácilmente constatable a través de la observación de las numerosas obras que, con cientos de años de antigüedad a sus espaldas, han llegado hasta nuestros días en perfecto estado de conservación.

Por otra parte, la madera es un material resistente a la acción de un gran número de compuestos químicos, presentando un mejor comportamiento que el hierro y los aceros normales a la acción de los ácidos y de las soluciones de sales de ácidos. En estos ambientes la madera es un excelente material constructivo ya que evita las siempre costosas labores de mantenimiento.

E. Es fácilmente manejable y mecanizable

Por sus características físicas, admite la mecanización con herramientas sencillas que producen excelentes terminaciones.

F. Permite realizar montajes de forma rápida, limpia y en ausencia de agua.

Por su ligereza y fácil ajuste en obra, las estructuras de madera permiten aminorar los tiempos de montaje con respecto a otros materiales. El empleo de elementos estructurales normalizados y la prefabricación en taller permiten disminuir drásticamente los tiempos de ejecución de una obra. Además, el uso de sistemas constructivos con madera propicia la construcción en seco, lo que reduce los problemas asociados a la presencia de agua y en obra durante la ejecución.

G. Amplio abanico de aplicaciones.

Este material permite salvar grandes luces, apertura de grandes huecos, adaptación al entorno y una enorme variedad de texturas, formas y colores. La posibilidad de elegir, como acabado exterior, entre diversos tipos de tableros y maderas tratadas multiplica las posibilidades.

4. Sistema de construcción PaP: panel estructural de chopo

Sistema PaP: producción de edificios energéticamente eficientes, con tecnología de construcción seca y ligera, basada en el uso de la madera y sus derivados.

El sistema de construcción desarrollado por nosotros con tecnología seca, ligera, que emplea materiales y sistemas de la empresa Garnica Plywood producidos industrialmente –en consecuencia, económicos- basados en la madera y sus derivados –por tanto, ecológicos– está concebido expresamente para alcanzar estándares de alta eficiencia energética. Se trata, por tanto, de un sistema mediante cuya implantación se garantiza de forma implícita una envolvente con máximos estándares de aislamiento térmico y estanqueidad al aire, la base de la construcción de alta eficiencia energética. El sistema, complementado con carpinterías y vidrios de baja trasmitancia, una instalación de ventilación con recuperación de calor y un correcto diseño bioclimático, está listo para cumplir índices de eficiencia al nivel de los requeridos por el Passivhaus Institut.

Se trata de un sistema de construcción muy preciso: semiprefabricado; basado casi completamente en la madera y sus derivados, productos todos ellos fácilmente accesibles en el mercado y de bajo coste consecuencia de su producción estandarizada; que no requiere mano de obra altamente cualificada, así como tampoco grandes inversiones en maquinaria o instalaciones; pero que sin embargo garantiza un nivel de calidad de ejecución muy elevado comparativamente con la construcción tradicional; y a un precio constatado considerablemente inferior, y todavía con margen de mejora.

La utilización de materiales y sistemas de construcción evolucionados redunda en una importante ganancia de la calidad del resultado en términos de eficiencia energética, hasta el punto de que los estándares “Passive House” son fácilmente alcanzables con pequeños incrementos de la inversión.

Oligómeros de quitosano: un polímero natural para la protección de madera de chopo

SILVA CASTRO, I.[1]; PONCE HERRERO, L.[1]; CASADO SANZ, M.A.[1]; ACUÑA RELLO, L.[1]

[1] Laboratorio de Tecnología de la Madera; del Departamento de Ingeniería Agrícola y Forestal, Universidad de Valladolid, Avenida de Madrid 44, 34004 Palencia, España

Palabras clave

Antifúngicos naturales, norma EN:113, *Populus spp.*, pudrición blanca, *Trametes versicolor*.

1. Introducción

La madera de chopo (*Populus spp.*) es muy importante en términos ambientales y económicos, su rápido crecimiento impulsó el desarrollo de masas boscosas de este género a escala mundial (Koller and Bodorwki 2014). En España la superficie cultivada asciende a cerca de 140 mil ha, lo cual la ubica entre los 10 primeros países con más cultivo de *Populus* (Confederación Española de Empresarios de la Madera, 2010). Sin embargo, el uso tradicional de esta madera corresponde a productos de bajo valor añadido: pasta de papel, embalajes, entarimados, tableros, carpintería ligera, paneles para la construcción o vigas (Soler, 2001). Aunque se ha comprobado que este tipo de madera presenta características físico-mecánicas útiles, como baja densidad y buena estabilidad dimensional (Casado *et al*., 2011), la baja durabilidad por su susceptibilidad ante organismos xilófagos (Castro and Paganini, 2009), entre ellos el hongo de pudrición blanca *Trametes versicolor* (L.) Lloyd (Luley, 2006), ha mermado su potencial. No obstante, la aplicación de productos protectores de la madera puede mejorar sus propiedades y diversificar su uso.

Los materiales comerciales empleados para la protección de madera contienen sustancias perjudiciales para la salud humana y el medio ambiente (S. A. U. Propamsa, 2013), tales como butanona oxima, un solvente cancerígeno (Risctox, 2008) o tolifuianida, sustancia fungicida que ha sido suprimida en fitosanitarios (PRE/2851/2010). Considerando además que las restricciones de uso de este tipo de materiales son cada vez más estrictas, la búsqueda de nuevos productos protectores de la madera sintetizados a base de productos naturales o inocuos, es fundamental.En ese sentido, el quitosano, un polisacárido natural con actividad antifúngica, es un material prometedor. Derivado de la quitina, el segundo polímero natural más abundante en el planeta, componente estructural del exoesqueleto de crustáceos, alas de insectos y paredes celulares de hongos (Kumar, 2000), el quitosano destaca ante el resto de polímeros naturales por su carácter catiónico, debido al grupo amino (NH_3+) (Ngo *et al*., 2015). Los oligómeros de quitosano, por su parte, son estructuras de 10 a 12 monómeros de N-acetil-D-glucosamina más la unidad deacetilada, con mayor reactividad y capacidad antifúngica (Rahman k., 2015).

Considerando lo antes mencionado, el objetivo de este estudio es la evaluación de diferentes dosis de oligómeros de quitosano como protector de madera de *Populus spp.*, contra el hongo causante de pudrición blanca *T. versicolor* mediante un tratamiento a presión, siguiendo la NORMA EN:113 Protectores de la madera. Métodos de ensayo para la determinación de la eficacia preventiva contra los basidiomicetos destructores de la madera. Determinación de los valores tóxicos.

2. Material y métodos

El quitosano (peso molecular medio) fue adquirido en Hangzhou Simit Chemical Technology. Los oligómeros de quitosano (OQ) se prepararon de acuerdo con el método de Sun *et al*., 2007, para ello 10 g

de quitosano fueron diluidos en 500 ml de ácido acético (Panreac Quimica S.A) al 2%, durante 120 min a 60 ºC, posteriormente se adicionó peróxido de hidrógeno (Panreac Quimica S.A) 0.3 M, para degradar de las cadenas poliméricas y la reducir el peso molecular a 2 kDa aproximadamente. En el ensayo se probaron 4 dosis diferentes 10, 20, 40 y 80 mg · ml^{-1}; la concentración más alta de oligómeros de quitosano se obtuvo por evaporación de la solución inicial.

Las muestras de madera consistieron en probetas de 50 ± 5 mm x 25 ± 5 mm x 10 ± 5 mm obtenidas de listones de *Populus ×euramericana* de buena calidad (libres de grietas, manchas, pudrición, daños por insectos u otros defectos), suministrados por el Laboratorio de Tecnología de la madera, UVA (Palencia, España). Previo al tratamiento, las probetas fueron sometidas a 103 ± 2 ºC durante 24 horas para obtener su peso anhidro. La cepa de *T. versicolor* (20804) utilizada en el ensayo fue suministrada por la Colección Española de Cultivos Tipo (Valencia, España). Discos de 5 mm de micelio del hongo fueron replicados en viales de 100 ml con 20 ml de agar de patata y dextrosa (PDA, Scharlau Microbiology), e incubados en obscuridad a 25 ºC, 5 días antes de la introducción de las probetas.

El tratamiento a presión y la posterior evaluación de la efectividad de los productos, fueron realizados siguiendo las indicaciones de la NORMA EN:113. Brevemente, el ciclo de presión consiste en la introducción de las probetas (6 por cada concentración) y las soluciones en un autoclave de acero inoxidable, según el procedimiento descrito a continuación: 1) Vacío inicial a 7 ± 1 kPa (para extraer el aire y la humedad de la madera); 2) Mantenimiento del vacío durante 15 minutos; 3) Introducción del tratamiento por diferencia de presión;4) Aumento de la presión hasta 6 kg/cm^2 (para conseguir la penetración del producto); 5) Mantenimiento de la presión durante 2 horas; 6) Extracción de la presión.

Después de la impregnación, las probetas se dejaron a temperatura y humedad ambiental durante 1 semana para estabilizarlas. Posteriormente, para la evaluación de la actividad antifúngica de los productos, las probetas fueron introducidas en los viales que contenían micelio del hongo en crecimiento, 2 probetas tratadas con 1 probeta de control (tratada con agua destilada). Las muestras se incubaron a 20 ± 2 ºC y 65 ± 5% de HR (humedad relativa) durante 16 semanas con muestreos cada 4 semanas para medir la evolución de la pérdida de peso en los controles y tratamientos.

La pérdida de peso fue calculada tras cada muestreo a partir de la fórmula siguiente:

$$\text{Pérdida de masa probeta (\%)} = \left(\frac{m_0 - (m_3 - m_{producto})}{(m_3 - m_{producto})}\right) \cdot 100$$

Dónde:
m_0: Masa anhidra inicial (g).
m_3: Masa anhidra tras la retirada del micelio (g).
$m_{producto}$: Masa retirada del producto protector calculada como la diferencia entre la masa tras una semana de estabilización y el solvente evaporado (9% HEH) (g).

Finalmente, los datos fueron analizados estadísticamente con el software R 3.5.0 para Windows (The R Development Core Team, 2018).

3. Resultados

El estudio se encuentra en la semana 12, por lo que se presentan los resultados de los 3 primeros muestreos (Figura 1). Los oligómeros de quitosano han presentado actividad antifúngica y protectora de la madera de *Populus spp*. contra el hongo xilófago *T. versicolor*, respecto al control (madera tratada con agua destilada). En el primer muestreo -4 semanas de contacto con el hongo- se observa una relación

lineal entre la concentración aplicada y la pérdida de peso, ya que mientras la degradación que el hongo ocasionó en las probetas del control asciende a 14,5%, este porcentaje se redujo en las probetas tratadas, con 10 mg · ml^{-1} de OQ fue de 10,9%, con 20 mg · ml^{-1} de 9,6%, con 40 mg · ml^{-1} de 7,9% y finalmente, con la concentración mayor de 80 mg · ml^{-1} sólo un 4,9% de pérdida fue registrado. Lo anterior indica que a mayor concentración menor pérdida de peso, es decir, mayor protección de la madera.

En el segundo muestreo, las probetas expuestas al hongo durante 8 semanas, presentaron un incremento en la pérdida de peso. El control -madera no protegida con OQ- registró una pérdida de 19,4%, 5 puntos porcentuales más que a las 4 semanas de contacto con *T. versicolor*. Aunque las probetas tratadas también sufrieron una disminución de masa, ésta fue menor que en el control, incluso se mantuvo a la concentración de 10 mg · ml^{-1} de OQ con 10,8%, mientras que las probetas con 20 y 40 mg · ml^{-1} presentaron una misma pérdida, 10,8 y 10,7%, respectivamente. De la misma forma que en el primer muestreo, la mayor concentración (80 mg · ml^{-1}) presenta la menor pérdida de peso (8,8%).

Finalmente, en el tercer muestreo, con 12 semanas de exposición de las probetas a *T. versicolor*, se observa un incremento aún mayor en la degradación de la madera ocasionada por el hongo. En el control, la reducción del peso de las muestras fue de 32,8% (13,4 puntos por encima del muestreo anterior), lo cual indica una aceleración en el crecimiento y desarrollo del hongo. Por su parte, las muestras protegidas con OQ también presentaron una mayor degradación, incluso se observa un comportamiento diferente (no lineal) entre las concentraciones. Las probetas impregnadas con 10 mg · ml^{-1} de OQ registraron un 23,2% de pérdida de peso, la cual se incrementa con el aumento de la concentración a 24,9 y 27,0% con 20 y 40 mg · ml^{-1} respectivamente. No obstante, la concentración más alta (80 mg · ml^{-1}), nuevamente registra la menor pérdida (18,1%), es decir, la mejor protección contra la degradación ocasionada por el hongo xilófago.

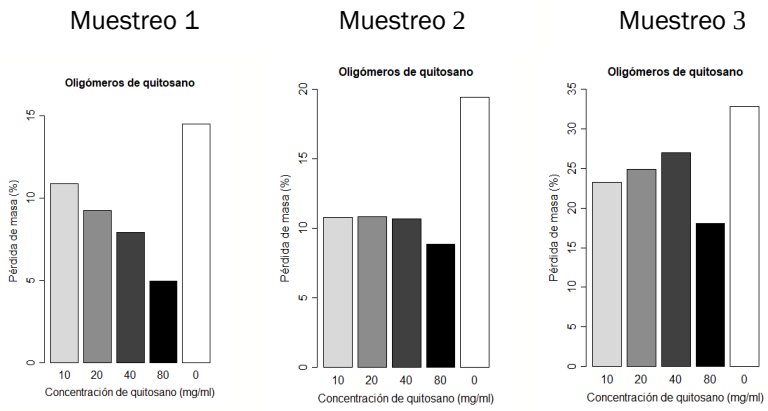


Figura 1. Pérdida de masa de probetas de Populus sp. tratadas con oligómeros de quitosano a diferentes concentraciones y expuestas al ataque de T. versicolor.

4. Discusión y conclusiones

La actividad antifúngica del quitosano contra *T. versicolor* ha sido demostrada *in vitro* por Frederiksen (2001) y Eikenes *et al*. (2005). De acuerdo con estos autores, concentraciones de quitosano disuelto en ácido acético 0,1M de 0,5 mg · ml^{-1} inhiben el crecimiento de *T. versicolor* en un 90%, mientras que concentraciones de 1 mg · ml^{-1} inhiben totalmente su crecimiento. Este carácter antifúngico en el presente

estudio solamente se ha observado claramente durante el primer y segundo muestreo, en el tercero los valores de pérdida de peso son más cercanos al control.

No obstante, de acuerdo con la norma EN:113, el carácter protector observado durante el muestreo a las 4 semanas no superó los límites establecidos, debido a que en todas las concentraciones la pérdida de masa es superior al 3%. Evidentemente, tampoco se cumple para las concentraciones de los muestreos 2 y 3, en los que se observó un aumento de la pérdida de masa con el paso del tiempo. Frederiksen (2001) testó el carácter protector de dos concentraciones de 10 $g \cdot L^{-1}$ de quitosano de bajo y alto peso molecular sobre madera de haya según la norma EN:113. La pérdida de masa de ambos tratamientos, a las 16 semanas de exposición el hongo, es de 21 y 23% para los tratamientos de bajo y alto peso molecular respectivamente, y de 25 y 28% para sus correspondientes controles, no cumpliendo los requerimientos definidos por la norma EN:113. Comparando los resultados de este estudio con los obtenidos tras 12 semanas de exposición al hongo, pueden considerarse similares (18,0 – 27,0%), teniendo en cuenta que la concentración mayor (80 $mg \cdot ml^{-1}$) es 125 veces menor que la aplicada por Frederiksen (2001).

Por otro lado, se observó que el carácter antifúngico de los oligómeros de quitosano reduce con el paso del tiempo. En el muestreo 1, tras 4 semanas de exposición de la madera a la acción de *T. versicolor*, se observó una tendencia protectora que aumenta con la concentración del producto. Sin embargo, esta tendencia deja de observarse durante los muestreos realizados a las 8 y 12 semanas de exposición, cuando la pérdida de masa de todas las concentraciones es significativamente similar. Alfredsen *et al*. (2004) observaron que el carácter protector del quitosano a largo plazo es menor que el de otros fungicidas comerciales, confirmando la teoría de susceptibilidad de los compuestos orgánicos a la biodegradación propuesta por Singh & Singh (2010). Según Frederiksen (2001) esta pérdida de efectividad del quitosano con el paso del tiempo puede deberse a su inhibición por degradación fúngica, es decir, por la acción de las enzimas excretadas por los hongos para la degradación de la celulosa, cuya estructura es similar a la del quitosano. Sin embargo, según esta teoría, la acción de *T. versicolor* no tendría por qué afectar a la efectividad protectora del quitosano, ya que se alimenta de la lignina y hemicelulosa, aunque en menor medida también es capaz de degradar la celulosa (Rodríguez, 1998; Peraza, 2001).

Como se ha podido observar, la mayor capacidad protectora es la de la solución de 80 $mg \cdot ml^{-1;}$ esto puede deberse a la creación de una película exterior debido a su mayor viscosidad y capacidad de retención (Alfredsen *et al*., 2004) respecto al resto de concentraciones. Este recubrimiento podría asociarse con las tonalidades más oscuras observadas en las probetas tratadas con la concentración superior respecto al resto (Figura 2).

Los resultados obtenidos indican una actividad antifúngica de los oligómeros de quitosano contra el hongo de pudrición blanca de la madera *T. versicolor*, a diferentes concentraciones, especialmente a 80 $mg \cdot ml^{-1}$ de producto. Sin embargo, esta capacidad de inhibición de crecimiento del micelio sobre las muestras de *Populus spp*., se ve reducida con el paso del tiempo, principalmente en concentraciones menores a 40 mg $\cdot ml^{-1}$. A la espera de los resultados del cuarto muestreo (16 semanas indicadas por la Norma EN:113), se puede sugerir la búsqueda de estabilizantes de los oligómeros de quitosano en futuras investigaciones, para mantener su actividad antifúngica a lo largo del tiempo.
Los resultados obtenidos indican una actividad antifúngica de los oligómeros de quitosano contra el hongo de pudrición blanca de la madera T. versicolor, a diferentes concentraciones, especialmente a 80 mg · ml-1 de producto. Sin embargo, esta capacidad de inhibición de crecimiento del micelio sobre las muestras de Populus spp., se ve reducida con el paso del tiempo, principalmente en concentraciones menores a 40 mg · ml-1. A la espera de los resultados del cuarto muestreo (16 semanas indicadas por la Norma EN:113), se

puede sugerir la búsqueda de estabilizantes de los oligómeros de quitosano en futuras investigaciones, para mantener su actividad antifúngica a lo largo del tiempo.

Figura 2. De izquierda a derecha, arriba y abajo: Probetas tratadas con 10, 20, 40 y 80 mg · ml-1 de oligómeros de quitosano tras el periodo de estabilización en condiciones de laboratorio durante 1 semana.

Los resultados obtenidos indican una actividad antifúngica de los oligómeros de quitosano contra el hongo de pudrición blanca de la madera *T. versicolor*, a diferentes concentraciones, especialmente a 80 mg · ml^{-1} de producto. Sin embargo, esta capacidad de inhibición de crecimiento del micelio sobre las muestras de *Populus spp*., se ve reducida con el paso del tiempo, principalmente en concentraciones menores a 40 mg · ml^{-1}. A la espera de los resultados del cuarto muestreo (16 semanas indicadas por la Norma EN:113), se puede sugerir la búsqueda de estabilizantes de los oligómeros de quitosano en futuras investigaciones, para mantener su actividad antifúngica a lo largo del tiempo.

5. Bibliografía

ALFREDSEN, G.; EIKENES, M.; MILITZ, H., SOLHEIM, H. (2004). Screening of chitosan against wood-deteriorating fungi. Scand. J. For. Res., vol. 19(5), pp. 4-13.

CASADO, M.; ACUÑA, L.; VECILLA, D.; BASTERRA, L. A.; RELEA, E., LÓPEZ, G. (2011). Ultrasonidos y parámetros de clasificación visual para la caracterización de madera estructural de Populus ˣeuramericana I-214. CIMAD 11 – 1º Congreso Ibero – Latino Americano da Madeira na Construcao. Coimbra (Portugal), 7 – 9 de junio.

Castro, G.; Paganini, G. (2009). New technologies and alternative uses for Poplar wood. Boletín del CIDEU 2: 27-36. ISSN 1885-5237.

Luley, C. J. (2006). Identificación del tipo de pudrición de la madera y hongos xilófagos en árboles urbanos in Wood Decay Fungi Common to Urban Trees in Northeast and Central United States, Pp. 58.

Confederación española de empresarios de la madera (Confemadera) (2010). El cultivo y utilización del chopo en España. Pp. 50.

EIKENES, M.; ALFREDSEN, G.; CHRISTENSEN, B. E.; MILITZ, H., SOLHEIM, H. (2005). Comparison of chitosans with different molecular weights as possible wood preservatives. J. Wood Sci., vol. 51(4), pp. 387-394.

FREDERIKSEN, O. (2001). Fungicid fra rejer. Nordic Wood Project. Projekt nr. P99088. Nordisk Industrifond.

Kollert, W., Borodowski, E.D. (2014). Situación de las Salicáceas en el mundo. Jornadas de Salicáceas, Buenos Aires, Argentina. Pp. 10.

KUMAR, M. N. V. R. (2000). A review of chitin and chitosan applications. React. Funct. Polym., vol. 46(1), 1-27.

RAHMAN, M. H.; HJELJORD, L. G.; AAM, B. B.; SØRLIE, M.; TRONSMO, A. (2015). Antifungal effect of chito-oligosaccharides with different degrees of polymerization. Eur. J. Plant Pathol., vol. 141, no. 1, pp. 147–158.

NGO, D.-H.; VO, T.S.; NGO, D.N.; KANG, K.H.; JE, J.-Y.; PHAM, H.N.D.; BYUN, H.G.; KIM, S.K. (2015). Biological effects of chitosan and its derivatives. Food Hydrocoll., vol. 51, Pp. 200-216.

PERAZA, F. (2001). Protección preventiva de la madera. Madrid. AITIM.

RODRIGUEZ, J.A. (1998). Patología de la madera. Madrid. Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Montes. Coedición Fundación Conde del Valle de Salazar. Ediciones Mundi-Prensa.

S. A. U. Propamsa (2013). “Propam refractario sección 1: identificación de la sustancia o la mezcla y de la sociedad o empresa sección 2: identificación de los peligros sección 3: composición / información sobre los componentes sección 4: primeros auxilios propam refractario se,” vol. 2006, no. 1907, pp. 1–7.

SOLER, M. (2001). Mil maderas. Valencia. Editorial UPV.

Sun, T.; Zhou, D.; Xie, J.; Mao, F. (2007). Preparation of chitosan oligomers and their antioxidant activity,. Eur. Food Res. Technol., vol. 225, no. 3–4, pp. 451–456.

Consultado en la web:

Risctox http://risctox.istas.net/dn_risctox_ficha_sustancia.asp?id_sustancia=957707 (julio, 2018)
BOE https://boe.vlex.es/vid/ciflufenamida-tolifluanida-imidacloprid-226122883
(julio, 2018)

Vigas dúo de madera de *Populus* reforzadas

BASTERRA, L.A[1].; ACUÑA, L.[1]; MORILLAS, L.M.[1, 3].; BALMORI, J.A.[1] ;LÓPEZ G.[1]; DÍEZ R.[2]; HERMOSO E.[2]; RAMÓN G.[1]; CASADO, M[1].

[1] GIR Estructuras y Tecnología de la madera. Universidad de Valladolid

[2] Instituto Nacional de Investigación y Tecnología Agraria y Agroalimentaria, Crta. La Coruña 7,5 Km 28040 Madrid

[3] Dpto. de estructuras, ETS Arquitectura. Universidad de Granada

Palabras clave

Glass fiber reinforced polymer (GFRP), dúo glulam, chopo, madera estructural, fibras.

1. Introducción y objetivos

El GIR Estructuras y tecnología de la madera compuesto por un grupo multidisciplinar formado por Ingenieros de Montes y Arquitectos lleva investigando desde hace décadas en la caracterización tecnológica de las principales especies maderables de nuestro territorio como el género *Populus* (Casado et al 2012), en temas de diagnóstico, conservación y restauración de estructuras de madera existentes, sean de carácter monumental o no, y desarrollo de nuevos materiales en base madera. En 2012 se inició un proyecto de investigación para la fabricación de vigas dúo y trío de madera de especies de reducida capacidad estructural, entre las que se utilizó nuevamente el chopo y el pino pinaster como material base para desarrollar vigas reforzadas con distintos materiales (Basterra et al 2012, Basterra et al 2017).

El refuerzo de vigas de madera, ha sido abordado internacionalmente desde los años 60-70 por diversos autores (Theakston 1965, Bullei 1984), pero fundamentalmente aplicándose a madera puesta en obra, en intervenciones de restauración, rehabilitación o refuerzo de estructuras existentes (Bakis et al 2002). A partir de los años 90, el número de estudios de vigas de madera reforzada con FRP (Fiber Reinforced Polymer) y GFRP (Glass Fiber Reinforced Polymer) se incrementa de modo definitivo (Moulin et al 1990, Triantafillou 1992, Dagher et al 1996, Gentile et al 2002, Borri et al 2005, Kliger et al 2007). Se han utilizado como refuerzo diversos materiales: madera de la misma o distinta especie, varillas de acero o fibra de vidrio embebidas en formulaciones epoxi, o elementos metálicos o de hormigón conectados mecánicamente. Se pueden consultar diversos trabajos que abordan el refuerzo de vigas de madera encolando refuerzos de fibras de alto módulo de elasticidad, pero generalmente colocando el refuerzo en el canto inferior de la viga, en posición horizontal (Fiorelli & Alves 2003) y a la vista. Esta disposición es sumamente inadecuada en caso de incendio, pues el refuerzo se sitúa en la cara más vulnerable al fuego, además de resultar inconveniente desde el punto de vista estético. En este trabajo se exponen los resultados de la colocación de las bandas de refuerzo encoladas en posición vertical entre los dos tablones que forman la viga dúo, perdiendo algo de eficacia mecánica pero evitando los problemas estéticos y de riesgo en caso de incendio, al quedar la banda de refuerzo protegida en el interior de la madera.

La introducción de refuerzos basados en polímeros reforzados con fibras (FRP) en la fabricación de vigas laminadas permite emplear maderas de bajas prestaciones mecánicas, de baja calidad estructural y especies crecimiento rápido para usos estructurales. Aumentando la resistencia y rigidez a flexión de la sección, y reduciendo la variabilidad de las propiedades mecánicas (Parvez 2004). De esta forma, estas maderas de menor coste presentan una alternativa comercial económicamente viable con secciones de menor tamaño, peso y altas propiedades mecánicas. De los tejidos de refuerzo disponibles, el uso de fibra de vidrio unidireccional parece el más apropiado, por su bajo coste y sus buenas propiedades mecánicas

(Basterra et al 2012a). Ribeiro et al (2009) plantea la fabricación comercial de vigas laminadas de Pinus pinaster Ait. reforzadas con GFRP como desarrollo de un nuevo producto en la industria de la madera.

El método de fabricación de las vigas dúo reforzadas es sencillo y puede ser implementado fácilmente en los procesos de producción usuales, siendo el proceso de laminación más básico. Se consiguen elementos estructurales con incrementos notables en el módulo de elasticidad, una menor dispersión de resultados y un mayor valor característico del módulo de rotura; mejorando la ductilidad y alejando la posibilidad de una rotura con cargas menores que las teóricamente previstas. Además, al estar la lámina de refuerzo encolada entre las piezas a unir, se señalan dos notables ventajas: el refuerzo queda protegido de la elevación de temperatura en caso de incendio accidental; y la apariencia estética de la madera permanece sin alterar.

El objetivo del presente artículo es dar a conocer las principales conclusiones del proyecto de investigación titulado: "Fabricación y caracterización de vigas dúo y trio reforzadas", concretamente en los ensayos de vigas dúo de chopo del clon *Populus* ^{x}*euramericana* cv. I-214 reforzadas con distintas fibras; naturales, vidrio y carbono y con láminas GFRP.

2. Material y métodos.

En el proyecto se seleccionaron, estudiaron y analizaron los distintos elementos para el refuerzo: la especie de madera, los materiales para el refuerzo, la resina y el proceso de fabricación de las vigas reforzadas.

Se emplearon dos especies de maderas de rápido crecimiento y con calidad estructural más bien baja; *Pinus pinaster* y *Populus* ^{x}*euramericana* I-214 (por ser el clon con mayor superficie plantada a nivel nacional), si bien en el presente trabajo sólo se expondrán los resultados relativos al chopo.

Como materiales para el refuerzo en un principio se eligieron chapas de maderas de alta resistencia; roble, bambú y tres tipos de fibras: de lino (Fidia Fidflax UNI 300 HS 50) figura 1, de vidrio (Fidia Fidglass Uni 300 HT 73) figura 2, y de carbono (SikaWrap-230 C/45) figura 3, dichos materiales fueron encoladas con resina, bicomponente, tixotrópico y libre de disolventes comercializado por la empresa SIKA (SikaDur-330), la metodología está desarrollada en el artículo Basterra et al (2012a). Posteriormente, se decidió utilizar bandas de refuerzo rígidas de fibra de vidrio -Glass Fiber Reinforced Polymer (GFRP) – tipo UNI 1200 g/m^2 y UNI 2400 g/m^2, encoladas con un adhesivo estructural ampliamente utilizado en ingeniería civil denominado Sikadur-30. En la figura 4 se puede ver la sección transversal de las piezas ensayadas cuya metodología se detalla en el artículo de Basterra et al (2017).

Figura 1. Fidia Fidflax Uni 300 HS 50.

Figura 2. Fidia Fidglass Uni 300 HT 73.

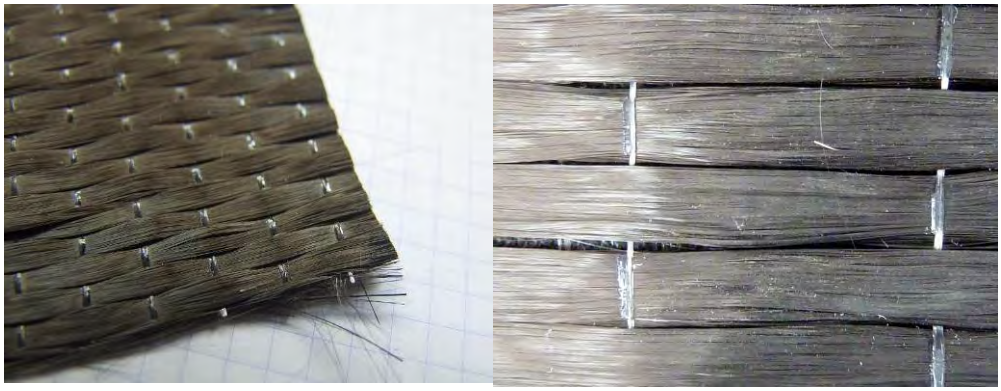
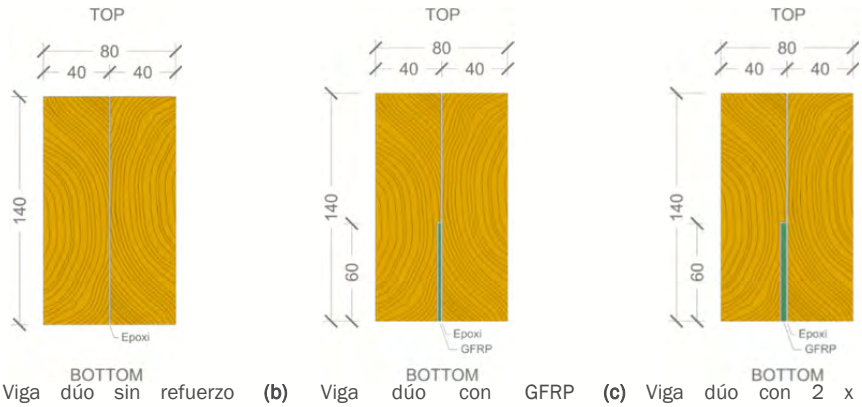


Figura 3. SikaWrap-230 C/45

En una primera campaña de ensayos se seleccionaron 1500 piezas de 60 x 20 x 1200 mm, con las que se fabricaron un total de 750 piezas dúo. Para ello, se realizó una selección visual, desechándose aquellas que presentaban anomalías considerables, particularmente nudos y fendas, que pudiesen modificar de forma sustancial los resultados de los ensayos. Las piezas válidas fueron aleatoriamente seleccionadas, y encoladas por pares, junto con el tejido de refuerzo correspondiente, cuando se trataba de las series reforzadas.

En una segunda campaña experimental, se encolaron otras 90 vigas dúo de dimensiones finales 80 x 140 x 2800 mm, utilizándose únicamente bandas rígidas de GFRP en distintas cuantías como refuerzo. Se fabricaron 30 piezas sin banda de refuerzo, 30 piezas con refuerzo GFRP UNI 1200 g/m^2 y otras 30 con GFRP UNI 2400 g/m^2. En las piezas que iban a ser reforzadas se realizó un cajeado de en una de las tablas para albergar el refuerzo GFRP sin alterar las dimensiones finales de la viga.



(a) Viga dúo sin refuerzo (control). **(b)** Viga dúo con GFRP (1200g/m^2). **(c)** Viga dúo con 2 x GFRP (2400g/m^2).

Figura 4. Sección transversal de las piezas dúo control y encoladas con GFRP

Todas las piezas y vigas dúo fueron ensayadas a flexión según la norma EN 408:2011, en una máquina universal de ensayos marca IBERTEST modelo ELIB-100W, empleando una célula de carga de 5kN para dúo de longitud 1200mm, y una célula de carga de 100 kN para las mayores. Para la determinación del módulo de elasticidad global de canto a flexión (MOEGTO) se situó el extensómetro inductivo (LVDT) tipo HBM WA 50mm en el canto inferior de la pieza a ensayar. Las variables de funcionamiento de la máquina para el ensayo se seleccionaron atendiendo a las dimensiones de las piezas, utilizándose la velocidad de carga establecida por la norma citada. Una vez alcanzada la carga preestablecida (≈50% $F_{máx}$), que produce una deformación en la zona elástica, se retira el extensómetro para evitar dañarlo, y se determina el Módulo Elástico. Tras ello, se realiza el ensayo hasta rotura, obteniéndose el módulo de rotura (MOR) (figura 5). Los resultados de los ensayos de flexión fueron corregidos por el contenido en humedad y por la altura de canto, según establece la norma EN 384:2010.

Figura 5. Ensayo de flexión en viga dúo de chopo con refuerzo GFRP.

3. Resultados

Los primeros estudios de caracterización de los materiales a utilizar en el refuerzo en los que se determinó su densidad y resistencia a tracción hicieron desechar las chapas de madera (figura 6), por lo que se decidió comenzar los ensayos de fabricación de probetas dúo con las fibras; de lino (Fidia Fidflax UNI 300 HS 50), de vidrio (Fidia Fidglass Uni 300 HT 73) y de carbono (SikaWrap-230 C/45).

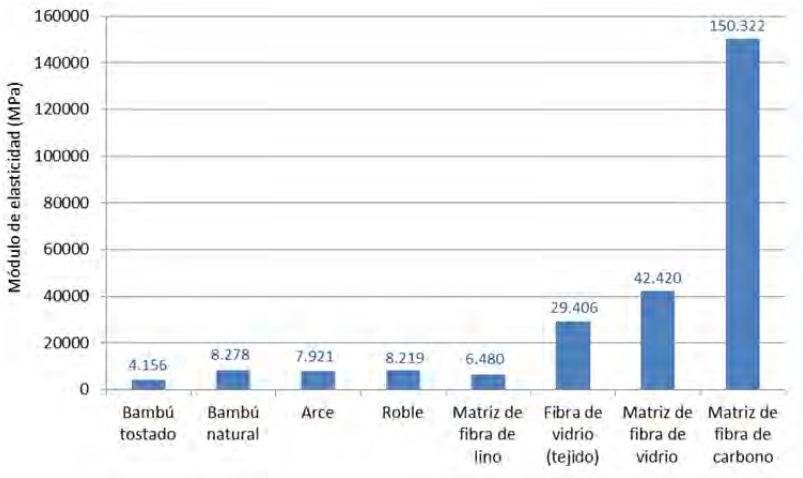


Figura 6. Resultados de ensayos de tracción en N/mm² de tiras de los distintos materiales de refuerzo.

Los resultados de las piezas dúo de 60 x 40 x 1200 mm reforzadas con las fibras elegidas se presentan en las tablas 1 y 2, y en la figura 7. De los análisis estadísticos se desprende que considerando el efecto del "tipo de refuerzo" como único factor a tener en cuenta en la variabilidad de las propiedades elastomecánicas, MOE y MOR, los mejores valores que se obtienen para estas variables son los conseguidos con el refuerzo de fibra de carbono, siendo su influencia estadísticamente significativa y transcendental en el caso del MOE, que es la variable crítica en la asignación de clases resistentes y en la determinación de una sección estructural (Basterra *et al,*. 2012 a).

Tabla 1. Test de rango múltiple HSD de Tuckey (95%) para el MOE (MPa) de piezas dúo reforzadas con distintos materiales.

Tipo_1	Casos	Media LS	σ LS	Grupos Homogéneos
Lino húmedo	99	7912,41	114,888	A
Duo	83	8335,96	130,11	B
Lino seco	109	8361,58	115,603	A B
Maciza	79	8406,56	135,981	B
Fibra de vidrio	107	8659,09	113,518	B
Carbono	100	9740,75	114,716	C

Tabla 2. Test de rango múltiple HSD de Tuckey (95%) para el MOR (MPa) de piezas dúo reforzadas con distintos materiales.

Tipo_1	Casos	Media LS	σ LS	Grupos Homogéneos
Lino húmedo	99	68,6827	1,03348	A
Lino seco	109	71,5712	1,03992	A B
Fibra de vidrio	107	72,1066	1,02116	A B C
Maciza	79	73,6905	1,22323	B C D
Dúo	83	74,7435	1,17041	C D
Carbono	100	77,6378	1,03194	D

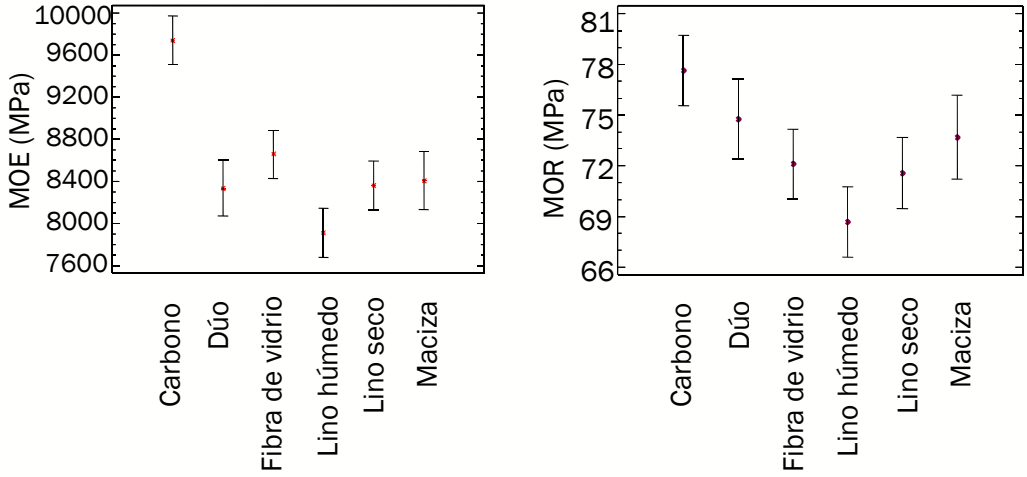


Figura 7. Media e intervalos HSD de Tuckey (95%) para el MOE y MOR.

En relación a las vigas dúo de dimensiones 80 x 140 x 2800 mm ensayadas con bandas rígidas de fibra de vidrio GFRP con UNI 1200 g/m^2 y UNI 2400 g/m^2, se obtuvieron los resultados que aparecen en la figura 8, extracto de la publicación de Basterra et al (2017). Al tratarse de secciones compuestas de dos materiales comportándose elásticamente, la rigidez a flexión de las vigas se ha expresado como el producto EI (tabla 4), obtenido experimentalmente a partir de la carga y la deformación de la viga al 10% y al 40% de su capacidad. Por otro lado, a partir de la fuerza final de rotura F_{ult} se obtuvieron los momentos últimos (M_{ult}) de cada viga ensayada, como $M_{ult} = 0.5*F_{ult}*d$, siendo d=733mm un tercio de la luz de la viga (tabla 3).

Los resultados de las vigas reforzadas con GFRP de 1200g/m^2 presentan una mejora significativa en su rigidez (12,1 %) y una menor dispersión, con valores superiores a otras investigaciones con GRFP Raftery et Harte (2011) y Raftert et Whelan (2014). Las vigas reforzadas con GFRP de 2400g/m^2 presentan incrementos algo mayores (14,7 %), si bien su coeficiente de variación es algo superior (11.6%). El análisis comparativo entre ambos grupos de piezas reforzadas, GFRP 1200 g/m^2 y GFRP 2400 g/m^2, aplicando los test HDS de Tukey y LSD de Fisher, mostraron que existen diferencias estadísticamente significativas para los valores en cuanto a la rigidez, mientras que para el momento último no se detectaron diferencias entre los dos grupos.

Table 3
Ultimate load and deflection of the beams.

Description	n	Ultimate load F_{ult} (kN) Experimental Mean ± SD	Ultimate deflection (mm) Theoretical	Ultimate deflection (mm) Experimental Mean ± SD
Unreinforced glulam beam 80 × 140 mm	30	27.6 ± 7.02	34.6	34.6 ± 8.10
Reinforced glulam beam (GFRP sheet of 1200 g/m²)	30	32.57 ± 4.32	39.5	41.34 ± 10.25
Reinforced glulam beam (GFRP sheet of 2400 g/m²)	30	34.13 ± 4.66	40.3	44.30 ± 9.17

Table 4
Mean value, COV and improvement in bending stiffness (EI).

Description	n	EI (kN·m²) Theoretical	EI (kN·m²) Experimental Mean ± SD	Improvement (%)	COV (%)
Unreinforced glulam beam 80 × 140 mm	30	143.33	143.33 ± 14.45 a	–	9.91
Reinf. glulam beam (GFRP sheet of 1200 g/m²)	30	148.14	160.62 ± 12.88 b	12.1	8.33
Reinf. glulam beam (GFRP sheet of 2400 g/m²)	30	152.09	164.34 ± 19.46 c	14.7	11.56

The different letters (a, b, c) indicate significant differences ($p < 0.05$).

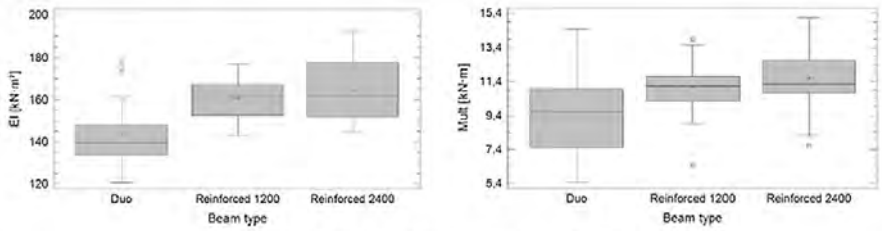


Fig. 7. Bending stiffness and ultimate moment capacity box-plots.

Figura 8. Resultados de la rigidez (EI) y Momento último (Mult) para las tres series de vigas dúo ensayadas a flexión (Basterra et al 2017).

4. Discusión y conclusions

En primer lugar cabe señalar que los valores medios de las propiedades estructurales caracterizadoras de las series de vigas macizas y vigas dúo sin reforzar, de madera de *Populus*, no presentan diferencias estadísticas para ninguna de ellas. Este resultado confirma el comportamiento elastomecánico similar de estas dos series de vigas, que únicamente se diferencian por la presencia de la línea de cola en una de ellas. Por consiguiente, asegurando un correcto encolado, el comportamiento resistente de las vigas dúo es similar al de las vigas de madera maciza de la misma calidad.

Los valores del Módulo de Elasticidad aumentan, en general, para todas las vigas reforzadas, si bien una parte importante de este hecho tiene relación con la homogeneización de la sección que supone la inclusión del 'refuerzo + adhesivo'. Atendiendo, exclusivamente, al efecto que produce el refuerzo y prescindiendo de la influencia de la densidad, se observa que el refuerzo con fibra de carbono es el único que hace aumentar de forma importante el valor del MOE. Este aumento es un 23,5% mayor que el de las vigas de madera maciza.

La incorporación de refuerzos GFRP disminuye la variabilidad en las propiedades mecánicas de las vigas, reduciendo la incidencia de los defectos e irregularidades de la madera. Las vigas reforzadas con GFRP pueden soportar una carga última 1.6 veces mayor que las vigas sin refuerzo. Sin embargo, el aumento en la cuantía de refuerzo GFRP no se traduce en una mejora equivalente de la carga última. Usando

porcentajes relativamente bajos de refuerzo en la zona traccionada (1-1,6% de la sección total), se han registrado mejoras medias de rigidez entre el 44 y el 56 %.

El uso de vigas laminadas reforzadas con GFRP de maderas de baja calidad estructural y rápidos crecimientos, como la madera de chopo, compite en propiedades mecánicas con las vigas de madera alta calidad estructural. El coste moderado de este refuerzo en comparación con otros, ofrecen un potencial desarrollo comercial de este tipo de elementos estructurales dúo de GFRP+ madera de baja calidad.

5. Agradecimientos.

Este trabajo ha contado con el soporte económico de la Consejería de Educación de la Junta de Castilla y León, a través del Programa de Apoyo a Proyectos de Investigación, a iniciar en el año 2010; y del Ministerio de Ciencia e Innovación del Gobierno de España, a través del subprograma de Proyectos de Investigación Fundamental No Orientada del VI Plan Nacional de I+D+i 2008-2011. Así mismo, los autores agradecen su colaboración a la empresa SIKA S.A.U. y FIDIA S.R.L.

6. Bibliografía

BAKIS, C.E.; BANK, L.C.; BROWN, V.L.; COSENZA, E.; DAVALOS, J.L.; LESKO, J.J.; MACHIDA, A.; RIZKALLA, S.H.; TRIANTAFILLOU, T.C. 2002. Fiber-Reinforced polymer composites for construction - State of the art review, *J. Compos. Constr*. 6:2(73) Pag: 73–87.

BASTERRA, L.A.; ACUÑA, L.; CASADO, M.; LOPEZ, G.; BUENO, A.; 2012 a. Strength testing of Poplar duo beams, *Populus ×euramericana* (Dode) Guinier cv. I-214, with fibre reinforcement, *Constr. Build. Mater*. Volume: 36 Pag: 90–96.

BASTERRA, L. A.; BAMORI, J.A.; MORILLAS, L.; ACUÑA, L.; CASADO, M. 2017. Internal reinforcement of laminated duo beams of low-grade timber with GFRP sheets. Constr. Build. Mater Volume: 154 Pag: 914-920

BORRI, A.; CORRADI, M.; GRAZINI, A. 2005. A method for flexural reinforcement of old wood beams with CFRP materials, Compos. Part B. 36. Pag: 143–153.

BULLEIT, W.M. 1984. Reinforcement of wood: A review. Wood Fiber Sci. 16 (3) Pag: 391–397.

CASADO, M.; ACUÑA, L.; BASTERRA, L. A; RAMÓN, G.; VECILLA, D .2012. Grading of structural timber of *Populus ×euramericana* clone I-214. *Holzforschung*. Volume: 66 Issue: 5 Pag: 633-638

DAGHER, H.J.; KIMBALL, T.E.; SHALER, S.M.; BDEL-MAGID, B. 1996. Effect of FRP Reinforcement on Low Grade Eastern Hemlock Glulams, in: Natl. Conf. Wood Transp. Struct. General Technical Report No. FPL-GTR-96, Madison, WI: USA, Pag: 207–214.

FIORELLI, J.; ALVES DIAS, A. 2003. Analysis of the Strength and Stiffness of Timber Beams Reinforced with Carbon Fiber and Glass Fiber, *Mater. Res*. Vol 6 (2003) 193–202.

GENTILE, C.; SVECOVA, D.; RIZKALLA, S.H. 2002. Timber Beams Strengthened with GFRP Bars: Development and Applications, J. Compos. Constr. Vol 6. Pag: 11–20

KLIGER, R.; AL-EMRANI, M.; JOHANSSON, M.; CROCETTI, R. 2007. Strengthening glulam beams with steel or CFRP plates, in: S.T. Smith (Ed.), Asia-Pacific Conf. FRP Struct. (APFIS 2007).

MOULIN, J.M.; PLUVINAGE, G.; JODIN, P. 1990. FGRG: Fibreglass reinforced gluelam - A new composite, *Wood Sci. Technol*. 24 Pag: 289–294.

PARVEZ, A. 2004. The reinforcement of timber for structural applications and repair. PhD thesis, dept Mech Eng University of Bath.

RAFTERY, G. M.; HARTE, M.A. 2011 Low-grade glued laminated timber reinforced with FRP plate. Compos. Part B. 42. Pag: 724–735.

RAFTERY, G.M.; C. WHELAN, C. 2014. Low-grade glued laminated timber beams reinforced using improved arrangements of bonded-in GFRP rods. *Constr. Build. Mater*. 52. Pag: 209–220.

RIBEIRO, A.S.; DE JESÚS, A.M.P.; LIMA, A.M.; LOUSADA, J.L.C. 2009. Study of strengthening solutions for glued-laminated wood beams of maritime pine wood. *Constr. Build. Mater*. 23 Pag: 2738–2745.

THEAKSTON, F.H. 1965. A feasibility study for strengthening timber beams with fiberglass, Can. Agric. Eng. January. Pag: 17–19.

TRIANTAFILLOU, T.C.; DESKOVIC, N. 1992. Prestressed FRP sheets as external reinforcement of wood members. J. Struct. Eng. 118 Pag: 1270–1284.

Mesa

Políticas, gestión sostenible y productividad

285

Ponencia invitada

Propietarios Forestales: Dinamización del Sector Productivo

GÓMEZ AGRELA, P.[1]
[1] COSE (Confederación de Organizaciones de Selvicultores de España)

Palabras clave
Dinamización, incentivos, política forestal, legislación, producción maderera, bioeconomía, plantaciones, demanda, gestión forestal sostenible, movilización de recursos, selvicultores, cambio climático, servicios ecosistémicos, rentabilidad, choperas, fiscalidad, aprovechamiento, autorización, certificación

Disponemos de suelo y clima adecuados para producir una especie capaz de suministrar madera de forma rápida en un escenario de gran demanda a nivel mundial. España y Europa son deficitarias en madera -las previsiones apuntan a que en un futuro próximo aún lo serán más- y las plantaciones de chopo se alzan como un nuevo modelo de emprendimiento en el medio rural y una forma de mitigar los efectos del cambio climático.

Su importante contribución económica (30 millones de euros/año de venta de madera chopo y 44.000 empleos) y ambiental (absorción de 12 t/ha año de CO2 y su capacidad de estabilizar riberas, inundaciones y encharcamientos regulares) hacen necesario el diseño y aplicación de medidas específicas para fomentar el cultivo del chopo.

Hay una industria nacional que demanda la madera de chopo que necesita para crecer y generar puestos de trabajo y riqueza. Se requiere también una armonización, agilización y digitalización de procedimientos administrativos que afectan a la gestión de choperas así como la implantación de administración electrónica y ventanilla única.

Con todo ello conseguiremos:

- Un sector productivo en el entorno rural
- Un sector industrial de transformación próspero
- Nuevos ingresos para los Ayuntamientos propietarios de terreno y particulares
- Beneficios medioambientales que las plantaciones de chopo generan

La metodología empleada es una descripción de la situación actual, exponiendo los hechos más relevantes en cuanto a marco normativo y medidas existentes se refiere y analizando los principales escollos para el desarrollo del sector productivo. En ese contexto se plantearán propuestas e iniciativas de tipo administrativo, legislativo y fiscal que converjan en una estrategia de impulso al cultivo de chopo, enmarcado en la necesidad de incrementar la producción maderera con objeto de reducir las fuertes importaciones de este producto, mitigar los efectos del cambio climático y abordar el alarmante despoblamiento rural.

Una correcta política forestal no es sólo un marco normativo adecuado, sino que debe tener en cuenta la estructura de la propiedad forestal y su entramado socioeconómico acompañados de instrumentos financieros que propicien su evolución, cuestiones que también serán objeto de reflexión.

El resultado esperado es avanzar en el consenso de un conjunto de propuestas y líneas de ayudas y fomento adaptadas a la realidad de los selvicultores y gestores para potenciar el sector primario, armonizar la oferta y demanda y mejorar las relaciones comerciales con la industria nacional de transformación del chopo y el mercado del producto elaborado, generando valor en toda la cadena productiva.

Una política forestal incentivadora con actuaciones concretas bien dirigidas ayudará a aprovechar las oportunidades que el cultivo del chopo puede ofrecer a la sociedad.

Para la dinamización del sector productivo, la clave está en poner a los selvicultores/productores en el punto de mira para que sean motores del cambio hacia la competitividad, cooperativismo, modernización e innovación. Pero la reactivación de la gestión forestal pasa por soluciones estructurales planteadas a largo plazo: Mejoras del régimen fiscal que afecta a los montes y a la actividad forestal (IBI, SyD, TPyAJD) e incentivos fiscales (IRPF, IS) para estimular las inversiones serían una de las herramientas más eficaces para fomentar el sector forestal. Estas medidas deben diseñarse de forma que haya un retorno para las arcas públicas por la generación de empleo y economía local que sin dichos incentivos no se producirían, ayudando en la lucha contra el abandono de los montes.

Las exenciones y deducciones fiscales que se propone están sujetas al cumplimiento de criterios de sostenibilidad en la gestión, avalados por un instrumento de ordenación forestal aprobado por la administración forestal competente

Bibliografía

JUNTOS POR LOS BOSQUES; 2017. MEDIDAS FISCALES DE DINAMIZACIÓN DE LA ACTIVIDAD FORESTAL

FORESNA (Asociación Forestal de Navarra); 2017. LA POPULICULTURA Y LAS CONFEDERACIONES HIDROGRÁFICAS.

COMISIÓN DE TRABAJO DEL CHOPO; DIAGNÓSTICO DEL CULTIVO DEL CHOPO EN CASTILLA Y LEÓN

Aproximación al estado de los aprovechamientos de chopos de producción en montes no gestionados por la administración de la Junta de Castilla y León

SÁNCHEZ MARTÍN, Á. M.[1]; VILLADA ROJO, D.[1]; RUEDA MARTÍN, E.J.[1]
[1] Servicio de Restauración de la Vegetación. Junta de Castilla y León

Palabras clave
Desenrollo, inspección, expediente, volumen, destino.

1. Introducción

Es bien conocida la relevancia de los aprovechamientos de híbridos artificiales del género *Populus* en Castilla y León, cuyo producto se destina preferentemente a madera de desenrollo. De ahí, la necesidad de ampliar en lo posible el conocimiento sobre ellos. Tales aprovechamientos se realizan tanto en montes de titularidad pública como privada. Se pretende estudiar el estado de aquéllos que tienen lugar en los montes privados carentes de cualquier vinculación con la Administración Forestal de la Junta, y en los que es el propietario quien toma las decisiones fundamentales, sometiéndose tan sólo a la normativa general vigente sobre aprovechamientos forestales.

2. Metodología

Existe una fuente de información regular sobre estos aprovechamientos, constituida por los datos recogidos anualmente por las aplicaciones informáticas empleadas por la Administración de la Junta de Castilla y León para gestionarlos mediante la resolución de las solicitudes de aprovechamiento, para lo cual es precisa la tramitación de numerosos expedientes individuales. Dos son estas aplicaciones: la denominada *APMP (Aprovechamientos en Montes Particulares)* y la conocida como *AMPR (Aprovechamientos en Montes Privados).* La primera estuvo en operación hasta mediados de 2015, cuando fue sustituida por la segunda, una modificación en profundidad motivada por la obligada adecuación del programa a las nuevas exigencias legales en materia de aprovechamientos forestales. En la actualidad continúan los trabajos de mejora de la aplicación, con objeto de adaptarla a lo establecido en la última modificación de la *Ley de Montes* en materia de aprovechamientos en montes privados.

La aplicación actualmente en uso, AMPR, al igual que su antecesora, es un entorno gráfico basado en menús y ventanas que permite a los usuarios dar de alta las solicitudes de corta, presentadas en los formularios oficiales en vigor, editar los informes, las resoluciones y los pliegos de condiciones correspondientes. Una función esencial del programa es el cálculo de los volúmenes a extraer, para lo cual dispone de las tarifas de cubicación apropiadas, que emplea automáticamente teniendo en cuenta el número de pies a cortar y sus clases diamétricas. Simultáneamente se generan una serie de tablas agrupadas por años, provincias y especies, que dan lugar a una base de datos que pueden ser estudiados mediante consultas. Actualmente, la información generada por esta aplicación sirve para elaborar la parte dedicada a aprovechamientos forestales en montes particulares de las estadísticas oficiales de la Junta de Castilla y León (Memoria Anual, Anuario Oficial, etc.)

Otra fuente de información son los resultados de las inspecciones de campo que comenzaron a realizarse en el año 2012, en un primer momento eligiendo expedientes de entre los registrados en la aplicación prefiriendo los mayores en volumen, los de pino y chopo de producción sobre el resto. Aunque esta actividad de toma de datos en el campo de aprovechamientos es por ahora incipiente, el propósito es el de convertirla en sistemática e informatizada.

3. Resultados

A. Número de expedientes

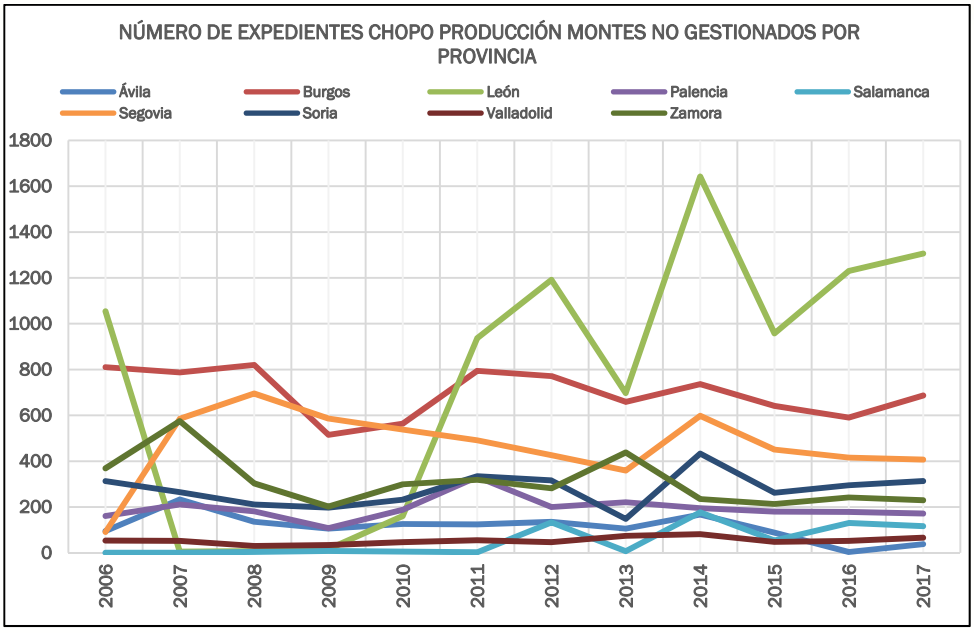
El primer parámetro que se puede obtener, y que informa sobre la situación de los aprovechamientos de chopo de producción en montes no gestionados por la Junta de Castilla y León, es el número de expedientes tramitados desde que se presenta la solicitud de autorización o comunicación, hasta que se emite la resolución correspondiente, y que han sido registrados en las aplicaciones mencionadas entre 2006 y 2017.

NÚMERO EXPEDIENTES CHOPO PRODUCCIÓN EN MONTES NO GESTIONADOS														
	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	MEDIA	%
Ávila	95	233	136	106	126	124	135	106	167	88	4	38	113	3,86
Burgos	810	787	820	515	564	794	771	659	736	641	590	687	698	23,79
León	1054	5	7	16	161	937	1.192	697	1.642	958	1.230	1.306	767	26,15
Palencia	161	211	181	108	188	331	200	221	195	180	178	171	194	6,60
Salamanca	0	0	4	8	5	2	133	7	177	54	130	116	53	1,81
Segovia	91	585	695	586	538	491	426	359	598	451	416	407	470	16,03
Soria	313	265	211	197	232	334	316	148	433	262	295	313	277	9,43
Valladolid	53	52	30	34	46	55	46	74	81	48	52	66	53	1,81
Zamora	369	575	303	202	299	319	282	438	235	213	242	229	309	10,53
TOTAL	2.946	2.713	2.387	1.772	2.159	3.387	3.502	2.709	4.264	2.895	3.137	3.333	2.934	100,00

La media se sitúa en torno a los 3.000 expedientes anuales de un total estabilizado de unos 20.000 expedientes sumando los de todas las especies, lo que significa que el número de expedientes de chopos de producción viene a ser aproximadamente un 15 % del total de expedientes registrados.

El mínimo fue de unos 1.800 en 2009 y el máximo de 4.300 en 2014.

Las provincias de Burgos y León son las que acumulan un mayor número de expedientes.

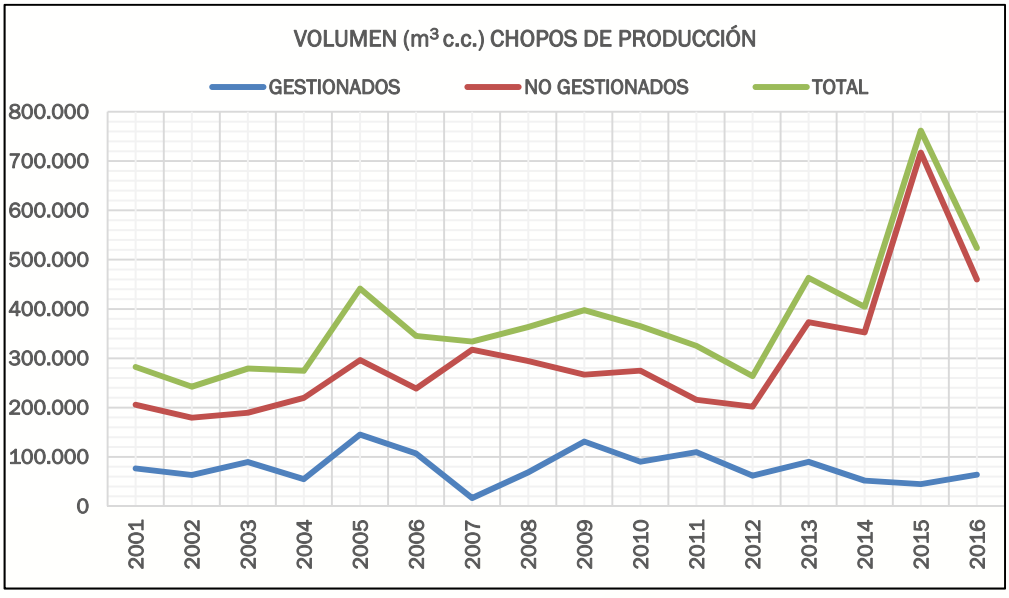


B. Volúmenes de corta obtenidos

Se han estudiado los volúmenes obtenidos en las cortas de las choperas en régimen privado, esto es, en los montes no gestionados por la Administración de la Junta de Castilla y León. No obstante, se ha comparado el volumen de éstos con las cortas en los montes gestionados por la administración (Montes de Utilidad pública, convenidos, consorciados o montes propios de la comunidad), con objeto de hacer una primera valoración de la entidad de los aprovechamientos privados de chopos de producción en la Comunidad de Castilla y León. El periodo estudiado abarca desde 2001 hasta 2016. Los volúmenes se expresan en metros cúbicos con corteza, sumando maderas y leñas.

Las tarifas de cubicación utilizadas para el cálculo de los volúmenes en los montes no gestionados por la administración, son las del Inventario Forestal Nacional (IFN4).

AÑO	GESTIONADOS (m³c.c.)	NO GESTIONADOS(m³c.c.)	TOTAL
2001	76.680	205.666	282.346
2002	63.103	179.347	242.450
2003	89.669	189.410	279.079
2004	54.854	219.658	274.512
2005	145.086	296.413	441.499
2006	106.822	238.586	345.408
2007	16.572	317.372	333.944
2008	68.877	294.470	363.347
2009	130.927	266.620	397.547
2010	90.104	274.860	364.964
2011	109.525	215.702	325.227
2012	61.950	201.869	263.819
2013	89.792	373.367	463.159
2014	51.900	352.341	404.241
2015	44.625	717.043	761.668
2016	63.838	459.995	523.833
MEDIA	79.020	300.170	379.190



Según los registros y cálculos informáticos, el volumen mínimo obtenido correspondió al año 2002, con menos de 180.000 m³ c.c. . En 2014 se superaron los 700.000 m³ c.c., cifra excepcional respecto a la media anual, refiriéndonos siempre a montes no gestionados, en algo más de 300.000 m³ c.c. Se constata la preeminencia de los aprovechamientos en montes no gestionados por la administración forestal sobre los que se realizan en montes gestionados.

C. Inspecciones de campo.

Un cierto número de expedientes de aprovechamiento de chopos de producción en montes no gestionados, de entre los registrados en la aplicación informática, han sido objeto de inspección por parte del personal de los Servicios Territoriales de Medio Ambiente. Para ello se le hizo entrega del listado de expedientes a inspeccionar, elegidos por el Servicio de Restauración de la Vegetación en función de su mayor volumen, o de que fueran de chopo híbrido o pinos, así como de una ficha de inspección destinada a recopilar ordenadamente la información considerada relevante.

Se han realizado inspecciones en los años 2012, 2014, 2015 y 2016, si bien la de la anualidad 2017 no ha sido completamente informatizada aún. En el futuro está previsto crear un módulo de inspecciones dentro de la aplicación AMPR, de tal modo que los expedientes a inspeccionar sean seleccionados automáticamente, y los resultados de las inspecciones se recojan en la propia aplicación, lo que permitiría, entre otras cosas, la comparación automática entre lo solicitado y lo finalmente ejecutado.

La realización de las inspecciones ha sido bien acogida en los Servicios Territoriales, especialmente por los Agentes Medioambientales. El grado de cumplimentación de las fichas es elevado. Actualmente nos acercamos al millar de inspecciones realizadas, en el total de expedientes de todas las especies, aunque aquí reflejemos datos de 146 referidas a chopos de producción. No fue posible realizar inspecciones en la anualidad 2013.

Del total de expedientes inspeccionados, casi el 70 % había sido completado a fecha de inspección, algo más del 6 % se encontraban en ejecución en el momento de la inspección y casi un 24 % no habían sido iniciados en el momento de ser revisados por los Agentes Medioambientales de los Servicios Territoriales de Medio Ambiente.

A continuación se exponen los resultados que se han considerado más significativos, entre todos los que es posible elaborar a partir de la información contenida en las fichas almacenadas en una base de datos creada al efecto.

DESTINO POTENCIAL DE LA MADERA
(Declarado en la inspección o deducible por los datos de solicitud)

PRODUCTO/AÑO	2012	2014	2015	2015%
Biomasa	1	12	2	2,53
Leña			7	8,86
Madera	7	7	69	87,34
Madera y leña	1		1	1,27
TOTAL	9	19	79	100

MEDIA PIES EXTRAIDOS	
PROVINCIA	Pies/Ha
Ávila	241
Burgos	365
León	3.364
Palencia	4.212
Salamanca	310
Segovia	177
Soria	329
Valladolid	309
Zamora	302

ESTADO DE LOS RESTOS DESPUÉS DEL APROVECHAMIENTO					
	2012	2014	2015	TOTAL	%
Amontonados	1		2	3	2,52
Esparcidos	1	1	18	20	16,81
No tratados	1	3	15	19	15,97
Quemados		2	11	13	10,92
Retirados	7	12	35	54	45,38
Triturados		1	9	10	8,40

4. Discusión y conclusiones

Aunque este análisis es sólo una aproximación, tanto los rasgos principales que caracterizan este tipo de aprovechamientos como al enfoque metodológico que debe guiar estos estudios en el futuro, podemos obtener ya ciertos resultados significativos. Expuestos en el mismo orden en el que se encuentran las tablas y los gráficos, son los siguientes:

En cuanto al número de expedientes tramitados destacan Burgos y León por encima de las demás provincias, con notable diferencia. El promedio anual de expedientes de aprovechamientos de chopos en montes privados, es de unos 3.000, sobre un total de expedientes privados estabilizado en torno a los 20.000. Es decir, los aprovechamientos de chopo de producción generan aproximadamente el 15% de todos los expedientes de aprovechamientos en montes no gestionados por la Junta de Castilla y León. Se observa un pronunciado descenso entre 2006 y 2009, cuando se alcanza el mínimo tras el que la cifra vuelve a crecer. Coincide este declive con los primeros años de la última gran crisis económica. El descenso citado fue mucho más pronunciado en León. Parece que la disminución repentina y acusada de la cantidad de este tipo de expedientes en León es un índice claro de que el país se halla inmerso en una crisis económica profunda. En 2014 se aprecia un extraño repunte, radicado en León pero también en Palencia. La explicación a este brusco incremento, no continuado en años posteriores, se ofrece más adelante. En contraste con las variaciones experimentadas por la provincia de León, el resto de provincias muestran un comportamiento más estable, aunque también acusaron el impacto de la crisis. No obstante,

las cifras parecen indicar que en León el sector está más asentado y es más dinámico. Tal vez la ayuda mediante cursos técnicos, la estimulación del asociacionismo de propietarios, la creación de cooperativas y otros incentivos pudieran mejorar los índices del resto de las provincias.

Los volúmenes obtenidos en los aprovechamientos de chopos de producción en montes no gestionados por la administración forestal de la comunidad se comparan con los extraídos en los montes gestionados por ésta. Resulta obvia la superioridad del volumen obtenido por los aprovechamientos en montes no gestionados, sobre los aprovechamientos en los montes administrados por la Junta de Castilla y León. Queda de manifiesto el mayor volumen producido por los montes de gestión privada frente a los gestionados por la administración forestal. Si bien éstos tienen un comportamiento más regular, aunque no se libren tampoco de la crisis. De ahí la importancia de insistir en la necesidad de promocionar de alguna manera las explotaciones privadas de chopo de producción.

En los no gestionados se obtiene un mínimo de unos 180.000 m^3 c.c. en 2002 y un máximo de más de 700.000 m^3 c.c.en 2015; lo que indica el progresivo incremento de la entidad del sector. Si se toma como referencia el precio medio de la madera de chopo de producción en 2018, que es de 64,06 €/m^3, según los datos de la primera subasta conjunta de FACYLE en la anualidad 2018 sobre 14.418 m^3, tenemos que el valor en venta de lo producido por el sector privado oscila entre 11,5 y 45 millones de euros, con una media de 28,25 millones. Cifras como para hacernos una idea de la transcendencia económica del sector que nos ocupa.

La tendencia alcista de 2005 se ve brutalmente interrumpida por el inicio de la crisis económica. A partir de 2008 las líneas tienen altibajos, hasta producirse el pronunciado pico de 2015. Los gráficos confirman la gran influencia de la crisis especialmente en la producción de las choperas gestionadas por la administración, sobre todo en León. Aunque la diferencia de León con respecto a las demás provincias en cuanto al número de expedientes es grande, no se traduce en tanta ventaja en cuanto a volumen cortado, lo que puede ser indicio de un grave problema de atomización de las propiedades.

En cuanto a las inspecciones de campo, hay aproximadamente un 70% de aprovechamientos completamente realizados a fecha de inspección, destacando en este aspecto Burgos, León, Palencia y Zamora. El grado de cumplimiento de León indica nuevamente la mentalización de los propietarios y la tradición de la populicultura en dicha provincia. Un 7% de los aprovechamientos se estaban llevando a cabo cuando tuvo lugar la inspección. Un 24% no se había empezado a realizar a fecha de inspección, lo que puede ser debido a que el plazo hábil para la ejecución es de dos años, y lógicamente el propietario espera el momento que más le conviene para realizar los trabajos, o hasta que encuentra un comprador que le ofrece un buen precio por sus chopos, lo que a veces no sucede y el lote de chopos queda sin cortar.

En cuanto al destino potencial de la madera, los datos son orientativos, pues no siempre se indica en las fichas de inspección, o no es fácil deducir de los demás datos del expediente, a la hora de llevar las cifras de la ficha al soporte informático. Parece razonable el hecho de que casi el 90 % de los expedientes tengan como destino potencial la madera para desenrollo.

No obstante, en 2014 se aprecian expedientes en los cuales el destino del producto sólo pudo ser la biomasa. Vemos que en 2014 en León y Palencia hay un enorme número de pies extraídos, lo que indica que son pies delgados, plantados en gran densidad, “cosechados” con destino a biomasa. Eso explica el fuerte incremento de 2014, que no se ha repetido posteriormente. Habrá que estar atentos, por si este tipo de aprovechamientos se repiten en el futuro, asentándose esta modalidad de aprovechamiento o pierde interés. De momento está muy lejos del 90% de los expedientes en los cuales el destino del producto es la madera para desenrollo.

Estos aprovechamientos se llevan a cabo en escasa superficie, lo que demuestra sus altos rendimientos e interés; así como un minifundismo que sería preciso corregir de algún modo.

El número de pies extraído por hectárea, salvo para los expedientes destinados a biomasa, presenta unos valores no muy alejados del generalmente considerado como idóneo, 278 pies/Ha, para la obtención de madera para desenrollo.

En más del 50 % de los casos, los restos de corta son retirados o triturados, lo que sugiere que se destinan a la producción de biomasa. Práctica que genera un beneficio complementario al de la madera, y cuya evolución futura será necesario observar.

Finalmente, se aprecia mecanización habitual consistente en tractores agrícolas con o sin remolque, con o sin pala o grapa, tractores forestales, *skidders*, autocargadores, trituradoras, barrenas helicoidales y camiones con pluma. Ello indica la profesionalización de los maderistas.

Actualmente se está trabajando en que toda esta información sea volcada sobre un Sistema de Información Geográfica, lo que aportará datos muy interesantes.

Calidad de *Populus ×euramericana* (Dode) Guinier 'I-214' en Castilla y León

RUEDA, J.[1]
[1] Junta de Castilla y León

Palabras clave
Tabla de cubicación, crecimiento, productividad.

1. Introducción

El clon 'I-214' es un híbrido entre *Populus deltoides* Batr. y *Populus nigra* L. denominado *P. ×canadensis* Moench. = *P. ×euramericana* (Dode) Guinier, de sexo femenino, obtenido en 1929 en Italia y difundido entonces por su resistencia al hongo *Venturia populina*, que había causado graves daños en la populicultura italiana. Posteriormente, su utilización disminuyó con la aparición en Europa, a partir de los años 1960, de otro hongo foliar, *Marssonina brunnea* (Ell. *et* Ev.) Magn., ante el que se muestra sensible. En Castilla y León se mantuvo su empleo ya que en esta región *M. brunnea* nunca ha tenido una incidencia significativa. En la actualidad, la superficie ocupada por 'I-214' en Castilla y León supera ligeramente el 50% de la dedicada a la populicultura.

Se pretende el establecimiento de clases de calidad para el clon 'I-214' a partir de datos obtenidos de plantaciones a marco de 6×6 metros distribuidas por la geografía de Castilla y León. Se eligió este espaciamiento por ser el más recomendado para el cultivo de chopos en esta región.

2. Metodología

Se realizaron mediciones de diámetro normal, altura total y volumen con corteza en 324 árboles de *P. ×euramericana* 'I-214', con edades comprendidas entre 3 y 19 años. Para el cálculo del volumen con corteza, se consideró la altura maderable hasta la sección en que el diámetro alcanza 8 centímetros y se obtuvo mediante cubicación por la fórmula de Smalian, aplicada a trozas consecutivas de 1 metro de longitud, excepto la última, cuya longitud vino determinada por la sección en la que se alcanzaba el diámetro de 8 centímetros.

Con estos datos, se ha construido una tabla de cubicación mediante la ecuación:

$$v = a_0 + a_1 d^2 h$$

Siendo:
d: diámetro normal con corteza (cm)
h: altura total (m)
v: volumen con corteza (dm^3)

Los parámetros obtenidos en el ajuste son:
$a_0 = 6{,}405392$
$a_1 = 0{,}030138$
$R^2 = 0{,}9908$
n = 324
Esta tabla de cubicación se desarrolla en el anexo I.

De los 324 árboles inicialmente estudiados, se seleccionaron 98 correspondientes a plantaciones a marco de 6×6 metros de 8 o más años de edad. En la sección normal de cada uno de estos 98 árboles se midió la distancia desde el centro de los anillos de crecimiento hasta cada uno de los anillos, en cuatro radios. Para definir estos cuatro radios, se determinó la dirección del diámetro mayor de la sección y su perpendicular, pasando ambas por el centro de los anillos. De la misma forma, se midió el espesor de la

corteza del árbol en cada uno de los radios. El diámetro normal a cada edad de los árboles se obtuvo mediante la semisuma de los valores de los cuatro radios definidos en la sección normal para cada anillo de crecimiento. Para el cálculo del diámetro normal con corteza, se tuvo en cuenta el porcentaje de corteza en cada uno de los radios.

Se han determinado cinco clases de calidad para el clon 'I-214' en plantaciones a marco de 6×6 metros, en función de su diámetro normal a la edad de 8 años, distribuidos como aparece en la Tabla 1.

Tabla 1. Distribución por clases de calidad

Calidad	d (cm)	Nº árboles	Nº pares (d,e)
I	>30,5	12	176
II	26,2-30,5	15	214
III	21,8-26,2	27	415
IV	17,5-21,8	27	398
V	<17,5	17	294
Total	-	98	1.497

Para el ajuste entre el diámetro normal con corteza y la edad, en cada clase de calidad, se ha utilizado el modelo:

$d = a_0 + a_1e + a_2e^2$

Siendo:
d: diámetro normal con corteza (cm)
e: edad (años)

Los parámetros obtenidos figuran en la Tabla 2.

Tabla 2. Ajuste diámetro/edad

Calidad	a_0	a_1	a_2	R^2
I	-0,02	5,038	-0,1407	0,98
II	-0,99	4,602	-0,1270	0,99
III	0,60	3,564	-0,0881	0,97
IV	1,66	2,780	-0,0603	0,96
V	2,13	1,705	-0,0150	0,91

La altura total se obtuvo utilizando el modelo que mejor correlación proporcionó en el ajuste con el diámetro normal para el total de los 324 árboles estudiados.

$H = a_0d^{a1}$
Siendo:
h: altura total (m)
d: diámetro normal con corteza (cm)

Los parámetros obtenidos en el ajuste son:

$a_0 = 0,7530$
$a_1 = 0,9958$
$R^2 = 0,90$

3. Resultados

Conocidos los pares de valores (d, h) de cada clase de calidad, la tabla de cubicación construida proporciona los valores del volumen con corteza a cada edad del árbol. Ello permite obtener la evolución del crecimiento medio de los pies. Considerando el número de pies por hectárea que corresponde al espaciamiento de 6×6 metros, se obtiene fácilmente la producción en m³/ha/año. Las curvas de calidad obtenidas se desarrollan en el anexo II.

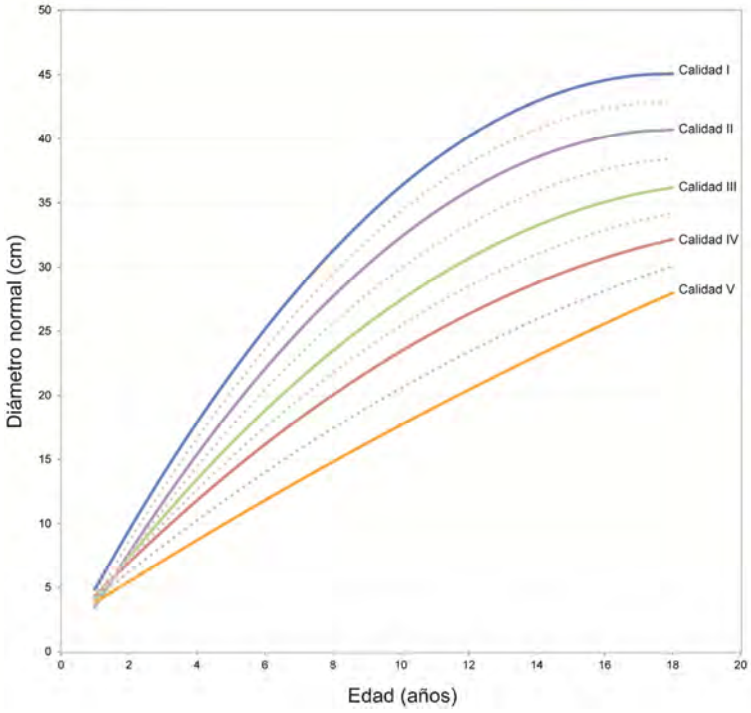


Figura 1. Curvas de calidad diámetro / edad

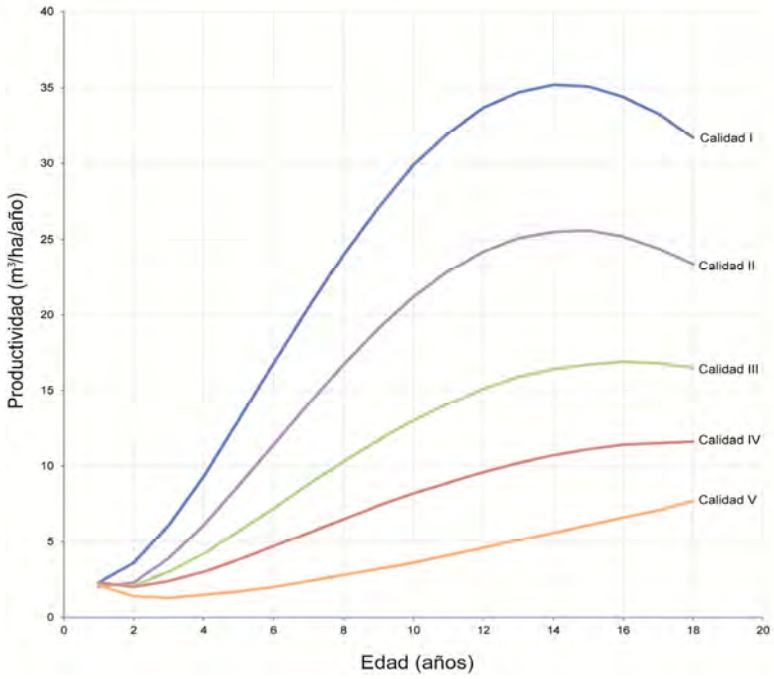


Figura 2. Curvas de calidad productividad / edad

4. Discusión y conclusiones

En el pasado se han construido tablas de cubicación para chopos en función del diámetro normal del árbol y de su altura maderable, considerando esta la correspondiente al diámetro del fuste de 7 ó 10 cm. Sin embargo, la medición de la altura maderable es mucho más imprecisa cuando se realiza sobre árboles en pie, a no ser que se empleen procedimientos con escalada en el árbol, lo que conlleva un tiempo muy prolongado que los hace antieconómicos. La medición de la altura total es más fácil en árboles en pie, especialmente si se realiza cuando están desprovistos de hojas.

Por otra parte, en la comercialización de choperas en pie es corriente utilizar fórmulas sencillas de cubicación que dan siempre valores del volumen significativamente inferiores a los proporcionados por las tablas de cubicación.

Las curvas de calidad permiten realizar estimaciones sobre futuros valores del crecimiento y la producción de choperas, así como la edad que corresponde al turno de máxima renta en especie.

Las curvas de calidad obtenidas representan valores medios de los períodos en los que se han efectuado las mediciones. Para un año concreto, los valores que se obtengan pueden desviarse más o menos de los previstos por las curvas, en función de las condiciones climáticas de ese año o de la ocurrencia de catástrofes como incendios o aparición de plagas o enfermedades.

En los primeros años del establecimiento de una chopera, los valores de diámetro y altura de los árboles se ajustan peor a los determinados para las distintas clases de calidad, ya que, durante ese período, tienen gran influencia el tamaño de las plantas y la profundidad de plantación; en general, estas

características dejan de tener un peso importante a partir del cuarto año desde la plantación. Además, los tramos finales de las curvas de mejor calidad tienden a alcanzar la horizontal, manifestando que el árbol deja de crecer en diámetro a partir de cierta edad; ocurre que estos últimos tramos no responden a la realidad y los datos proporcionados por las curvas en ellos, al tratarse de extrapolaciones, no son aplicables.

El turno de máxima renta en especie, para cada clase de calidad, viene dado por el máximo valor del crecimiento. Para la calidad V, la curva de producción que se obtiene no experimenta la inflexión requerida en el intervalo considerado y, por ello, no es posible determinar el turno de máxima renta en especie. El turno obtenido para las cuatro primeras clases de calidad figura en la Tabla 3.

Tabla 3. Turno de máxima renta en especie

Calidad	Turno (años)
I	14
II	15
III	16
IV	18

Anexo I Tabla de cubicación

$v = 6{,}41 + 0{,}0301d^2h$ d: diámetro normal (cm)

$R^2 = 0{,}9908$ h: altura total (m)

n = 324 v: volumen con corteza (dm^3)

	h																				
d	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35
15	108	115	122	128	135	142															
16	122	130	138	145	153	161	168														
17	137	146	154	163	172	181	189	198	207	215	224										
18	153	163	172	182	192	202	211	221	231	241	251										
19	170	180	191	202	213	224	235	246	257	268	278										
20	187	199	211	223	235	248	260	272	284	296	308										
21	206	219	232	246	259	272	286	299	312	325	339	352									
22	225	240	254	269	284	298	313	327	342	356	371	386									
23	246	261	277	293	309	325	341	357	373	389	405	421	437	453							
24	267	284	302	319	336	354	371	388	406	423	440	458	475	492							
25	289	308	327	345	364	383	402	421	440	458	477	496	515	534							
26	312	332	353	373	393	414	434	455	475	495	516	536	556	577							
27	336	358	380	402	424	446	468	490	512	534	556	578	600	622							
28	361	384	408	432	455	479	503	526	550	573	597	621	644	668	692	715					
29	387	412	437	463	488	513	539	564	589	615	640	665	691	716	741	767	792	817	843	868	894
30	413	440	468	495	522	549	576	603	630	657	685	712	739	766	793	820	847	874	902	929	956
31	441	470	499	528	557	586	615	644	673	702	730	759	788	817	846	875	904	933	962	991	1020
32	469	500	531	562	593	624	654	685	716	747	778	809	840	871	901	932	963	994	1025	1056	1087
33	499	532	564	597	630	663	696	728	761	794	827	860	893	925	958	991	1024	1057	1089	1122	1155
34	529	564	599	634	668	703	738	773	808	843	877	912	947	982	1017	1052	1086	1121	1156	1191	1226
35				671	708	745	782	819	856	892	929	966	1003	1040	1077	1114	1151	1188	1225	1262	1299
36				709	749	788	827	866	905	944	983	1022	1061	1100	1139	1178	1217	1256	1295	1334	1373
37				749	790	832	873	914	955	997	1038	1079	1120	1162	1203	1244	1285	1327	1368	1409	1450
38				790	833	877	920	964	1007	1051	1094	1138	1181	1225	1268	1312	1356	1399	1443	1486	1530
39					877	923	969	1015	1061	1107	1152	1198	1244	1290	1336	1382	1427	1473	1519	1565	1611
40					923	971	1019	1067	1115	1164	1212	1260	1308	1357	1405	1453	1501	1549	1598	1646	1694
41					969	1020	1070	1121	1172	1222	1273	1324	1374	1425	1476	1526	1577	1628	1678	1729	1780
42							1123	1176	1229	1282	1335	1389	1442	1495	1548	1601	1654	1708	1761	1814	1867
43									1288	1344	1400	1455	1511	1567	1622	1678	1734	1790	1845	1901	1957
44									1348	1407	1465	1523	1582	1640	1698	1757	1815	1874	1932	1990	2049
45									1410	1471	1532	1593	1654	1715	1776	1837	1898	1959	2020	2081	2142
46									1473	1537	1601	1664	1728	1792	1856	1920	1983	2047	2111	2175	2238
47									1538	1604	1671	1737	1804	1871	1937	2004	2070	2137	2203	2270	2337

	h																				
d	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35
48												1812	1881	1951	2020	2090	2159	2228	2298	2367	2437
49												1888	1960	2033	2105	2177	2250	2322	2394	2467	2539
50												1965	2041	2116	2191	2267	2342	2417	2493	2568	2643

Anexo II. Curvas de calidad

Calidad I

e (años)	d (cm)	h (m)	v (dm^3)	c (dm^3/año)	p (m^3/ha/año)
1	4,9	2,7	8	8,3	2,3
2	9,5	7,1	26	12,8	3,6
3	13,8	10,3	66	21,9	6,1
4	17,9	13,3	135	33,6	9,3
5	21,7	16,1	234	46,7	13,0
6	25,1	18,7	362	60,3	16,8
7	28,4	21,1	516	73,8	20,5
8	31,3	23,2	691	86,4	24,0
9	33,9	25,2	879	97,7	27,1
10	36,3	26,9	1.075	107,5	29,9
11	38,4	28,5	1.269	115,3	32,0
12	40,2	29,8	1.455	121,2	33,7
13	41,7	30,9	1.625	125,0	34,7
14	42,9	31,8	1.774	126,7	35,2
15	43,9	32,5	1.895	126,3	35,1
16	44,6	33,0	1.982	123,9	34,4
17	45,0	33,3	2.036	119,8	33,3
18	45,1	33,4	2.051	114,0	31,7

Calidad II

e (años)	d (cm)	h (m)	v (dm^3)	c (dm^3/año)	p (m^3/ha/año)
1	3,5	2,6	7	7,4	2,0
2	7,7	5,8	17	8,4	2,3
3	11,7	8,7	42	14,0	3,9
4	15,4	11,4	88	22,1	6,1
5	18,9	14,0	157	31,3	8,7
6	22,1	16,4	247	41,1	11,4
7	25,0	18,6	356	50,9	14,1
8	27,7	20,6	482	60,3	16,7
9	30,2	22,4	620	68,8	19,1
10	32,3	24,0	762	76,2	21,2
11	34,3	25,4	906	82,4	22,9
12	36,0	26,7	1.045	87,1	24,2
13	37,4	27,7	1.174	90,3	25,1
14	38,6	28,6	1.286	91,9	25,5
15	39,5	29,3	1.380	92,0	25,6
16	40,1	29,8	1.452	90,7	25,2
17	40,6	30,1	1.496	88,0	24,4
18	40,7	30,2	1.514	84,1	23,4

Calidad III

e (años)	d (cm)	h (m)	v (dm^3)	c (dm^3/año)	p (m^3/ha/año)
1	4,1	3,1	8	7,9	2,2
2	7,4	5,5	15	7,7	2,1
3	10,5	7,8	32	10,8	3,0
4	13,5	10,0	61	15,3	4,2
5	16,2	12,1	102	20,4	5,7
6	18,8	14,0	156	25,9	7,2
7	21,2	15,8	221	31,5	8,8
8	23,5	17,4	296	37,0	10,3
9	25,5	19,0	379	42,2	11,7
10	27,4	20,4	468	46,8	13,0
11	29,1	21,6	560	50,9	14,1
12	30,7	22,8	652	54,4	15,1
13	32,0	23,8	742	57,1	15,9
14	33,2	24,7	826	59,0	16,4
15	34,2	25,4	903	60,2	16,7
16	35,1	26,0	971	60,7	16,9
17	35,7	26,5	1.025	60,3	16,8
18	36,2	26,9	1.067	59,3	16,5

Calidad IV

e (años)	d (cm)	h (m)	v (dm^3)	c (dm^3/año)	p (m^3/ha/año)
1	4,4	3,3	8	8,3	2,3
2	7,0	5,2	14	7,0	2,0
3	9,5	7,1	25	8,5	2,4
4	11,8	8,8	43	10,9	3,0
5	14,1	10,5	69	13,7	3,8
6	16,2	12,0	101	16,9	4,7
7	18,2	13,5	141	20,1	5,6
8	20,0	14,9	187	23,3	6,5
9	21,8	16,2	238	26,5	7,4
10	23,4	17,4	294	29,5	8,2
11	24,9	18,5	354	32,2	8,9
12	26,3	19,6	415	34,6	9,6
13	27,6	20,5	477	36,7	10,2
14	28,8	21,4	539	38,5	10,7
15	29,8	22,1	598	39,9	11,1
16	30,7	22,8	654	40,9	11,4
17	31,5	23,4	706	41,5	11,5
18	32,2	23,9	751	41,7	11,6

Calidad V

e (años)	d (cm)	h (m)	v (dm^3)	c (dm^3/año)	p (m^3/ha/año)
1	3,8	2,9	8	7,7	2,1
2	5,5	4,1	10	5,1	1,4
3	7,1	5,3	15	4,8	1,3
e (años)	d (cm)	h (m)	v (dm^3)	c (dm^3/año)	p (m^3/ha/año)
4	8,7	6,5	21	5,3	1,5
5	10,3	7,7	31	6,2	1,7
6	11,8	8,8	44	7,3	2,0
7	13,3	9,9	60	8,5	2,4
8	14,8	11,0	79	9,9	2,8
9	16,3	12,1	103	11,4	3,2
10	17,6	13,2	130	13,0	3,6
11	19,1	14,2	162	14,7	4,1
12	20,4	15,2	198	16,5	4,6
13	21,8	16,2	238	18,3	5,1
14	23,1	17,1	281	20,1	5,6
15	24,3	18,1	329	22,0	6,1
16	25,6	19,0	381	23,8	6,6
17	26,8	19,9	437	25,7	7,1
18	28,0	20,8	496	27,6	7,7

Caracterización del propietario forestal de chopo en el bajo Tera (Zamora) y en el alto Bernesga (León)

GALLEGO GARCÍA, R.[1]; RUBIO GUITIÉRREZ, R.[1]; ARIAS LÓPEZ, D. [1]

[1] Área Forestal. Fundación Centro de Servicios y Promoción Forestal y de su Industria de Castilla y León.

Palabras clave

Encuesta, minifundismo, propiedad.

1. Introducción y objetivos

Una parte importante de la superficie forestal privada de la Comunidad Autónoma de Castilla y León no tiene una entidad productiva lo suficientemente representativa como para conformar una explotación unitaria por sí misma. Este problema se acentúa en las provincias de León y Zamora, predominantemente debido a su estructura de la propiedad y al minifundismo, que a menudo se traduce en el abandono de los terrenos ante las limitaciones y condicionantes existentes, tanto para su gestión como para la comercialización de sus productos.

Durante el año 2017 se ha realizado 32 encuestas a diferentes propietarios forestales que tienen en posesión choperas de producción, situadas en los términos municipales de Cuadros, Sariegos y Villaornate y Castro, en la provincia de León, y de Micereces de Tera, Santibañez de Tera, Quiruelas de Vidriales y Fresno de la Polvorosa, en la provincia de Zamora, con el objetivo de conocer las características de sus explotaciones y evaluar el potencial asociativo de la zona para el establecimiento de una gestión conjunta e integral de los productos forestales, buscando una maximización de su rentabilidad y una atenuación de los condicionantes anteriormente citados.

El objetivo general es fomentar la gestión sostenible e incrementar el valor de la productividad de las choperas, de modo que se incrementen las magnitudes económicas básicas del sector forestal regional, dentro del marco general de sostenibilidad y de protección que establecen la legislación forestal, la del agua y la de conservación de la naturaleza.

Las masas objeto del estudio son aquellas de crecimiento rápido de *Populus spp*. que están establecidas en áreas de minifundio marcado, que precisan de la gestión agrupada de algunos aspectos de su gestión, para mejorar su productividad y rentabilidad, contribuyendo a alcanzar los siguientes objetivos específicos:

- Mejorar la disponibilidad y el acceso a los productos forestales
- Mejorar la estructura productiva para los subsectores implicados
- Promover el consumo y el acceso al producto primario
- Favorecer y mejorar los canales de comercialización de los productos forestales.
- Mantener y generar empleo sostenible y digno
- Optimizar y mejorar la gestión forestal
- Fijar población en el medio rural
- Incrementar el nivel de ingresos de los propietarios de predios forestales
- Mejorar la competitividad de los productos forestales regionales

La opinión de carácter general coincide en la infrautilización de los recursos forestales en general, y dentro de ellos aquellos que tiene un régimen de aprovechamiento en minifundio en particular. La extensión y mejora de estas producciones son una oportunidad en términos económicos para la generación de nuevas rentas en el ámbito rural, también se ve como una oportunidad de mejora medioambiental, recuperación de áreas degradadas y potenciación de ciertos ecosistemas.

El acceso a estas oportunidades depende de una serie de factores, algunos de carácter económico por cuanto consisten en la disponibilidad de los recursos necesarios y su eficiencia. Otros factores que interactúan con éstos son los sociológicos, así la dificultad o la resistencia para hacer efectiva una oportunidad, no debe atribuirse sin más a una irracionalidad forma de actores a los que se les supone una natural orientación tradicional. Tales comportamientos sólo se comprenden analizando el contexto en que las oportunidades son percibidas y realizadas. El contexto tiene que hacer referencia a las formas consolidadas de organización y producción forestal como a los valores establecidos sobre los recursos forestales.

La situación de las explotaciones de chopo en las cuencas de León y Zamora tienen una gran variabilidad socioeconómica, y de la encuesta realizada se dividió las variables objeto de investigación en tres bloques, que a su vez describen una serie de características e indicadores:

- Ámbito social: es necesario conocer la configuración de la unidad familiar, la orientación productiva y su potencialidad.
- Ámbito técnico y económico: el grado de profesionalización, de costumbres y dedicación, así como la adaptación de la producción a la realidad de la especie en el momento actual, la percepción de dicha realidad y la posibilidad de adaptación a las necesidades de esta.
- En el marco de las posibles soluciones que pudieran adoptarse al resultado conjunto de los dos bloques anteriores, es necesario conocer el grado de permisividad de la población a las mismas, así como a posibles actuaciones básicas en el contexto agroforestal actual como es el asociacionismo y sus diferentes variables, para ello se plantea un tercer bloque de preguntas.

El ámbito de realización de este trabajo ha sido en León los municipios de Cuadros, Sariegos, Villaornate y Castro y en Zamora los municipios de Fresno de la Polvorosa, Quiruelas de Vidriales, Micereces de Tera y Santibañez de Tera.

2. Material y métodos

Para la realización del análisis y caracterización del propietario-selvicultor sobre las explotaciones de las especies y ámbitos geográficos indicados, se ha propuesto determinar los perfiles del propietario y de la explotación, valorando los aspectos socioeconómicos de la gestión que realizan y su tendencia.

De acuerdo con la metodología de la "ESPECIFICACIÓN DE PROCESO PARA LA OBTENCIÓN DE INFORMACIÓN CUALITATIVA Y CUANTITATIVA A PARTIR DE LA REALIZACIÓN DE ENCUESTAS PARA LA MODELIZACIÓN DE LA ESTRUCTURA PRODUCTIVA EN LA COMARCA DEL BIERZO", realizada en 2009 e incluida dentro del "Plan de Vertebración del Castaño del Bierzo", se ha propuesto una modificación y utilización de esta para este estudio.

Esta fase consta de las siguientes actividades:

- Diseño de encuesta. Técnico, trabajo de gabinete.
  - o Diseño de preguntas en función de los tres grandes bloques social, técnico y económico y el conjunto de soluciones a los dos anteriores.
- Realización de encuesta. Técnico trabajo de campo. admitiendo un error del 10% máximo, se propone una intensidad de muestreo de 10 -100 entrevistas/agrupación.
  - o Muestreo aleatorio estratificado, con afijación no proporcional
  - o Entrevista cualitativa en formato conversación: Provocada por el entrevistador, lo que la diferencia de la conversación ocasional. Dirigida a sujetos elegidos sobre la base de un plan de investigación, que son seleccionados por tanto en función de sus características y en número suficiente como para que la información obtenida permita generalizaciones (generalmente se entrevista a varias docenas de sujetos). Cuya finalidad es de tipo cognoscitivo, guiada por el entrevistador de manera que este fija el tema y controla su desarrollo.
- Análisis de datos. Técnico, trabajo de gabinete. En los resultados esperados de la encuesta deben aportarse datos sobre la variabilidad y situación de las explotaciones en la zona en los siguientes ámbitos:

- Social: es necesario conocer la configuración de la unidad familiar, la orientación productiva y su potencialidad.
- Técnico-económico: grado de profesionalización, de costumbres y dedicación así como la adaptación de la producción a la realidad de la especie en el momento actual, la percepción de dicha realidad y la posibilidad de adaptación a las necesidades de la misma.

3. Resultados

En la provincia de Zamora, el rango de edad de los populicultores se encuentra entre los 36 y 55 años, frente a los más de 65 años en la provincia de León, lo que, asociado a la actividad económica principal de los mismos, como son la agricultura o pensionistas respectivamente, describe el grado de actividad e implicación con las explotaciones. De esta forma, se observa que las explotaciones de chopo son consideradas como una fuente de ingresos añadida y complementaria a la actividad principal, acentuada en mayor medida en la provincia de León, al no existir una vinculación con la agricultura y por tanto con actividades del medio rural como ocurre en la provincia de Zamora.

De esto se puede deducir la potencial continuidad de las explotaciones, debiendo analizar por tanto la composición de la unidad familiar y su grado de vinculación con las mismas, puesto que una relación estrecha con el medio rural presenta una mayor probabilidad.

En la provincia de Zamora, prácticamente el 75 % de los encuestados ha manifestado su seguridad sobre la continuidad de las explotaciones en propiedad, ya que más del 60% tienen una sucesión directa (hijos en número variable), por lo que se podría asumir una alta implicación futura, a pesar de que en la actualidad se sitúa por debajo del 75%, principalmente debido a la minoría de edad de esta.
No ocurre lo mismo en la provincia de León, donde el 50% de los encuestados ve incierta la continuidad de sus explotaciones, y cerca del 25% la percibe como imposible, ya que a pesar de que aproximadamente el 90% tiene descendencia directa, la implicación de esta es nula al tratarse de un grupo mayor de edad con vinculaciones o situaciones laborales estables y asociados a sectores no relacionados con el medio rural.

En cuanto a la propiedad de las explotaciones forestales, cabe reseñar que se encuentran sobre terreno mayoritariamente particular, salvo excepciones puntuales, donde la superficie objeto de aprovechamiento se encuentra comúnmente subdividida en diversas parcelas. De forma generalizada, las explotaciones se encuentran mayoritariamente compuestas por agrupaciones de parcelas de distribución variable (dispersas o contiguas), con una superficie promedio por parcela inferior a 1 hectárea, particularmente de 2000-2500 m2 en la provincia de León, y un número medio de 3 parcelas por propietario.

Atendiendo a estas características, se han clasificado los propietarios en base a la extensión de sus explotaciones, resultando en la creación de tres grupos, que comprenden grandes propietarios (más de 10 hectáreas), medianos (entre 1 y 10 hectáreas) y pequeños (menos de 1 hectárea). Hay que destacar que en la provincia de Zamora más del 80% se corresponde con medianos propietarios, mientras que en León más del 50% son pequeños propietarios, con explotaciones medias que oscilan entre 1 y 5 hectáreas, y menos de 0,25 hectáreas (<2500 m2) respectivamente.

Este aspecto debe tenerse en cuenta puesto que plantea una problemática desde el punto de vista de la gestión, al condicionar económica y operativamente las actuaciones y aprovechamientos posibles. En añadido, es importante conocer los clones predominantemente empleados en las plantaciones, puesto que la calidad de la madera y su mercado presentan fluctuaciones según su tipología, así como la productividad de las explotaciones, para estimar un valor aproximado del recurso independientemente de su valor de mercado.

El clon más empleado con diferencia en Zamora es ´I-214´, mientras que en León está siendo sustituido por clones interamericanos como ´Beaupré´ (70%) por sus mejores cualidades en cuanto a crecimiento, conformación de fuste y menor afección a plagas como el pulgón lanígero (Phloeomyzus passerinii), en detrimento de su mayor sensibilidad a las heladas tardías y enfermedades fúngicas como la roya (Melampsora spp.). En cuanto a la calidad de las choperas de la provincia de Zamora, destacan las

producciones medias de 100 a 200 m³/ha (70%), mientras que en León oscilan entre 50 y 300 m³/ha, con predominio de producciones medias de 200 m³/ha. Se debe tener en cuenta que existe un alto grado de desconocimiento acerca de las producciones de las explotaciones, bien porque todavía no han alcanzado el turno de corta y por tanto se desconoce el volumen final del aprovechamiento, o bien porque este se adjudica a entidades o rematantes externos que realizan una valoración de este en base al precio medio del árbol (€/pie), en detrimento del precio medio del metro cúbico, y por tanto no otorgan al propietario dicha información.

El valor medio de la madera de chopo según los datos facilitados por los propietarios ha oscilado entre los 50-55 €/m³ durante el periodo 2004-2017, tendencia similar a la observada en las subastas de madera de chopo realizadas por la Federación de Asociaciones Forestales de Castilla y León (FAFCYLE), y entre los destinos preferentes del producto final destacan el desenrollo y la biomasa en Zamora, con un 61 y 39% respectivamente, y la madera para sierra y el desenrollo en León, con un 44 y 31 %, lo que sirve de indicador de la calidad o valor del producto, así como de la implicación de los propietarios en la gestión o de la propia idoneidad de las explotaciones, a pesar de que los datos se encuentran referidos en ambas provincias a la venta directa al maderista sin la intervención de intermediarios.

Se ha analizado la planificación prevista por los propietarios para la gestión de las explotaciones, evaluando la previsión de inversiones futuras y su tipología, pues se encuentran correlacionadas con su implicación y en cierto grado definen sus expectativas de futuro. De igual forma, la percepción que los propietarios tienen de sus choperas sirve como indicador de calidad de la gestión y del grado de implicación, a pesar de que se basa en una opinión subjetiva y puede dar lugar a una distorsión de la realidad.

En Zamora, más del 90% de los propietarios perciben que sus choperas son de calidad, con una selvicultura adecuada, mientras que, en León, el 57% las considera de calidad media-baja (sólo con ejecución de podas) y el 21% de calidad baja (sin actuaciones). Sin embargo, en ambas provincias existe una marcada tendencia o predilección por la no ejecución de inversiones futuras, principalmente debido a que los trabajos son contratados y tienen un coste económico considerable. No obstante, aquellos que consideran su ejecución, prevén destinar las mismas a la compra de planta y a la manutención y cuidado de la explotación (predominantemente podas y gradeos).

La procedencia a la hora de adquirir la planta es uno de los factores para tener en cuenta, puesto que se encuentra íntimamente correlacionada con su futura adecuación sobre el terreno, y especialmente con la aparición de problemas fitosanitarios, por lo que la existencia de un mercado real de venta y suministro de planta que no cumple los requisitos establecidos en cuanto a su trazabilidad compromete la futura calidad de las plantaciones. No obstante, se puede ver como en este caso, el material vegetal empleado para las plantaciones procede de viveros asentados en la misma provincia que la ubicación de las explotaciones, y además adjuntan documentación en la gran mayoría de los casos, permitiendo su trazabilidad, aunque existe un alto porcentaje de los encuestados en la provincia de León que cultivan su propia planta y por tanto carecen de documentación de esta.

Para establecer y realizar el planteamiento de un modelo de explotación es necesario conocer el grado de asociacionismo previo existente y la preparación de los propietarios para afrontarlo. Actualmente, más del 90% de los encuestados ha manifestado que no pertenece a ningún tipo de asociación o agrupación, pero sí han mostrado su predisposición a formar parte de una entidad de dicha índole, con un 100% y un 75% de los pequeños propietarios, y un 60% y un 75% de los medianos propietarios dispuestos, en Zamora y León respectivamente.

En el hipotético caso de la creación de una asociación o agrupación de productores de madera de chopo, los propietarios consideran que el liderazgo de dicha entidad deben asumirlo los propios productores o en su defecto las asociaciones de propietarios forestales, particularmente estas últimas en el caso de los pequeños propietarios.

El modelo de explotación preferente para mejorar y organizar la producción difiere en función del tamaño del propietario, pero de forma generalizada existe una preferencia por la formación de agrupaciones con propietarios vecinos, aunque en todo caso se encuentran dispuestos a analizar y seguir las

recomendaciones de los especialistas, y a participar como socios colaboradores y socios de trabajo durante su constitución.

No obstante, existen inquietudes que hacen que los populicultores se muestren reacios a incorporarse a entidades de esta índole, como son las asociadas a la ejecución de una gestión técnica y cuidados de mala calidad, una injusta repartición de las participaciones en la entidad, una mala gestión económica o incluso la pérdida de la propiedad de sus explotaciones, a pesar de que muchos lo perciben como la única solución para lograr una gestión sostenible de sus explotaciones y obtener el mayor rendimiento posible, y que para ello debe enfocarse sobre la consecución de una gestión integral de las mismas, desde la certificación y la ejecución de los trabajos de mantenimiento y las nuevas plantaciones, hasta la venta de la madera.

Para ello se reconoce de forma mayoritaria la necesidad de contratar mano de obra especializada para la realización de las labores. Los servicios solicitados al personal contratado se basarían predominantemente en la realización de todas las labores culturales de las explotaciones, incluyendo la plantación, el mantenimiento y el aprovechamiento de la madera en Zamora, o solamente las labores de mantenimiento (podas y riegos) en León.

En cuanto a la forma de participación de los populicultores, destaca en Zamora la aportación de los derechos de plantación y aprovechamiento, presente y futuro, además de la realización exclusiva de labores fitosanitarias, y en León la de los derechos de propiedad y de aprovechamiento, independientemente de la naturaleza jurídica de la entidad, la cual es supeditada por los propietarios a las recomendaciones de los especialistas ante el desconocimiento de las virtudes y defectos de cada tipología.

4. Discusión y conclusiones

Los propietarios en los dos casos estudiados tienen una naturaleza totalmente distinta. Así, en el caso de los propietarios de chopo en el Bajo Tera, el perfil medio es un propietario en activo y normalmente agricultor, dependiendo directamente del medio rural. En el caso del propietario de chopo medio de la zona del Alto Bernesga, la mayoría son pensionistas, habiendo estado casi siempre ligados a las actividades del medio rural.

La mayoría de los propietarios de chopo encuestados en el Bajo Tera (Zamora), están de acuerdo en la agrupación para una gestión integral de las choperas, y en particular para la certificación y venta de madera. Prácticamente el 100% de los pequeños propietarios (con superficies menores de 1 hectárea, están de acuerdo, y cerca del 60% en el caso de los medianos propietarios (1-10 ha). El tipo de agrupación se debería dirigir a un fomento de la profesionalidad de la actividad y a dar servicio (técnico y financiero) a los asociados.

En el Alto Bernesga, León, más del 75% de los propietarios encuestados con una propiedad de extensión media (1-10 Ha) y de pequeña magnitud (1-5 Ha) estarían dispuestos a asociarse con el objetivo principal de mejorar la calidad de sus explotaciones y aumentar el precio de venta con una comercialización conjunta.

Con estos datos de partida analizados y una vez realizadas varias reuniones y charlas con propietarios, se ha conseguido crear una asociación de populicultores en Zamora, que ya está en marcha y se está empezando a crear otra en León.

Desarrollo de un Inventario de Choperas Productivas a Escala Nacional

HUMANES FUENTE, V.[1]; CHAMORRO GARCÍA, G.[1]
[1] Sub. Gral. De Política Forestal. Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación.

Palabras clave
España, plantación forestal, producción, cartografía, superficies, estrato, recinto.

1. Introducción y objetivos

Los cultivos de chopo, pese a representar una reducida superficie con respecto a la superficie plantada total, suponen un 20% de la madera vendida y con un valor del 50% de la madera vendida en pie (en Castilla y León). Son un importante sumidero de carbono, y una herramienta fundamental para la protección de márgenes y riberas, así como de depuración de las aguas.

Según estudios realizados por la empresa Garnica, se espera una reducción de en torno al 66% de la producción de madera de chopo para el año 2023, lo que pondrá en serios apuros a esta industria, de cumplirse las previsiones. Para dicho año, Garnica consumirá solo en su planta de Valencia de Don Juan (León), según sus expectativas de crecimiento, unos 350.000 m^3 de madera de chopo, mientras que la producción nacional caerá a unos 285.000 m^3 para entonces.

En la actualidad se consumen en España en torno a 1.000.000 de m^3 anuales de madera de chopo. Con la actual tendencia de crecimiento del consumo y decrecimiento de las cortas esperadas, no se podría suplir ni un cuarto del total de la demanda nacional para el año 2.023.

Existen distintas fuentes de información que nos permiten hacer una aproximación a la superficie que estas plantaciones suponen en nuestro país a día de hoy. En Castilla y León, por ejemplo, tanto la empresa Garnica como la sociedad pública SOMACYL (Sociedad Pública de Infraestructuras y Medio Ambiente S.A.) han desarrollado diferentes inventarios de choperas. No obstante, hay marcadas diferencias entre estos y otros trabajos realizados hasta la fecha, lo que impide saber a ciencia cierta el estado actual de las choperas. Además, dado el corto turno de estas plantaciones, la desactualización de esta información puede suponer una gran diferencia de superficie en unos pocos años, siendo actualmente la tasa de replantación de choperas bastante baja.

Dadas las previsiones, es necesario tener una fuente de información real y de bajo margen de error, que aporte datos no solo sobre superficies, sino también sobre volúmenes, clones y edades entre otros. También es necesario que esta fuente de información sea actualizable periódicamente, dado el reducido turno de corta del chopo.

2. Material y métodos

La cartografía de este inventario se fundamenta en la metodología empleada por la empresa Garnica para realizar su propio inventario. Los datos de partida son de distinta naturaleza, en concreto nubes de puntos LiDAR, imágenes del satélite Sentinel, modelos digitales del terreno (mdt), mapas de hidrografía y mapas temáticos como SIGPAC, Mapa Forestal de España de Máxima Actualidad (MFE Max) o CORINE Land Cover.

Todo el trabajo de esta fase ha sido procesado mediante el programa de SIG ArcMAP. A partir de las nubes de puntos LiDAR, se obtuvieron mdt y modelos digitales de superficie, de cuya resta deriva el mapa de altura de la vegetación. De estas nubes de puntos también se obtuvo un mapa de densidad de la vegetación. Ambos mapas fueron unidos y reclasificados, considerando como zonas potenciales de

albergar chopos aquellas cuya altura de vegetación fuese superior a 2 metros o la densidad de vegetación fuese mayor que el 25%, o ambas condiciones se den simultáneamente.

A partir de las distintas bandas de radiación recogidas por el satélite Sentinel 2A, se calculó el índice NDVI, que mide el vigor vegetal. Éste se calculó para las imágenes tomadas en dos periodos del año, una durante el invierno, y otra al inicio del verano. Se consideró como zona potencial de albergar choperas aquéllas que presentasen una diferencia palpable entre ambos periodos y en un rango determinado.

Por otro lado, a partir de las bandas de radiación también se obtuvieron imágenes en infrarrojo, las que permitieron diferenciar a una fecha cercana (verano de 2017) la presencia o ausencia de chopos. Esto se hizo a partir de una herramienta de clasificación de imágenes, la que, a partir de parcelas de entrenamiento, es capaz de clasificar el resto de la superficie.

Por último, se definió un área potencial de existencia de choperas a partir de parámetros físicos. Se incluyen las tierras por debajo de los 1.200 msnm, con una pendiente inferior al 10%, y a una distancia al cauce de algún río de entre 100 y 1.000 metros en función de la importancia del río. De esta área también se excluyen aquellas zonas clasificadas en el MFE Max, SIGPAC y CORINE como contenedoras de algún tipo de vegetación o dedicadas a algún tipo de uso que claramente imposibilite su uso para el cultivo del chopo.

Se unieron las capas de altura/densidad de vegetación, diferencia de NDVI y clasificación a partir de IR. Se le aplicó un clip a esta unión, para descartar las zonas que no estuviesen incluidas dentro del mapa de área potencial. En las que sí quedaban incluidas, se descartaron aquellas zonas en las que indicando el NDVI la presencia de chopos, ni la clasificación de la imagen IR ni el mapa de altura/densidad indicaban su presencia. También se descartaron aquellas zonas en las que este último mapa indicaba la presencia de chopos, pero los de NDVI y altura/densidad indicaban que no.

El mapa de polígonos resultante se intersecta con el mapa de recintos SIGPAC. Se calcula el porcentaje de superficie de cada recinto que está ocupado por el mapa de choperas, descartándose como plantaciones aquellas en que este porcentaje sea menor o igual al 25%, y aceptándose como choperas productivas el resto.

Finalmente, tras unir todos los recintos individuales en polígonos, y con la intención de filtrar el gran número de recintos aislados y de pequeña superficies que este mapa presentaba como choperas productivas, que a simple vista parecían bastante dudosos, se descartaron aquellos polígonos que estuviesen a más de 200 metros de un cauce y tuviesen menos de 0,5 ha de superficie. También se descartaron aquellos con una relación perímetro/área mayor a 0,2 y menos de media hectárea, los que no tienen ningún otro polígono en 500 metros a su alrededor, etc.

3. Resultados

Hasta la fecha, se ha realizado la cartografía de la mayor parte de la provincia de Burgos (Figura 1), a falta de las cuencas del río Pisuerga y el río Ayuda. La superficie de choperas productivas obtenidas para el área estudiada es de unas 6.228 ha.

Fig.1: superficie de choperas productivas existentes en la provincia de Burgos a excepción de las cuencas de los ríos Pisuerga y Ayuda.

4. Discusión y conclusiones

En comparación con otras fuentes de información, el inventario realizado por Garnica indica una superficie de 5.559 ha para este mismo área, mientras que el de SOMACYL indica unas 3.079 ha. Con respecto a las fuentes propias del MAPA, la Foto Fija 2.015 (Mapa Forestal de España que incorpora los cambios en el uso del suelo, principalmente de origen antrópico, entre la fecha de elaboración del MFE y la actualidad) indica una superficie de choperas de 5.668 ha, el MFE Max (Mapa Forestal que combina la última versión del MFE a escala 1:25.000, para las provincias que ya está disponible, con el MFE a escala 1:50.000 para el resto de provincias) 5.756 ha, y el MFE 50 (MFE a escala 1:50.000, base del IFN3) 5.783 ha. Por último, la ESYRCE (Encuesta de Superficies y Rendimientos de Cultivos) indica una superficie total para Burgos de 9.697 ha, a las que según estimaciones del resto de fuentes habría que restar entre 1.000 y 1.100 ha para reducirla al área alcanzada por el mapeo de este estudio, lo que dejaría la superficie en unas 8.600 ha.

Esta cartografía presenta datos similares a los de la elaborada por Garnica, no sólo en cuanto a datos de superficie, si no en cuanto a la coincidencia física de esta superficie. Esto se debe a la similitud de la metodología empleada en ambos casos, basada principalmente en herramientas de teledetección. Con respecto al resto de mapas físicos disponibles, pese a que las superficies son similares, el mapa elaborado en este trabajo (Figura 1) posee mucho mayor detalle y está actualizado a la situación real del año 2017.

El exceso de superficie con respecto a otras cartografías se debe a la presencia de numerosas parcelas de pequeño tamaño, que si bien contienen seguramente especies de árboles frondosos, éstos posiblemente no sean chopos. Por lo tanto, sería importante en próximos avances depurar la metodología para poder descartar o aceptar estas parcelas como choperas productivas.

Otra dificultad encontrada en la realización de esta cartografía se corresponde con la identificación de parcelas plantadas recientemente con chopos, y que previamente se dedicaban a otro tipo de cultivo. Los primeros años de su plantación, estos presentan una baja densidad foliar, por lo que es complicado asemejarlos a las masas adultas a partir de imágenes de satélite con una resolución de 10 metros. Sería

conveniente disponer de información extra que ayude a identificar estas parcelas, como podrían ser los permisos de plantación emitidos por las distintas Confederaciones Hidrográficas o Comunidades Autónomas.

En la misma línea, aquellas parcelas que acaban de ser cortadas se identifican como terreno sin choperas, pese a que puedan volver a ser replantadas en un corto plazo de tiempo. Esta duda podría ser solventada también a partir de los datos de autorizaciones de plantación.

En conclusión, la metodología empleada y los resultados obtenidos parecen satisfactorios, si bien se necesita depurar más aún esta metodología.

El objetivo es ampliar esta cartografía al resto de España, y a partir de ella realizar un inventario de las choperas productivas en nuestro país. Este inventario se realizará a partir de un muestreo continuo, basado en la estratificación de las superficies forestales por características dasométricas. Cada estrato se formará por teselas de similares características, con puntos de muestreo en los vértices de una malla UTM de 500 metros de paso, por la distribución tan concentrada de las plantaciones de chopos. El objetivo será obtener los volúmenes y crecimientos, los años de plantación, marco, turno, clon, etc.

Este inventario se actualizará con una periodicidad máxima de 5 años, tomando como antecedente el inventario de similares características realizado en la cornisa cantábrica.

Otro de los objetivos es disponer de un registro nacional alimentado por las comunidades autónomas y las confederaciones hidrográficas, donde se actualicen los datos en tiempo real, a través de los permisos de corta y plantación, y de otra información que puedan aportar los organismos competentes.

5. Bibliografía

CENTRO NACIONAL DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA (2006). Mapa de Ocupación del Suelo en España: Corine Land Cover – Proyecto 1&CLC2000.

DIRECCIÓN TÉCNICA – SERVICIO DEL MEDIO NATURAL, SECRETARÍA DE ESTADO PARA LAS POLÍTICAS DEL AGUA Y DEL MEDIO AMBIENTE (1992). Inventario de Choperas Administradas por la Confederación Hidrográfica del Duero.

EQUIPO TÉCNICO NACIONAL SIOSE (2011). Sistema de Información de Ocupación del Suelo en España. Fichas de Fotointerpretación.

MINISTERIO DE AGRICULTURA Y PESCA, ALIMENTACIÓN Y MEDIO AMBIENTE (2008-2018). Cuarto Inventario Forestal Nacional.

RUEDA FERNÁNDEZ, J., ESTEBAN INÉS, J. (1999) Inventario de Choperas en Castilla y León. Burgos.

SOCIEDAD PÚBLICA DE INFRAESTRUCTURAS Y MEDIO AMBIENTE DE CASTILLA Y LEÓN; UNIVERSIDAD DE VALLADOLID (2017). Superficie Repoblada con Chopo de Producción en Castilla y León.

TECNOSILVA; FÖRA (2016). 1. Censo de Choperas de las Cuencas del Duero y Sil – Memoria metodológica y resultados.

KARASIAK, N., SHEEREN, D., FAUVEL, M., WILLM, J., DEJOUX, J. F., & MONTEIL, C. (2017). Mapping tree species of forests in southwest France using sentinel-2 image time series. In Analysis of Multitemporal Remote Sensing Images (MultiTemp), 2017 9th International Workshop on the (pp. 1-4). IEEE.

Efecto del tipo de plantación Mixta y Pura en el crecimiento del clon *Populus* ×*euramericana* 'I-214' en la Vega de Granada

RIPOLL MORALES, M.A.[1]; NAVARRO REYES, F.B.[1]; SÁNCHEZ-MIRANDA, A.[2]; GÁLVEZ GARRIDO, C. [1]; SÁNCHEZ PEINADO M.J. [1].

[1] IFAPA Centro Camino de Purchil. Consejería de Agricultura, Pesca y Desarrollo Rural de la Junta de Andalucía.

[2] Instituto de Estudios Pirenaicos. C.S.I.C. Zaragoza.

Palabras clave

Diámetro normal, diámetro comercial, competencia intraespecífica, especie principal, especie secundaria.

1. Introducción y objetivos

Las plantaciones de árboles destinadas a la obtención de madera están cobrando mucha importancia, no sólo por las elevadas expectativas de una alta rentabilidad (Fady et al 2003) y un aumento mundial de la demanda de madera (FAO 2003), sino también porque pueden contribuir a mantener la agricultura en algunas áreas donde se abandonan los cultivos por falta de alternativas agronómicas rentables, además de aportar servicios ecosistémicos tales como el secuestro de carbono, conservación del suelo, regulación del ciclo del agua, etc., de forma que estas plantaciones pueden ser consideradas como proveedoras de beneficios múltiples (Erskine and Catterall 2004).

Existen amplias zonas de la Península Ibérica adecuadas para la producción de madera mediante el manejo intensivo de estas plantaciones (Aletà 2014), lo que se formaliza en maximizar tanto el crecimiento como la configuración del tronco (Zellers *et al,.* 2012), centrándose los estudios (Mohni *et al,.* 2009) en los requerimientos del sitio (temperatura, precipitación y suelo), densidad y manejo de las plantaciones, edad y tamaño máximo, modelos de crecimiento, prácticas culturales (poda de formación y clareos) y sistema de cultivos (plantaciones puras, plantaciones mixtas y sistemas agroforestales).

Sin embargo, domina la silvicultura de ciclo corto con especies de crecimiento rápido, formando extensas plantaciones monoclonales. Aunque estas plantaciones tienen ventajas como su fácil manejo (Piotto 2008) y rápidos crecimientos que satisfacen la demanda de madera (Benomar *et al,.* 2012), también presentan ciertas desventajas: mayor riesgo de enfermedades (Burdon 2001), percepción social desfavorable (Howe *et al,.* 2005) y efectos negativos sobre el funcionamiento de los ecosistemas (Knoke *et al,.* 2008).

En contraposición a estos hábitos de cultivo donde predominan las plantaciones monoespecíficas, hay estudios que demuestran cómo las plantaciones mixtas de frondosas sostienen una mayor diversidad de flora y fauna que las primeras (Montagnini *et al,.* 2005). También se han observado mayores crecimientos cuando ciertas especies se mezclan con especies fijadoras de nitrógeno comparándolas con las plantaciones de las mismas especies en plantación pura (Chifflot *et al,.* 2006; Forrester *et al,.* 2006). Por otra parte, los modelos mixtos de cultivo poseen la cualidad de producir una madera de mayor calidad (ramas delgadas, mejor conformación del fuste) y de minimizar riesgos económicos respecto a plantaciones monoespecíficas (Buresti y Frattegiani 1995), ya que al diversificar los productos forestales se reducen las pérdidas frente a fluctuaciones de mercado (Loewe y González 2006).

Por estas razones es importante conocer la respuesta de cada una de las especies a las condiciones impuestas por los cultivos mixtos, pudiendo de este modo elegir un diseño de plantación más eficaz y productivo (Montagnini et al 2005) para que los responsables del manejo forestal puedan tener datos sobre la productividad de las plantaciones mixtas (Nichols y Williams 2006).

Son numerosos los estudios en los que se mezclan una especie objetivo con otras sin interés maderero que aumentan la productividad de la primera, siendo escasos aquellos en los que el manejo de las dos especies arbóreas tenga como finalidad la producción de madera de calidad (Loewe *et al,*. 2013).

En nuestro ensayo hemos seleccionado dos especies productoras de madera de calidad, el nogal híbrido MJ209xRa y el clon de chopo 'I-214'. Este tipo de cultivo es conocido como cultivo de doble turno, en el que una especie es de crecimiento más rápido que la otra (Coello et al 2009). El nogal es una de las especies más demandadas por los productores de madera que reconocen su alto valor, y se está trabajando en la selección de progenies para uso forestal que destacan por su rusticidad, lo que favorece la utilización de nogales híbridos que tienden a ser mayores que cualquiera de sus padres y son más tolerantes a un amplio rango de condiciones ambientales. Entre las progenies híbridas más utilizadas está el MJ209xRa (*Juglans major* × *Juglans regia*) por su vigoroso crecimiento, buen dominio apical, menor número de ramas y baja susceptibilidad a la antracnosis (Clark y Hemery 2010). El clon de chopo 'I-214' (*Populus* ×*euramericana* (Dode) Guinier 'I-214') es el más utilizado en la populicultura mediterránea debido a su facilidad de cultivo y sus rápidos crecimientos.

En este estudio mostramos los resultados de 8 años de experimento que compara el crecimiento del chopo en plantaciones puras y mixtas. Nuestra hipótesis de partida es que las plantaciones mixtas favorecen el crecimiento de la especie de crecimiento rápido.

2. Material y métodos

El cultivo está situado en la Vega de Granada (UTM 30S 443423 4114357; cota: 630 m). Los suelos son básicos, profundos, aluviales, formados a partir de los ríos Beiro y Genil y el clima es seco mediterráneo.

Las plántulas fueron proporcionadas por viveros comerciales y proceden de material forestal de reproducción controlados. El DBH (cm) y la altura (m) inicial del nogal fue 1,45 ± 0,08 y 2,08 m ± 0,07 respectivamente, mientras que para el chopo eran de 1,64 ± 0,05 y 4,13 ± 0,09. La plantación se realizó en febrero de 2010.
La plantación fue manejada siguiendo las recomendaciones de Buresti et al 2001: riegos quincenales durante el período estival (de junio a septiembre), fertilización (los dos primeros años) y podas de formación (a partir del segundo año de establecimiento).

La plantación ocupa una superficie aproximada de 7.780 m^2. El espaciamiento entre árboles es de 5×5m (400 árboles ha^{-1}). El diseño experimental es en bloques completos realizados al azar con tres repeticiones. El número total de árboles es de 270. En cada bloque hay tres tratamientos: plantación monoespecífica de nogal híbrido MJ209xRa (30 nogales), plantación monoespecífica de clon de chopo 'I-214' (30 chopos) y plantación mixta de nogal y chopo (15 nogales y 15 chopos). Los 30 árboles de cada tratamiento están distribuidos en 5 filas con 6 árboles cada una. Las medidas se realizan sobre los 12 árboles centrales para evitar el efecto borde. En las parcelas mixtas las dos especies están intercaladas (Figura 1).

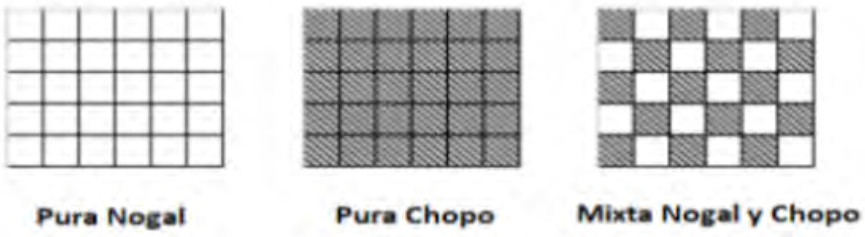


Figura 1: Esquema del diseño experimental.

Desde la plantación, en febrero de 2010, se han medido los diámetros normales con calibre digital. Se midieron dos diámetros en ejes perpendiculares y, como estimador del diámetro real, se ha utilizado la media aritmética de los dos diámetros. La primera medida se realizó en Febrero de 2010 (DBH inicial) y el resto se han realizado en diciembre de cada año (2010-2017).
Utilizando un ANOVA combinado de medidas repetidas en el tiempo para un diseño en bloques completos al azar podemos ver la significación tanto de los tratamientos como de los bloques, así como determinar el efecto de los tratamientos, del año y la interacción entre tratamientos y año utilizando como unidad experimental cada individuo (repeticiones monoárbol): 36 chopos (12 por tratamiento en plantación pura, tres réplicas) y 18 chopos (6 en plantación mixta, tres réplicas). Se ha aplicado el Test de Tukey cuando se detectaron diferencias significativas mediante el ANOVA factorial. Se determinaron diferencias significativas para un nivel de p-value < 0,05. La normalidad y homegeneidad de los datos fue testada con la prueba de Bartlett.

El análisis de los datos se realizó con el paquete estadístico STATISTIX 8 (Analytical Software®,Tallahassee, Florida, USA).

3. Resultados

El tratamiento de los datos referidos a diámetros normales (n = 54) proporcionó los resultados que se muestran a continuación.

Tabla 1: Diámetros normales ± ES por Bloques

Bloque	n	DBH (cm) ± ES	Grupo Tukey
I	18	28,79 ± 0,84	A
II	18	28,60 ± 0,73	A
III	18	26,60 ± 0,54	A
Media	18	28,00 ± 0,42	

Tabla 2: Diámetros normales ± ES por Tipo de plantación (Mixta y Pura)

Plantación	n	DBH (cm) ± ES	Grupo Tukey
Mixta	18	31,61 ± 0,43	A
Pura	36	26,20 ± 0,30	B

Tabla 3: Análisis de la Varianza

	N	SC Tipo III	CM	F	Pr>F
Bloque	2	52,84	26,42		
Plantación	1	351,54	351,54	147,17	<0,0001

Las mediciones anuales del DBH de los árboles del ensayo dieron como resultado la serie de diámetros por tipo de plantación que figura en la Tabla 4. En esta tabla aparece, en lugar del año, la edad que corresponde a cada temporada de mediciones.

Tabla 4: Serie de Diámetros normales ± ES (cm)

Plantación	0	1	2	3	4	5	6	7	8
Mixta	1,63 ± 0,04	5,76 ± 0,11	14,84 ± 0,17	19,64 ± 0,16	23,52 ± 0,19	26,41 ± 0,24	29,21 ± 0,33	30,41 ± 0,36	31,61 ± 0,43
Pura	1,60 ± 0,03	5,45± 0,07	13,96± 0,11	17,09± 0,15	20,14± 0,16	22,23± 0,17	24,04± 0,22	24,99± 0,28	26,19± 0,30
p-value	> 0,005	> 0,005	> 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,005

En la Tabla 5 figuran los árboles que presentan los mayores y menores diámetros normales en plantaciones mixtas y puras.

Tabla 5: Diámetros normales mayores y menores por Tipo de plantación (Mixta y Pura)

Plantación	Mayor DBH	Menor DBH
Mixta	35,75	29,40
Pura	30,50	22,80

Los pares de valores obtenidos como resultado de las mediciones anuales de los diámetros normales de los árboles del ensayo, se han ajustado, para cada tipo de plantación, a una ecuación de la forma:

$d = a_0 + a_1e + a_2e^2$

siendo **d**: diámetro normal (cm) y **e**: edad (años).

Los valores de los coeficientes a_0, a_1, a_2 y del coeficiente de determinación R^2 obtenidos para cada tipo de plantación figuran en la Tabla 6 y las respectivas curvas de crecimiento en diámetro se muestran en la Figura 2.

Tabla 6: Relación diámetro normal/edad ($d = a_0 + a_1e + a_2e^2$)

Plantación				a_0	a_1	a_2	R^2
Mixta				0,7876	7,475	-0,4565	0,9933
Pura	1,2753	6,3588	-0,4151	0,9885			

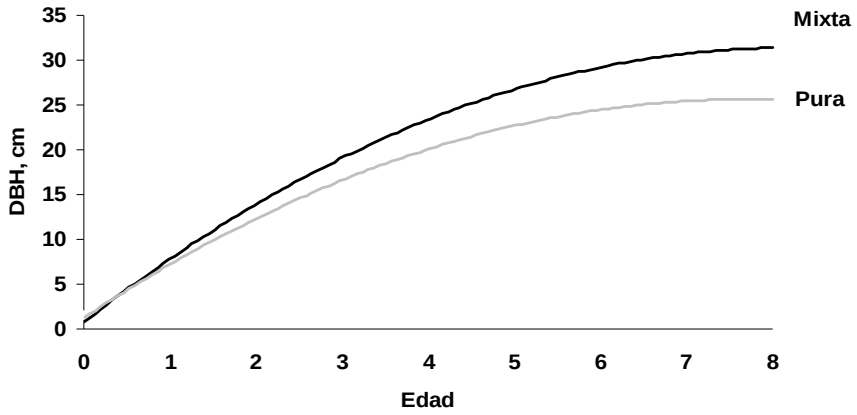


Figura 2: Relación diámetro normal/edad

4. Discusión y conclusiones

El DBH no ha registrado diferencias significativas entre tratamientos durante los tres primeros años de mediciones (p>0,05), pero a partir del cuarto año los diámetros de chopo en la plantación mixta empiezan a mostrar crecimientos superiores a los obtenidos en la plantación pura.

Estos resultados coinciden con los obtenidos por otros autores (LOEWE y GONZÁLEZ, 2006 y MONTAGNINI et al. 1995) en los que se ha comprobado que las plantaciones mixtas favorecen el crecimiento en diámetro de la especie de rápido crecimiento, debido a una menor competencia con el nogal, especie secundaria de crecimiento lento cuyo desarrollo fustal no compite con el del chopo (Sánchez-Miranda et al 2013).

Las condiciones de cultivo puro muestran un comportamiento en cuanto a su desarrollo diametral similar al que se obtiene en choperas de menor densidad, con valores próximos incluso algo superiores a la media que está en 25 cm (LÓPEZ, 2002). Esto puede atribuirse a una mayor competencia intraespecífica entre pies de chopo.

Tal y como se observa en la Figura 3, en la que se comparan las curvas de calidad para *Populus* propuestas por Bravo et al (1996) con nuestros resultados, la plantación mixta supera a la curva de calidad I. La plantación pura coincide con la calidad II y la de Luisa Avanzo situada en la Vega de Granada (Sánchez-Miranda et al 2017), se corresponde con la calidad III.

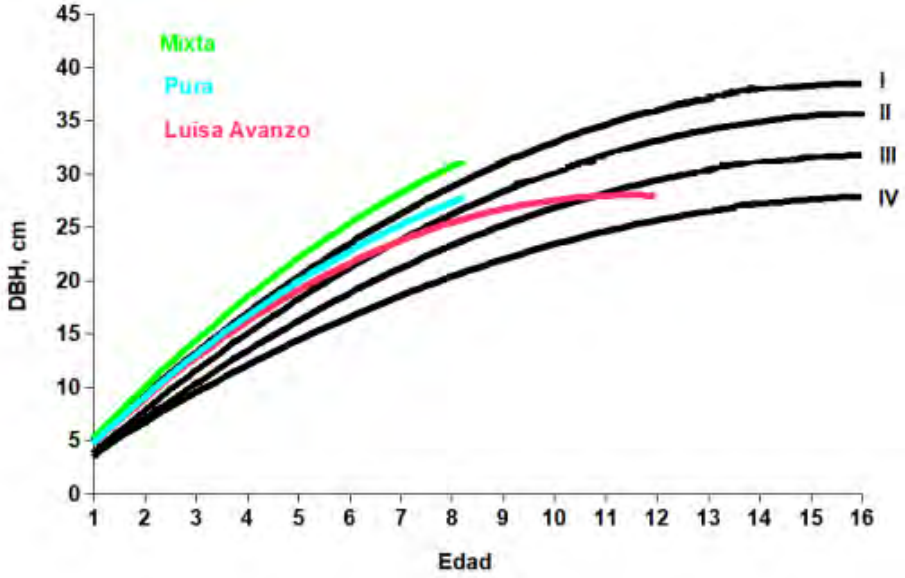


Figura 3: Relación diámetro normal/edad en plantaciones de Granada y del Duero

A la edad de 8 años el clon 'I-214' en plantación mixta ya tiene diámetros comerciales, superiores a 30 cm. Estos DBH no se alcanzan en las parcelas de experimentación de clones de chopo de la zona norte de España para ningún clon hasta 2 años después (Rueda et al 2006; Rueda et al 2007; Rueda y García 2013, Rueda 2014; Rueda y Rossignoli 2015; Rueda y García 2018) cuyos diámetros están próximos a los alcanzados en este ensayo para el clon 'I-214' en plantaciones puras.

En plantaciones mixtas de chopo y nogal con el mismo espaciamiento (5m) en el Norte de Italia el clon 'I-214' no alcanza diámetros comerciales hasta un 1 o 2 años después, siendo necesario un espaciamiento más amplio (7,4m) más adecuado para el chopo(Pelleri et al 2013).

El aumento del espaciamiento y la mezcla con especies de crecimiento lento como el nogal consigue aumentar el crecimiento diametral del clon 'I-214' en la Vega de Granada, llegando a diámetros comerciales en solo 8 años.

6. Bibliografía

ALETÀ, N.; (2014). Using walnut species for timber production in southern Europe. Acta Horticulturae. 1050. 383-388.

BENOMAR, L.; DESROCHERS, A.; LAROCQUE, G.; 2012. The effects of spacing on growth, morphology and biomass production and allocation in two hybrid poplar clones growing in the boreal region of Canada. Trees. 26. 1-11.

BRAVO F.; GRAU J.M.; GONZÁLEZ ANTOÑANZAS F.; 1996. Curvas de calidad y tablas de producción para Populus ˣeuramericana en la cuenca del Duero. Montes 44, 43-46.

BURESTI, E..; FRATTEGIANI, M. 1995. Impianti misti in arboricoltura da legno. Sherwook 3: 11-17.

CLARK, I.; HEMERY, G. 2010. Walnut hybrids in the UK: fastgrowing quality hardwoods. Quartely Journal of Forestry. Vol 104(1): 43-46.

CHIFFLOT, V.; BERTONI, G.; CABANETTES, A.; GAVALAND, A. 2006. Beneficial Effects of Intercropping on the Growth and Nitrogen Status of Young Wild Cherry and Hybrid Walnut Trees. Agroforestry System 66(1): 13-21.

COELLO, J.; PIQUÉ, M. 2009. Plantaciones mixtas de nogal, serbal y fresno para la producción de madera de calidad y restauración forestal. 5CFE01-171.5º Congreso Forestal Español. Ávila. ISBN: 978-84-936854-6-1.

ERSKINE, PETER; CATTERALL, C.P.; (2004). Production versus rainforest biodiversity: trade-offs or synergies in farm forestry systems?. Cooperative Research Centre for Tropical Rainforest Ecology and Management.

FADY, B.; DUCCI, J.; ALETA, N.; BECQUEY J.; VAZQUEZ R.D.; LOPEZ F.F.; JAY-ALLEMAND C.; LEFEVRE F.; NINOT A.; PANETSOS K.; PARIS P.; PISANELLI A.; RUMPF H.; 2003. Walnut demonstrates strong genetic variability for adaptive and wood quality traits in a network of juvenile field tests across Europe. New Forests 25(3):211-225.

FAO; 2003. Proceedings: Second Expert Meeting on Harmonizing Forest-related Definitions for Use of Various Stakeholders. Meeting sponsored by FAO, WMO, IPCC, UNEP, CIFOR and IUFRO. 323 pp.11-13 September, 2002. Rome. Italy.

FORRESTER, D.I., BAUHUS, J., COWIE, A.L., VANCLAY, J.K., 2006. Mixed-species plantations of Eucalyptus with nitrogen fixing trees: a review. Forest Ecology and Management. Vol 233 (2-3): 211-230.

KNOKE, T.; AMMER, C.; STIMM, B.; MOSANDL, R. 2008. Admixing broadleaved to coniferous tree species: a review on yield, ecological stability and economics. European Journal of Forest Research. Vol 127 (2): 89-101.

HOWE, G.T.; SHINDLER, B.; CASHORE, B.; HANSEN, E.; LACH, D.; ARMSTRONG, W.;2005. Public influences on plantation forestry. Journal of Forestry. Vol 1003 (2): 90-94.

LOEWE, V.; GONZÁLEZ, M. 2006. PLANTACIONES MIXTAS: Un modelo productivo con potencial para Chile.Instituto Forestal (INFOR). Santiago. Chile.Pp 304

LOEWE, V.; GONZÁLEZ, M.; BALZARINI, M. 2013. Wild cherry tree (Prunus avium L.) growth in pure and mixed plantations in South America. Forest Ecology and Management. Vol 306: 31-14.

LÓPEZ, F. 2002. Selvicultura y mecanización de los aprovechamientos del chopo en la Vega de Granada. E.T.S. de Ingenieros Agrónomos y de Montes. Universidad de Córdoba, pp 137.

MONTAGNINI, F.; GONZÁLEZ, E.; PORRAS, C.; RHEINGANS, R. 1995. Mixed and pure forest plantations in the humid neotropics: a comparison of early growth, pest damage and establishment costs. Commonwealth Forestry Review 74(4): 306-314.

MONTAGNINI, F.; CUSACK, D.; PETIT, B.; KANNINEN, M. 2005. Environmental services of native tree plantations and agroforestry systems in Central America. J. Sustainable For. 21 (1): 51-67.

NICHOLS, J.D.; WILLIAMS, B.K. Monitoring for Conservation. Trends Ecol. Evol. 21 (12): 668-73.

PELLERI, F.; RAVAGNI, S.; BIANCHETTO, E.; BIDINI, C. 2013. Comparing growth rate in a mixed plantation (walnut, poplar and nurse trees) with different planting designs: results from an experimental plantation in northern Italy. Ann.Silv.Res. 37 (1): 13-21.

PIOTTO, D. 2008. A meta-analysis comparing tree growth in monocultures and mixed plantations. Forest Ecology and Management. 255. 781-786.

RUEDA, J.; GARCÍA CABALLERO J.L.; LÓPEZ, L.; GÓMEZ, C.; (2006). Parcela de experimentación de clones de chopos LE-1 Valencia de Don Juan. Consejería de Fomento y Medio Ambiente, Junta de Castilla y León. Valladolid. 74 pp.

RUEDA, J.; LÓPEZ, L.; BARRIO, J.M.; PEÑA, M. (2007). Parcela de experimentación de clones de chopos SO-1 Almazán. Consejería de Fomento y Medio Ambiente, Junta de Castilla y León. Valladolid. 27 pp.

RUEDA J., GARCÍA CABALLERO J.L.; (2013). Parcela de experimentación de clones de chopos LE-3 Gradefes. Consejería de Fomento y Medio Ambiente, Junta de Castilla y León. Valladolid. 35 pp.

RUEDA J.; (2014). Parcela de experimentación de clones de chopos PA-1 Villaturde. Consejería de Fomento y Medio Ambiente, Junta de Castilla y León. Valladolid. 17 pp.

RUEDA J., ROSSIGNOLI A., (2015). Parcela de experimentación de clones de chopos PA-5 Celadilla del Río. Consejería de Fomento y Medio Ambiente, Junta de Castilla y León. Valladolid. 20 pp.

RUEDA J., GARCÍA CABALLERO J.L. (2018). Parcela de experimentación de clones de chopos LE-4 La Milla del Río. Consejería de Fomento y Medio Ambiente, Junta de Castilla y León. Valladolid. 48 pp.

SÁNCHEZ-MIRANDA MORENO, A.; RIPOLL MORALES, M.A.; CASTRO GUTIÉRREZ, J.; JIMÉNEZ MORALES, M.N.; NAVARRO REYES, F.B. y GALLEGO TERUEL, E. 2013. Evaluación del crecimiento de nogal híbrido MJ209xRa y clon I-214 (Populus x Euroamericana): Plantaciones Monoespecíficas vs Plantaciones Mixtas. 6º Congreso Forestal Español. Vitoria. ISBN: 978-84-937964-9-5.

SÁNCHEZ-MIRANDA, A.; GÁLVEZ GARRIDO, C.R.; CASTRO GUTIÉRREZ, J.; RIPOLL MORALES, M.A.; 2016. Continuación del estudio sobre plantaciones puras vs mixtas de nogal híbrido (MJ209xRa) y chopo (clon I-214). Resultados tras 4 años más de evaluación del crecimiento y desarrollo fustal. 7º Congreso Forestal Español. Plasencia. ISBN: 978-84-941695-2-6.

ZELLERS, C.E.; SAUNDERS, M.R.; MORRISSEY, R.C.; SHIELDS, J.M.; BAILEY, B.G.; DYER, J.; COOK, L.; 2012. Development of allometric leaf area models for intensively managed black walnut (Juglans nigra L.) Annals of Forest Science 69 (8): 907-913

Agradecimientos

Este trabajo se ha realizado gracias al Proyecto Transforma PP.TRA.TRA201300.12 “Cultivos de regadío al aire libre”, cofinanciado al 80% con Fondo Europeo de Desarrollo Regional y Fondo Social Europeo (Programa Operativo FEDER de Andalucía 2007-2013) y actualmente, estas parcelas de ensayo del IFAPA se incluyen dentro de la red Experimental del Proyecto Transforma TRA.TRA201600.14 "Selvicultura Agraria: ampliación y mantenimiento de la red de ensayos demostrativos de cultivos forestales", cofinanciado al 80% con Fondo Europeo de Desarrollo Regional, dentro del Programa Operativo FEDER de Andalucía 2014-2020. Además del personal investigador y técnico del IFAPA, han participado Ángela Sánchez-Miranda (contratada del IFAPA), Cristina Galvez Garrido (becaria del IFAPA) y Mª José Sánchez Peinado (contratada del IFAPA), cuyos contratos fueron cofinanciados por el Fondo Social Europeo.

Evolución de la planificación forestal de choperas y situación actual de la superficie ordenada y certificada de las choperas de producción en Castilla y León

MARTÍNEZ NAVARRO, M.L..[1]; RODRÍGUEZ MARTÍN, L.A.[1]
[1]Junta de Castilla y León

Palabras clave
Normafor, gforweb, planfor, PEFC.

1. Introducción

Castilla y León posee una extensa superficie, 94.224 km^2 (9,4 millones de hectáreas) surcada por una importante red hidrográfica estando dividido su territorio en cuatro cuencas hidrográficas: Duero, Ebro, Tajo, Norte (I, II y III), de las que la del Duero ocupa más del 82% del territorio. Las riberas de dichas cuencas hidrográficas conservan muchas de ellas biotopos naturales, o más o menos naturalizados, y otras, más transformadas, han sido objeto de repoblaciones con productivos clones de chopos. Buena parte de estas riberas repobladas se corresponden con antiguas zonas inundables, riberas estimadas, y otras zonas desarboladas, muchas de ellas constituían antiguas zonas de pastos en las vegas de los ríos. Se estima que en la comunidad autónoma pueden existir alrededor de 44.000 ha dedicadas al cultivo de chopo lo que representa menos del 0,5% de la superficie de la región, y que supone aproximadamente el 0,9% de la superficie forestal de Castilla y León.

2. Material y métodos

Se ha empleado la base de datos de las planificaciones forestales de Castilla y León, GFORWEB, base de datos Oracle que contiene todas las planificaciones que han existido en algún momento en Castilla y León. Esta base de datos forma parte del proyecto NORMAFOR, desarrollado en la Consejería de Fomento y Medio Ambiente desde el año 2004, y en dicha base de datos se recogen todos los documentos de planificación forestal en sus diferentes estados administrativos (documentos históricos, en elaboración, en tramitación, vigentes y prorrogados). A todos los efectos, cuando expresamos en esta comunicación, de forma genérica, los documentos o la superficie nos referimos exclusivamente al subconjunto de documentos que están vigentes y prorrogados, que son los funcionales a efectos administrativos. Cualquier alusión a otro estado administrativo es explícitamente aludida en el texto para evitar confusiones.

3. Resultados

Son estas zonas repobladas con clones de gran producción las que han sido, por lo general, las primeras en ser objeto de planificación, y además lo han sido de forma reciente, si lo comparamos dentro del ámbito de la ordenación de montes arbolados en Castilla y León en la que contamos con documentos de planificación elaborados en el siglo XIX. Es de sobra conocido que el esfuerzo ordenador de las masas forestales fue dirigido en su principio a las masas naturales ya existentes, de gran importancia biológica y económica, para posteriormente ir abordando la planificación de extensas superficies que fueron objeto de repoblación forestal. Quizás, por la reducida extensión de las choperas, así como de una selvicultura relativamente conocida y sencilla de ejecutar, estas masas forestales no han sido objeto de ordenación hasta tiempos relativamente recientes. Las primeras veces que tenemos constancia de superficie ordenada de choperas lo ha sido dentro de otras planificaciones de especies de coníferas en que la superficie destinada a los chopos tenía un carácter residual o meramente testimonial dentro del ámbito de planificación que se abordaba. Así, la primera vez que se detecta tal circunstancia lo es dentro del Plan

Dasocrático de los montes del segundo grupo ordenado de montes de Zamora de 3.082 hectáreas de extensión, perteneciente al Ayuntamiento de Ferreras de Abajo, en la Sierra de la Culebra, aprobado en el año 2002, que ilustra que la ordenación de estas masas forestales tenía una importancia secundaria, y en este caso, dentro de una extensa zona arbolada poblada principalmente de *Pinus pinaster*, y algo de *Pinus sylvestris*, en la que la superficie de choperas era sólo de 14,8 hectáreas. El primer plan de gestión exclusivo de choperas aprobado del que se tiene constancia es un Plan Dasocrático aprobado en el año 2005, una chopera de 12 hectáreas perteneciente a la Junta vecinal de Villaselán de la provincia de León. Este era un monte conveniado con la Junta de Castilla y León, que actualmente es gestionado por SOMACYL.

Desde entonces la evolución de la planificación forestal durante el periodo 2005-2018 (en este último año sólo se ha considerado la situación hasta el 30 de junio) en estas masas queda recogida en el Gráfico 1:

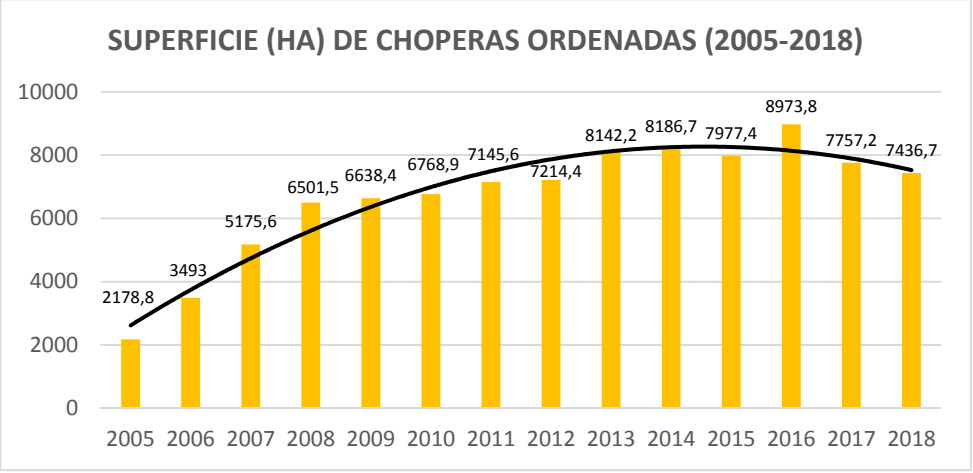


Gráfico 1. Evolución de la superficie ordenada, en hectáreas, de terrenos de choperas de producción durante el periodo 2005-2018. Fuente: elaboración propia.

En el 2005 se alcanzaban poco menos de 2.200 ha ordenadas, siendo el año 2016 el que registró mayor superficie ordenada con casi 9.000 ha. Desde la superficie ordenada inicial en 2005 ha habido una tendencia creciente de aumento de la superficie ordenada habiéndose estabilizado a partir del año 2013 en poco más de 8.000 ha, descendiendo en los dos últimos años de forma ligera, siendo necesario verificar en los próximos años si se van a producir variaciones en un sentido o en otro, si bien parece intuir que la cifra se estabilizará entre las 7.000-8.000 ha.

A fecha de 30 de junio de 2018 hay 893.289,60 ha ordenadas en toda la comunidad autónoma de las que sólo 7.436,7 ha son de choperas, lo que representa el 0,83% del total ordenado en Castilla y León. El porcentaje de superficie de choperas ordenadas alcanza el 16,8% del total de la superficie estimada de choperas en la región (se considera toda la superficie de choperas como superficie arbolada), mientras que el porcentaje de superficie arbolada existente en Castilla y León sometida a un instrumento de ordenación forestal supone el 29,95%. Por tanto, el porcentaje de choperas ordenadas está bastante por debajo, hoy por hoy, del resto de masas arboladas de la comunidad autónoma. Esto se explica, en parte, por el hecho de que las plantaciones de producción de chopo tienen una escasa dimensión superficial, que junto a una selvicultura sencilla, hacen muy poco atractiva la ordenación de estas masas pues el documento encarece la gestión de las plantaciones. Algo similar ocurre con la certificación de la superficie ordenada, sin embargo, la irrupción en el mercado de los productos de madera de los diversos sellos de Gestión Forestal Sostenible, que garantizan al usuario final que está consumiendo productos que no proceden de bosques sobreexplotados, ha sido el detonante para el inicio de la ordenación de estas masas forestales. Creemos que la cantidad final de superficie ordenada en estas masas en el futuro

vendrá condicionada por las necesidades del mercado en este sentido, y que irá aumentando paulatinamente de forma que cada vez se certifique más la superficie que se ordene, y ello, siempre que se valorice el precio de la madera certificada.

Si analizamos el número de documentos de planificación forestal vigentes a lo largo del mencionado periodo vemos una evolución similar a la de la superficie ordenada, que se puede apreciar en el Gráfico 2:

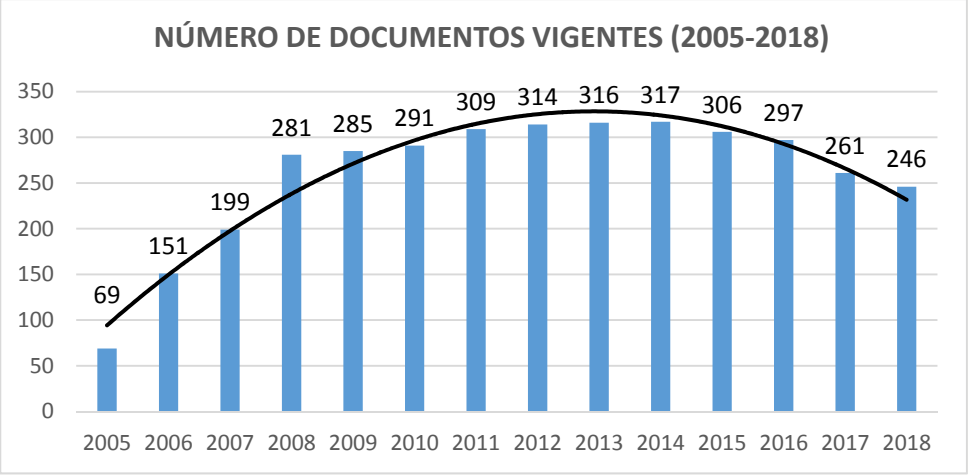


Grafico 2. Número de documentos de planificación forestal de choperas de producción vigentes durante el periodo 2005-2018. Fuente: elaboración propia.

Desde los 69 documentos vigentes existentes en 2005, su número fue creciendo vigorosamente hasta finales del año 2008 (a razón de 70 documentos al año, como media en estos años); desde el año 2008 hasta el 2016 la cifra se mantiene prácticamente constante (aumentando ligeramente al principio y disminuyendo ligeramente al final) en torno a las 280-315 planificaciones. No obstante, existe una tendencia a la disminución de los documentos vigentes desde el año 2015 que parece acentuarse en los últimos años, debido a la escasa incorporación de nuevos documentos de planificación aprobados en estos últimos años en este tipo de masas forestales, y habida cuenta que algunas planificaciones han ido caducando con el paso del tiempo.

Un análisis de la superficie ordenada por provincias pone de manifiesto que el esfuerzo ordenador en estas masas forestales se centra en dos provincias como se puede apreciar en el Gráfico 3:

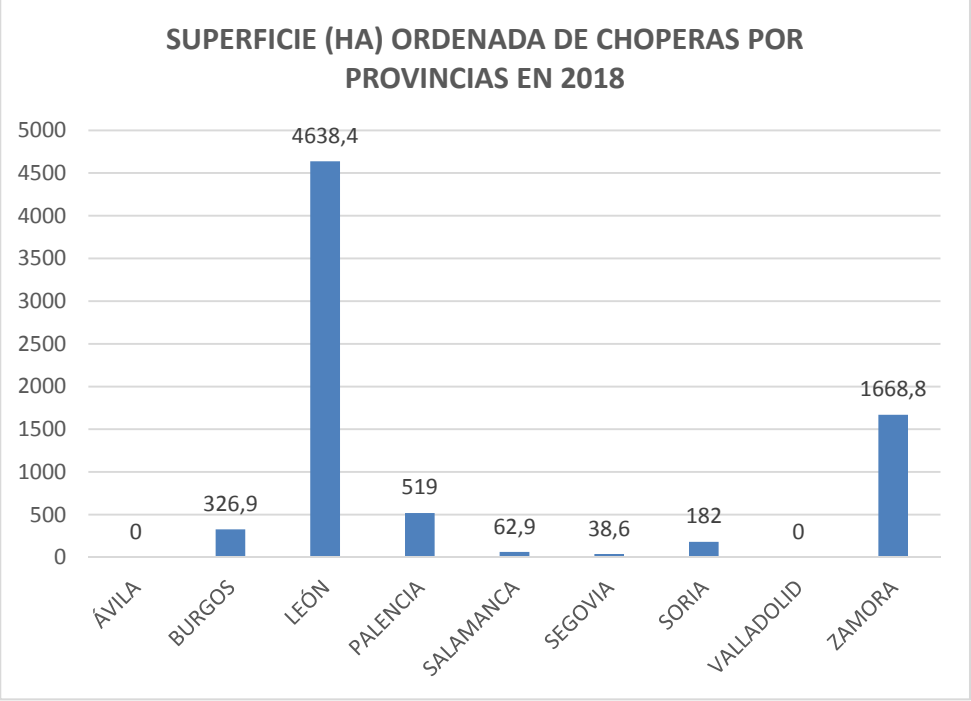


Gráfico 3. Superficie ordenada, en hectáreas, de choperas de producción, por provincias en junio de 2018. Fuente: elaboración propia.

Centrándonos en los datos correspondientes a junio de 2018, bastantes constantes durante el periodo 2005-2018, León presenta el 62,40% de la superficie ordenada de las choperas de Castilla y León. Junto con Zamora (22,4%), representan ambas provincias casi el 85% de la superficie ordenada de choperas que hay en la región.

Solamente hay dos provincias de la comunidad autónoma, Ávila y Valladolid, que no tienen choperas de producción ordenadas. En Segovia y Soria, las choperas ordenadas son todas de gestión privada, mientras que en las restantes provincias se reparten entre gestión privada y pública, siendo para el cómputo regional el 49,21% de gestión pública y el 50,79% de gestión privada. Las provincias que aportan más superficie ordenada de choperas, León y Zamora, tienen porcentajes de gestión pública y privada próximos al 50%, de ahí que, finalmente en el cómputo regional el porcentaje se aproxime al 50%. En el gráfico de más abajo se ilustra lo comentado:

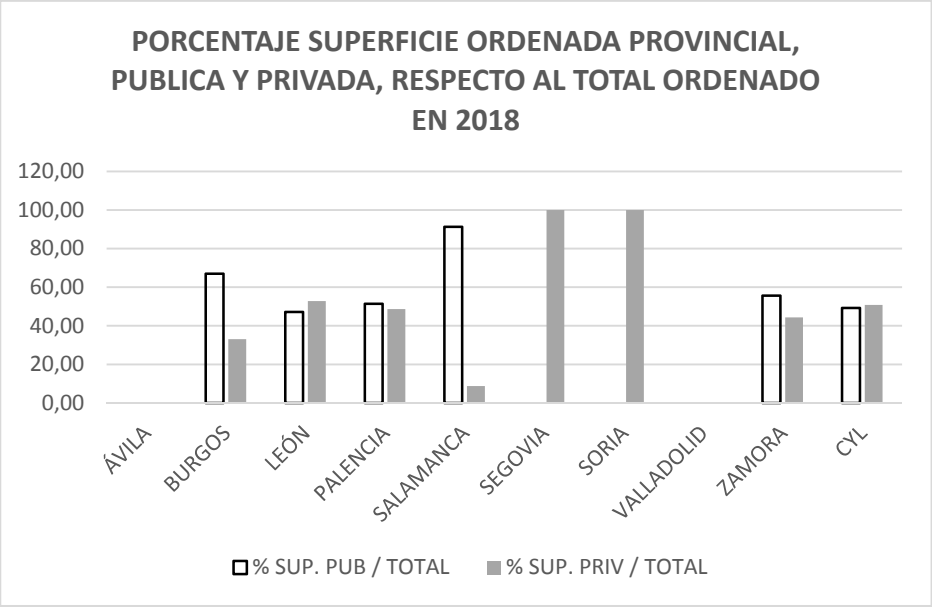


Grafico 4. Porcentajes de superficie ordenada de choperas de producción, de titularidad pública y privada, respecto a la superficie total ordenada de choperas en junio de 2018. Fuente: elaboración propia.

La media de superficie ordenada por documento de planificación ha ido variando durante el mencionado periodo (2005-2018) de la forma expresada en el Gráfico 5:

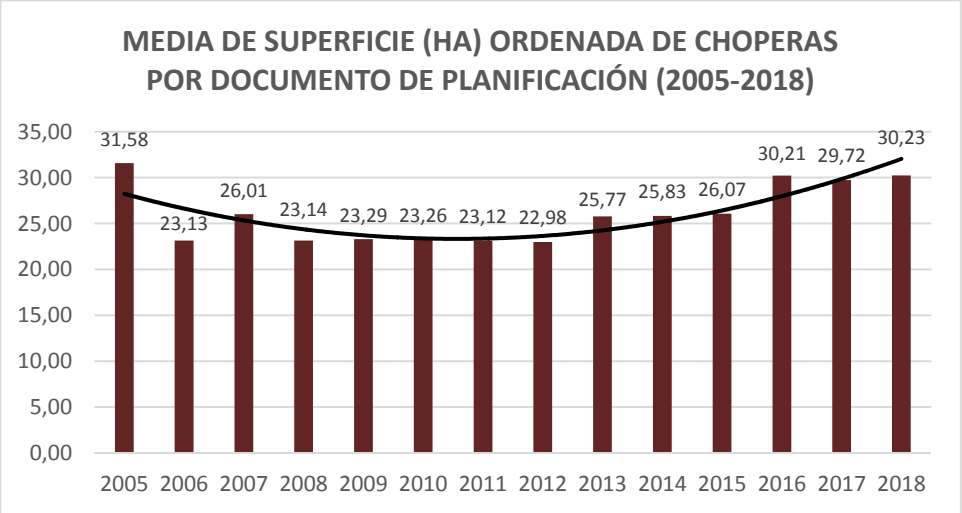


Gráfico 5. Superficie media, en hectáreas, de los documentos de planificación de choperas de producción durante el periodo 2005-2018. Fuente: elaboración propia.

Como se puede apreciar, el número medio de hectáreas por documento de planificación en el caso de las choperas se mantiene bastante constante en el tiempo durante este periodo, oscilando este valor medio entre las 22,98 ha (2012) y las 31,58 ha (2005). A partir del año 2012, en que se manifiesta el ratio más bajo de superficie ordenada por documento, parece que hay una tendencia paulatina por parte de los gestores de choperas de unificar, en un mismo documento de gestión, todas las parcelas de un mismo propietario y/o gestor, con el objeto de abaratar los costes de elaboración de los mencionados documentos, al mismo tiempo, que se intenta minimizar los costes inherentes de la certificación de la gestión forestal sostenible de estos terrenos forestales, bien sea a través del sistema PEFC, FSC, o de ambos, con el objeto de proporcionar productos certificados al mercado. Esta tendencia se ha manifestado especialmente en el sector privado, que desde el año 2012, algunos gestores de mayor entidad han reordenado la gestión de los terrenos de chopos que gestionan bajo un único documento de planificación. En la actualidad tenemos constancia de que se están elaborando por parte del sector privado y/o la empresa pública SOMACYL, que gestiona chopos mediante una encomienda de gestión, 10 documentos de planificación de choperas que, aproximadamente, afectarán a una superficie de 2.004 ha, lo cual va a implicar una media de 200 ha de choperas ordenadas por documento, muy superior a la superficie media de los documentos aprobados en los últimos años.

A pesar de lo comentado anteriormente y de la supuesta estabilidad en el tiempo de la media de superficie por documento, es necesario hacer notar que existe un gran rango de superficies que han sido objeto de planificación, desde fincas con escasamente 1 ha (prácticamente la planificación se resume a un modelo selvícola de actuaciones en el tiempo) hasta documentos más complejos como el documento de planificación de las choperas gestionadas por GARNICA PLYWOOD que alcanza las 907,9 ha.

En Castilla y León, como apuntamos antes, el 29,95% de la superficie arbolada está ordenada, y de esta superficie ordenada, conforme a los datos de certificación de este año 2018, el 78,95% está certificado. Por el contrario, en el caso de las choperas de producción, como también apuntamos antes, sólo está ordenado el 16,8% de las choperas (se consideran todas ellas masas arboladas y suponen 7.436,7 ha), y sin embargo está certificado el 68,81% de las choperas ordenadas (que supone 5.117,3 ha), cifra inferior en 10 puntos aproximadamente respecto al porcentaje de las masas forestales de la región ordenadas y certificadas. Esta menor cuantía de superficie certificada respecto a superficie ordenada en las choperas se debe a que en los últimos años, a la vista de los aprovechamientos parciales efectuados en una chopera no se tiene claro que se vaya a volver a plantar (especialmente en aquellas choperas de baja producción, menos rentables) y por ello se deja de certificar la parte de la superficie que ya se ha aprovechado.

Por otra parte lo que aporta la superficie certificada de choperas (5.117,3 ha) al monto total de la certificación en la región (705.216,49 ha) es un porcentaje muy pequeño (0,73%), en consonancia, como es lógico, con el porcentaje que supone la superficie ordenada de choperas (0,83%) en el monto total de montes ordenados en la comunidad autónoma.

Considerando sólo las choperas certificadas en la comunidad autónoma, un análisis provincial de lo que aporta cada provincia al monto total de la superficie certificada de chopos se recoge en la siguiente tabla:

PROVINCIA	SUPERFICIE CERTIFICADA CHOPOS (ha)	% RESPECTO AL TOTAL CERTIFICADO CHOPOS
ÁVILA	0,00	0,00
BURGOS	300,60	5,87
LEÓN	3.444,60	67,31
PALENCIA	281,00	5,49

PROVINCIA	SUPERFICIE CERTIFICADA CHOPOS (ha)	% RESPECTO AL TOTAL CERTIFICADO CHOPOS
SALAMANCA	57,40	1,12
SEGOVIA	38,60	0,75
SORIA	35,90	0,70
VALLADOLID	0,00	0,00
ZAMORA	959,20	18,74
CYL	5.117,30	100,00

Tabla 1. Superficie certificada, en hectáreas, por provincias, y porcentaje respecto a la superficie total certificada de choperas de producción del año 2018. Fuente: elaboración propia.

Como ocurría en el caso de la superficie ordenada de choperas en Castilla y León, en sólo dos provincias se concentra más del 85% (86,06%) de la superficie certificada de chopos -cuestión lógica puesto que para certificarse los montes han de estar previamente ordenados-, si bien este porcentaje se acentúa en el caso de León respecto a Zamora, es decir, que la superficie ordenada en León tiende a certificarse más (74,26%) que la de Zamora (57,48%) respecto a la media regional (68,81%) de las choperas ordenadas y certificadas.

Actualmente la Consejería de Fomento y Medio Ambiente tiene normalizada la elaboración de los documentos de planificación forestal para asegurar unos contenidos mínimos y una adecuada calidad de los mencionados documentos, asegurando que se cumplen en su elaboración los requisitos del sistema de certificación por el sistema PEFC. Ello permite también tener una capa en el GIS corporativo de montes ordenados y otra de montes certificados, entre los que se incluyen, como es lógico, las choperas de producción.

En el caso de las choperas todo esto ha sido posible gracias a su inclusión dentro del proyecto NORMAFOR que pretende crear un formato único para todas las planificaciones de Castilla y León. Las planificaciones forestales de choperas son las últimas que se han adaptado a este formato de elaboración de documentos que, fundamentalmente dirigido a los consultores y redactores externos, es un módulo que denominamos PLANFOR dentro del mencionado proyecto NORMAFOR. Anteriormente las planificaciones de las choperas se realizaban en unos sencillos modelos normalizados empleando Microsoft Access y las capas de información geográfica se efectuaban con una plataforma GIS, entregando la documentación cartográfica del documento de planificación en archivos de extensión *.shp. Actualmente hoy está todo en el mismo formato, ya sea para especies de crecimiento rápido o lento, si bien para estas especies de crecimiento rápido (entre ellas, las choperas) se ha desarrollado una variante de PLANFOR más simplificada y adaptada a las singularidades de estas plantaciones.

4. Discusión y conclusions

Como se ha apuntado anteriormente, la tendencia que se vislumbra en las planificaciones de las choperas es la de organizar grupos ordenados según diferentes criterios, bien por cuencas hidrográficas (especialmente en las choperas que gestiona SOMACYL), bien por gestión empresarial agrupando los terrenos gestionados por la misma empresa (sobre todo en aquellas empresas del sector que gestionan los terrenos conveniados con propietarios para asegurarse un adecuado tratamiento selvícola de estas masas forestales y, por ende, un adecuado suministro de productos de la calidad requerida por la industria). Esta fórmula obedece, no sólo a un principio de economía de costes al agrupar muchos montes en un único documento de planificación, sino a la necesidad de abaratar los costes de la certificación de la Gestión Forestal Sostenible, reduciendo el número de Unidades de Gestión sometidas a auditoría, y por tanto, susceptibles de ser auditadas. Este hecho es especialmente relevante para aquellos terrenos que

se han querido certificar, además de por el sistema PEFC, por el sistema FSC, más costoso y complejo de gestionar. En este sentido el sector del chopo ha sido pionero en la implantación de la doble certificación por ambos sistemas, habiendo sido iniciativa del sector privado ya que la administración sigue con el sistema PEFC en las choperas, el mismo que aplica a todas las masas forestales que gestiona. Sin ser la única causa, es cierto que la reciente ordenación de las choperas de producción responde mayoritariamente a la necesidad que tiene el sector de garantizar al consumidor productos certificados que procedan de bosques o plantaciones que son gestionadas de una forma sostenible.

Las dificultades intrínsecas a la ordenación de las masas forestales de clones productivos de chopos (parcelas y/o rodales separados espacialmente, pequeñas dimensiones superficiales de los rodales integrantes de la explotación forestal, fácil aplicación de sencillos modelos selvícolas muy contrastados, escaso ámbito de planificación que permita rentabilizar el coste añadido de la planificación en la gestión de la chopera, etc.) junto a la necesidad de tener estas superficies ordenadas por diversos motivos (el valor de la madera de chopo para productos de desenrollo podrían justificar el coste de la planificación, necesidad de certificar los productos del chopo, mayor valorización económica de los productos certificados, etc.), determinarán en el futuro la cuantía de las superficies de choperas ordenadas en Castilla y León, y cuáles de éstas, además, serán certificadas. Serán cuestiones y necesidades marcadas por los mercados de los productos quienes fijen estas circunstancias, y a la postre, las que condicionen el futuro planificador de las choperas de producción.

6. Bibliografía

FAO Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación,1980. Los álamos y los sauces en la producción de madera yla utilización de las tierras. Roma. 349 pp.

MADRIGAL, A. 1994. Ordenación de montes arbolados. Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación. ICONA. Colección Técnica.375pp. Madrid.

PRIETO, A.; LOPEZ, M. 1998. Manual de Ordenación de Montes. Paraninfo. 261 pp. Madrid.

RUEDA , JESÚS; GARCÍA CABALLERO, J.L.; CUEVAS, Y.; GARCÍA-JIMÉNEZ, C.; VILLAR, C. 2017. Cultivo de chopos en Castilla y León.Consejería de Fomento y Medio Ambiente, Junta de Castilla y León. Valladolid. 92 pp.

Varios autores. 2001. Libro de Actas. I Simposio del Chopo. 513 pp. Salamanca.

Evolución del precio de la madera de chopo en pie para desenrollo en la provincia de León (1993-2018)

GARCÍA CABALLERO J.L.[1]; RUEDA FERNÁNDEZ J.[2]

[1] Junta de Castilla y León. Servicio Territorial de Medio Ambiente. León.

[2] Junta de Castilla y León. Dirección General del Medio Natural. Valladolid.

Palabras clave

Mercado de madera, volumen de madera, subasta pública.

1. Introducción y objetivos

La superficie destinada al cultivo del chopo de producción en la Comunidad Autónoma de Castilla y León se cifra en 45.000 hectáreas, lo que supone aproximadamente la mitad de la superficie nacional dedicada al cultivo de estas especies. La provincia de León cuenta con unas 19.000 hectáreas de chopo, es decir el 42% de la superficie populícola autonómica y algo más del 20% de la superficie populícola nacional.

La gestión de las choperas de la provincia de León ha estado históricamente y de forma mayoritaria en manos de las administraciones públicas. En el periodo de 1993 a 2012 la Junta de Castilla y León llegó a gestionar en la provincia una superficie de hasta 8.998 hectáreas arboladas, quedándose a partir del año 2012 y hasta la actualidad con 680 hectáreas correspondientes a riberas estimadas. Por otra parte en el año 2010 la creada Sociedad Pública de Infraestructuras y Medio Ambiente de Castilla y León, S.A. (SOMACYL), comenzó a gestionar choperas en la Comunidad Autónoma de Castilla y León, contando actualmente con 3.800 hectáreas en la provincia de León.

Buena parte de las choperas a cargo de SOMACYL en la provincia provienen de la cesión que en el año 2012 le efectuó la Junta de Castilla y León (1.822 ha.), dándose cierta continuidad tanto en las prácticas selvícolas como en los métodos de medición, cubicación y tasación de las existencias, así como del sistema de enajenación de la madera mediante procedimientos abiertos siguiendo la legislación de contratos del Estado. Esta situación permite tratar de manera homogénea los datos resultantes de las subastas tanto de la Junta de Castilla y León como de SOMACYL en la provincia de León, en el periodo comprendido entre 1993 y 2018.

En este documento se pretende estudiar la evolución de los precios de venta de la madera de chopo en pie para desenrollo en la provincia de León durante los últimos 26 años, a partir de los datos de ventas oficiales de los organismos mencionados, considerando la representatividad que proporcionan tanto por lo significativo del volumen de choperas de la provincia de León en el conjunto nacional, como por la disposición de una serie histórica de datos de venta con criterios homogéneos.

El objetivo principal del estudio es analizar; a partir de los precios de venta, cómo se ha comportado el mercado de la madera de chopo en estos 26 años, teniendo en cuenta que en este periodo se ha atravesado una coyuntura de fuerte recesión económica.

Por otra parte se trata de proporcionar referencias para que, en función de las tendencias de precios, se puedan diseñar las actuaciones de las administraciones públicas y las decisiones de inversión de los administradores y propietarios forestales.

2. Metodología

Se parte de los datos de madera de chopo para desenrollo ofertado y vendido tanto por el Servicio Territorial de Medio Ambiente de León como por SOMACYL agrupados por años según aparece en la tabla 1. Se consideran los precios de adjudicación de los lotes antes de impuestos, vendidos mediante subasta

pública al alza sobre un precio base calculado después de medir todos los pies y estimar el volumen de madera ofertado.

Los terrenos sobre los que se asientan las choperas son mayoritariamente de titularidad pública, propiedad de entidades locales en régimen de convenio con la empresa pública SOMACYL, o propios de la Comunidad Autónoma de Castilla y León.

Se trata en su mayor parte de madera en pie del clon 'I-214', con espaciamientos de 6×6 metros (densidades de 278 pies/ha) y turnos de 15 años, procedentes de plantaciones a raíz profunda sin riego. Las plantaciones de las que procede la madera se encuentran sujetas a planes técnicos de ordenación, con un modelo selvícola definido y cortas programadas. A partir del año 2007 estas choperas se han ido incluyendo en el sistema de certificación forestal sostenible (PEFC).

Tabla 1. Precio medio anual en euros corrientes

Año	Superficie (ha)	Nº pies	Volumen total (m^3)	Volumen unitario (m^3/pie)	Precio total (€)	Precio m^3 (€)
1993	57,26	15.919	8.638,00	0,54	330.008,60	38,20
1994	310,35	86.278	50.725,00	0,59	2.496.798,00	49,22
1995	86,83	24.140	15.600,00	0,65	1.036.250,52	66,43
1996	222,79	61.936	42.625,00	0,69	2.674.943,43	62,76
1997	197,95	55.030	35.221,25	0,64	2.660.887,92	75,55
1998	290,85	80.856	36.992,17	0,46	2.879.899,75	77,85
1999	272,78	75.833	46.269,00	0,61	3.713.178,63	80,25
2000	198,19	55.098	31.054,50	0,56	2.302.751,92	74,15
2001	233,27	64.848	48.318,89	0,75	3.503.740,76	72,51
2002	200,48	55.734	36.992,14	0,66	2.106.431,17	56,94
2003	188,69	52.456	44.469,39	0,85	2.528.236,56	56,85
2004	195,86	54.448	39.553,23	0,73	2.118.199,56	53,55
2005	272,75	75.825	47.131,07	0,62	2.501.833,61	53,08
2006	181,13	50.355	29.146,47	0,58	1.262.091,79	43,30
2007	141,29	39.278	26.498,85	0,67	1.363.031,63	51,44
2008	159,15	44.244	27.961,62	0,63	1.583.094,00	56,62
2009	117,85	32.763	28.725,95	0,88	1.365.922,00	47,55
2010	223,73	62.198	43.979,77	0,71	2.712.665,65	61,68
2011	128,67	35.769	23.519,81	0,66	1.689.756,15	71,84
2012	94,87	26.373	15.918,23	0,6	955.021,00	60,00
2013	161,93	45.017	28.233,76	0,63	1.830.054,51	64,82
2014	131,58	36.580	28.359,88	0,78	1.989.718,21	70,16
2015	231,38	64.324	40.802,52	0,63	2.594.029,96	63,58

Año	Superficie (ha)	Nº pies	Volumen total (m³)	Volumen unitario (m³/pie)	Precio total (€)	Precio m³ (€)
2016	132,65	36.877	22.083,53	0,6	1.370.658,40	62,07
2017	97,71	27.162	18.637,00	0,69	1.150.733,63	61,74
2018	137,56	38.243	23.756,02	0,62	1.558.174,62	65,59
Media anual	179,52	49.907	32.354,35	0,65	2.010.696,61	62,15

Siguiendo el sistema de actualización de rentas con el IPC general para periodos anuales completos, que facilita el Instituto Nacional de Estadística, considerando el Sistema de Índices de Precios de Consumo (base de referencia en el año 2016), según la última revisión metodológica de los índices, se calculan los precios anuales en euros constantes para el metro cubico de madera. El resultado de los cálculos se recoge en la Tabla 2.

Tabla 2. Precio medio anual en euros corrientes y constantes

AÑO	IPC Acumulado %	Precio m³ € (corriente)	Precio m³ € (constante)
1993	85,1	38,2	70,71
1994	76,4	49,22	86,82
1995	69,1	66,43	112,33
1996	62,1	62,76	101,73
1997	57,1	75,55	118,69
1998	53,9	77,85	119,81
1999	51,8	80,25	121,82
2000	47,5	74,15	109,37
2001	41,9	72,51	102,89
2002	38,2	56,94	78,69
2003	32,8	56,85	75,5
2004	29,5	53,55	69,35
2005	25,4	53,08	66,56
2006	20,9	43,3	52,35
2007	17,8	51,44	60,6
2008	13	56,62	63,98
2009	11,4	47,55	52,97
2010	10,5	61,68	68,16
2011	7,3	71,84	77,08

AÑO	IPC Acumulado %	Precio m³ € (corriente)	Precio m³ € (constante)
2012	4,8	60	62,88
2013	1,9	64,82	66,05
2014	1,6	70,16	71,28
2015	2,7	63,58	65,3
2016	2,7	62,07	63,75
2017	1,1	61,74	62,42
2018	0	65,59	65,59

Por otra parte, con el fin de observar la evolución de los precios corrientes de la madera en función de la calidad, se toma como variable el volumen unitario de cada lote (m³/pie) y se establecen cuatro categorías para el total de los lotes de venta.

En la Tabla 3 se recoge el resultado del cálculo del precio medio anual en euros corrientes para el metro cubico de madera en cada una de las categorías establecidas en función del volumen unitario (m³/pie).

Tabla 3. Precio medio anual por clases de volumen unitario (m³/pie) en euros corrientes

AÑO	<0,4 m³/pie	0,4-0,8 m³/pie	0,8-1,2 m³/pie	>1,2 m³/pie
1993	25,05	39,46	43,01	
1994	36,99	49,02	53,36	59,94
1995	41,49	64,39	74,07	
1996	53,16	60,76	65,78	71,96
1997	59,6	74,66	79,26	
1998	72,34	80,5	81,92	
1999	51,07	80,17	92,5	74,87
2000	59,44	70,02	88,69	80,90
2001	48,21	63,03	78,89	84,88
2002	48,27	54,69	59,51	64,24
2003	42,27	49,84	56,88	67,04
2004	29,47	48,49	60,58	66,54
2005	33,57	47,67	61,87	62,93
2006	22,96	46,3	46,44	
2007	26,71	50,04	57,33	61,74

AÑO	<0,4 m³/pie	0,4-0,8 m³/pie	0,8-1,2 m³/pie	>1,2 m³/pie
2008	23,36	59,03	62,27	45,75
2009		34,58	51,19	54,79
2010	30,75	63,58	59,69	56,99
2011	48,14	70,93	77,04	
2012	48,96	59,5	63,12	
2013	50,6	65,28	66,97	
2014	38,1	75,14	70,11	
2015	58,05	62,27	66,78	
2016	39,98	60,97	84,86	
2017	62,16	53,83	69,00	
2018	47,06	56,6	90,13	

7. Resultados

Los datos de ventas corresponden a 836 lotes de madera de chopo en pie vendidos durante los 26 años considerados, lo que supone una media de 32 lotes por año. La estructura media de cada lote es de 1.552 pies, con un volumen de 1.006 metros cúbicos, sobre una superficie de 5,58 hectáreas, y con un precio medio por lote de 62.533 euros.

Los valores medios de venta por año se acercan a los 50.000 pies, equivalentes a 180 hectáreas con un volumen de 32.354 metros cúbicos. El precio medio anual para el total de la madera por metro cubico es de 62,15 euros y el precio medio por pie de 40,29 euros.

Dependiendo de los años los volúmenes mayoritarios corresponden a las calidades en función del volumen unitario 0, 4- 0,8 m³/pie y 0,8-1,2 m³/pie, según se representa en la Figura 1.

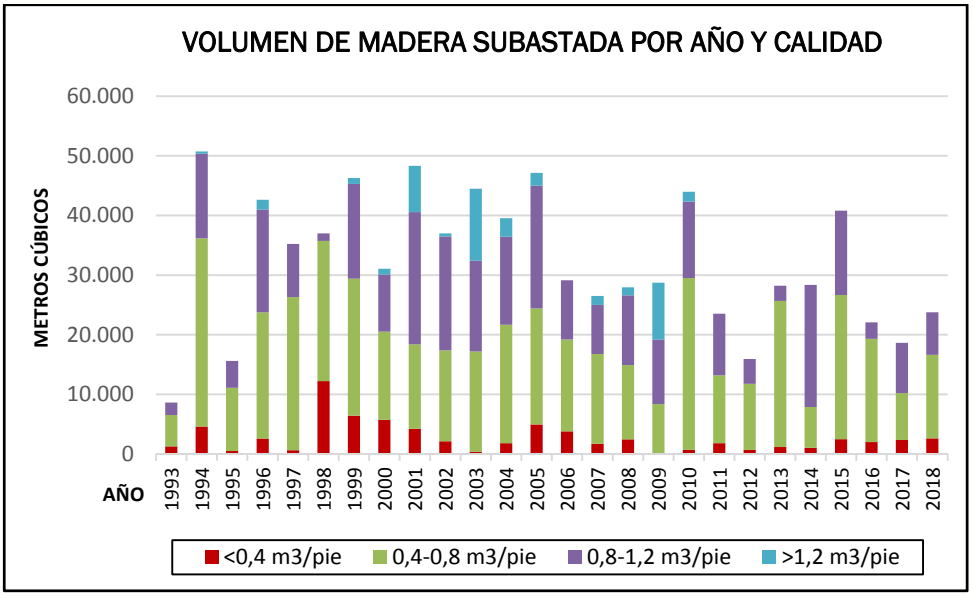


Figura 1. Volumen de la madera de chopo subastada en la provincia de León en el periodo 1993-2018, por clases de calidad en función del volumen unitario (m^3/pie).

A partir de los datos de la Tabla 2 se representa el gráfico de la evolución de los precios de la madera de chopo en León en el periodo 1993 a 2018 en euros corrientes y constantes, y a partir de los datos de la Tabla 3 se representa la evolución del precio de la madera de chopo en euros corrientes por clases de volumen unitario.

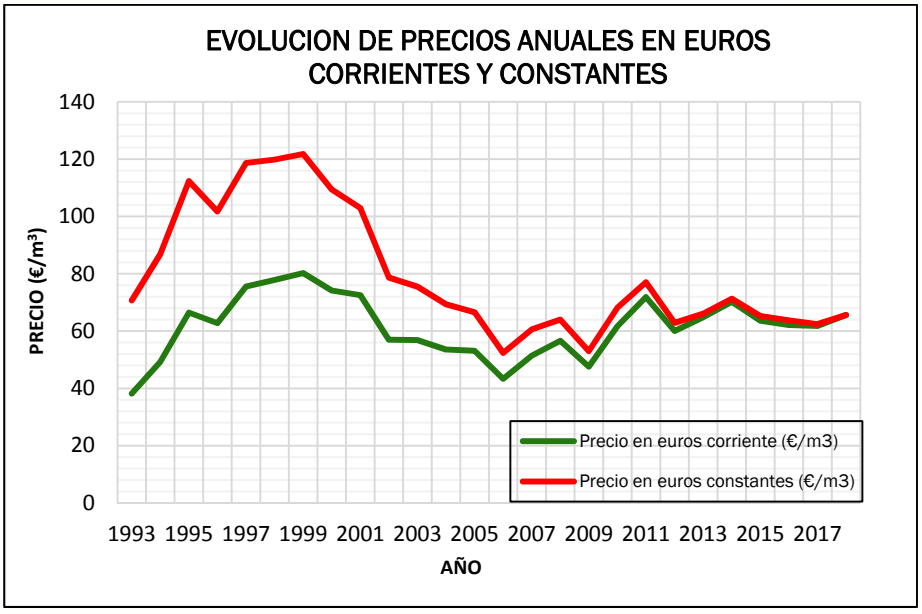


Figura 2. Evolución de los precios anuales en euros corrientes y constantes para madera de chopo en la provincia de León en el periodo 1993-2018.

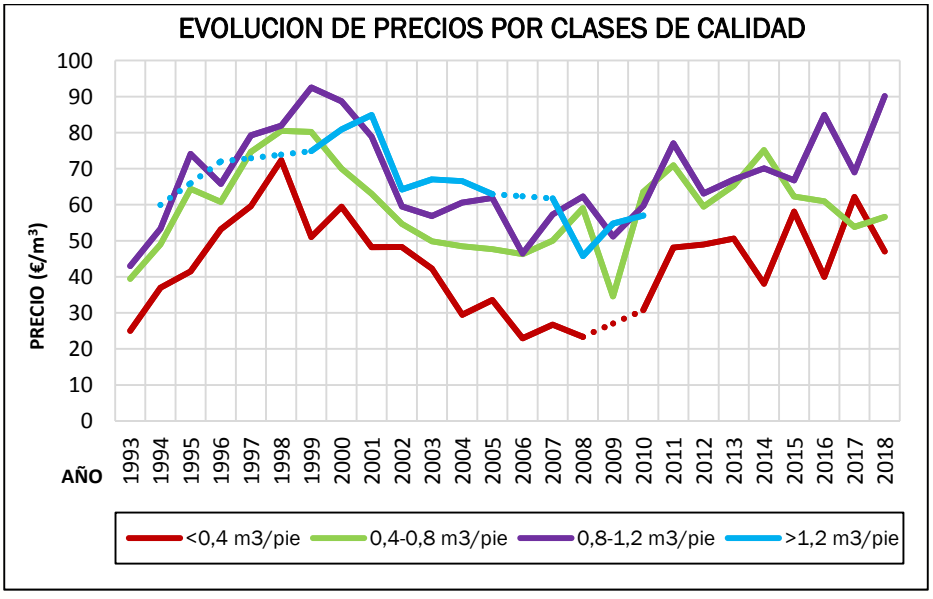


Figura 3. Evolución de los precios anuales en euros corrientes de madera de chopo en la provincia de León para el periodo 1993-2018, por clases de calidad en función del volumen unitario (m^3/pie).

8. Discusión y conclusiones

Como en cualquier mercado de materias primas son la oferta y la demanda los factores que determinan la formación de precios del producto en cada momento y para un lugar determinado. En el caso de la madera de chopo en pie para desenrollo en la provincia de León y para los últimos 26 años, considerando que se trata de madera ofertada por organismos públicos, proveniente de choperas gestionadas exclusivamente con criterios técnicos y cortas programadas a turno de 15 años, se entiende que se trata de una oferta que se mantiene al margen de las circunstancias del mercado. Puede ser que cuando la madera proceda de propiedades particulares se realicen las ventas en el momento en el que los precios son más favorables para el propietario, influyendo en el volumen de madera ofertado.

La evolución de los precios en euros constantes para la madera de chopo de la provincia de León objeto del estudio, como se refleja en la Figura 2, son ascendentes desde el año 1993 al 1999 que consigue su máximo (121,82 €/m^3). A partir de este punto desciende hasta los 52,35 €/m^3 en el año 2006 para, a partir de aquí y de manera oscilante comenzar un proceso ascendente hasta situarse en los 65,59 €/m^3 de 2018.

La crisis económica mundial de 2008 que afectó a la mayor parte de países del mundo y en especial a los países desarrollados, tuvo una significativa virulencia en la economía española y, según la contabilidad nacional del Instituto Nacional de Estadística, se afirma que concluyó en el año 2014, aunque, hasta la actualidad la economía española no ha recuperado los valores previos a la crisis, en particular en cuanto a desempleo. Sin embargo en este periodo de rigurosa crisis económica el comportamiento de los precios de madera de chopo para el desenrollo no solamente no se ha desplomado sino que ha mantenido una ligera e irregular tendencia alcista. Esto ha sido debido a la capacidad de adaptación de la industria a las difíciles condiciones del mercado, manteniendo la demanda de madera adecuada a una oferta que sí ha disminuido durante los peores años de la crisis.

En cuanto a la evolución de los precios en euros corrientes por clases de calidad en función del volumen unitario (Figura 3), siguen la misma distribución general en el tiempo que la comentada para los precios en euros constantes, si bien se observa claramente cómo los precios de la categoría inferior (<0,4 m^3/pie) se mantienen por debajo de los de la categoría siguiente (0,4-0,8 m^3/pie), pudiendo llegar a ser éstos hasta el doble que aquéllos.

En la Figura 3 se muestra también la diferencia de precios de la madera en pie en función del volumen unitario de los chopos para las categorías superiores, clasificándolo en 0,8-1,2 m^3/pie y >1,2 m^3/pie, donde se observa la gran variabilidad que existe entre los precios de cada una de las dos categorías dependiendo de los años, estando muy próximas entre si y a veces con precios inferiores a los de la segunda categoría (0,4-0,8 m^3/pie). La industria de primera transformación de la madera de chopo valora más los árboles de mayores dimensiones, dentro de ciertos límites que hagan las trozas manejables y que no se trate de árboles pasados de turno, ya que con ellos obtiene un mayor rendimiento en las operaciones de desenrollo.

Durante los años más duros de la crisis mencionada se ha constatado una disminución en las superficies repobladas de chopo y, como consecuencia de ello en los próximos años se espera una disminución de la oferta de madera de chopo en el mercado, en tanto que parece que la demanda puede mantenerse o incluso ir en aumento, lo que puede traducirse en una tendencia al alza de los precios de la madera de chopo en pie.

Las subastas conjuntas de populicultores privados a través de las Asociaciones Forestales en Castilla y León. Análisis y resultados

GONZÁLEZ RAPOSO, O.V.[1], GARCÍA ROMERO, M.[2], GÓMEZ CORRAL, C.A.[3]
1 Federación de Asociaciones Forestales de Castilla y León
2 Asociación Forestal de León
3 Asociación Forestal de Zamora

Palabras clave
FAFCYLE

1. Introducción

Una parte importante de la superficie forestal de chopo de la Comunidad Autónoma de Castilla y León se encuentra gestionada por populicultores privados, muchos de ellos miembros de las Asociaciones Forestales de la Región quienes desde hace más de 30 años les asesoran en el proceso de plantación, cultivo y aprovechamiento.

El valor de este monte cultivado y la necesidad de fortalecer la posición de la oferta de los populicultores hizo que se organizaran y promovieran desde la Federación de las Asociaciones Forestales de Castilla y León (FAFCYLE) las subastas conjuntas de madera de chopo como un servicio que les garantizara a los gestores privados unos precios mínimos y unas condiciones lo más seguras posibles.

Estas subastas comenzaron en el año 2003, y tras superar las primeras dificultades, se han ido consolidando como una buena fórmula en la comercialización de la madera, tanto para el propietario como para la industria, habiéndose celebrado la vigésimo segunda el 17 de abril de 2018. El objetivo de las mismas es conseguir un mejor precio de la madera mediante la agrupación de la oferta, abriendo el mercado y dotándole de trasparencia; así como garantizar mediante el Pliego de Condiciones de la Subasta las bases para un buen aprovechamiento en tiempo y forma contando con el asesoramiento técnico de las Asociaciones Forestales y el respaldo de la Federación de Asociaciones Forestales.

2. Procedimiento

Las subastas de madera de chopo realizadas por FAFCYLE conllevan un intenso trabajo previo de preparación por parte de las Asociaciones Forestales junto con la propiedad de la finca que concluye con la elaboración de un Plan de Aprovechamientos anual o semestral, dependiendo de las subastas que se lleven a cabo en el año. El procedimiento general se desarrolla en cuatro fases:

FASE 1: cubicación y valoración. En esta primera fase, el técnico de la Asociación Forestal se encarga de realizar la cubicación y valoración de la madera que posteriormente se va a subastar para que el propietario de la misma disponga de la información necesaria sobre las características de la chopera y tenga la seguridad de la valía de la misma en cantidad de madera y calidad.

- En primer lugar se realiza el Inventario pie a pie midiendo el diámetro normal (a 1,30 m del suelo) de todos los pies de la chopera y la altura total y/o maderable de una muestra representativa.

- Posteriormente se calcula el volumen usando las tarifas de cubicación: Picarollo-Multiclonar (Fernández Molowny; 1998) o Rueda Fernández I214-Cuenca del Duero (Rueda Fernández et al., 2017).

- Se ajusta el volumen y la calidad a los precios de mercado por clases diamétricas.

- Se realiza una ficha personalizada para el propietario con la Valoración.

FASE 2: proceso anterior de la subasta

- Se materializa el contrato entre FAFCYLE-Propietario aceptando este último las condiciones para entrar a formar parte del Plan de Aprovechamientos de FAFCYLE para el periodo correspondiente.

- Se reúne la Mesa de Contratación de FAFCYLE y se aprueba el Plan de Aprovechamientos, las fechas para la subasta, plazos de entrega de documentación y todas aquellas cuestiones necesarias para abordar con garantías el proceso, incluido el Pliego de Condiciones.

- Publicidad y gestión:
  - Anuncio en boletines oficiales.
  - Envío de cartas a posibles licitadores interesados.
  - Notas de prensa en medios nacionales, regionales, locales, redes sociales y publicación en la web de FAFCYLE www.fafcyle.es.
  - Plazo de presentación de ofertas: 20-25 días desde el anuncio.

FASE 3: subasta y adjudicaciones: La subasta es un Acto Público que se celebra ante Notario en el que se adjudican los lotes al licitador que, cumpliendo con los requerimientos, haya alcanzado un mayor importe de compra sobre el valor de salida de cada uno de ellos. Esto es recogido en un Acta Notarial donde se reflejan los adjudicatarios de los lotes, así como las condiciones de la subasta una vez formalizadas las garantías y pagos necesarios para las adjudicaciones definitivas, y los contratos entre las tres partes, Propietario- FAFCYLE-Adjudicatario.

FASE 4: aprovechamiento y certificación: Los Pliegos de Condiciones marcan los plazos para los aprovechamientos. La empresa adjudicataria y el propietario mantienen en todo momento el contacto con el técnico de la Asociación Forestal que verifica el proceso y certifica el trabajo. Si en la revisión final del lote se confirma que no hay ningún defecto, ni en el plazo de pago y corta ni en el propio aprovechamiento, se procede a la firma del informe final y la devolución del correspondiente aval presentado como garantía definitiva. Si existe algún defecto se valora el mismo y se busca la mejor fórmula para su corrección.

3. Resultados

Durante estos 15 años se ha conseguido consolidar la venta de madera de chopo en pie mediante las subastas de FAFCYLE, con un total de 229 lotes adjudicados que se corresponden con 275.893 pies y 175.318,93 m^3 de madera. El precio total de salida de estos lotes ha sido de 8.186.570,53 € y el de venta de 10.070.904,81 €, correspondiendo por tanto un incremento medio de 10,36 €/ m^3 y un porcentaje del 22% en las distintas subastas.

Tabla 1: Resumen general subastas realizadas por FAFCYLE años 2004-I Semestre 2018

AÑO	Nº LOTES	Nº PIES	M3	PRECIO TASACIÓN (€)	PRECIO ADJUDICACIÓN (€)
2004	9	8.683,00	6.263,42	283.813,52	291.452,60
2006	14	22.570,00	14.748,52	722.537,69	808.042,76
2007	13	9.149,00	5.229,43	251.707,13	300.856,03
2008	4	4.517,00	3.195,99	158.938,38	194.121,00
2009	3	1.338,00	504,61	23.265,05	31.393,00
2011	9	10.635,00	6.962,53	325.632,48	411.369,00
2012	19	20.685,00	15.066,95	636.927,66	766.613,23
2013	17	27.090,00	18.888,28	886.650,43	1.219.141,10
2014	31	29.920,00	20.812,78	1.017.436,38	1.167.750,40
2015	28	26.969,00	17.740,00	871.974,21	961.888,51
2016	30	43.118,00	22.245,75	1.018.129,39	1.235.514,72
2017	33	47.632,00	29.243,32	1.376.118,15	1.873.342,87
2018	19	23.587,00	14.417,35	613.440,06	809.419,59
TOTALES	**229**	**275.893,00**	**175.318,93**	**8.186.570,53**	**10.070.904,81**

Analizando con mayor detalle los precios medios obtenidos se puede observar que han permanecido más o menos estables a lo largo de estos años, cayendo ligeramente en el año 2012. La media de los valores de salida por metro cúbico es de 46,70 euros y la media del valor de adjudicación es de 57,44 euros metro cúbico, situándose la línea de tendencia en valores positivos.

Tabla 2: Evolución de los precios por volumen de salida y adjudicación e incrementos.
Subastas realizadas por FAFCYLE años 2004-I Semestre 2018

AÑO	PRECIO (€/M3) SALIDA	PRECIO (€/M3) ADJUDICACIÓN	INCREMENTO DEL PRECIO (€)	% INCREMENTO
2004	45,31	46,53	1,22	0,03
2006	48,99	54,79	5,80	0,12
2007	48,13	57,53	9,40	0,20
2008	49,73	60,74	11,01	0,22
2009	46,11	62,21	16,11	0,35
2011	46,77	59,08	12,31	0,26
2012	42,27	50,88	8,61	0,20
2013	46,94	64,54	17,60	0,37
2014	48,89	56,11	7,22	0,15
2015	49,15	54,22	5,07	0,10
2016	45,77	55,54	9,77	0,21
2017	47,06	64,06	17,00	0,36
2018	42,55	56,14	13,59	0,32
TOTAL	**46,70**	**57,44**	**10,36**	**0,22**

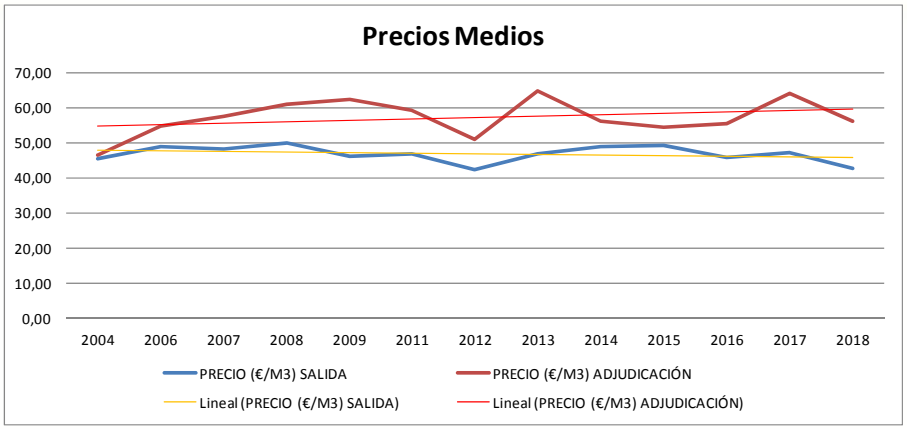
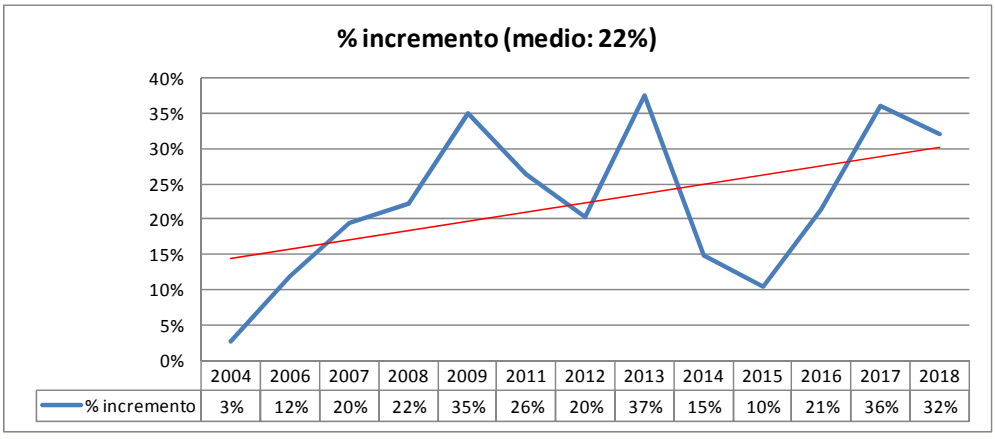


Gráfico 1: Evolución de los precios por volumen de salida y venta.
Subastas realizadas por FAFCYLE años 2004-I Semestre 2018

Atendiendo a los incrementos de los precios de venta respecto a los de salida de los lotes, la tendencia es ligeramente positiva, con máximos en los años 2013 y 2017, lo que supone un incremento del 37% y 36% respectivamente.



	2004	2006	2007	2008	2009	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018
% incremento	3%	12%	20%	22%	35%	26%	20%	37%	15%	10%	21%	36%	32%

Gráfico 2: Incremento de los precios en % de salida y venta. Subastas realizadas por FAFCYLE años 2004-I Semestre 2018

Los resultados han sido satisfactorios tanto en valores absolutos de venta como en la diversificación de la oferta. El número total de empresas adjudicatarias asciende a 29, incluyendo tanto a industrias de primera trasformación como a empresas rematantes.

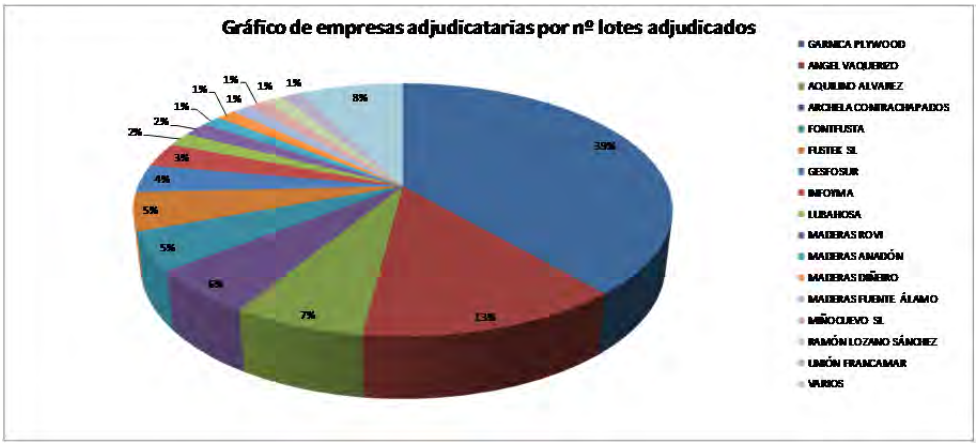
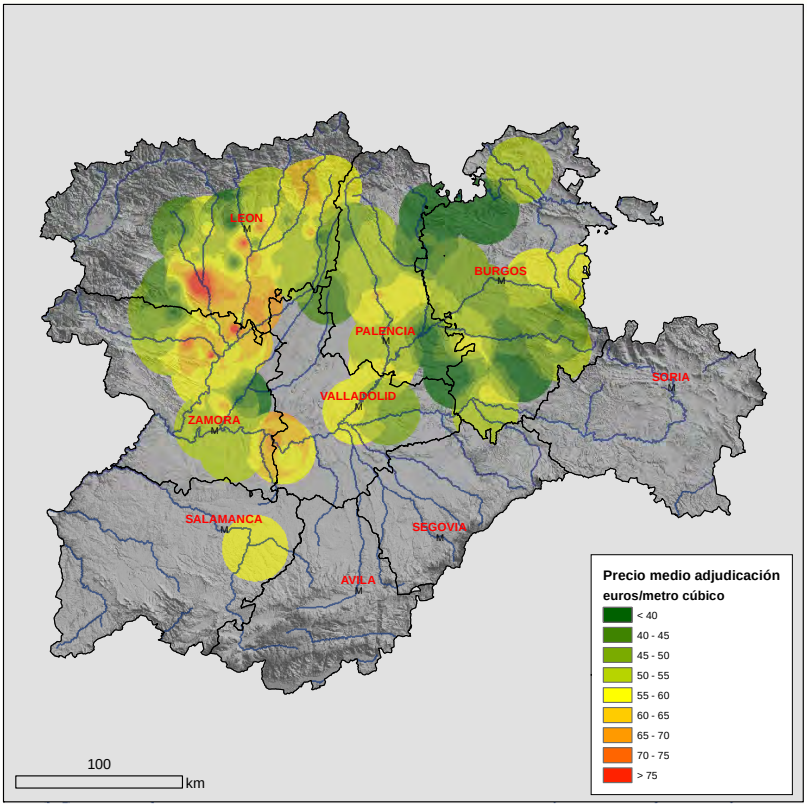


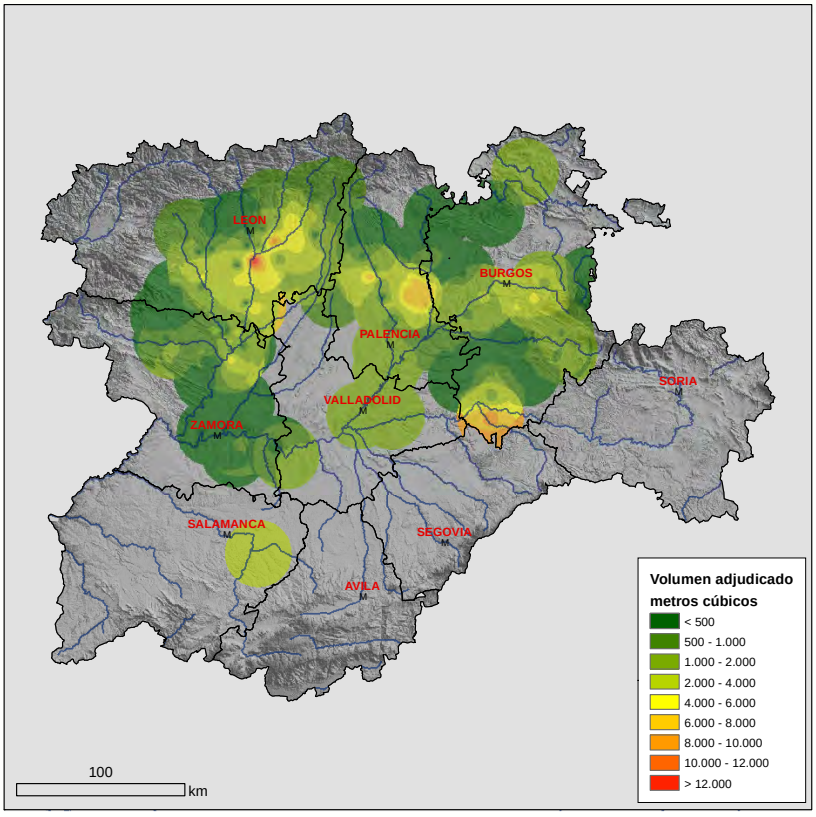
Gráfico 3: Resultados de las subastas en cuanto a las empresas adjudicatarias según el número de lotes adjudicados. Se han eliminado para esta representación las empresas con uno o dos lotes adjudicados

Atendiendo a los precios máximos alcanzados en los distintos lotes se aprecian unas grandes diferencias. El valor máximo se ha obtenido en la II subasta del 2017, concretamente en el lote LE-01 ubicado en Vecilla de la Vega, subcuenca del Órbigo, con un total de 5.619 árboles (4.996,13 m^3), alcanzándose los 89,33 €/ m^3. El lote de menor valor ha sido el lote BU-04 de la I Subasta del 2012 correspondiente al Término Municipal de Arlanzón con un total de 1.246 árboles (560,26 m^3), siendo el precio final 30,34 €/ m^3.

La media de los precios por metro cúbico de madera es un indicador de la realidad del mercado, pero se observa una clara diferencia entre los valores que se obtienen en las distintas choperas en función del volumen medio por árbol, que en las subastas de la Federación han alcanzado un máximo de 0,89 m^3/pie y un mínimo de 0,45 m^3/pie, y por supuesto de la calidad de la madera. El volumen del árbol tipo de cada chopera y la calidad de esta dependen entre otros factores de la estación, la elección del clon y los cuidados culturales.



Mapa 1: Áreas focales de la distribución de los precios medios de adjudicación en las subasta de FAFCYLE 2004-2018



Mapa 2: Áreas focales de la distribución del volumen total adjudicado en las subasta de FAFCYLE 2004-2018

En lo que respecta a la distribución de los lotes adjudicados y del precio medio alcanzado, se observa que las áreas de mayor actividad se encuentran en la Cuenca del Duero, alrededor de las subcuencas del Esla y el Órbigo en las provincias de León y Zamora, existiendo otra zona de importante actividad entorno al río Carrión en la provincia de Palencia.

Tabla 3: Municipios destacables por el número chopos y volumen de las adjudicaciones.
Subastas realizadas por FAFCYLE años 2004-I Semestre 2018

Término Municipal	Provincia	Subcuenca
Campo de Villavidel	León	Esla-Valderaduey
Frómista	Palencia	Carrión
Gradefes	León	Esla-Valderaduey
Haza	Burgos	Duero
Laguna de Negrillos	León	Esla-Valderaduey
Morales del Rey	Zamora	Orbigo
Valdepolo	León	Esla-Valderaduey
Villamañán	León	Esla-Valderaduey
Villaornate y Castro	León	Esla-Valderaduey
Villasabariego	León	Esla-Valderaduey
Villaturde	Palencia	Carrión
Villaveza del Agua	Zamora	Esla-Valderaduey

4. Discusión y conclusiones

En nuestro país apenas existe cultura de asociacionismo forestal y por tanto, la labor de las Asociaciones Forestales es compleja, sin embargo en el caso de las Subastas de Madera de chopo se comprueba que están siendo un éxito y que se consolidan en el tiempo, incrementándose anualmente.

Desde la Federación se entiende como muy positiva la satisfacción de la industria y del propietario, quedando patente tanto por el número de empresas participantes como por el de propietarios que depositan su confianza en las Asociaciones, adhiriéndose año tras año a los distintos Planes de Aprovechamiento.

No obstante, y aunque se alcance un buen precio de venta de la madera, se observa que es necesario mejorar la cultura del cultivo del chopo entre los populicultores de la región. Muchos de los propietarios se ven frustrados a la hora de la venta por no alcanzar los valores medios esperables y esto hace que posiblemente esas explotaciones cambien de uso en el siguiente periodo de cultivo. Si se pretende que el chopo se consolide en cuanto a superficie y calidad, se necesita atender desde el principio al cultivador, haciéndole partícipe y exponiéndole los distintos pasos necesarios en el proceso. A ello ayudaría desarrollar una línea de asesoramiento a los propietarios forestales en los Programas de Desarrollo Rural y retomar las pequeñas ayudas que existían para el cultivo del chopo mejoradas atendiendo a criterios técnicos.

En consecuencia, el chopo es un producto que despierta interés entre los propietarios forestales de la región en general, pero que año a año disminuye en superficie debido por una parte a las malas prácticas

en el cultivo y por otra, a unos precios de mercado estancados desde hace más de diez años mientras que los gastos de la explotación se incrementan anualmente. Esto implica que se hayan visto disminuidos los beneficios de los populicultores y que por tanto, muchos de ellos hayan decidido realizar una sustitución por otro tipo de cultivo. Es necesario que la industria ajuste mejor los precios a la realidad actual y se conserven unos márgenes suficientes para el productor.

Se puede concluir que las subastas de chopos a través de FAFCYLE son una buena herramienta para mejorar la posición del propietario ante la industria, conseguir mejores precios y corregir posibles incidencias que se produzcan durante la fase de aprovechamiento. Se han consolidado en el tiempo y año a año se logran mejores precios abarcando un mayor número de licitadores deslocalizando de alguna manera la demanda.

5. Bibliografía

FERNÁNDEZ MOLOWNY, ALFONSO; 1998. Guía para determinar el precio de la madera de chopo en pie. Estimación de existencias y análisis económico sobre la rentabilidad de las choperas. Confederación Hidrográfica del Duero. Ministerio de Medio Ambiente. 203 páginas. Valladolid.

RUEDA FERNÁNDEZ, JESÚS; GARCÍA CABALLERO, JOSÉ LUIS; CUEVAS SIERRA, YOLANDA, GARCÍA-JIMENEZ REDER, CARMEN.; VILLAR GUTIERREZ DE CEBALLOS, CARLOS; 2017 Cultivo de chopos en Castilla y León. Consejería de Fomento y Medio Ambiente, Junta de Castilla y León. 111 páginas. Valladolid.

Metodología para la evaluación de la sostenibilidad económico-financiera de las choperas en Castilla y León

FERNÁNDEZ PERÉZ, L.[1]; RUBIO GUITIÉRREZ, R.[1]; GALLEGO GARCÍA, R.[1]
[1] Fundación Cesefor.

Palabras clave
Metodología, UTA, VAN, TIR, rentabilidad, choperas.

1. Introducción y/o objetivos

La presente comunicación propone la elaboración de una metodología para la evaluación de la sostenibilidad económico-financiera de las explotaciones de chopo, incorporando al análisis más habitual de rentabilidad, mediante el cálculo del TIR y VAN, la perspectiva de renta anual para el propietario/selvicultor.

La metodología busca sentar las bases de los aspectos económicos a tener en cuenta, superando el enfoque del cálculo basado únicamente en los costes e ingresos por hectárea sin considerar posibles cultivos sustitutivos, para llevar a cabo un análisis partiendo de la renta anual de referencia del sector agrario español, establecida en 28.549,87 € para 2017. El análisis desde esta nueva perspectiva permite evaluar la rentabilidad del cultivo y compararla con las de otros cultivos susceptibles de ocupar las mismas superficies, los cuales cuentan con un marco de subvenciones estable que incrementa su competitividad en los terrenos agroforestales.

Se introduce por primera vez el término “renta forestal” por contraprestación a la renta agraria, con la cual comparte muchos aspectos asimilables. La comparativa entre el cálculo de ambas rentas puede ser de gran utilidad para la toma de decisiones por parte de los propietarios, gestores y administraciones responsables.

2. Material y métodos

Partiendo de un exhaustivo análisis de la literatura nacional e internacional existente sobre el cálculo de rentabilidades las explotaciones forestales y su evolución en los últimos años, se propone el uso de TIR, VAN, así como la evaluación del número de hectáreas necesarias para que un selvicultor pueda en su caso obtener a través de este cultivo una renta asimilable al concepto de UTA agraria.

Los aspectos clave para la evaluación de la sostenibilidad económico-financiero de los cultivos forestales analizados han sido:

- Situación del mercado.
- Variabilidad del precio de la madera.
- Optimización del turno.
- Control del gasto.
- Diversificación de las explotaciones.
- Determinación de TIR y Van
- Evaluación económica asimilable a cultivos agrícolas.

En una primera aproximación los datos utilizados se agrupan en dos tipos, gastos actualizados y gastos generales, aspecto que se revisa y ajusta a gastos fijos y variables en el siguiente apartado con el fin de posibilitar la comparativa con las rentabilidades de los cultivos agrícolas, así como la evaluación de la superficie necesaria para constituir en sí misma una explotación autónoma.

Cálculo del VAN (VPN)

Es un criterio de inversión que consiste en actualizar el cash-flow de un proyecto o inversión para conocer cuánto se va a ganar o perder.

$$VAN = -I_0 + \sum_{t=1}^{n} \frac{F_t}{(1+k)^t} = -I_0 + \frac{F_1}{(1+k)} + \frac{F_2}{(1+k)^2} + \cdots + \frac{F_n}{(1+k)^n}$$

Ft son los flujos de dinero en cada periodo t
I 0 es la inversión realiza en el momento inicial (t = 0)
n es el número de periodos de tiempo
k es el tipo de descuento o tipo de interés exigido a la inversión
VAN > 0: el valor actualizado de los cobros y pagos futuros de la inversión, a la tasa de descuento elegida generará beneficios.
VAN = 0 : el proyecto de inversión no generará ni beneficios ni pérdidas, siendo su realización, en principio, indiferente.
VAN < 0 : el proyecto de inversión generará pérdidas, por lo que deberá ser rechazado.

Como principales ventajas cabe destacar:

- Su cálculo sólo requiere de operaciones simples.
- Contabiliza la variación del "valor del dinero" en el tiempo (inflación).
- Su uso y entendimiento es extendido.

Principales dificultades:

- Dificultad para establecer el valor de la tasa de descuento y los flujos de caja son reinvertidos con la misma tasa que el tipo de descuento.

En cuanto a la tasa de descuento utilizada, se admite en general tanto en estudios nacionales como internacionales una tasa de descuento en torno al 5% para la evaluación del proyecto, asimilándose dicha tasa en el presente análisis.

Inversión y rentabilidad, TIR

Es la tasa de interés o rentabilidad que ofrece una inversión. % de beneficio o pérdida que tendrá una inversión para las cantidades que no se han retirado del proyecto.

- Si TIR > k, el proyecto de inversión será aceptado. En este caso, la tasa de rendimiento interno que obtenemos es superior a la tasa mínima de rentabilidad exigida a la inversión.
- Si TIR = k, estaríamos en una situación similar a la que se producía cuando el VAN era igual a cero. En esta situación, la inversión podrá llevarse a cabo si mejora la posición competitiva de la empresa/producto o proyecto y no hay alternativas más favorables.
- Si TIR < k, el proyecto debe rechazarse. No se alcanza la rentabilidad mínima que le pedimos a la inversión.

Tamaño de explotación

De acuerdo con las referencias de la Consejería de Agricultura de la Junta de Castilla y León y a la necesidad de determinar el número de hectáreas necesarias para que un selvicultor pueda dedicarse de forma exclusiva a la actividad forestal, será el resultado del cociente entre la renta agraria anual y el margen neto de explotación de la actividad de referencia. Tomando como valor la renta agraria para 2017, y por tanto el número de hectáreas que serían necesarias para la obtención de una renta anual de 28.549,87 euros.

Con la premisa inicial de conocer la superficie forestal necesaria para constituirse en sí misma como explotación autónoma, generando al menos un puesto de trabajo (con una renta agraria anual de referencia) y teniendo especial atención a la realización de este análisis de modo que pueda ser comparable con otros productos agrícolas se consideraron los siguientes factores:

- Consideración de las Unidades de trabajo-año (UTA):
  - Los datos de trabajo en la explotación se expresan en número de jornadas completas o parciales o bien en unidades de trabajo-año (UTA).
  - Una UTA equivale al trabajo que realiza una persona a tiempo completo a lo largo de un año.
  - En año 2017 se estableció una uta como 1826 horas de trabajo.
- Renta de referencia: La renta de referencia considerada para el análisis es de 28.549,87 €, la misma que la considerada en los análisis de viabilidad económicos que se desarrollan para el resto de los agricultores.
- Los costes se dividen en costes fijos y variables, los costes fijos se asimilan a los incluidos en la instrucción mencionada, como sigue:
  - Costes fijos generales

Seguridad social agraria
Contribuciones e impuestos
Canon de riego
Gestión de explotación
Alquiler de maquinaria
Carburantes y grasas
Arrendamientos rústicos
Comercialización y administración

  - Costes fijos de explotación

Amortización de edificios, instalaciones y maquinaria
Otros gastos de edificios instalaciones y maquinaria
Mano de obra
Definición de aspectos clave
Anexos
Referencias

En el caso de las choperas los costes variables se podrían asimilar al número de labores desarrolladas a lo largo de la vida del proyecto. Este es un aspecto fundamental los trabajos deben ser seleccionados únicamente con criterios de rentabilidad, evitándose en todo caso todas aquellas labores que no tengan una incidencia económica demostrada.

Teniendo en cuenta los gastos fijos, los valores de costos conocidos y planteados en el apartado anterior y la renta de referencia se recomiendan la evaluación de al menos tres supuestos (favorable, intermedio y más desfavorable), variando los gastos en tres escenarios diferentes.

3. Resultados

Ingresos					
Precios de la madera		Análisis de la zona			
precio actual	51,00	€/m³	calidad	media	
actualización *	1	%	producción	11	m³/ha año
precio esperado	59,21	€/m³	densidad	278	pies/ha.
total	9.769,55	(€)	turno	15	años

Tabla 1.Ingresos para una chopera de calidad media

Costes de explotación. y tratamientos culturales							
actividad	tipo de actividad	hectárea	pie	manejo/ unidad	costes (año 0)		
destoconado	arrancado	720,02	2,59	No se tiene en cuenta en el presente estudio.		1ª plantación	
marcado	con rejón	69,50	0,25	0,00	69,50	costes con IPC+1 punto	
plantación	a 2,5 m.	708,90	2,10	0,45	708,90		
nivelación	con grada	47,26	0,17	0,00	47,26	año	0
plantón	A2	467,04	1,50	0,18	467,04	1.292,70	1292,70
gradeo	cruzado	77,84	0,28	0,00	77,84	año	1
poda	poda 1	55,60	0,20	0,00	55,60	133,44	137,44
gradeo	cruzado	77,84	0,28	0,00	77,84	año	2
poda	poda 2	116,76	0,42	0,00	116,76	194,60	206,45
gradeo	cruzado	77,84	0,28	0,00	77,84	año	3
poda	poda 3	183,48	0,66	0,00	183,48	261,32	285,55
gradeo	cruzado	77,84	0,28	0,00	77,84	año	4
poda	poda 4	200,16	0,72	0,00	200,16	278,00	312,89
gradeo	cruzado	77,84	0,28	0,00	77,84	año	5
poda	poda 5	216,84	0,78	0,00	216,84	294,68	341,61
gradeo	cruzado	77,84	0,28	0,00	77,84	año	6
poda	poda 6	83,40	0,30	0,00	83,40	161,24	192,53

Tabla 2.Costes de explotación.

El destoconado no se tiene en cuenta en el posterior análisis por tratarse de un gasto referido a segundas y sucesivas plantaciones.

Cuadro de gastos por plantación					
Año	Gastos fijos	Gastos variables	Subvención	Total gastos corrientes	Total gastos turno
0	1292,70	193,91		1.486,61	2.677,29
1	137,44	20,62		158,06	239,08
2	206,45	30,97		237,42	348,66
3	285,55	42,83		328,38	468,20
4	312,89	46,93		359,83	498,08
5	341,61	51,24		392,86	527,97

Cuadro de gastos por plantación					
6	192,53	28,88		221,41	288,89
7	86,00	12,90		98,90	125,28
8	86,00	12,90		98,90	121,63
9	86,00	12,90		98,90	118,09
10	86,00	12,90		98,90	114,65
11	86,00	12,90		98,90	111,31
12	86,00	12,90		98,90	108,07
13	86,00	12,90		98,90	104,92
14	86,00	12,90		98,90	101,87
15	86,00	12,90		98,90	98,90
total	3.543,18	531,48	0,00	4.074,66	6.087,62

Tabla 3.Gastos por plantación

Gastos fin de turno (€)	6.087,62
Ingresos fin de turno (€)	9.769,55
Rentabilidad fin de turno (€)	3.681,94
Rentabilidad (€/ha y año)	245,46

Tabla 4.Rentabilidad para una chopera de calidad media

Año	Renta Agraria Estimada
1	28.549,87
2	29.120,87
3	29.703,28
4	30.297,35
5	30.903,30
6	31.521,36
7	32.151,79
8	32.794,83
9	33.450,72
10	34.119,74
11	34.802,13
12	35.498,17
13	36.208,14

Año	Renta Agraria Estimada
14	36.932,30
15	37.670,95
Total ingresos	493.724,80

Tabla 5.Ingresos por Renta Agraria a 15 años con previsión IPC 2%

Margen hectárea plantación	Renta Agraria 15 años	Has Necesarias	UTA Ha de chopera
3.653,22	493.724,80	117,22	0,0085
http://www.populuscyl.es/			
6.931,98	493.724,80	71,22	0,0140

Tabla 6.Hectáreas necesarias para tener 1 UTA

Con la rentabilidad indicada para una chopera de calidad media de acuerdo con el coste de explotación especificado es necesario 117,22 ha de superficie plantada para alcanzar 1 UTA. No obstante, con los datos proporcionados por http://populuscyl.es/calculadora , teniendo en cuenta las mismas condiciones que en este análisis, es decir para una hectárea, que no necesite destoconado, a raíz profunda de calidad media, la cifra disminuye hasta los 71,22 ha (cálculo actualizado a través de los datos de beneficios proporcionados en el simulador de la citada web en agosto de 2018).

Por otro lado, desde la óptica del inversor se alcanza un TIR del 7,17% lo cual indica que el cultivo del chopo es una inversión rentable, así como un VAN positivo que indica que el proyecto de inversión generará beneficios al final del turno de explotación.

año	total gastos/ ingresos		año	total gastos/ ingresos
0	1.486,61		0	1.486,61
1	158,06		1	158,06
2	237,42		2	237,42
3	328,38		3	328,38
4	359,83		4	359,83
5	392,86		5	392,86
6	221,41		6	221,41
7	98,90		7	98,90
8	98,90		8	98,90
9	98,90		9	98,90
10	98,90		10	98,90
11	98,90		11	98,90
12	98,90		12	98,90
13	98,90		13	98,90
14	98,90		14	98,90
15	98,90		15	98,90
Ingresos año 15	9.769,55		Ingresos año 15	9.769,55
TIR	7,17%		VAN*	1.254.40€

Tabla 7.Calculo del VAN y del TIR.

*El VAN se calcula para una tasa de descuento anual del 5% Para una tasa del 3% el VAN sería de 2.602.82€

También se ha observado que una pequeña variación en los gastos tiene una importante incidencia sobre la superficie necesaria para alcanzar la sostenibilidad económica como explotación forestal.

4. Discusión y conclusiones

Con los datos extraídos del análisis en el actual marco económico, se puede concluir a efectos de cálculo económico la similitud de las explotaciones forestales y de las agrarias, así como de la necesidad de utilizar sistemas de cálculo de la rentabilidad ya identificados en la actividad agraria.

Es de especial importancia el control exhaustivo de los gastos, que se considera una cuestión imprescindible en la viabilidad de las explotaciones.

Se recomienda continuar desarrollando la metodología, con análisis basados en diferentes casos, así mismo debería considerarse la posibilidad de analizar la influencia del posible desarrollo de subvenciones,

similares a las existentes en cultivos agrícolas, en el caso de querer promover el cultivo del chopo en Castilla y León.

5. Bibliografía

Valoración y determinación del momento óptimo de corte de una explotación forestal. Aplicación del modelo de opciones reales. Susana Alonso Bonis, José Manuel Henriques Xavier

Http://Www.Populuscyl.Es/Calculadora

Http://Siam.Imida.Es/Apex/F?P=101:74:1676609920009628

Http://Www.Forisk.Com/EducationSpeaking/

La diversificación en la explotación agraria como estrategia alternativa de ajuste Lourdes Viladomiu y Jordi Rosell Dpt. Economía Aplicada, Universitat Autónoma De Barcelona

Modelos de producción de las choperas del Valle Del Cinca. Rodríguez, Francisco. (2005).

Rentabilidad financiera de especies forestales arbóreas de crecimiento medio y lento en el vigente marco de ayudas públicas. Luis Díaz Balteiro, Carlos Romero

(Http://Agroseguro.Es/Fileadmin/Propietario/Publicaciones/Folletos/2016/Folleto_Explotaciones_Forestales.Pdf)

Como el turno financiero óptimo al introducir la fiscalidad en el análisis aplicación a las choperas de Castilla y León. V. Esteban, E Castquet Y L. Díaz

Commercial profitability of poplar plantation with reference to the damages caused by fungi Ljiljana Keca Nenad Keca (Lees Seymour Managing Director, Nelson Forests Forest Investment Options : Risks And Benefits)

Potential profitability zones for Populus Spp. biomass plantings in the Eastern United States John A. Stanturf, Timothy M. Young, James H. Perdue, Derek Doughetry, Michael Pigott, Zhimei Guo, And Xia Huang

Guía para la evaluación económica y financiera de proyectos forestales comunitarios en México Frederick W. Cubbage. Universidad Estatal De Carolina Del Norte

Metodología para el análisis económico y financiero de proyectos forestales, Forest Sourcebook Del Banco Mundial (2008)

La diversificación en la explotación agraria como estrategia alternativa de ajuste Lourdes Viladomiu Y Jordi Rosell Dpt. Economía Aplicada Universidad Autónoma De Barcelona Lourdes.Viladomiu@Uab.Es).

Http://Siam.Imida.Es/Apex/F?P=101:34:3641574314403215

Https://Www.Getfea.Com/

Agradecimientos

A José Luis García Caballero, del Servicio Territorial de Medio Ambiente de León, por facilitar la información de los datos de costes de explotación.

Plantaciones policíclicas mixtas: nogales, chopos y biomasa de rotación corta

PELLERI, F.[1]; PLUTINO M.[1]; MANETTI M.C.[1]; SANSONE D. [1]; BERGANTE S. [1]; CASTRO G.[1]; FERNANDEZ MOYA J.[2]; CHIARABAGLIO, P.M. [1]; IGNACIO URBAN M.[2]

[1] CREA Research Centre for Forestry and Wood

[2] Bosques Naturales SA

Palabras clave

Bosques mixtos, choperas, *Populus*, *Juglans*.

1. Introducción y objetivos

En los últimos 20 años en Italia se ha desarrollado una nueva técnica para el diseño y la gestión de bosques plantados denominada como "plantaciones policíclicas". Este tipo de plantaciones genera masas forestales mixtas donde, en una misma rotación y un mismo sitio, coexisten: (1) especies de maderas nobles (p.ej. nogal) con una rotación medio-larga (> 20 años); (2) clones de chopo para madera de contrachapado con una rotación medio-corta (8-12 años); y (3) especies de crecimiento rápido gestionadas a monte bajo para la producción de biomasa con rotaciones cortas (5-7 años). Además, en este tipo de bosques plantados mixtos, estos árboles se pueden beneficiar de la plantación de otros árboles y arbustos acompañantes (sobre todo especies fijadoras de Nitrógeno) o especies con un doble propósito (p.ej. alisos –*Alnus* sp.– que fija N y se aprovecha como leña). Estas especies acompañantes mejoran la forma y la ramificación de las especies principales, pero deben ser cortadas antes de entrar en competencia con ellas.

Teniendo en cuenta esas características generales, se han dividido estas plantaciones policíclicas en dos tipos principales (Buresti-Lattes y Mori 2016; Buresti-Lattes *et al,*. 2017):

Plantaciones policíclicas temporales (PT): donde las especies principales homogéneamente distribuidas cubren por completo la superficie al final del turno y cuando se cortan el sitio queda libre de árboles
Plantaciones policíclicas permanentes (3P): donde las especies principales cubren sólo una parte de la superficie al final del turno (máximo un 80%), quedando el resto de la superficie con otras especies principales que siguen creciendo después de las cortas que se realicen. Estos otros árboles que se mantienen bien están gestionados con otro turno diferente o bien plantados en otro tiempo de manera que la producción se encuentra escalonada en el tiempo y la plantación sigue creciendo y, si se replanta, se produce una continuidad en el tiempo.

Buresti-Lattes y Mori (2016) detallan la superficie mínima que, para evitar la competencia entre las especies principales, ha de tenerse en cuenta a la hora de diseñar las plantaciones (Tabla 1). Esta superficie mínima recibe el nombre de "bloque" y se ha estimado teniendo en cuenta el espacio necesario para que estas especies adquieran un tamaño mínimo requerido por el mercado. Esta superficie puede ser ocupada en los primeros años por especies de árboles/arbustos acompañantes o de doble propósito hasta que produzcan competencia con la especie principal.

Tabla 1. Principales características de las especies utilizadas en las plantaciones policíclicas en Italia: diferentes períodos de rotación, superficie mínima y diámetro final estimado. Modificado de Buresti-Lattes et al. (2017)

Tipo de rotación	Especies	Periodo de rotación (años)	Superficie mínima por árbol (m2)	Diámetro final esperado (cm)
Muy corta	Chopo, olmo, plátano, sauce, fresno, robinia	5-6 6-7	9 15	10 15
Medio-corta	Clones de chopo: I214, Villafranca, Lena y Neva	8-12 9-12 11-13 12-15	36 72 100 144	30-32 40-45 45-50 55-60

Tipo de rotación	Especies	Periodo de rotación (años)	Superficie mínima por árbol (m2)	Diámetro final esperado (cm)
Medio-larga	Nogal, roble, cerezo	20-25 20-30 25-35	81 100 144	35-40 40-50 45-50

En Italia se han establecido aproximadamente 250 ha de este tipo de plantaciones policíclicas, fundamentalmente localizadas en el Norte del país, donde la combinación de chopos y nogales como especies principales ha demostrado ser adecuada si el diseño se realiza y ejecuta adecuadamente. En este trabajo se exponen algunos resultados obtenidos de la evaluación y seguimiento de algunas de estas plantaciones establecidas de forma experimental y se discute el potencial que tienen estos sistemas.

2. Material y métodos

Se ha monitorizado anualmente el crecimiento (altura y diámetro a la altura del pecho) de varias plantaciones policíclicas experimentales en el Norte de Italia, mientras que la anchura de copa y la calidad de los troncos se midieron cada 3-5 años. Al final del turno establecido de las plantaciones de ciclo rápido de madera para biomasa y de los chopos, se midió la biomasa y la acumulación de carbono.

3. Resultados

Se estima la producción de biomasa de chopo (clon 'AF2'), olmo (Ulmus sp.) y plátano (*Platanus hispanica*) en 11,1 – 6,3 – 2,9 t ha^{-1} $año^{-1}$, respectivamente, en un turno de 5 años, establecidas con una rotación corta para la producción de biomasa en plantaciones policíclicas. Estas producciones son parecidas a las plantaciones intensivas puras para la producción de biomasa a ciclo corto, considerando que en las plantaciones policíclicas sólo un 64% de la superficie se utiliza con este fin (Pelleri et al. 2014).

En cuanto a los chopos (*Populus* sp.), en este tipo de plantaciones policíclicas se alcanzan diámetros de 40-50 cm en turnos de 10-12 años, lo que supone una productividad bastante más alta que la que se alcanza en plantaciones puras comunes en Italia (diámetros de 30-35 cm en turnos de 10-12 años). En cuanto a los nogales (*Juglans* sp.) establecidos en este tipo de plantaciones policíclicas se alcanzan diámetros de 13-14 cm y alturas totales de 12-13 m en nogales comunes (*Juglans regia*) de 9 años, mientras que los nogales híbridos (*Juglans ×intermedia*) alcanzan diámetros de 14-16 cm y alturas totales de 13-15 m en el mismo periodo y sitio (Pelleri et al. 2013).

4. Discusión y conclusiones

¿Qué se ha aprendido de las plantaciones experimentales?

Los resultados observados en las plantaciones experimentales en Italia señalan que los chopos cortados en un turno de 10-12 años presentan diámetros considerablemente mayores (40-50 cm) que en las plantaciones convencionales. Cabe destacar que la producción de árboles con mayor diámetro en el mismo turno de corta no sólo aumenta la producción, sino que puede aumentar también el precio que estos troncos adquieren en el mercado al aumentar los rendimientos de las operaciones de desenrollo y disminuyen los costes de producción (Castro *et al,.* 2013).

El crecimiento mayor que el habitual de los chopos en este tipo de plantaciones policíclicas se explica sobre todo por la disminución de la competencia entre ellos al establecerse un marco de plantación más amplio que el habitual: densidad de 90-143 árboles/ha frente a 278 árboles/ha en plantaciones puras habituales. Además, estos mayores crecimientos también se deben a los beneficios que reciben los chopos de las especies plantadas como acompañantes, sobre todo de las fijadoras de N. En ese sentido,

el beneficio de estas especies plantadas como acompañantes (sobre todo de las fijadoras de N) no sólo beneficiaría a los chopos, sino también a los nogales.

Las plantaciones policíclicas se han desarrollado basándose en los efectos positivos de la sinergia entre especies en bosques mixtos, la proyección de futuro de las plantaciones de nogal para madera y la estabilidad y facilidad que supone el mercado del chopo para la venta de su madera. En ese sentido, en una plantación policíclica mixta se producen, sin contar con las especies acompañantes, en torno a 70-100 nogales/ha con un periodo de rotación de 20-30 años y 80-150 chopos/ha de gran diámetro en un turno de 8-12 años, generando un sistema mucho más interesante económicamente que si se trabajasen como plantaciones puras separadas.

Otra ventaja importante de estas plantaciones policíclicas es una importante reducción de las labores de mantenimiento de las plantaciones, sobre todo considerando la gestión intensiva que se necesita para una correcta producción de bosques plantados de nogal para madera. En ese sentido, se ha estimado que la carga de trabajo de las prácticas culturales de estos sistemas policíclicos se reducen hasta en un 60% en comparación con plantaciones monoespecíficas de chopo, sobre todo considerando una importante reducción del uso de pesticidas y de riego (Pelleri *et al,.* 2013; Chiarabaglio *et al,.* 2014).

Bosques plantados mixtos productivos chopo+nogal: oportunidad para las maderas nobles

Desde finales del siglo XX se desarrollaron en España algunas plantaciones forestales enfocadas a la producción de maderas nobles (nogal–*Juglans* sp.– y cerezo–*Prunus avium*–). El éxito de estas ha sido dispar, considerándose factores como el material genético y la selección de sitio como claves para el éxito/fracaso de estas inversiones. En ese sentido, pueden observarse numerosos ejemplos en la región de Castilla y León de plantaciones de nogales y cerezos establecidas en lugares con mala calidad de estación y con un inadecuado material genético que han generado un clima de desinterés por este tipo de inversiones en la región teniendo en cuenta además que éstas se realizan con un plazo medio-largo (20-30 años). Sin embargo, sí que se observa en esta región un gran interés de los inversores por el establecimiento de choperas en suelos aluviales de buena calidad de estación. Estos sitios en los que se establecen actualmente choperas en muchos casos serían también propicios para el nogal, pero, entre la mala experiencia con las plantaciones de maderas nobles de algunos propietarios y el menor plazo de la inversión de las choperas (10-15) hacen que muchos inversores prefieran el chopo que cuenta además con un mercado más estable y fácil. En ese sentido, las plantaciones policíclicas suponen una ventajosa alternativa para estas zonas que son potencialmente buenas para el establecimiento tanto de chopo como de nogal, combinando las ventajas del chopo (mercado estable y fácil y turno más corto) y las del nogal (mayor productividad al final de un turno más corto).

En parcelas con buena calidad de sitio, el crecimiento de los nogales en las plantaciones experimentales en Italia es similar en plantaciones pura o en plantaciones policíclicas con chopo. Sin embargo, en plantaciones puras con densidades entre 250-333 árboles/ha se necesita una clara a los 10-12 años que habitualmente representa un coste dado que el tamaño de los árboles (< 20 cm) no es interesante para el mercado en este momento. En ese sentido, las plantaciones policíclicas representan una gran oportunidad dado que éstas generan una renta cada pocos años, primero con las especies de rotación corta para biomasa y luego con los chopos para contrachapado, de manera que después de la corta de éstos quedan finalmente los nogales creciendo ya a densidad definitiva para la corta final y se ha obtenido un beneficio con la corta a los 10-12 años de los chopos que hace este tipo de inversiones muy atractivas desde un punto de vista económico (Para *et al,.* 2016).

Teniendo en cuenta el interés potencial que tiene este tipo de plantaciones, se considera necesario hacer hincapié en otro factor determinante para el éxito de las plantaciones forestales nobles: el material genético. Así, la empresa Bosques Naturales (www.bosquesnaturales.com) ha registrado 5 clones de nogal en el CNMB para la producción de MFR, alcanzando el clon NAT-7-BN en Galicia (13 años) un DAP de 19,7 cm, en Cuenca (8 años) un DAP de 11,5 cm, en Toledo (13 años) un DAP de 17,8 cm y en Girona (15 años) un DAP de 18,5 cm. La ventaja del uso de clones en este tipo de bosques plantados gestionados de forma intensiva es, no sólo el aumento de productividad (i.e. mayor crecimiento) sino, sobre todo: 1) la mayor homogeneidad entre los árboles y 2) la rectitud del fuste.

Este tipo de plantaciones policíclicas se ha identificado como uno de los diseños seleccionados como más adecuados para el establecimiento de plantaciones de nogal para madera en el marco del proyecto europeo WOODNAT (www.woodnat.eu) que persigue potenciar el sector de la madera de nogal en Europa. En ese sentido, además del interés público en este tipo de sistemas y la ayuda de este tipo de proyectos de I+D+i a su potenciamiento, cabe destacar que la Junta de Castilla y León tiene una línea de ayudas destinadas a fomentar las plantaciones que proporcionen producciones forestales de alto valor, incluyendo las maderas nobles (nogal, cerezo, serbal o fresno) [ORDEN FYM/648/2016, de 6 de julio, por la que se establecen las bases reguladoras para la concesión de ayudas al fomento de plantaciones de especies con producciones forestales de alto valor, cofinanciadas por el Fondo Europeo Agrícola de Desarrollo Rural (FEADER), en el marco del Programa de Desarrollo Rural de Castilla y León 2014-2020]

Conclusiones

Los resultados de la red de plantaciones policíclicas mixtas experimentales establecidas en Italia muestran mayores beneficios tanto económicos como sociales y ambientales. Así, estas plantaciones mixtas son más resistentes ante riesgos tanto bióticos como abióticos (riadas, plagas y enfermedades) y son menos demandantes en insumos externos (fertilizantes, pesticidas, riegos).
Este tipo de plantaciones policíclicas mixtas tienen un interesante potencial para llanuras aluviales adecuadas para ambas especies (chopos y nogales). En ese sentido, se considera este sistema como una alternativa a tener en cuenta en Castilla y León, una región con una gran superficie dedicada a las plantaciones monoespecíficas de chopo que podrían enriquecerse parcialmente mediante la incorporación de clones de nogal para producción de madera.

5. Bibliografía

BURESTI LATTES E., MORI P., 2016 - Design, implementation and management of naturalistic permanent polycyclic tree farms. Life+ InBioWood project (LIFE 12 ENV/IT/000153). Ed. Compagnia delle Foreste Arezzo.

BURESTI LATTES E., MORI P., PELLERI F., 2017 - Cenni di progettazione e linee guida per il collaudo delle piantagioni policicliche. Rete Rurale Nazionale, Consiglio per la ricerca in agricoltura e l'analisi dell'economia agraria, Roma.

CASTRO G, MORI P, ZANUTTINI R 2013 - Produttività di sfogliato e diametro dei fusti. Indagini preliminari sui cloni di pioppo "I214" e "Neva". Sherwood foreste e alberi oggi 192: 5-9.

CHIARABAGLIO P.M., ALLEGRO G., ROSSI A.E., SAVI L., 2014 - Studi sulla sostenibilità della pioppicoltura in Lombardia. Sherwood- Foreste e alberi Oggi 206: 5-8.

PRA A., BROTTO L. MORI P. BURESTILATTES E., POLATO R., PETTINELLA D., 2016 - Redditività finanziaria delle piantagioni da legno. Confronto tra pioppo noce e piantagioni policicliche. Sherwood - Foreste ed Alberi Oggi, 222: 11-16.

PELLERI F., RAVAGNI S., BIANCHETTO E., BIDINI C. 2013 - Comparing growth rate in a mixed plantation (walnut, poplar and other nurse trees) with different planting designs: result from an experimental plantation in northern Italy. Annals of Silvicultural Research 37 (1): 13-21. DOI: 10.12899/ASR-750

PELLERI F., BIANCHETTO E., BIDINI C., VITONE A., 2014 - Polycyclical plantation walnut, poplar and SRF: a plantation in Lodi Province Northern Italy. Poster presentatoAgroCop Conference CNR IBAF Porano 16-17 Ottobre 2014

Situación del cultivo del chopo en el valle del Ebro, en relación con la problemática existente con la Confederación Hidrográfica del Ebro

ORRADRE, G.[1]; VILLARROEL GARCÍA, J.M.[2]
[1] Bosqalia
2 Asociación Forestal de Navarra

A continuación se presenta de manera esquemática la actual situación que se vive en el valle del Ebro por parte de los cultivadores de chopo, en sus relaciones con la ConfederaciónHidrográfica del Ebro (CHE).

La Ley de Aguas y el Reglamento de Dominio Público Hidráulico dictamina que es necesaria la solicitud de autorización para llevar a cabo la plantación o la corta de especies arbóreas, tanto en zona de Dominio Público Hidráulico (DPH) como en Zona de Policía. Los populicultores con terrenos de su propiedad, inscritos en el Registro de la Propiedad Solicitan a la CHE autorización en zona de policía

Tras 2 años (en el mejor de los casos), la CHE autoriza, asegurando que los terrenos son DPH (cartográfico, probable, estimado…) y exigiendo el pago de un canon por ocupación del DPH (150 €/Ha y año)

Los propietarios recurren estas resoluciones ya que se trata de terrenos de su propiedad por los que se les obliga a pagar un alquiler extra. Se recurren en la Vía Contenciosa, hasta la fecha hay más de 30 sentencias de los Tribunales Superiores de Justicia de Navarra (27), La Rioja (2) y Aragón (1) que dan la razón a los propietarios. De estas sentencias hay 25 firmes.

Estas sentencias dicen que la CHE no puede declarar Dominio Público Hidráulico un terreno mediante una resolución de autorización de corta o de plantación de arbolado, ya que para ello, tal y como indica la Ley de Aguas, está el procedimiento de deslinde.

Pese a esta gran cantidad de sentencias en contra, la CHE ha continuado durante muchos años con la misma dinámica de continuar solicitando el canon por ocupación de DPH y obligando a los propietarios a acudir a los tribunales en defensa de su propiedad. Además de esto, pese a existir una sentencia firme de un Tribunal Superior de Justicia, la CHE ha continuado girando liquidaciones de canon de ocupación por esos terrenos.

Obliga a recurrir a los propietarios ante el Tribunal Económico Administrativo (TEAR) de Aragón en su sede de Zaragoza, previo pago antes de presentar el recurso.

El TEAR, hasta hace un tiempo, dictaba a favor de los propietarios, si bien ha cambiado ahora su criterio y le da la razón a la CHE pese a existir una sentencia firme que le indica lo contrario. Obliga ahora a los propietarios a interponer un nuevo Recurso Contencioso ante el Tribunal Superior de Justicia de Aragón (Todavía no se ha resuelto ninguno de ellos…)

En 2016 se reforma el Recurso de Casación contencioso. Lo que antes eran sentencias firmes, en determinado casos ahora pueden ser recurridas en casación en el Tribunal Supremo.

La CHE ha recurrido varias admitiéndole a trámite únicamente una de ellas. (Sentencia que debe dictarse en cuestión de días…)

En resumen:

Para plantar o cortar un chopo desde hace unos años en el valle del Ebro en el entorno fluvial, es necesario

- Solicitar autorización medioambiental ante la Comunidad Autónoma
- Solicitar autorización a la Confederación Hidrográfica del Ebro

- Tras la resolución, Recurso de Reposición en Vía Administrativa
- Presentar un Recurso Contencioso en el Tribunal Superior de Justicia Autonómico
- Presentar un Recurso Económico Administrativo en el TEAR de Aragón
- Volver a presentar un Recurso Contencioso en el TSJ de Aragón
- Oponerse en el Tribunal Supremo al Recurso de casación presentado por la CHE.

Con toda esta tramitación administrativa y judicial,

¿QUIÉN VA A PLANTAR CHOPOS EN EL EBRO?

Pero no acaban aquí las penalidades de los populicultores en sus relaciones con la CHE… Históricamente los plazos medios de resolución de expedientes por parte de la CHE para autorizar una corta o una plantación han sido de unos dos años (ver ejemplos del informe presentado en la Plataforma Juntos por los Bosques). Esta situación se ha recrudecido, llegando a la ABSOLUTA INACTIVIDAD en la resolución de expedientes por parte de la CHE.

En Navarra.
Año 2017: Solo un expediente de corta autorizado (y porque interesaba a la CHE por unas obras que está realizando en esa zona)
Año 2018. En los primeros 5 meses Ningún expediente de autorización resuelto.

Esto provoca la ABSOLUTA PARALIZACIÓN DE TODO EL SECTOR PRODUCTIVO EN EL EBRO

No se puede plantar y no se puede cortar.

Esto ha llegado a su máximo con la instauración, por parte de la CHE, de un nuevo procedimiento para llevar a cabo la tramitación de estas autorizaciones, que consiste en:

1. Solicitud del propietario, el cual en la misma tiene que indicar cómo considera el terreno, si DPH o Zona de Policía.
2. Al mes, en el mejor de los casos, la CHE contesta diciendo que ha recibido la solicitud, volviendo a solicitar que el propietario diga cómo considera su terreno e informándole de que se solicita informe al área de Hidrología de la propia CHE (informe interno) para que determine cómo considera los terrenos. Ese informe interno paraliza plazos (solo durante tres meses según la ley)
3. Este informe del área de Hidrología se retrasa hasta los 12 meses. Entonces la Confederación da traslado de los informes al propietario. En esos informes la CHE determina el terreno como DPH e insta al propietario a que otorgue su conformidad con esa determinación o que en el plazo de 15 días presente una prueba pericial contradictoria (12 meses la administración Vs 15 días el propietario). Con la conformidad, la CHE utiliza el cauce de resolución de terrenos situados en DPH y la propia CHE comunica la supuesta imposibilidad de presentar un recurso posterior. Se advierte que, en el caso de no dar la conformidad como DPH y no presentar la pericial contradictoria, el procedimiento se archiva. Por tanto, o el propietario acepta la determinación de DPH realizada por la CHE o no se inicia el Expediente y por tanto no puede cortar "su chopera" o plantar "sus terrenos"

ESTO ES UNA CONSULTA ABUSIVA QUE INVIERTE LA CARGA DE LA PRUEBA

Lo más curioso de este procedimiento es que, en el informe presentado, la CHE está dando la razón al propietario. "Tal procedimiento de autorización se tramita a los exclusivos efectos de ejercer la potestad de intervención –función de policía- atribuida por la ley de aguas a los Organismos de cuenca, a efectos de determinar la concurrencia de requisitos y circunstancias que harán posible autorizar la actividad solicitada, por no suponer un obstáculo para la corriente en régimen de avenidas, no ser causa de degradación o deterioro del estado de la masa de agua, del ecosistema acuático o del dominio público hidráulico (sea la ocupación en cauce, zona de policía o zona de servidumbre). En ningún caso el procedimiento de autorización del TRLA tendrá por objeto la delimitación de dominio público hidráulico ni

su determinación, así como tampoco la declaración de dominio – afirmando o negando derechos de propiedad sobre las parcelas en que se encuentre ubicada la ocupación objeto de autorización ."

Ahora, después de 13 meses, es cuando se da inicio al procedimiento de autorización

Comenzamos ahora con:

1. Solicitud de informes a los Ayuntamientos (con suspensión de plazos)
2. Solicitud de informes a la Comunidad autónoma (con suspensión de plazos)
3. Publicación en el Boletín Oficial
4. Emisión por parte de la CHE del Informe técnico (IT) previo
5. Resolución de autorización (pasan meses entre la emisión del IT y la resolución pese a la no presentación de alegaciones al mismo…).

(OTROS 12 MESES MÁS DE RETRASO….)

Con toda esta tramitación administrativa y estos retrasos

¿QUIÉN VA A PLANTAR CHOPOS EN EL EBRO?

Y EL SECTOR PRODUCTIVO TOTALMENTE PARALIZADO

Y ahora volvemos al inicio de toda esta exposición….

Todo comienza cuando el propietario del terreno decide plantar CHOPOS. Si decide plantar manzanos, perales, melocotoneros, maíz o alfalfa por ejemplo, no hay ningún problema, de hecho ni sabe de la existencia de la CHE. Los artículos 72 y 73 del Reglamento de Dominio Público Hidráulico (RD 849/1986) indican entre otras cosas: "La utilización o aprovechamiento por los particulares de los cauces o de los bienes situados en ellos requerirá la previa autorización administrativa.
Las autorizaciones para siembras, plantaciones y corta de árboles en terrenos de dominio público hidráulico, se sujetarán a lo dispuesto en el artículo 53 y a las siguientes normas:". Además, la Ley de Aguas (TRLA RD 1/2001) en su artículo 112 dice: "La ocupación, utilización y aprovechamiento de los bienes del dominio público hidráulico incluidos en los párrafos b) y c) del artículo 2 de la presente Ley, que requieran concesión o autorización administrativa, devengarán a favor del Organismo de cuenca competente una tasa denominada canon de utilización de bienes del dominio público hidráulico, destinada a la protección y mejora de dicho dominio".
Por tanto es claro que, en el caso de que un terreno sea considerado DPH, no solo el chopo necesita de autorización para su implantación, también la necesitan otras especies arbóreas o arbustivas (frutales o viña por ejemplo). Además a esos cultivos que ocupan el DPH también hay que pedirles el correspondiente canon de ocupación.

La realidad es que únicamente se obliga al chopo a pedir autorización de plantación con el correspondiente pago de canon y además solamente a los populicultores se les denuncia y sanciona si no la solicitan.

¿POR QUÉ SE OBLIGA A SOLICITAR AUTORIZACIÓN Y SE COBRA UN CANON DE OCUPACIÓN SOLAMENTE AL CHOPO?

La política que sigue la CHE a este respecto, además de ser totalmente discriminatoria para los populicultores respecto a los agricultores, roza claramente la ILEGALIDAD, ya que no se está cumpliendo lo que la Ley de Aguas y el Reglamento de Dominio Público dictaminan.

La política que está siguiendo la CHE en relación con el chopo, es totalmente diferente a la que siguen otras Confederaciones Hidrográficas, como se pone de manifiesto en el informe presentado en la Plataforma Juntos por los Bosques, lo que lleva aparejado un muy diferente desarrollo de la actividad populícola en cada región.

Mesa Políticas, gestión sostenible y productividad

Ha llegado el momento de dar una solución política a este asunto, si realmente se quiere promocionar el desarrollo del sector del chopo en España y evitar una nueva avalancha de procedimientos judiciales.

Disponemos del suelo y el clima adecuado, para producir una especie capaz de suministrar madera de forma rápida (España y Europa es deficitaria en madera y lo va a ser mas en el futuro)

Hay una industria que demanda la madera de chopo y que la necesita para crecer y generar puestos de trabajo y riqueza.
Por el contrario tenemos una administración que actúa como freno al desarrollo del chopo en el valle del Ebro.

SI NO SE ACTÚA YA DESAPARECERÁ EL CULTIVO DEL CHOPO EN EL EBRO.

El sector productivo en el entorno rural, desaparecerá.

El sector industrial de transformación, desaparecerá.

Los ingresos obtenidos por los Ayuntamientos propietarios de terrenos, desaparecerán.

Los beneficios medioambientales que el chopo produce, desaparecerán.

Superficie repoblada con chopo de producción en Castilla y León

GARCÍA PÉREZ, R.,[1]

1 Sociedad Pública de Infraestructuras y Medio Ambiente de Castilla y León. Junta de Castilla y León

Palabras clave

Populus, ortofotografía, turno, repoblación, posibilidad.

1. Introducción y objetivos

La presente comunicación versa sobre un trabajo que se ha llevado a cabo durante el año 2016 y principios de 2017 en colaboración con la Universidad de Valladolid, a través del programa de formación mediante prácticas en empresa para el Departamento de Recursos Naturales de la Sociedad Pública de Infraestructuras y Medio Ambiente de Castilla y León (SOMACYL).

El chopo es la especie arbórea de crecimiento rápido más productora de Castilla y León, siendo esta Comunidad la primera productora nacional. La orografía, las condiciones del medio y la gran extensión de vegas susceptibles de producir este cultivo, hacen que estas masas adquieran una importante relevancia, a nivel económico, social y ecológico, contribuyendo de un modo decisivo a la conservación y control de nuestros suelos y favoreciendo la depuración de manera natural de aguas. Al mismo tiempo, proporcionan y aportan beneficios directos mediante el aprovechamiento de sus producciones en el ámbito rural y proporcionan espacios aptos para su utilización recreativa.

El actual crecimiento de la industria del chopo en Castilla y León, así como la compra de madera de esta especie que realizan el resto de empresas distribuidas por todo el territorio nacional, principalmente para la fabricación de tablero contrachapado, requiere de un conocimiento exhaustivo de la cantidad y tipología de madera de chopo que va a ser apta para su aprovechamiento en la Comunidad para que la industria crezca con seguridad.

Los principales objetivos de este trabajo son:

1. Cuantificar los metros cúbicos anuales de madera de chopo de producción en Castilla y León, para tener un conocimiento de posibilidad anual, surtir de información a la industria del tablero contrachapado y potenciar las repoblaciones.
2. Obtener una cartografía precisa de las masas de chopo de producción.
3. Crear una base de datos donde se recopile toda la información obtenida sobre las características silvícolas de las plantaciones, que se podrá ir actualizando sobre las bases de datos asociadas a la cartografía creada a medida que se disponga de nuevas ortofotografías.

2. Material y métodos

Inicialmente se realizó una recopilación de información cartográfica para empezar a desarrollar el proyecto. La información de la que se partió fue:

- Información ortofotográfica procedente de los vuelos fotogramétricos realizados en los años comprendidos entre 1999 y 2014, y de los vuelos históricos de los años 1997 y (1977-1983). Estas ortofotografías se obtuvieron a partir del servicio Web Map Service (WMS), proporcionado por el Instituto Tecnológico Agrario de Castilla y León.
- Información de la delimitación de las provincias de Castilla y León en formato vectorial.
- Información de los núcleos poblacionales de la Comunidad Autónoma en formato vectorial.
- Información catastral, obtenida a partir del servicio WMS.
- Información de las cuencas hidrográficas de Castilla y León, en formato vectorial.
- Información de las choperas gestionadas por SOMACYL, en formato vectorial.

- Información de las choperas convenidas de la Junta de Castilla y León (JCyL), en formato vectorial.
- Información del inventario de choperas en formato vectorial de la comarca de Benavente, elaborado por BLOM sistemas Geoespaciales y promovido por el grupo de Acción Local MACOVALL 2000 dentro del Programa de desarrollo y diversificación económica en las zonas rurales (PRODERCAL), y su posterior ampliación financiada por la Junta de Castilla y León.

Sobre estas capas de información, se elaboró una malla de 5.000 × 5.000 metros de todo el territorio de Castilla y León, en formato vectorial.

La metodología empleada se puede dividir en las siguientes fases:

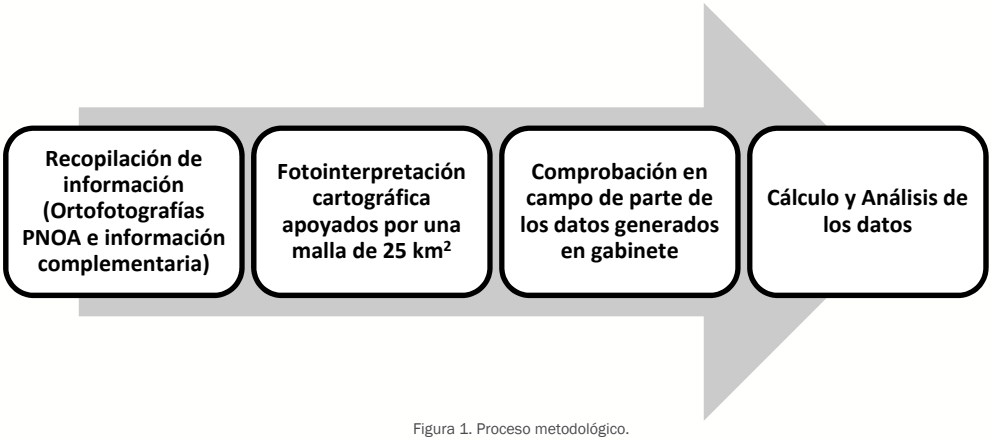


Figura 1. Proceso metodológico.

La base para la elaboración de la cartografía de la vegetación fue la ortofotografía del año 2014. A partir de esta se hizo una fotointerpretación de los límites de los recintos de las masas de chopos. Las teselas de vegetación se delimitaron con base en unos criterios que condujesen a cartografiar superficies homogéneas y continuas. Dichos criterios fueron:

1. Las masas continuas son aquellas superficies repobladas en el mismo año que no estén separadas por un arroyo, ni autovía, carretera o camino de primer orden.
2. Los tendidos eléctricos, las acequias u otras ocupaciones no generan diferentes masas.
3. Las choperas recientemente cortadas y con presencia de tocones, se contabilizan como masa, ya que pueden ser susceptibles de volver a ser plantadas.
4. Los rebrotes desarrollados y bien definidos como plantación, también son contabilizados a nivel superficial, pudiendo tener un aprovechamiento en el sector de la biomasa con posterior posibilidad de plantación.
5. Las plantaciones realizadas anteriormente al año 1992 y que actualmente se encuentren en pie son consideradas repoblaciones no conseguidas y/o naturalizadas.

Fijados los criterios, se procedió a la delimitación cartográfica, ver Figura 3, y creación de la base de datos donde se recopiló toda la información alfanumérica de las características silvícolas de las choperas de producción. Dicha base de datos contiene:

- La Provincia de la superficie cartografiada.
- El Término municipal de la parcela digitalizada.
- El Año de Plantación de la superficie homogénea.
- El Turno de Corta que presenta la especie en función de la zona en la que se encuentra plantada. El turno asignado ha sido de 15, 16 o 17 años, como se puede observar en la Figura 2.

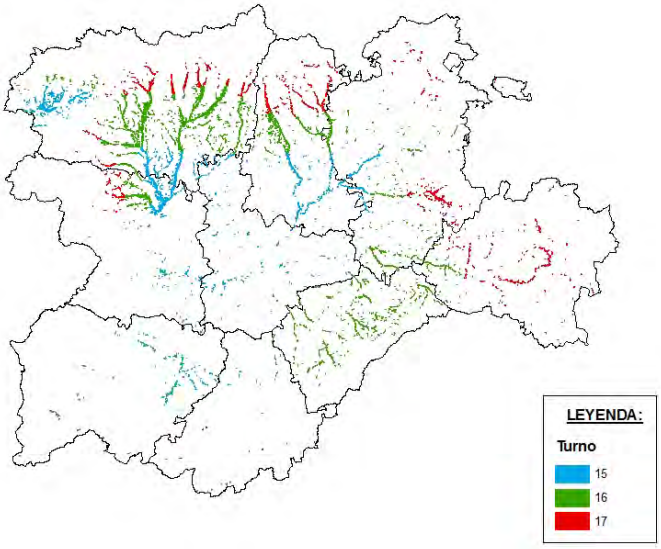


Figura 2. Mapa de turnos asignados a las diferentes plantaciones.

- La Calidad asignada en función de la capacidad productiva que tiene el terreno. En la Tabla 1 podemos ver la calidad asignada a cada crecimiento corriente.

Calidad	Crecimiento
1	CC ≥17 m^3/ha año
2	17 m^3/ha año > CC ≥ 13 m^3/ha año
3	13 m^3/ha año > CC ≥10 m^3/ha año
4	CC ≤ 10 m^3/ha año

Tabla 1. Calidades asignadas en función del crecimiento.

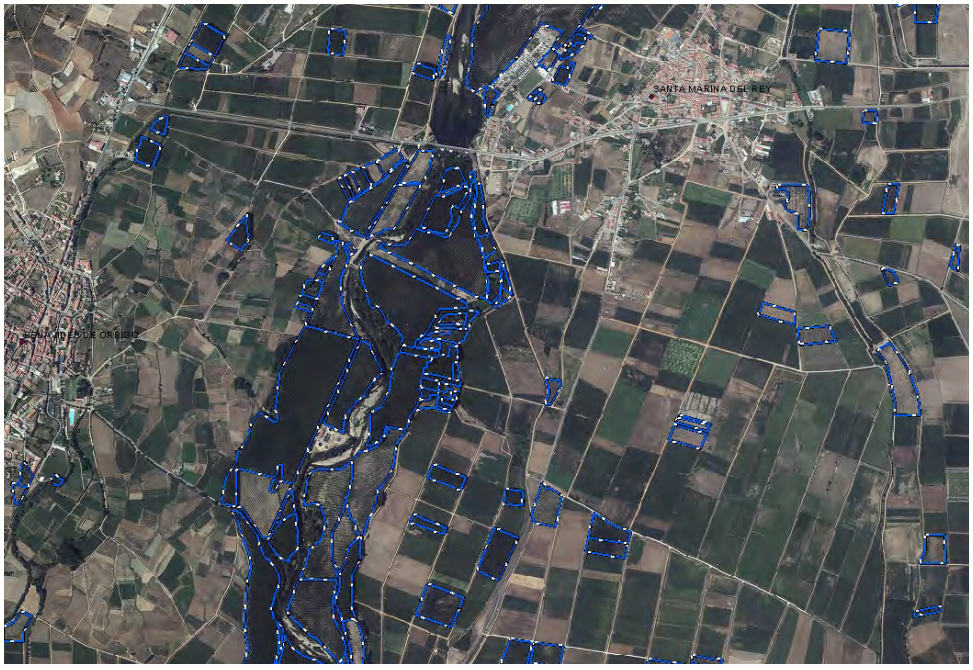


Figura 3. Delimitación cartográfica de un tramo con diferentes tipos de teselas

Una vez realizada la delimitación en gabinete, se recorrió en coche las vegas más importantes del área de estudio, así como varias delimitaciones dudosas, para revisar y comprobar el teselado efectuado, pudiendo así detectar, corregir y rectificar los errores cometidos en la realización de la fotointerpretación.

Una vez finalizado el proceso de fotointerpretación y comprobación en campo, se exportó la base de datos a una hoja de cálculo para poder obtener los siguientes datos:

A. Superficie total en hectáreas de masa de chopo de producción en Castilla y León.
B. Superficie total en hectáreas de masa de chopo de producción por provincia y año de plantación.
C. Posibilidad en metros cúbicos por año de corta en Castilla y León.
D. Posibilidad en metros cúbicos por año de corta por provincia.

Los criterios utilizados para estos cálculos han sido los siguientes:

- Las plantaciones realizadas anteriormente a 1992 (incluido este año) y la superficie con rebrotes de chopos y tocones se considerarán indeterminadas y su posibilidad no será calculada.
- Las plantaciones realizadas durante el periodo 1993-2001 (incluidos) se contabilizarán conjuntamente sus posibilidades, repartiendo 1/8 de este cómputo a cada año entre el periodo de corta 2017-2022. Quedando 2/8 del cómputo como no aprovechables, debido a las pérdidas de madera generada en las mismas.

Excepciones:

- Las plantaciones realizadas en 2000 y que tengan un turno de 17 años no serán consideradas en este sumatorio.
- Las plantaciones realizadas en 2001 y que tengan un turno de 16 y 17 años tampoco serán consideradas en este grupo.
- Las superficies plantadas en los años 2015 y 2016 son estimaciones con base en diferentes tipos de datos, como solicitudes de cortas, plantaciones realizadas por la administración, etc.

Para calcular la superficie que ha sido plantada en el año 2017 solo se ha tenido en cuenta las plantaciones realizadas por SOMACYL en la campaña 2016-2017, debido a la falta de medios para la fotointerpretación, por lo que la posibilidad de 2034 sólo corresponde a este cómputo.

3. Resultados

La superficie total de chopo de producción para madera de calidad en Castilla y León asciende a 44.259 ha. En el siguiente gráfico se detalla la distribución de esta superficie por provincias.

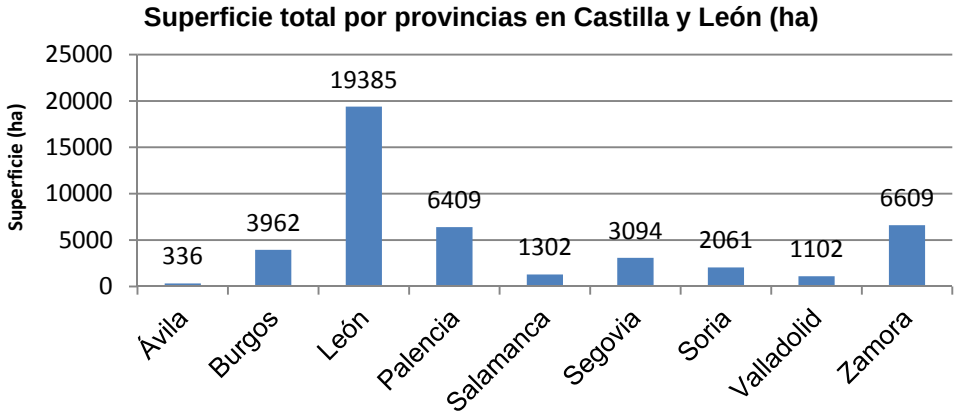


Figura 4. Superficie de choperas de producción provincial en Castilla y León.

Los datos de la Figura 4 sitúan a la provincia de León en primer lugar con el 44 % de la superficie total de la Comunidad, en segundo y tercer lugar se encuentran las provincias de Zamora y Palencia, presentando el 15% y el 14% respectivamente.

En los siguientes gráficos se cuantifica la superficie que se ha repoblado de chopo para madera de calidad por provincia y año de plantación.

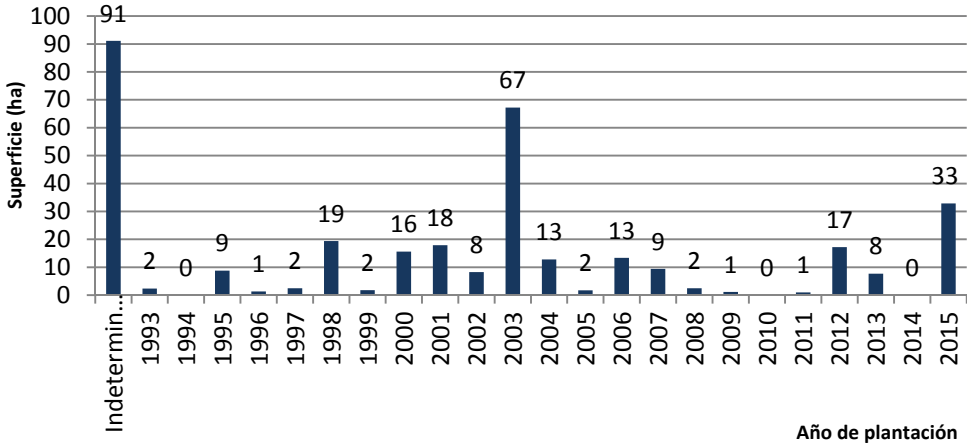


Figura 5. Superficie por año de plantación en la provincia de Ávila.

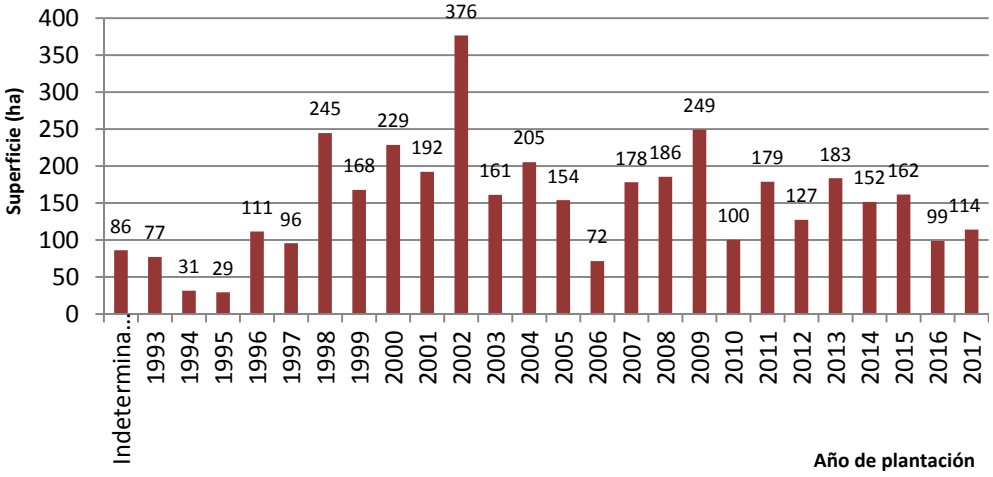


Figura 6. Superficie por año de plantación en la provincia de Burgos

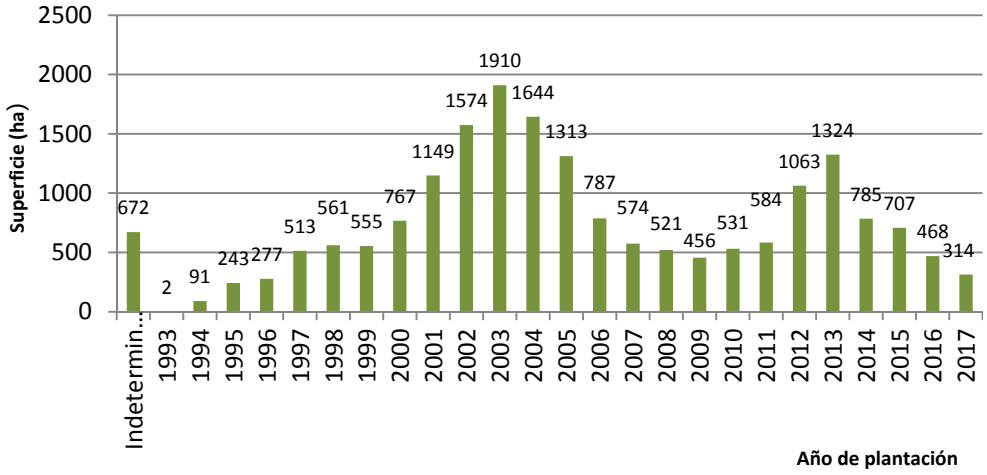


Figura 7. Superficie por año de plantación en la provincia de León.

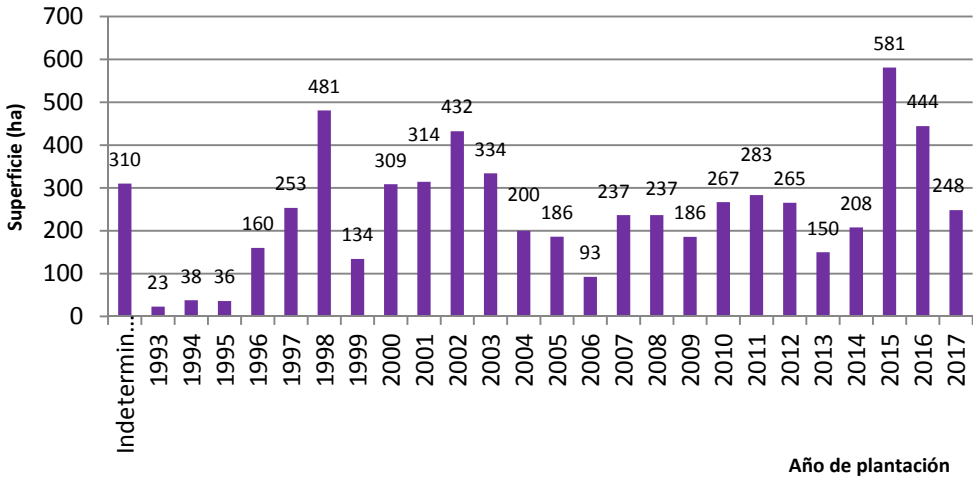


Figura 8. Superficie por año de plantación en la provincia de Palencia.

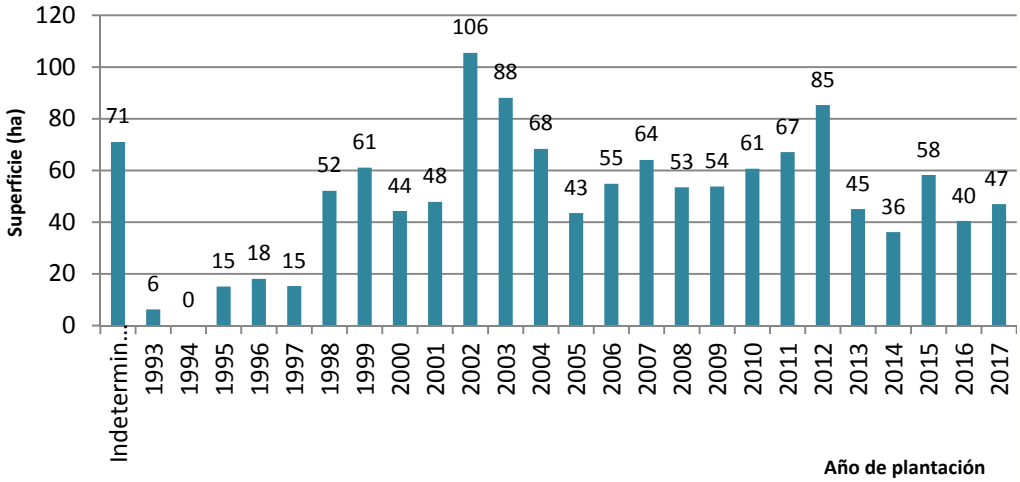


Figura 9. Superficie por año de plantación en la provincia de Salamanca.

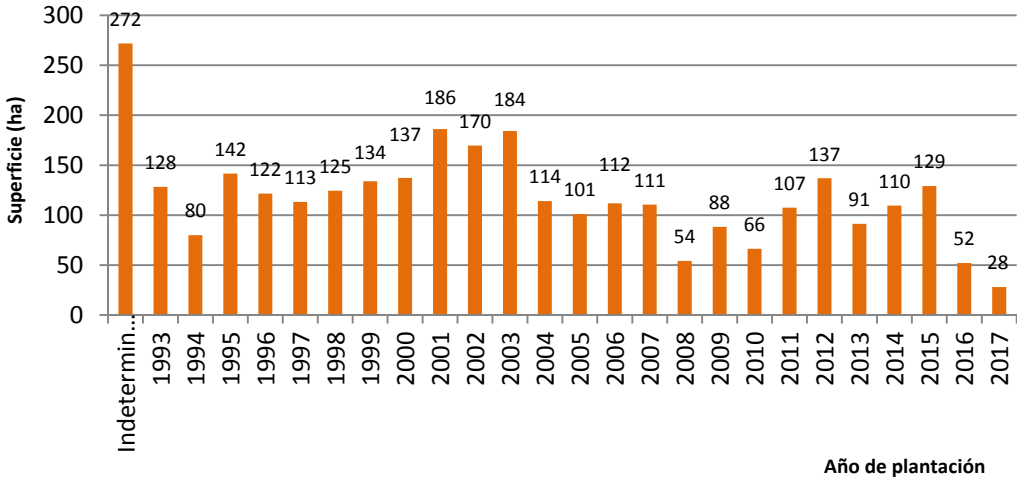


Figura 10. Superficie por año de plantación en la provincia de Segovia.

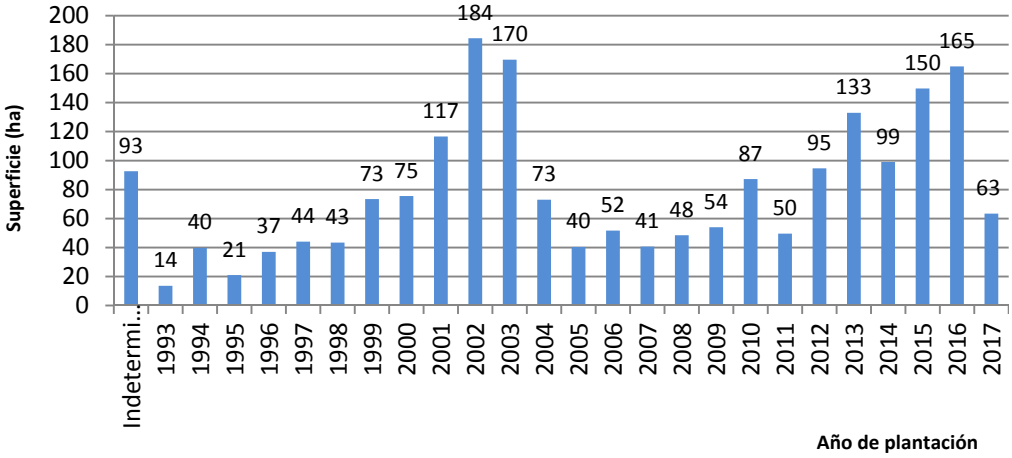


Figura 11. Superficie por año de plantación en la provincia de Soria.

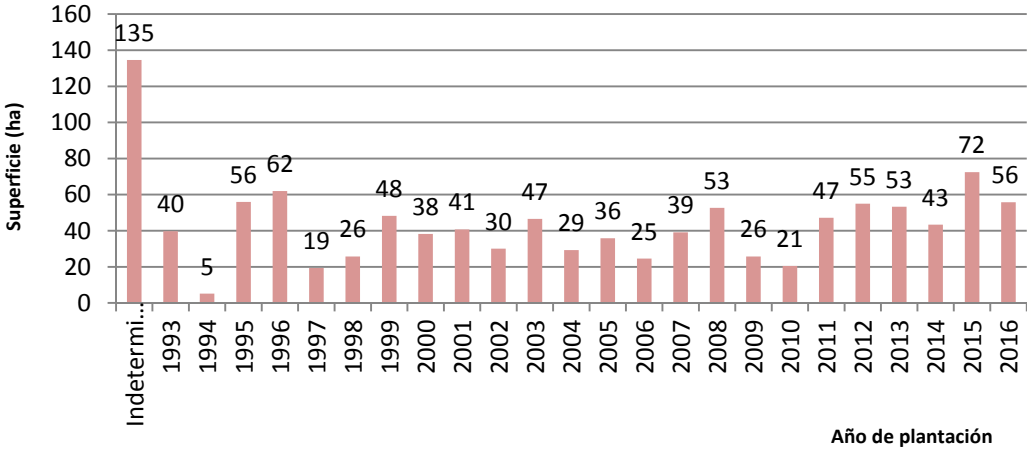


Figura 12. Superficie por año de plantación en la provincia de Valladolid.

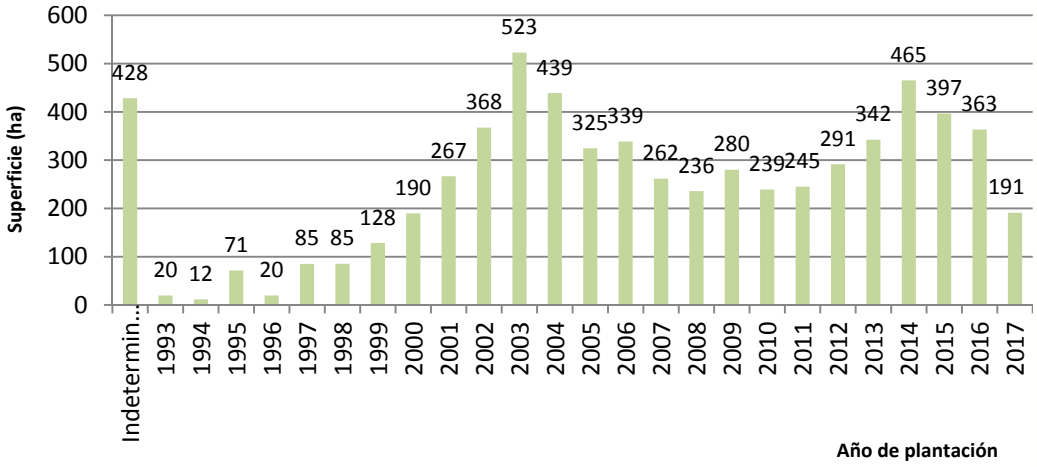


Figura 13. Superficie por año de plantación en la provincia de Zamora.

A partir de las superficies inventariadas, se ha calculado la posibilidad de madera de chopo en Castilla y León (Figura 15), con base en las calidades asignadas a cada tesela, siendo la posibilidad total de madera aprovechable, principalmente por la industria del contrachapado, para el periodo 2017-2034 de 7.797.790 m³.

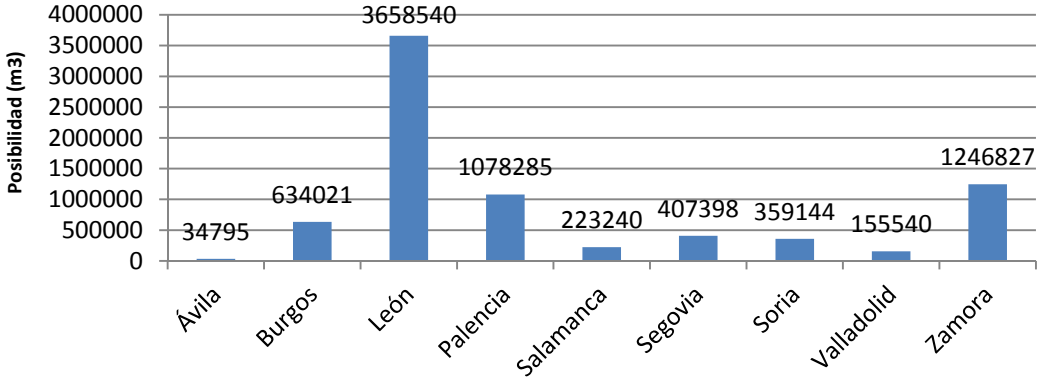


Figura 14. Posibilidad total en metros cúbicos por provincias en Castilla y León.

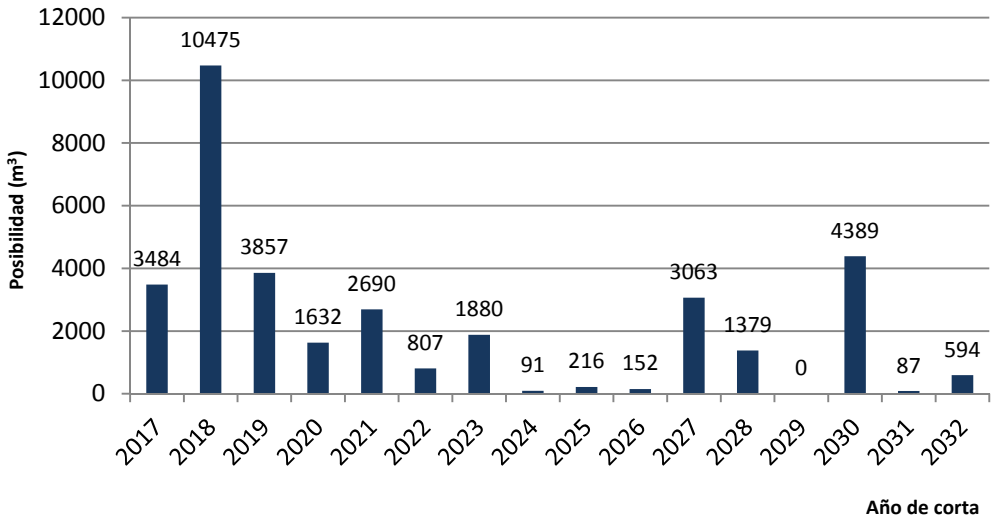


Figura 15. Posibilidad por año de corta en la provincia de Ávila.

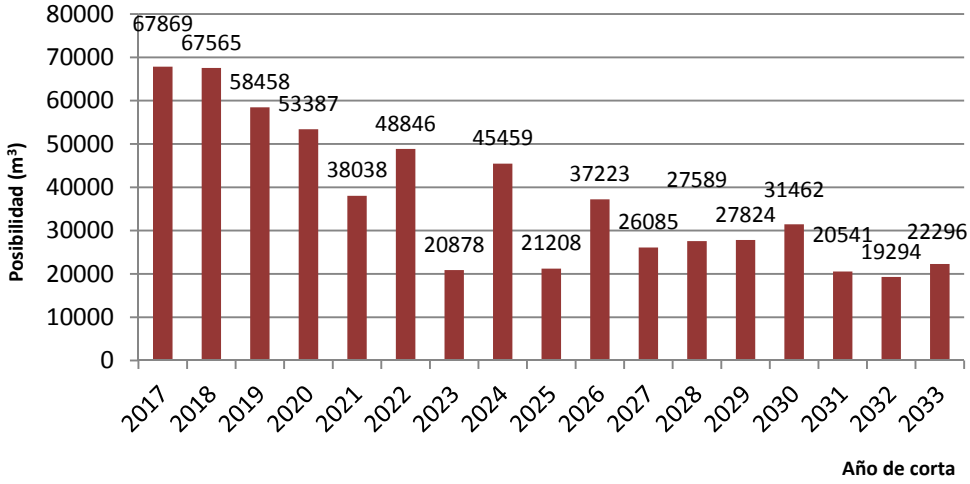


Figura 16. Posibilidad por año de corta en la provincia de Burgos.

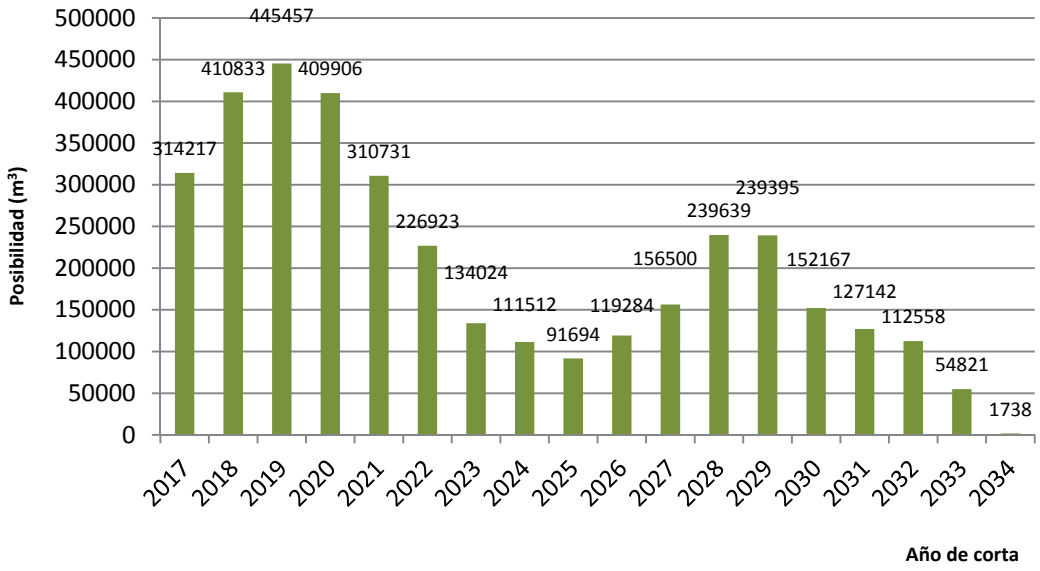


Figura 17. Posibilidad por año de corta en la provincia de León

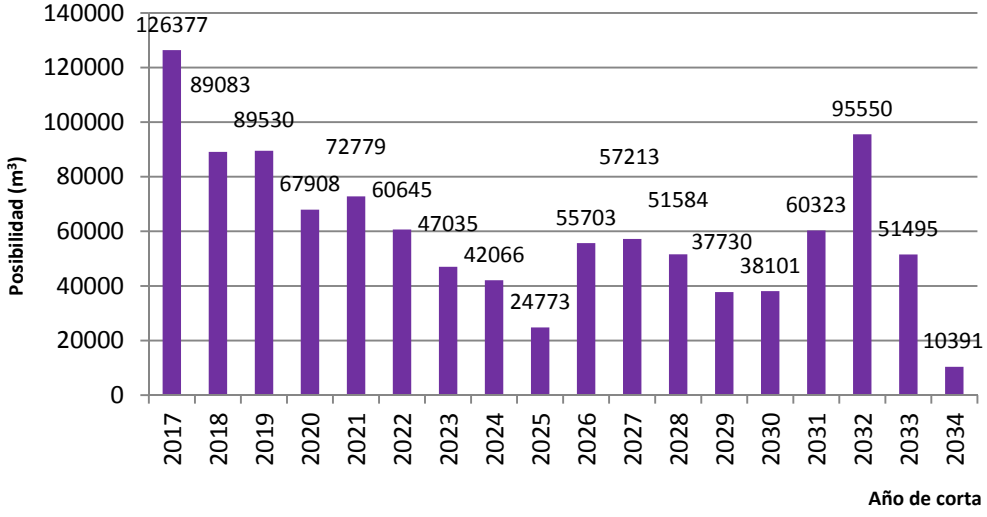


Figura 18. Posibilidad por año de corta en la provincia de Palencia.

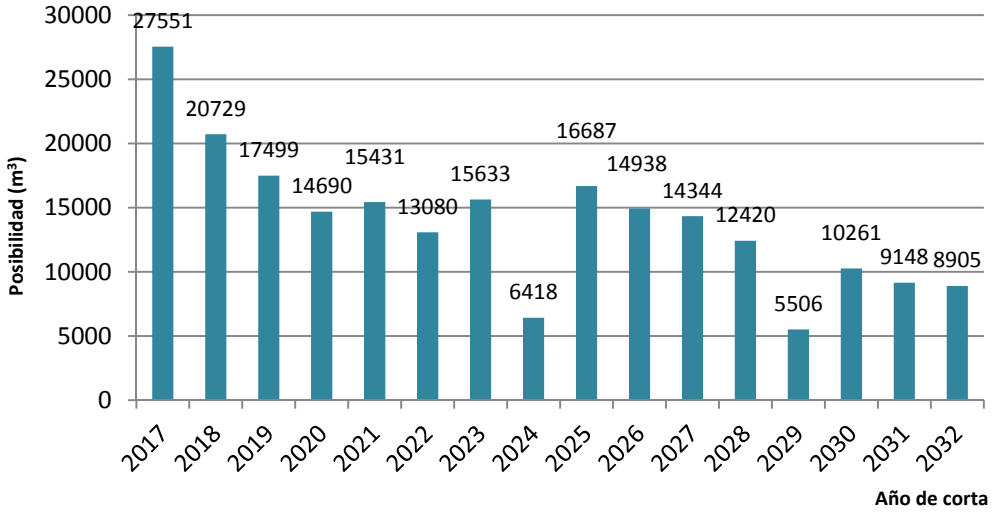


Figura 19. Posibilidad por año de corta en la provincia de Salamanca.

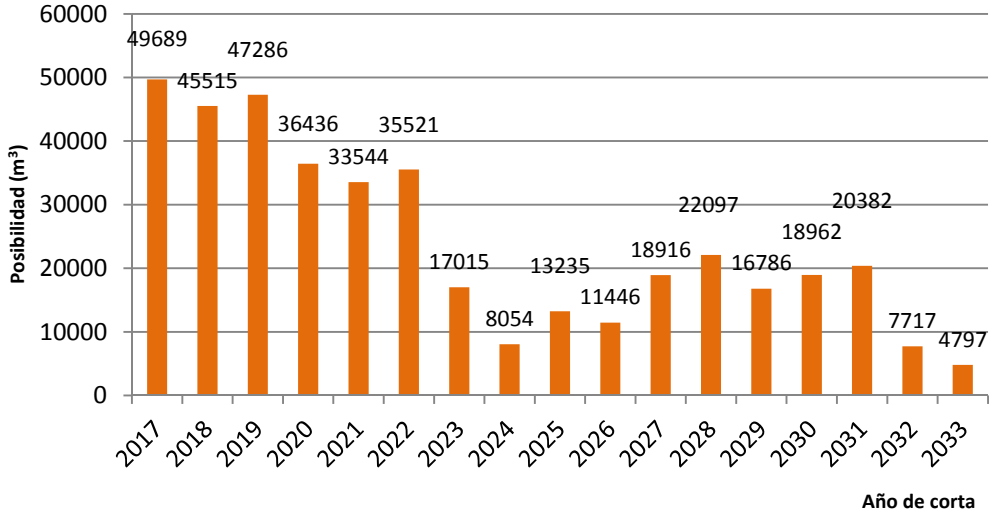


Figura 20. Posibilidad por año de corta en la provincia de Segovia.

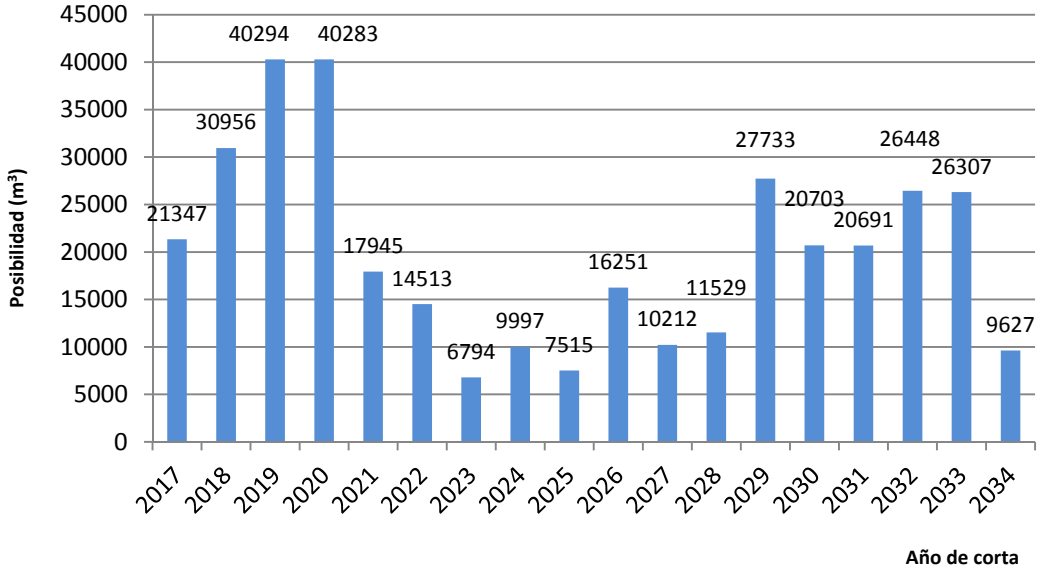


Figura 21. Posibilidad por año de corta en la provincia de Soria.

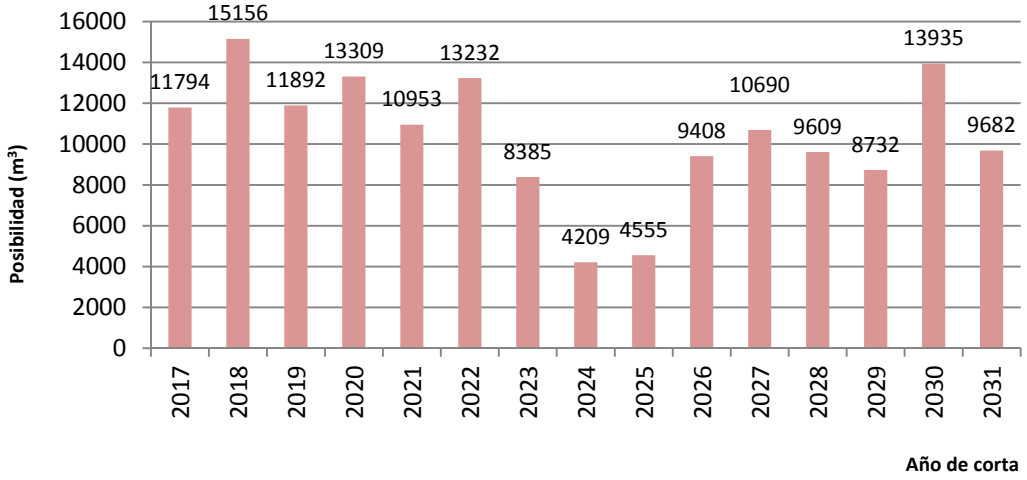


Figura 22. Posibilidad por año de plantación en la provincia de Valladolid.

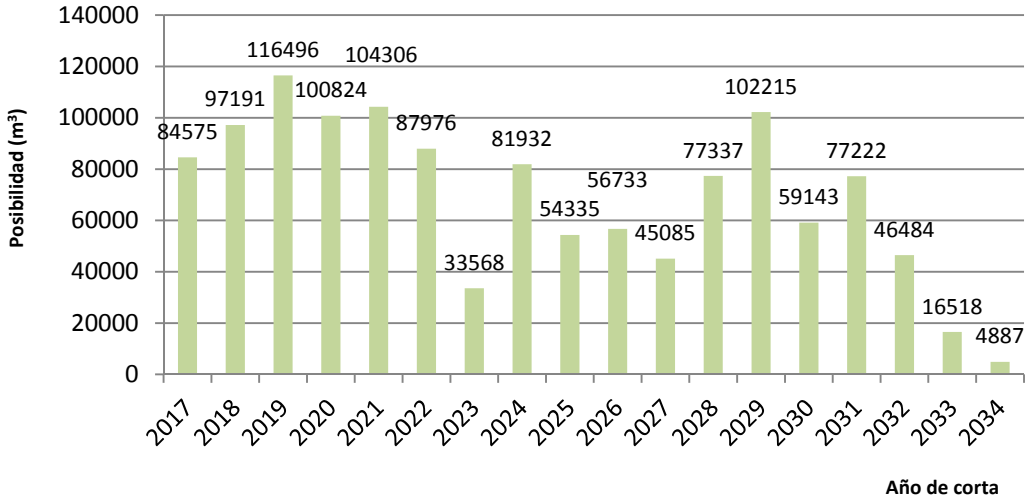


Figura 23. Posibilidad por año de plantación en la provincia de Zamora.

4. Discusión y conclusiones

La superficie repoblada con chopo de producción para madera de calidad en Castilla y León es de 44.259 ha con una posibilidad total de 7.797.790 m³ para el periodo 2017-2034, siendo la provincia de León la que presenta mayor superficie y producción, seguida de Zamora y Palencia.

En el período 2000-2004 se produjo un incremento de la actividad repobladora debido al aumento de la demanda que se había experimentado en los últimos años de la década de los 90. A partir de 2005 se produce un descenso de la superficie de repoblaciones debido a que la Confederación Hidrográfica del Duero abandona esta actividad, hasta que en 2010 es retomada en parte por la Sociedad Pública de Infraestructuras y Medio Ambiente de Castilla y León.

5. Bibliografía

RUEDA, J.; GARCÍA CABALLERO, J.L.; CUEVAS, Y.; GARCÍA-JIMÉNEZ, C.; VILLAR, C; (2016) Cultivo de chopos en Castilla y León. Consejería de Fomento y Medio Ambiente, Junta de Castilla y León. Valladolid.

RUEDA, J. ET AL., (2016). Clones de chopos del Catálogo Nacional de Materiales de Base. Consejería de Fomento y Medio Ambiente, Junta de Castilla y León. Valladolid. Versión febrero de 2016.

JUNTA DE CASTILLA Y LEÓN (2008). Realización de un inventario de choperas y bosques de Ribera en 17 términos Municipales de la comarca de Benavente y los Valles (Zamora). Elaborado por Blom Sistemas Geoespaciales S.L.U.

MACOVALL 2000 (2007): Realización de un inventario comarcal de choperas y bosques de ribera en la comarca de "Los Valles de Benavente", provincia de Zamora. Elaborado por Blom Sistemas Geoespaciales S.L.U.

Turno óptimo y rentabilidad en las choperas de Castilla y León y de La Rioja

LÓPEZ-COVARRUBIAS MOLINERO, D.[1]; DÍAZ BALTEIRO, L.[2]

[1] Dirección General del Medio Natural. Consejería de Agricultura, Ganadería y Medio Ambiente. Gobierno de La Rioja.

[2] Escuela Técnica Superior de Ingeniería de Montes, Forestal y del Medio Natural, UPM, Madrid.

Palabras clave

Gestión forestal, carbono, plantaciones forestales.

1. Introducción y objetivos

A pesar de la evidente importancia que presenta esta especie tanto en la oferta nacional de madera, como a escala de ciertas CC.AA., no abundan trabajos que analizan en profundidad aspectos económicos asociados a esta especie, aún a pesar de ciertos problemas evidentes que presentan estos sistemas forestales. En efecto, y sin pretender ser exhaustivos, aspectos como el apagón futuro (utilizando un término muy empleado en otras plantaciones de eucalipto) debido a la reducida oferta de madera que se va a producir en el futuro en relación con la demanda nacional, el impacto de ciertas desafortunadas disposiciones legales (canon hidráulico), el posible impacto del Real Decreto 163/2014, de 14 de marzo. Asimismo, y a diferencia de otros países como Italia (Testa et al., 2014), la rentabilidad de plantaciones destinadas a cultivos energéticos no ha sido analizada en detalle, ni en duraciones muy cortas (1-4 años) ni medias (5-7 años).

En este contexto, el principal objetivo de esta comunicación sería analizar la rentabilidad y el turno óptimo de plantaciones con chopos en dos casos de estudio: Castilla y León y La Rioja. Este análisis se va a realizar considerando distintos escenarios relacionados con la existencia de subvenciones o consorcios por el lado de los cobros y de otros hipotéticos costes por el lado de los pagos. Como objetivo secundario de este trabajo se abordará la posibilidad de que las plantaciones de chopos se puedan incluir en el Real Decreto 163/2014, según el cual el carbono capturado por las mismas puede ser objeto de transacción en el mercado. La inclusión de este nuevo servicio ecosistémico puede, a priori, modificar tanto la rentabilidad privada de los propietarios como el turno de dichas plantaciones (López-Covarrubias Molinero y Díaz Balteiro, 2017), circunstancia que también se analizará en esta comunicación.

Estudios anteriores relacionados con estos objetivos pueden encontrarse en Díaz Balteiro y Romero (1994) donde se analizan estos dos aspectos clave (rentabilidad y turnos óptimos) en choperas de Castilla y León. Para ello, se han estudiado tres clones ('Campeador', 'I-214' y 'MC') bajo la hipótesis de que los propietarios pueden verse beneficiados por las subvenciones a la forestación de tierras agrarias de la PAC. Tomando uno de estos tres clones ('I-214'), Esteban López et al. (2005) analizan el turno óptimo introduciendo los aspectos fiscales en el análisis. Es decir, hasta ahora los estudios económicos sobre esta especie se habían realizado siempre sin incluir el pago de impuestos que el propietario de la chopera tiene que abonar en función de los ingresos que reciba. Los resultados de este trabajo muestran, en general, poca variación del turno antes o después de considerar los impuestos, pero la rentabilidad, medida a través del valor esperado del suelo, ofrece unas variaciones considerables. Por otro lado, Aunós et al. (2002) analizan fundamentalmente la rentabilidad de choperas en la cuenca del Ebro (Huesca y Lérida) para el clon 'MC', introduciendo en el análisis distintas opciones en cuanto a aspectos técnicos (altura de podas) y económicos. Por último, también se deben mencionar los trabajos relacionados (Álvarez y Bengoa, 2001; Díaz Balteiro y Romero, 2001) presentados en el I Simposio del Chopo celebrado en Zamora.

2. Material y métodos

En primer lugar, es preciso señalar una serie de hipótesis que se han seguido en este trabajo. Así, se han simulado dos plantaciones (una en cada CC.AA.) que se han plantado en este año 2018, cada una con una

selvicultura determinada. Por otro lado, se trabajará con magnitudes reales y los resultados serán siempre antes de considerar los impuestos. La tasa de descuento empleada es del 5%. Además, se considerarán varios escenarios en este trabajo. El primero de ellos sería el caso base, sin otros añadidos. Aunque somos conscientes de que en los últimos años no ha habido normativa al respecto en Castilla y León, el escenario 2 ha incorporado en el análisis la existencia de unas hipotéticas subvenciones considerando que sólo cubren el coste de forestación. Es decir, no se incluyen aspectos como primas de mantenimiento o compensación. Por su parte, en el caso estudiado en La Rioja, se han considerado las subvenciones recogidas para este tipo de plantaciones en las *Ayudas para acciones de desarrollo y ordenación de los bosques en zonas rurales*. El motivo de incluir este escenario ha sido ver el efecto que tendría en estas plantaciones medidas de política forestal de esta índole. El tercer escenario modeliza la existencia de un consorcio/convenio entre el propietario y una empresa (privada o pública) por el cual se desentiende de todo tipo de labores culturales. Sólo deja el terreno y en el momento de la corta se queda con el 50% de los ingresos debidos a la corta final. El escenario 4 introduce en el análisis la existencia de unos ingresos motivados por el carbono capturado por estas plantaciones. Aunque el Decreto RD 163/2014 presenta evidentes limitaciones (López-Covarrubias Molinero y Díaz Balteiro, 2017), como no forzar a un registro de los precios a los que se intercambia esta nueva "*commodity*", se ha preferido incluir esta metodología con el fin de parametrizar valores del carbono capturado y comprobar cómo la consideración de este *output* afecta a los escenarios anteriores.

Comenzando por el caso de Castilla y León, en este trabajo se ha empleado el clon *Populus ×euramericana* 'Campeador'. Para el cálculo de su función de producción se ha partido de las tablas de producción publicadas para la Cuenca del Duero (Bravo et al., 1995). De entre las distintas calidades de estación disponibles en esta publicación se ha elegido la correspondiente a la calidad I. El motivo de esta elección, y no, por ejemplo, de una calidad media, ha sido la constatación, según datos aportados por técnicos y expertos, de que los volúmenes ofrecidos son menores de los que se obtienen en la realidad. Esta circunstancia se puede observar analizando las tablas de cubicación publicadas más recientemente (Rueda et al., 2017). La selvicultura aplicada y los costes asociados a cada intervención se han recogido en la Tabla 1. Estas informaciones proceden de Olga González (2018, comunicación personal), y el precio considerado ha sido el precio medio obtenido en las subastas de FAFCYLE en abril de 2018.

En cuanto al caso de la Comunidad Autónoma de La Rioja, el caso estudiado se centra en el clon *Populus ×euramericana* 'I-214'. La función de producción utilizada se ha obtenido a partir de los volúmenes por hectárea publicados para plantaciones a raíz profunda sin riego (Padró Simarro, 2003) para una calidad de estación media (Calidad II). Los datos de selvicultura aplicada y costes asociados aparecen en la Tabla 1, y han sido obtenidos de la Revisión del Plan Técnico de choperas del MUP nº183 de Haro (La Rioja) (Serna García y Soto Rey, 2016), actualizando los datos, al igual que en el caso de Castilla y León, según el IPC hasta 2018. Por último, dentro de los pagos se ha incluido la existencia del canon de la Confederación Hidrográfica del Ebro (CHE) por valor de 150,35€/ha y año.

Tabla 1. Actuaciones y costes (€/ha) considerados en ambos casos de estudio (Castilla y León y La Rioja)

Año	ACTUACIÓN	CyL	Año	ACTUACIÓN	La Rioja
0	Forestación	2313,8	0	Desbroce/Destoconado con glifosato/Forestación	2808,2
1	Gradeo	100,6	1	Gradeo cruzado	154,2
1	Poda guía	44,0	2	Gradeo cruzado	154,2
2	Gradeo	100,6	2	Poda baja	289,7
2	Poda guía	44,0	3	Gradeo cruzado	154,2
3	Gradeo	100,6	3	Poda baja	289,7
3	Poda limpieza	242,0	4	Gradeo cruzado	154,2
4	Gradeo	100,6	4	Poda baja	289,7
4	Poda limpieza	329,9	5	Gradeo cruzado	154,2
5	Gradeo	100,6	5	Poda alta	1100,9
5	Poda limpieza	465,1	6	Gradeo cruzado	154,2
6	Gradeo	100,6	6	Poda alta	0.0
6	Poda limpieza	465,1	7	Gradeo simple	77,1
7	Gradeo	100,6	7	Poda alta	1100,9
7	Poda limpieza	465,1	8	Desbroce	251,5
8	Gradeo	100,6	9	Desbroce	251,5
9	Gradeo	100,6	10	Desbroce	251,5
10	Gradeo	100,6	11	Desbroce	251,5
11	Gradeo	100,6	12	Desbroce	251,5
12	Gradeo	100,6	13	Desbroce	251,5
13	Gradeo	100,6	14	Desbroce	251,5
14	Gradeo	100,6	15	Desbroce	251,5
15	Gradeo	100,6	16	Desbroce	251,5
16	Gradeo	100,6			

En cuanto a los cobros, para el caso de Castilla y León se ha tomado como precio de la madera el precio medio correspondiente a la última subasta (abril del año 2018) gestionada por FACYLE (Federación de Asociaciones Forestales de Castilla y León) y que ha alcanzado 56,1€/m^3. Para el caso de La Rioja se corresponde con un promedio de los precios de licitación para las choperas de gestión pública en La Rioja en el periodo 2013-2018, suponiendo un incremento del 15% del precio de licitación en la adjudicación del aprovechamiento, resultando un precio de 52,4€/ m^3. También se ha considerado un escenario con subvenciones (Escenario 2). Para el caso de Castilla y León, aunque no están vigentes en la actualidad, se ha optado por simular un escenario donde la subvención cubre los costes de plantación. Sin embargo, para el caso de La Rioja, se han tomado los datos recogidos en el Programa de Ayudas para acciones de desarrollo y ordenación de los bosques en zonas rurales -Línea 2: Plantación de chopos; y Línea 4: Trabajos y cuidados culturales en choperas (destoconado; laboreos; podas y tratamientos fitosanitarios). En el Escenario 3, como se ha comentado anteriormente, se ha supuesto que existe la posibilidad de establecer un consorcio con una empresa del sector. En este caso, se ha asumido que dicha empresa corre con todos los pagos asociados a la forestación y, en el caso de los cobros, se queda con el 50% del valor de la venta de madera en la corta final. Por último, para el Escenario 4, donde se incluye la posibilidad de incorporar ingresos asociados a la captura de carbono que realizan estas plantaciones de acuerdo con el RD 163/2014, el precio considerado para este nuevo *output* ha sido de 9,9€/tC, promedio de los últimos diez años recogido en la web Sendeco2[1]. Nótese que, aunque esta página web no recoge el precio realmente cobrado por los propietarios (esa información es opaca según el citado RD 163/2014), se ha estimado como indicador de dicho precio el valor de la tonelada de carbono en los mercados de derechos de emisión de carbono. Finalmente, se ha supuesto la hipótesis más favorable para el

1 http://www.sendeco2.com/es/

propietario, según la cual los cobros asociados a la captura de carbono se reciben al inicio de la plantación.

Dos aproximaciones se suelen utilizar a la hora de integrar la inflación en un análisis de la rentabilidad de una plantación industrial. La primera sería trabajar con flujos de caja medidos en precios corrientes, es decir, precios que llevan incorporada la inflación y una tasa de descuento nominal. La segunda forma de integrar la inflación consiste en trabajar con los flujos de caja exentos de inflación. Es decir, se trabajaría con precios constantes. De la misma forma, la tasa de descuento a emplear estaría exenta de inflación, denominándose en este caso tasa real de descuento. En este trabajo se ha seguido la segunda vía, y se ha incluido en el análisis una tasa real de descuento del 5%.

Una vez descritos los escenarios, el material y algunas hipótesis consideradas, es preciso describir la metodología empleada en este análisis con el fin de abordar los objetivos anteriormente expuestos. En síntesis, se ha seguido la metodología habitualmente empleada para el cálculo del turno económicamente óptimo, lo que corresponde a particularizar a esta casuística la solución ya propuesta por Faustmann (1849). Esta metodología asocia la vida óptima de una masa a aquella edad en la cual el valor actual neto asociado a la inversión subyacente es máximo, pero asumiendo el coste de oportunidad de tener el suelo ocupado (Romero, 1997). Como es sabido, esta solución propone un equilibrio económico entre las decisiones de cortar o no cortar la masa basados en una regla de conducta económica muy precisa por parte del propietario. En efecto, se asume un comportamiento maximizador del beneficio por parte del propietario forestal, lo que conlleva a que éste intentará maximizar el valor actual neto (VAN) asociado a la inversión, y se demuestra que el valor máximo de este VAN suponiendo una corriente infinita de flujos de caja (valor esperado del suelo, VES) proporciona el turno óptimo. Por otro lado, en el análisis realizado se ha tomado una tasa de descuento con acumulación continua. Este tipo de análisis es bastante común en el ámbito de la economía forestal (i.e., Díaz Balteiro y Romero, 1994; Mutke *et al.,* 2000), y dado que este trabajo no tiene pretensiones de tipo académico, se ha optado por no describir todas las expresiones matemáticas que subyace a esta formulación. Aquellos lectores que estén interesados en profundizar en estas cuestiones pueden consultar Diaz-Balteiro *et al*. (2014). Finalmente, los resultados mostrados no incluyen, a diferencia de otros estudios (Esteban López *et al.,* 2005), la incorporación de aspectos fiscales.

3. Resultados

En primer lugar, la Tabla 2 muestra los resultados básicos alcanzados en cuanto a las dos magnitudes principales en este estudio (turno óptimo y VES) para los cuatro escenarios considerados y para cada uno de los casos de estudio (Castilla y León y La Rioja). Como se puede apreciar, existe una ligera variabilidad en cuanto al turno óptimo, pero siempre se sitúa en valores menores de 15 años para ambas Comunidades.

Tabla 2. Resultados básicos para los escenarios propuestos

	Castilla y León		La Rioja	
	Turno óptimo	VES (€/ha)	Turno óptimo	VES (€/ha)
Escenario 1	14	7669,9	14	2244,6
Escenario 2	13	12509,1	14	7074,6
Escenario 3	12	8422,6	13	6154,8
Escenario 4	14	10903,3	14	5503,3

Por otro lado, se demuestra que la elasticidad en cuanto al VES es mayor que la del turno óptimo. Así, cualquier ingreso adicional modifica sustancialmente el valor del VES, bien sea a través de una subvención (Escenario 2) o a través de ingresos motivados por la captura de carbono (Escenario 4). También es preciso destacar que, en ambos casos, y con las hipótesis consideradas, al propietario le sale más rentable articular un consorcio en vez de asumir todos los costes ligados a este tipo de plantaciones. Es

decir, en ausencia de subvenciones y de ingresos por la captura de carbono, el consorcio proporciona mejores resultados que el escenario básico (Escenario 1).

Con el fin de facilitar la comparación entre los dos casos de estudio, se ha estimado oportuno repetir el análisis del caso de la Comunidad de La Rioja obviando la existencia del canon que obliga a pagar la Confederación Hidrográfica del Ebro. Excluyendo el canon en el análisis, los resultados serían los mostrados en la Tabla 3

Tabla 3. Resultados básicos para la Rioja

	sin canon		con el canon	
	Turno óptimo	VES (€/ha)	Turno óptimo	VES (€/ha)
Escenario 1	14	5175,1	14	2244,6
Escenario 2	14	10005,1	14	7074,6
Escenario 3	13	9085,3	13	6154,8
Escenario 4	14	8433,8	14	5503,3

Por último, dado que el precio considerado para el carbono no procede de datos reales de choperas y el listado de Proyectos de absorción disponible[2] no incluye ninguno con choperas, se ha estimado oportuno parametrizar el impacto del precio del carbono en los resultados. Es decir, se ha modificado en el Escenario 4 según cambios en dicho precio. Los resultados se muestran en la Tabla 4, y en ellos se observa cómo, a priori, cambios en el precio del carbono no influyen en los dos casos de estudio en el turno óptimo, pero sí que provocan elevados aumentos en el VES.

Tabla 4. Resultados básicos para el Escenario 4 parametrizando el precio del C

Precio C (€/t)	Castilla y León		La Rioja	
	Turno óptimo	VES (€/ha)	Turno óptimo	VES (€/ha)
5	14	9304,8	14	3879,5
9,97	14	10903,3	14	5503,3
20	14	14209,3	14	8784,0
30	14	17479,0	14	12053,6

4. Discusión y conclusiones

En primer lugar, y en relación con los resultados mostrados en el epígrafe anterior, se debe destacar que existen otras combinaciones posibles de escenarios que no se han mostrado por no complicar en exceso el análisis. Así, a priori no hay problemas para que pueda existir un escenario que contemple los Escenarios 2 y 4 o los Escenarios 3 y 4. Siguiendo con esa línea de no sobrecargar el trabajo con tablas y resultados, y a diferencia de otros trabajos (Díaz Balteiro y Romero, 1994), no se ha realizado ningún

2 http://www.mapama.gob.es/es/cambio-climatico/temas/mitigacion-politicas-y-medidas/buscador_proyectos.aspx

análisis de sensibilidad respecto a otros parámetros básicos de la inversión en este tipo de forestaciones: el precio de la madera o la tasa de descuento. Si se ha observado en relación a la existencia de subvenciones los efectos ya descritos en trabajos anteriores (Díaz Balteiro y Romero, 1994): estas subvenciones producen mayores efectos en cuanto a la rentabilidad de las plantaciones que en modificaciones del turno económicamente óptimo.

Un aspecto que se ha intentado modelizar es la posible influencia de la certificación de estas plantaciones en los resultados obtenidos. Debido a las condiciones necesarias para certificar y de la fuerte dependencia de las condiciones iniciales existentes en la plantación y de la elevada casuística existente, se ha desechado esta opción. Sin embargo, si asumimos que al certificar un porcentaje del predio no puede ser dedicado a la plantación de choperas (según FSC), el incremento mínimo del precio para no penalizar rentabilidades futuras (ceteris paribus) debe ser superior a la prima que actualmente se está pagando: según nuestros cálculos para el caso de Castilla y León, dicha prima debe superar los 5€/m^3, frente a los 2€/m^3 que se pueden pagar en la actualidad. No obstante, no se han considerado economías de escala y hechos particulares de cada propietario y cada plantación que pudieran mitigar este sobrecoste. En definitiva, este tipo de análisis debería hacerse a partir de informaciones reales obtenidas de una finca destinada a este tipo de plantaciones. Finalmente, cabe resaltar el hecho de que el análisis se ha realizado bajo el supuesto ya incluido en el Protocolo de Kyoto de la oxidación instantánea del carbono contenido en la madera. Sin embargo, recientes normativas3 parecen anticipar una vieja demanda del sector forestal: la inclusión en la contabilidad del carbono secuestrado por los productos derivados de la madera.

Por otro lado, al comparar los resultados obtenidos en cuanto a la rentabilidad por hectárea de las choperas en Castilla y León, hemos detectado una cierta infravaloración de los resultados obtenidos en este análisis frente a datos reales (Olga González, comunicación personal). Dado que los costes se estima que son los reales y la tasa de descuento no parece excesiva, el motivo de esta discrepancia se asume que es debido a la función de producción elegida. Así, es preciso recalcar que las mediciones realizadas para la tabla de producción utilizada (Bravo *et al.,* 1995) pueden tener una antigüedad cercana o superior a los dos turnos. Ello significa que no se ha tenido en cuenta el necesario cambio tecnológico existente desde entonces. En síntesis, los resultados aquí obtenidos se podrían mejorar si se dispusiera de funciones de producción más actuales. Creemos que la importancia de este tipo de plantaciones justificarían realizar este tipo de investigaciones, que serían de ayuda para todo el sector.

De igual manera, es importante comentar que las ayudas para la plantación y trabajos culturales utilizadas en el Escenario 2 para el caso de estudio de La Rioja, son ciertamente corrientes en la actualidad. Por esto, cabría esperar mayores rentabilidades en las choperas riojanas. A modo de ejemplo, si supusiéramos un hipotético caso en el que se contabilizaran tanto las subvenciones como el carbono absorbido por la plantación, la rentabilidad obtenida alcanzaría un valor de 10.333,2 €/ha.

Los resultados expuestos en este trabajo muestran cómo el chopo puede presentar unas rentabilidades atractivas, sobre todo si las inversiones están acompañadas por diversos incentivos (subvenciones, consorcios o la inclusión de la captura del carbono en el análisis). Además, se ha observado cómo, de acuerdo con las funciones de producción y las hipótesis iniciales consideradas, el turno óptimo es bastante insensible ante la consideración de los diversos escenarios contemplados, aunque nunca supera el umbral de los 14 años. Finalmente, se considera que la integración en el análisis de la captura de carbono puede proporcionar una rentabilidad extra que podría ayudar a justificar la existencia de este tipo de plantaciones en predios donde este tipo de inversiones observen una rentabilidad más dudosa.

---

3 Reglamento UE 2018/841 del Parlamento Europeo y del Consejo de 30 de mayo de 2018. Publicado el 19 de junio de 2018

5. Bibliografía

ÁLVAREZ, C.; BENGOA, D.; 2001. Análisis de la rentabilidad de la populicultura frente a un cultivo agrícola de regadío en La Rioja. I Simposio del Chopo. Zamora, pp: 501-509.

AUNÓS, A.; RODRÍGUEZ F., GARASA, M.; 2002. Análisis de sensibilidad sobre la rentabilidad financiera de choperas de Huesca y Lérida. Montes 69: 25-32.

BRAVO, F.; GRAU, J.M.; GONZÁLEZ ANTOÑANZAS, F; 1995. Curvas de calidad y tablas de producción para Populus x euroamericana en la cuenca del Duero. Montes 44: 43-46.

DÍAZ BALTEIRO, L.; ROMERO, C; 1994. Rentabilidad económica y turnos óptimos de choperas en España. Investigación Agraria. Sistemas y Recursos Forestales 3: 43-56.

DÍAZ BALTEIRO, L.; ROMERO, C; 2001. Caracterización económica de las choperas en Castilla y León: Rentabilidad y turnos óptimos. I Simposio del Chopo. Zamora, pp: 489-500.

DIAZ-BALTEIRO L.; ROMERO C.; RODRIGUEZ L.C.E.; NOBRE S.R.; BORGES J.G.; 2014 Economics and management of industrial forest plantations. In: BORGES J.G.; DIAZ-BALTEIRO L.; MCDILL M.E.; RODRIGUEZ L.C.E. (eds.) The Management of Industrial Forest Plantations. Theoretical Foundations and Applications. Springer, pp. 121-170.

ESTEBAN LÓPEZ V.; CASQUET MORATE E.; DÍAZ BALTEIRO L.; 2005. El turno económicamente óptimo al Introducir la fiscalidad en el análisis. Aplicación a las choperas de Castilla y León. Investigación Agraria. Sistemas y Recursos Forestales 14: 122-136.

FAUSTMANN, M; 1849. Berechung des Wertes welchen Waldboden sowie noch nicht haubare Holzbestände für die Waldwirtschaft besitzen. Allgemeine Forst und Jagd Zeitung, 15. Reimpreso en: FAUSTMANN, M ; 1995. Calculation of the value which forest land and immature stands possess for forestry. J. Forest Econom., 1 (1): 7-44.

LÓPEZ-COVARRUBIAS, D.; DÍAZ BALTEIRO, L.; 2017. Proyectos de absorción de carbono en forestaciones: rentabilidad e implicaciones en cuanto a su gestión. Montes 130: 26-30

MUTKE, S.; DÍAZ BALTEIRO, L.; GORDO ALONSO, J; 2000. Análisis comparativo de la rentabilidad comercial privada de plantaciones de Pinus Pinea L. en tierras agrarias de la provincia de Valladolid. Investigaciones Agrarias: Serie Recursos y Sistemas Forestales, 9 (2): 270-303.

PADRÓ SIMARRO, A.; 2003. Caracterización productiva de las choperas de gestión pública del Gobierno de La Rioja. Gobierno de La Rioja. 267 pp. Logroño.

ROMERO, C.; 1997. Economía de los recursos ambientales y naturales (2ª ed.). Alianza Economía. 214 pp. Madrid.

RUEDA, J.; GARCÍA CABALLERO, J.L.; CUEVAS, Y.; GARCÍA-JIMÉNEZ, C.; VILLAR, C.; 2017. Cultivo de chopos en Castilla y León. Consejería de Fomento y Medio Ambiente, Junta de Castilla y León. Valladolid. 111 pp.

SERNA GARCÍA, L.; SOTO REY, M.; 2016. Primera revisión de los instrumentos de ordenación de las choperas de gestión pública del Gobierno de La Rioja. Gobierno de La Rioja. 64 pp. Logroño.

Testa, R.; Di Trapani, A.M.; Foderà, M.; Sgroi, F.; Tudisca S.; 2014. Economic evaluation of introduction of poplar as biomass crop in Italy. Renew. Sust. Energ. Rev. 38: 775-780.

Agradecimientos

Los autores se han beneficiado de distintas informaciones, datos y comentarios muy valiosos proporcionadas por distintas personas. Singularmente se quiere agradecer, siguiendo un orden alfabético, las aportaciones de: Felipe Bravo (Universidad de Valladolid), Belén Chacel (FSC), Marcos Estévez (FSC), Víctor Garavilla (Gobierno de La Rioja), Rubén García de Santos (Garnica Plywood), Olga González (FAFCYLE), Álvaro Picardo (Junta de Castilla y León), Esther Prieto (Gobierno de La Rioja), Miriam Soto (Gobierno de La Rioja). Obviamente, cualquier problema u omisión derivado del uso de estas informaciones es responsabilidad única de los autores. Finalmente, el trabajo de Luis Díaz Balteiro está financiado por el Ministerio de Economía, Industria y Competitividad de España bajo el proyecto AGL2015-68657-R.

II SIMPOSIO DEL CHOPO

17. 18. 19 OCTUBRE 2018

VALLADOLID

Organiza

Junta de Castilla y León

Gobierno de España – Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación

Diputación de Valladolid

AEFCON

SECF

Sociedad Pública de Infraestructuras y Medio Ambiente de Castilla y León S.A.

[cesefor]

Patrocinadores principales

Junta de Castilla y León

garnica – Challenge the ordinary

Diputación de Valladolid

Sociedad Pública de Infraestructuras y Medio Ambiente de Castilla y León S.A.

Patrocinadores

PEFC

COSE – Confederación de Organizaciones de Selvicultores de España

Losán

SKYLAB

Colaboradores

ASEMFO

Ayuntamiento de Valladolid

Cemcal

Colegio y Asociación de Ingenieros de Montes

EFI

foresnazurgaia

iuFOR

www.simposiodelchopo.es

#SimposioChopo