



MINISTERIO DE CIENCIA E INNOVACIÓN
INSTITUTO NACIONAL DE INVESTIGACIÓN
Y TECNOLOGÍA AGRARIA Y ALIMENTARIA

MANUAL DE CULTIVO DE *POPULUS* spp. PARA LA PRODUCCIÓN DE BIOMASA CON FINES ENERGÉTICOS

Autores

HORTENSIA SIXTO BLANCO
M^a JOSÉ HERNÁNDEZ GARASA
M^a PILAR CIRIA CIRIA
JUAN ESTEBAN CARRASCO GARCÍA
ISABEL CAÑELLAS REY DE VIÑAS

Colaboradores que han participado en los trabajos base que hacen posible la presente publicación

ÁNGEL BACHILLER BACHILLER
JAVIER PÉREZ GARCÍA
JOSÉ LUIS MONTOTO QUINTEIRO
JOSE PABLO DE LA IGLESIA BORREGO
MANUEL MARIO SANCHEZ MARTINEZ
ESTRELLA VISCASILLAS GÓMEZ

INSTITUTO NACIONAL DE INVESTIGACIÓN Y TECNOLOGÍA AGRARIA Y ALIMENTARIA

Ctra. Coruña km. 7,5 - Tel.: 91 347 39 16 - Fax: 91 347 87 65
e-mail: publinia@inia.es - 28040 MADRID (España)

**La responsabilidad por las opiniones emitidas
en esta publicación corresponde exclusivamente
a los autores de las mismas.**

Catálogo general de publicaciones oficiales
<http://www.060.es>

Prohibida la reproducción, incluso parcial, sin autorización del Instituto
Nacional de Investigación y Tecnología Agraria y Alimentaria (INIA).

Imagen de portada: La foto es de una *Plantación de chopos en alta densidad*. En primer plano se muestran árboles con un crecimiento correspondiente a cuatro meses del primer período vegetativo y del segundo período vegetativo para los mostrados en segundo plano.

© 2010 INIA

Edita: Instituto Nacional de Investigación y Tecnología Agraria y Alimentaria
Ministerio de Ciencia e Innovación

ISBN: 978-84-7498-530-6
ISSN: 1575-6106
NIPO: 475-10-010-5
Depósito Legal: M-35.111-2010

Preimpresión, impresión y encuadernación:
 Sociedad Anónima de Fotocomposición
Talisio, 9 - 28027 Madrid

Impreso en papel ecológico

ÍNDICE

	<u>Páginas</u>
PRÓLOGO	7
RESUMEN	9
ABSTRACT	11
ANTECEDENTES	13
La biomasa como fuente de energía renovable	13
¿Qué es un cultivo forestal en alta densidad y turno corto?	14
ESTABLECIMIENTO Y MANEJO DE PLANTACIONES	17
Valoración y selección de sitio	17
Requerimientos de suelo y clima	17
Ubicación de la plantación	18
Plantación	20
Elección y preparación del material vegetal	20
Densidad, diseño y turno	25
Acondicionamiento previo	27
La tarea de plantar	30
Operaciones a realizar tras la plantación: tratamientos culturales	30
Control de las malas hierbas	30
Reposición de marras	35
Fertilización	35
Riego	36
Control de daños bióticos y abióticos	38
Corta o aprovechamiento	41
Manejo de la plantación tras la corta	43
Seguimiento	43
MECANIZACIÓN DEL CULTIVO Y MANEJO DE LA COSECHA	45
Maquinaria de plantación	45

	<u>Páginas</u>
Maquinaria de recolección	48
Maquinaria para cosecha con astillado directo	50
Maquinaria para cosecha de planta entera.	51
BIBLIOGRAFÍA	55
AGRADECIMIENTOS	57

PRÓLOGO

En los últimos años el cultivo del chopo en nuestro país ha cobrado un fuerte protagonismo de la mano del fomento de la producción de biomasa como fuente de energía renovable.

Ello implica que al tradicional cultivo para la producción de madera de sierra o desenrollo, con marcos amplios de plantación, desde 4×4 a 6×6 metros, y turnos entre 12 y 16 años, se añade la alternativa de un cultivo con una finalidad productiva distinta, basado en la mayor densidad de plantación y en la aplicación de turnos más cortos.

El presente manual pretende ser una guía orientativa de aquellos aspectos más relevantes a la hora de abordar una plantación con clones del género *Populus* cuyo destino final sea la producción de biomasa. El sector se encuentra en una constante evolución, son muchas las empresas que inician plantaciones y es abundante la experimentación que se está llevando a cabo, lo que sin duda va a implicar que muchos de los aspectos aquí abordados puedan ser objeto de nuevos enfoques en muy corto plazo.

Debido al creciente interés que desde distintos sectores se manifiesta por esta modalidad de cultivo con especies e híbridos de *Populus*, hemos considerado de utilidad abordar la realización de este manual.

RESUMEN

La necesidad de alternativas al empleo de combustibles fósiles ha fomentado en España la producción de energía de origen renovable. La obtención de biomasa a partir de cultivos diseñados específicamente para ello, los cultivos energéticos, permite la planificación en la obtención del recurso, al mismo tiempo que proporcionan alternativas al abandono de cultivos tradicionales en el ámbito rural.

El presente manual pretende ser una guía orientativa de aquellos aspectos más relevantes a la hora de abordar una plantación con especies e híbridos del género *Populus* cuyo destino final sea la producción de biomasa. Por ello se abordaran los requerimientos imprescindibles para la instalación de la plantación con esta finalidad productiva, tratando los aspectos más relevantes relativos a la implantación del cultivo, como elección del sitio y del material vegetal, la densidad y turno, así como los cuidados culturales más relevantes. En último lugar se facilita información sobre los procesos de mecanización de cada una de las fases del cultivo incluyendo el aprovechamiento del mismo.

SUMMARY

The need to find alternatives to fossil fuels has promoted the production of energy from renewable sources in Spain. The use of specifically designed crops to obtain biomass, the so-called “energy crops”, allows the resource production to be planned and also provides an alternative to the abandonment of traditional crops in rural areas.

This document aims to provide guidance on the most relevant aspects to be considered when attempting to establish a plantation for the production of biomass using species and hybrids of the genus *Populus*. Hence, it highlights the essential requirements for the establishment of this type of plantation and deals with the most relevant issues related to the implantation of the crop such as the choice of site, plant material, density and rotation length as well as the most relevant cultural management aspects. Finally, information is provided on the mechanization processes involved at each crop stage, including harvesting.

ANTECEDENTES

La biomasa como fuente de energía renovable

La necesidad de encontrar alternativas a los combustibles fósiles y de cumplir los compromisos medioambientales contraídos en el Tratado de Kyoto ha promovido en numerosos países un creciente interés y esfuerzo inversor y de investigación de las denominadas energías renovables, que en estos momentos se están configurando como la opción más realista para llegar a cubrir esos objetivos de forma, aunque parcial, muy significativa.

La Unión Europea (UE) constituye uno de los mayores impulsores, si no el mayor, de este tipo de energías para lo que ha fijado objetivos muy importantes contenidos en diferentes documentos. Entre ellos cabe citar el Libro Blanco de las Energías Renovables de la Comisión Europea (1998) en el que se establecía la meta para 2010 de producir un 12% de la energía primaria de la UE con fuentes renovables. Posteriormente, una Directiva relativa al fomento y uso de energía de origen renovable de 2008, establece que el 20% del consumo de la energía final en la UE en 2020 deberá proceder de fuentes renovables.

En este escenario, la biomasa constituye el recurso que se considera más relevante para el cumplimiento de los objetivos con energías renovables establecidos en el corto y medio plazo, tanto a escala nacional como europea. En nuestro país, el Plan de Energías Renovables 2005-2010 (PER) preveía que la biomasa constituyera en torno al 47% del conjunto de energías renovables en 2010. Sin embargo, este objetivo no ha sido alcanzado y en la actualidad, el Plan de Acción Nacional de Energías Renovables 2011-2020, en proceso de elaboración, parece limitar la importancia de esta fuente de energía en relación al total. Este hecho está siendo fuertemente discutido por las principales organizaciones agrarias.

La biomasa añade a los beneficios generales compartidos por otras energías renovables una serie de particularidades específicas como son el favorecer el mantenimiento y desarrollo de los sectores agrario e industrial, generar beneficios añadidos a través de la valorización de los residuos orgánicos o posibilitar la sustitución de combustibles fósiles en el transporte en el corto y medio plazo, así como la obtención de un gran número de materiales y compuestos químicos de uso agrícola e industrial.

Dentro de los diferentes tipos de biomasa, los cultivos energéticos constituyen el recurso desarrollado más recientemente y el que ofrece un mayor potencial, frente a la biomasa resi-

dual de origen agrícola y forestal cuya producción es, por lo general, dispersa y está condicionada por las actividades agrícolas, forestales e industriales que la generan. Además su disponibilidad depende en muchos casos de mercados alternativos ya establecidos. Frente a esta situación, los cultivos energéticos presentan la ventaja de que su producción puede planificarse y optimizarse de acuerdo a las necesidades planteadas por la demanda y además la producción de biomasa se realiza de una forma mucho menos dispersa que en el caso de los residuos, lo que disminuye los costos de la recolección y transporte. Estas características contribuyen a minimizar el problema más importante con que cuenta en la actualidad el mercado de la biomasa, que es el de asegurar el suministro en los puntos de consumo, sobre todo en los casos de gran demanda, como son las plantas de producción eléctrica centralizada con biomasa. Los cultivos energéticos representan, por tanto, un pilar fundamental sobre el que se sustentan las mayores expectativas de desarrollo de producción energética a partir de renovables en el corto y medio plazo en numerosos países. Así, en España se prevé que se produzcan 3,87 MTEP en 2010 a partir de cultivos (PER, 2005-2010), lo que representa en torno al 37% de las expectativas de incremento de consumo de energías renovables respecto a las cifras de 2005.

Según datos estimativos de la Agencia Europea de Medio Ambiente en 2006 (<http://www.eea.europa.eu>), la contribución potencial de terrenos aptos de forma sostenible para cultivos energéticos en España podría situarse en torno a 2,5 Mha en 2030 en las que se obtendría biomasa con un equivalente energético de 0,69 EJ/año. Esto implica que la producción de biomasa a partir de cultivos energéticos no sólo puede tener una incidencia significativa en el sector energético de nuestro país, sino que puede suponer una importante repercusión en el sector agrícola y, por consiguiente, en el desarrollo rural. En la UE-25, el citado estudio evalúa en 5,85 EJ/año el potencial de los cultivos energéticos en 2030.

A escala nacional, el fomento de la implantación y desarrollo de los cultivos energéticos se pretende estimular de manera indirecta a partir del Real Decreto 661/2007, que regula la producción de energía eléctrica en régimen especial, favoreciendo aquella que tiene su origen en la biomasa y en concreto la procedente de cultivos energéticos.

¿Qué es un cultivo leñoso en alta densidad y turno corto?

Los cultivos energéticos incluyen especies herbáceas y leñosas. Para la obtención de biomasa energética los cultivos leñosos se llevan a cabo a altas densidades y turnos cortos (en inglés *Short Rotation Forestry*, SRF).

De esta forma, se consideran cultivos energéticos leñosos a aquellos en los que se utilizan especies de crecimiento rápido (chopos, sauces, eucaliptos, etc.), bajo un sistema de manejo intensivo y con un turno de corta que puede variar entre 2 y 10 años. Las densidades de plantación son elevadas y el cultivo puede llevarse a cabo como fustes individuales o múltiples, después de haber realizado el primer recepe (en inglés, *Short Rotation Coppice*, SRC).

El aprovechamiento de especies en monte bajo (procedente de brotes de raíz y/o de cepa) viene siendo utilizado por el hombre desde la antigüedad, principalmente con el objetivo de obtención de leñas y carbón vegetal, si bien, los cultivos de turno corto y alta densidad a los

que nos referimos, son cultivos realizados con especies de crecimiento rápido, en contraste con los aprovechamientos tradicionales de especies del género *Quercus*, y los turnos de corta son frecuentemente más reducidos con el objetivo de obtener una gran cantidad de materia leñosa por superficie, destinada a la producción de energía.

En nuestras latitudes, las especies del género *Populus* son idóneas para ser utilizadas en cultivos energéticos, ya que cumplen muchos de los requisitos necesarios para la viabilidad de este tipo de cultivo, como son:

- Facilidad para el establecimiento de la plantación (vegetativamente a partir de estaquillas, con bajo coste de producción y alto porcentaje de arraigo).
- Oferta abundante de material genético mejorado y la posibilidad de que éste se incremente en el futuro. Esta secuenciado el genoma de *Populus*.
- El hecho de ser especies de crecimiento rápido con elevadas producciones potenciales.
- Producir un rebrote vigoroso después de la corta.
- Presentar balances energéticos positivos.
- La baja necesidad de agroquímicos, en comparación con especies agrícolas.
- Soportar altos niveles de competencia.
- La posibilidad de otros usos medioambientales complementarios (p. ej. filtros verdes, diversificación del paisaje agrícola, resguardo de fauna silvestre, etc.).

Con independencia de que en la actualidad las *Salicaceas* (sauces y chopos) representen en Europa las especies forestales con mayor potencialidad de utilización como productoras de biomasa para energía en el corto plazo, otras especies pueden cumplir los requerimientos básicos enumerados para ser utilizadas en plantaciones en alta densidad y turno corto (Foto 1). En general, se considera que mayoritariamente estas características son asumidas por muchas especies que actúan como pioneras, con fácil capacidad para establecerse y rápido crecimiento inicial.

De hecho sobre algunas de ellas ya se dispone de información en Europa a nivel de plantaciones, como es el caso de eucaliptos (*Eucalyptus* spp.), robinias (*Robinia* spp.) en Italia (Candilo *et al.*, 2004), o bien de datos a escala experimental como sucede para el olmo de Siberia (*Ulmus pumila* L.) o diferentes especies e híbridos de paulownia (*Paulownia* spp.) (Mezzalana y Brocchi, 2002).

Igualmente otras especies podrían resultar de potencial interés en climas templados como son, a modo de ejemplo, el aliso (*Alnus* spp.), el plátano de sombra (*Platanus* spp.), el fresno (*Fraxinus* spp.), el abedul (*Betula* spp.), el haya (*Fagus* spp.), el liquidámbar (*Liquidambar* spp.), el castaño (*Castanea* spp.), o el ailanto (*Ailanthus* spp.), contribuyendo, una vez valorada su idoneidad para esta finalidad productiva, a favorecer la diversidad genética y paisajística de las plantaciones forestales como productoras de biomasa para energía (Sixto *et al.* 2007).



Foto 1. Plantaciones experimentales para la producción de biomasa a) *Paulownia* spp., b) *Robinia pseudoacacia* L., c) *Ulmus pumila* L.

ESTABLECIMIENTO Y MANEJO DE LA PLANTACIÓN

Valoración y selección de sitio

Antes de establecer un cultivo energético de chopos hay que comprobar que se cumplen unos requisitos mínimos de aptitud (climática y edáfica) para el crecimiento de la especie, así como la adecuación de la parcela en relación a las prácticas de manejo que se van a derivar de su aprovechamiento.

Requerimientos de suelo y clima

El cultivo de chopo requiere suelos sueltos, bien aireados, profundos, con bajo contenido en arcilla (inferior al 15%), prefiriendo las texturas francas o franco-arenosa, y no susceptibles de sufrir encharcamientos frecuentes, que provoquen asfixia radicular, pero con capacidad de retención de agua. El pH debe situarse próximo a la neutralidad (entre 6 y 8), con contenidos en materia orgánica superiores al 2% y concentraciones de caliza activa inferior al 6%, así como ausencia de salinidad.

Un análisis de suelo será por tanto necesario para determinar las mencionadas variables. Para ello es habitual realizar un sondeo mediante la utilización de una barrena o el establecimiento de una calicata, tomando una muestra en el horizonte superficial y una segunda muestra en un horizonte más profundo, entre 40 y 70 cm. El número de sondeos a realizar variará en función de la heterogeneidad observada en el terreno, lo que frecuentemente se aprecia por diferencias en la vegetación existente. Si se trata de un terreno visualmente muy homogéneo, dos sondeos pueden ser suficientes.

Dentro de las distintas especies, híbridos y clones del género *Populus* existentes pueden encontrarse diferentes tolerancias a los diferentes parámetros edáficos, que deberán ser tenidas en cuenta a la hora de realizar la elección del material vegetal más adecuado. En relación a otros requerimientos ecológicos, el rango altitudinal para el cultivo del chopo es muy amplio. En nuestro país se sitúa desde el nivel del mar hasta los 1000 m de altitud, tolerando situaciones climáticas muy diversas, siempre que dispongan de agua. La práctica del cultivo requiere de la aplicación de riego, a menos que, en condiciones locales específicas, la pluviometría y/o la existencia de capa freática aseguren el suministro del agua necesaria para su cre-

cimiento durante el periodo vegetativo. En el caso del clima mediterráneo que se caracteriza por una marcada sequía estival, con al menos 2-3 meses sin precipitaciones durante el periodo vegetativo y acompañada de altas temperaturas en los meses de verano, el riego en estas plantaciones es casi siempre necesario, y la producción final estará en buena medida condicionada por la disponibilidad hídrica durante el periodo vegetativo. Según Padró y Orensanz (1987) los requerimientos hídricos estimados en plantaciones con esta especie para madera se pueden considerar equivalentes a un litro de agua por gramo de materia seca formada al final del periodo vegetativo.

El tipo de riego que se utilice está en función de las posibilidades y características de cada sitio en concreto. En general, se puede aplicar riego por gravedad o por goteo. La elección debe basarse en la estimación de costes de instalación, precio y disponibilidad del agua, así como de otras características intrínsecas del terreno, como pendiente, discontinuidades, etc.

Por último considerar en cuanto a otros requerimientos ecológicos que las *Salicaceas* (chopos y sauces) son especies heliofilas, es decir con gran exigencia de luz y, que por tanto, toleran mal la competencia de la proximidad de otras especies que puedan implicar sombreado en las fases iniciales del cultivo.

Ubicación de la plantación

La elección de la parcela requiere igualmente de una serie de consideraciones derivadas de su manejo. Por ello es necesario tener en cuenta:

- Facilidad de acceso a la parcela por parte de la maquinaria.
- Red de carreteras muy próxima para facilitar la comercialización.
- Distancia óptimas a las plantas de transformación final de la biomasa.
- Evitar que esté cruzada por cables eléctricos y/o telefónicos, o evitar la plantación bajo estas instalaciones eléctricas (Foto 2).
- Ausencia de pendientes importantes (inferior al 10%).
- Cabeceras y fondos que permitan la movilidad de la maquinaria (entre 5 y 6 m).
- Formas regulares de parcela que permitan filas longitudinales entre 100 y 150 m.
- Considerar en su ubicación posibles restricciones ambientales y paisajísticas.



Foto 2. Plantación de chopos en alta densidad atravesada por tendido eléctrico.

Plantación

Elección y preparación del material vegetal

La elección del material vegetal a utilizar en las plantaciones de chopo para biomasa deberá realizarse de entre aquellas especies, híbridos y clones incluidos en el Catálogo de Materiales de Base para el género *Populus*, que a escala Europea, resulta de la síntesis de los respectivos Catálogos Nacionales de los países miembros. La Orden Ministerial de marzo de 2003 recoge los 28 clones incluidos el catálogo nacional, bajo la categoría de material forestal de reproducción controlado (Tabla 1).

Tabla 1. Relación de clones que constituyen el Catálogo Nacional de Materiales de Base para el género *Populus* en la categoría de material controlado

Especie/híbrido	Clones		
<i>P. x euramericana</i> (Dode) Guinier	Agathe F	2000 verde	I-488
	Campeador	B-1M	Luisa Avanzo
	Canada Blanco	BL-Constanzo	Triplo
	Flevo	Branagesi	I-454/40
	MC	Dorskamp	NNDV
	I-214	Guardi	
<i>P. x interamericana</i> Brokehuizen	Beaupre	Boelare	USA 49-177
	Raspalje	Unal	
<i>P. deltoides</i> x <i>P. alba</i>	114/69		
<i>P. deltoides</i> Marsh	Lux	Viriato	
<i>P. nigra</i> L.	Anadolu (Tr 56/75)	Bordils	Lombardo Leonés

En la actualidad, se están llevando a cabo en nuestro país tareas de selección clonal que permitirán una mejor adecuación de los materiales. Ello permitirá que en el corto plazo se disponga de información relativa al comportamiento de los diferentes genotipos en los distintos ambientes.

El género *Populus* comprende 29 especies agrupadas en seis secciones, de las cuales tres son autóctonas en nuestro país (*Populus nigra* L., *Populus alba* L. y *Populus tremula* L.), si bien el cultivo en el entorno mediterráneo se basa mayoritariamente en el empleo de los híbridos altamente productivos frecuentemente conocidos como *P.x euramericana* (Dode) Guinier (*P. deltoides* x *P. nigra*) y *P. x interamericana* Brockh. (*P. deltoides* x *P. trichocarpa* y *viceversa*) o bien, de hibridaciones de estos con *P. nigra*.

En buena medida, el cultivo en alta densidad y turnos cortos se ha estado realizando a partir del material seleccionado para el cultivo tradicional de producción de madera, buscando entre aquellos que muestran características adecuadas como son el crecimiento juvenil rápido, producción elevada y continua de brotes, capacidad de crecer en densidades altas, amplia utilización del periodo vegetativo, respuesta positiva a los tratamientos culturales, aptitud para el recepe, la resistencia a enfermedades y plagas, etc., basados en el idiotipo definido por la Comisión Internacional del Álamo en 1985. No obstante, los programas de mejora llevados a cabo en diferentes países en los últimos años, están permitiendo incluir en los diferentes catálogos, clones adaptados específicamente para esta finalidad productiva, como es el caso del catálogo italiano, país de ámbito mediterráneo que ha servido de referente para la popicultura tradicional en España. En nuestro país no existe en la actualidad un programa de mejora genética para *Populus* como tal, que permita la catalogación de clones para producción de biomasa bajo la categoría de material controlado. No obstante, sí se lleva a cabo una ardua tarea de selección clonal, considerada como último escalón de cualquier programa de mejora.

La reproducción vegetativa por estaquilla, tanto en *Populus x euramericana* como en *P. x interamericana* es realmente fácil, lo que ha contribuido significativamente a la abundante oferta de material clonal en la que se sustenta el cultivo tradicional del chopo, proporcionando ventajas a la mejora así como a la aplicación práctica del cultivo.

La utilización de clones en el cultivo del chopo aporta homogeneidad y facilidad de manejo en las plantaciones. La homogeneidad puede, bajo determinadas circunstancias, no ser deseable, en la medida que se reduce la variabilidad genética, viéndose incrementada la susceptibilidad a factores bióticos (plagas y enfermedades) e incluso a factores abióticos (heladas tardías, susceptibilidad al viento, etc.) siendo en estos casos recomendable recurrir a las plantaciones multiclonales. Sin embargo, las plantaciones realizadas con mezclas de clones deben llevar aparejados un buen conocimiento del comportamiento de los clones a incluir en la mezcla, ya que se pueden producir importantes fenómenos de competencia. Cuando este conocimiento no existe, una buena alternativa es la plantación en mosaicos, en donde los problemas de competencia entre clones son mucho menos importantes.

El material vegetal utilizado para establecer este tipo de plantaciones es la estaquilla. Las estaquillas son segmentos de tallo, obtenidos preferentemente de brotes de un año en periodo de reposo vegetativo, correctamente lignificados, sanos y rectos, sin lesiones en la corteza. Su tamaño debe oscilar en longitud entre 20 y 35 cm (en función de la especie y tipo de suelo) y tener un grosor medio de 2 cm. Además debe poseer al menos dos yemas y adquirirse en viveros autorizados.

Las estaquillas presentan múltiples ventajas como material de reproducción, ya que por un lado existe una gran facilidad de mecanización, tanto en su elaboración como en la propia tarea de plantación, así como por la facilidad de enraizamiento que habitualmente presentan (Foto 3).

A partir del crecimiento anual de las varetas, las estaquillas pueden realizarse de manera manual realizando un corte limpio, preferiblemente en bisel, con tijeras convenciona-



Foto 3. Manejo de estaquillas de chopo procedentes de brotes de un año, de longitud entre 20 y 35 cm y 2 cm de grosor. Para evitar la confusión entre distintos materiales clonales, estos deben estar adecuadamente identificados.

les o sierra circular, si bien lo óptimo, es la realización de cortes mecanizados (Foto 4), debido al gran volumen de material vegetal utilizado. Existen máquinas plantadoras de salicáceas desarrolladas en el norte de Europa, que se alimentan de varas desramadas y cortan la estaquilla al mismo tiempo que realizan la plantación (Foto 5).

La conservación adecuada de las estaquillas en el tiempo que transcurre entre su elaboración y plantación es crucial, por lo que se puede optar por acortar al mínimo este periodo, o mantenerlas en cámaras refrigeradas (2 a 4° C) evitando así su brotación. Igualmente es importante evitar la deshidratación de las mismas bien mediante el control automático de la humedad de la cámara o asegurando una protección física que evite la pérdida de humedad y facilite la aireación para que no se produzcan pudriciones. El sistema de aviveramiento en el campo, protegiéndolas con arena gruesa, bien aireada, sin agua estancada y colocando los haces de estaquillas en posición vertical, puede ser una solución opcional que frecuentemente se ha utilizado en viveros de chopo. En cualquier caso, será necesario supervisar con frecuencia el estado de las estaquillas durante el periodo de almacenamiento (Foto 6).

Antes de realizar la plantación, las estaquillas deberán hidratarse al menos 48 horas en agua que no alcance altas temperaturas, favoreciendo con esto su capacidad de arraigo. Igualmente, es aconsejable la inmersión de las estaquillas en una solución de insecticida y

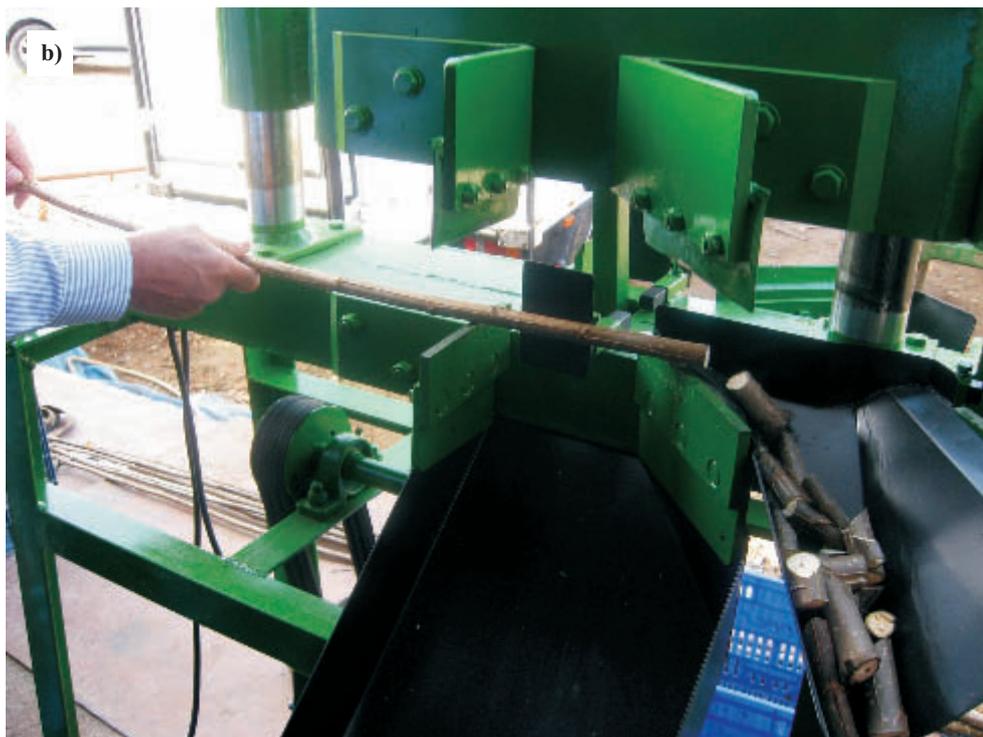


Foto 4. La mecanización en el proceso de elaboración de las estaquillas resulta interesante en la medida que contribuye a la reducción de costes. Maquinaria de hacer estaquillas: a) Alasia Vivai (Italia), www.alasiavivai.com, b) Viveros Tiplan (España), www.tiplan.net.



Foto 5. Plantadora «Step» de la firma Salixfer que se alimenta de varas (www.salix.se). La realización de la estacilla y la plantación de la misma se realizan en una única operación. En este caso la plantadora realiza 4 filas de manera simultánea.

fungicida, como preventivo de daños bióticos, utilizando las materias activas y dosis autorizadas por la legislación vigente de productos fitosanitarios (www.mapa.es/es/agricultura/pags/fitos/registro/menu.asp).

En cualquier caso, hay que considerar la conveniencia de desechar siempre aquellas estacillas que presenten cualquier patología, ya sea por daños bióticos o abióticos (presencia de galerías y serrín procedente de perforadores, presencia de hongos, o aspecto necrosado). La correcta conservación de la estacillas resulta fundamental para garantizar un elevado porcentaje de arraigue.



Foto 6. La correcta conservación del material vegetal hasta el momento de plantar es uno de los factores que contribuye al éxito de una correcta instalación de la plantación. Almacenamiento del material vegetal (estaquillas) en cámara con condiciones controladas de temperatura y humedad (cedida por Alasia Vivai, Italia, www.alasiavivai.com).

Densidad, diseño y turno

Una vez seleccionado el emplazamiento en el que va a realizarse la plantación, hay que plantearse qué densidad de plantación vamos a utilizar, con qué diseño y cuál será el turno de corta más conveniente. Esta decisión no es sencilla.

En las plantaciones consideradas de alta densidad y corta rotación, la horquilla de densidades a utilizar es muy amplia (Sixto *et al.*, 2007). Es frecuente encontrar información relativa a aumentos de producción asociados a densidades mayores, y de hecho nuestra experiencia ha ido en muchos casos en esta dirección.

Sin embargo, cada vez más, en un contexto de buscar la rentabilidad económica y la eficiencia energética y ambiental, surgen interrogantes como los siguientes:

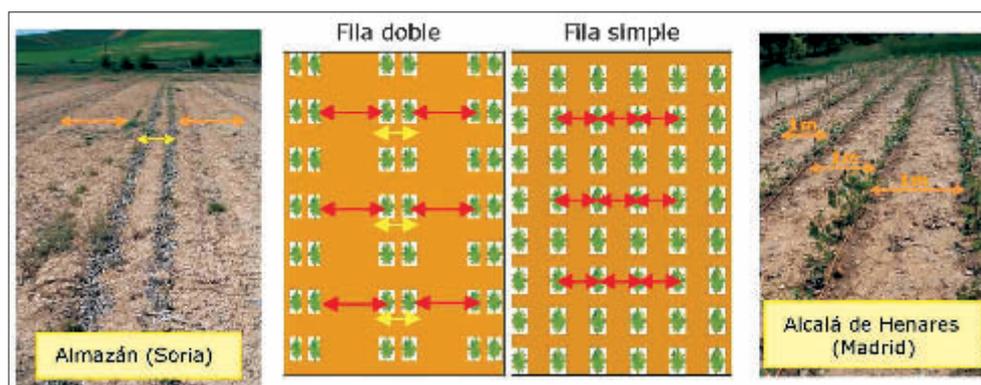
- ¿Compensan los aumentos posibles de producción el mayor coste de material vegetal, las labores de plantación y los posteriores cuidados culturales?
- ¿Se conoce bien qué prácticas culturales pueden verse incrementadas o disminuidas para la diferente densidad elegida?

- ¿Se dificulta el manejo de la plantación en función de la densidad?
- ¿Es la calidad de la madera obtenida para la finalidad productiva que deseamos muy diferente en función de la densidad a utilizar?
- ¿Cuáles son las limitaciones que en la actualidad impone la maquinaria de corta existente accesible en el mercado?

Muchas de estas cuestiones tienen fácil respuesta, otras sin embargo, necesitarán en el corto plazo de una valoración cuantitativa exhaustiva. En el momento presente, y hasta que la tarea experimental y el desarrollo de la mecanización arrojen nuevos datos, se sugieren como deseables densidades entre 6.000 y 10.000 pies/ha. Estas densidades se utilizan, por ejemplo, en países de ámbito mediterráneo como Italia y se consideran fuertemente ligadas a la capacidad operativa de la maquinaria de recolección existente.

En relación al diseño de plantación, el modelo europeo baraja fundamentalmente dos posibilidades:

- Disposición en *Filas Simples*, modelo al que se atribuye una mayor facilidad de manejo en las tareas del cultivo.
- Disposición en *Filas Dobles*, considerado mejor para la tarea de la recolección.



Esquema 1. La disposición de las filas en el diseño europeo admite una distribución en filas simples o pareadas. Las filas simples, en función de la densidad de plantación elegida, combina distancias entre plantas dentro de la fila entre 40 y 80 cm y distancias entre filas entre 150 y 300 cm. En las líneas pareadas, la distancia entre las dobles filas oscila entre 70-80 cm y entre 200 y 300 cm la distancia de calle.

La longitud de las filas no debe ser inferior a 100-150 m, lo que optimiza el uso de la maquinaria al reducir el número de maniobras a realizar. Longitudes superiores pueden ser desaconsejables si la corta va acompañada de un astillado simultáneo de la biomasa, ya que puede completarse el remolque antes de finalizar la corta de la fila, lo que puede ralentizar la operación.

La elección del turno de corta va ligada a la densidad inicial y viceversa. En general, las densidades muy elevadas aconsejan turnos más cortos, pues la competencia por agua, luz y nutrientes se produce antes y el turno más corto evita mortalidad natural ligada a la competencia por los recursos. Los turnos frecuentemente utilizados en la actualidad en plantaciones de biomasa con fines energéticos se encuentran en un rango entre dos y cinco años. Puesto que el objetivo principal de estas plantaciones es producir la mayor cantidad posible de biomasa, en general, el turno elegido será aquel con el que se maximiza el crecimiento medio a lo largo de la vida de la plantación. No obstante, para la estimación del turno hay que tener en cuenta el ciclo de vida del cultivo, en el que se realiza, entre otros, una valoración económica de cada uno de los componentes del mismo.

El tamaño medio de los pies al final del turno interviene en la determinación del momento óptimo de corta. La extracción de la biomasa debe realizarse de manera mecanizada y con un elevado rendimiento de saca para conseguir una mayor rentabilidad. Hasta el momento, las máquinas utilizadas para cosechar los cultivos energéticos leñosos son adaptaciones realizadas a partir de maquinaria agrícola, por lo que frecuentemente presentan limitaciones en cuanto al diámetro de corta (15 cm como máximo), condicionando también este factor la elección del turno.

Acondicionamiento previo de la parcela

Una vez seleccionada la parcela, el material vegetal a emplear y el diseño que aplicaremos en la misma, hay que realizar un acondicionamiento previo que básicamente consiste en una serie de labores al terreno, el control de malas hierbas perennes o el establecimiento del sistema de riego a emplear. Es conocido que la adecuada preparación del terreno incide de manera importante en el desarrollo de cualquier plantación forestal instalada sobre terrenos agrícolas, siendo su importancia especialmente relevante en este tipo de plantaciones.

Nivelado

Los terrenos sobre los que se va a realizar la plantación no deben tener más de un 10% de pendiente máxima, para facilitar la mecanización de las actividades. Adicionalmente, si el riego se va a realizar por inundación, la nivelación tiene por objetivo asegurar un suministro de agua homogéneo.

Laboreo del terreno

Las labores de preparación del terreno antes de realizar la plantación de las estaquillas puede ser variable en función del estado particular de la parcela. En general, se deben aplicar preferentemente cuando el suelo tenga tempero, es decir, con un cierto grado de humedad, considerándose como convenientes las labores de subsolado, alzado y gradeo:

- El *subsolado* cruzado descompacta y aumenta la profundidad útil del perfil del suelo. Ello permite aumentar el volumen útil de suelo que puede explorar el sistema radicular. La realización de esta labor se debe aplicar cuando se ha identificado la presencia de una

zona compacta, y utilizando el apero más adecuado para la profundidad deseada. Para este tipo de cultivo será necesario al menos 50 cm de suelo bien acondicionado.

- La labor de *arado*, permite mullir el suelo aumentando su aireación al mismo tiempo que incorpora la materia orgánica procedente de restos vegetales al suelo y mejora su estructura y capacidad de retención de agua. Los tipos de arados frecuentes son los de disco y los de vertedera, y su elección se realiza en función de la profundidad y forma del laboreo, así como de la presencia de piedras en el suelo. Se recomienda en general una labor de alzado a una profundidad en torno a 30 cm.
- El gradeo efectuado pocos días antes de plantar deja mullida la capa arable de tal forma que se facilita la colocación de la estaquilla y mejora el contacto de ésta con el suelo, lo que se traduce en un mejor arraigue. Paralelamente realiza una labor de eliminación mecánica contra las poblaciones de malas hierbas instaladas.

Eliminación de vegetación competidora

En terrenos agrícolas excedentarios, es necesario prever el control de malas hierbas perennes, consideradas de especial nocividad en la medida en que su control se dificulta una vez instalada la plantación. Las labores mecánicas, en ocasiones, pueden contribuir a una mayor dispersión de las malas hierbas perennes que se propagan vegetativamente. Por ello, cuando su presencia se detecte, puede ser conveniente la realización de tratamientos con herbicidas no residuales, no selectivos y translocables, que minimizarán el problema a lo largo del periodo vegetativo del cultivo. La materia activa glifosato cumple con estos requisitos, estando autorizado su uso para esta finalidad, si bien hay que tener en cuenta su alta solubilidad si existen cursos de agua próximos. La dosis para el control de malas hierbas perennes oscila entre 6 y 12 l/ha, dependiendo del estadio en el que se encuentren.

Fertilización

La aplicación de fertilizantes debe ser determinada en función de los resultados de los análisis de suelo, de tal forma que se eviten tratamientos innecesarios que suponen un elevado coste tanto en términos económicos como medioambientales.

En caso de ser necesaria, la incorporación de fertilización orgánica deberá realizarse antes de la plantación, aprovechando las labores de preparación del terreno, siendo los límites máximos autorizados variables en las distintas comunidades autónomas. Por ejemplo, estos son de 180 kg de nitrógeno por hectárea en Castilla y León (BOCYL, 2002) o 200 kg N/ha en Andalucía (BOJA, 2001) e incluso dosis menores en zonas muy susceptibles a la contaminación con nitratos.

Igualmente puede ser necesaria la incorporación de fósforo (P) y potasio (K) en el caso de que se detecten concentraciones muy bajas, al tratarse de elementos claves para el desarrollo de especies de crecimiento rápido.

Con relación al chopo se admite que los suelos de aceptable fertilidad son aquellos cuyos contenidos en nitrógeno, fósforo y potasio asimilables se sitúan en torno a 50, 30 y 100 ppm respectivamente en forma asimilable (Dominguez, 1997).

Protección de la parcela

El chopo resulta muy palatable en sus primeras fases de desarrollo, especialmente cuando no hay hierba verde, y es moderadamente sensible al descortezado provocado por la fauna silvestre. Por ello puede ser necesaria la protección de la parcela si se detectan presencia de roedores y/o herbívoros, ya sea mediante métodos físicos (mallas ganaderas) o químicos (aplicación de repelentes). Los cierres mecánicos requieren al menos de 30 cm de malla enterrada y de 150 cm volada con una luz de malla no superior a 36 mm, para garantizar la correcta protección. Esta protección debe asegurarse, al menos, durante los primeros meses del año de instalación así como después de cada corta (Foto 7).



Foto 7. La protección de la plantación frente a posibles daños causados por el ramoneo o descortezado provocado por herbívoros puede ser fundamental en algunas localizaciones, al menos durante el primer año. La luz de la malla estará en función del tipo de herbívoro del que se pretenda proteger.

La tarea de plantar

Es habitual que las plantaciones se realicen al finalizar el invierno e incluso en algunas zonas al inicio de la primavera, intentando evitar mortalidad en las estaquillas provocada por heladas. Las plantaciones en alta densidad pueden realizarse de manera manual, sin embargo la mecanización del proceso resulta necesaria para favorecer el balance económico del cultivo. Información relativa a la maquinaria disponible para abordar esta tarea se describe en el apartado relativo a mecanización.

Independientemente del sistema elegido, es muy importante que las estaquillas no estén brotadas en el momento de la plantación, ya que ello tiene una alta incidencia en el porcentaje de marras, al producirse una descompensación en la formación de sistema radicular frente al desarrollo de la parte aérea. Adicionalmente, las estaquillas brotadas impedirán el proceso de mecanización en la tarea de plantar, al poderse producir rotura de las yemas, así como la aplicación posterior de herbicidas de preemergencia con efecto residual para el control de hierba, por la posibilidad de que el herbicida actúe también negativamente sobre la estaquilla brotada.

El terreno debe tener un grado de humedad suficiente, lo que contribuye a facilitar el buen arraigue de las mismas. El hincado se realiza sin hacer agujero previo para evitar la formación de bolsas de aire, siendo necesaria una cierta compactación del terreno que rodea a la estaquilla para garantizar una correcta adherencia de la misma. Puede resultar una obviedad indicar que hay que prestar atención a la orientación de las yemas, que deben situarse hacia arriba, hecho éste que a veces se descuida cuando el personal de campo no está familiarizado con la especie y contribuye a incrementar el porcentaje de marras. Es una práctica frecuente dejar entre 2-4 cm de la estaquilla sobresaliendo del terreno, con una o dos yemas presentes. En ciertas localidades con alto riesgo de helada, las estaquillas se llegan a cubrir de tierra casi totalmente.

Operaciones a realizar tras la plantación: Tratamientos culturales

Control de las malas hierbas

El control de la vegetación herbácea es una práctica que resulta imprescindible para el establecimiento correcto de la plantación y para su posterior desarrollo hasta el cierre de las copas. Ello está motivado no sólo por la merma que en términos de producción puede acarrear esta vegetación acompañante, en la medida que compiten por la utilización de agua y nutrientes, sino también a la intensa competencia que se establece en el primer año por el espacio y la luz, pudiendo llegar a ahogar el desarrollo de las jóvenes plantas y hacer inviable el cultivo.

Esta necesidad de control, iniciada como se ha referido en la fase de preparación del terreno, debe continuarse inmediatamente después de establecer la plantación. Para ello, el método más eficiente es la utilización de herbicidas residuales que proporcionen una ventaja temporal a las plantas de chopo, de tal forma que puedan adquirir un porte que resulte claramente

competitivo frente a la población de malas hierbas. Otros métodos de control, tales como el empleo de labores intercalares de manera mecanizada, resultan menos eficaces en la medida que no permiten la eliminación de la hierba en la zona cercana al árbol, lo que puede obligar a recurrir a una escarda manual claramente antieconómica.

La aplicación de herbicidas requiere que las yemas se encuentren cerradas en el momento de su aplicación, ya que no se dispone de herbicidas selectivos para su empleo en chopos. Si bien son diversas las materias activas que se han mostrado adecuadas para ser utilizadas inmediatamente antes de la brotación en estas especies, el registro de productos fitosanitarios autoriza una sola materia activa, oxifluorfen, con una persistencia que oscila entre 3 y 5 meses en función del tipo de suelo y siempre que no se altere la película que el herbicida forma sobre el terreno, ya sea por factores meteorológicos adversos tras su aplicación (lluvia o granizo) o mecánicos (pisadas, pases tractor, etc.). Oxifluorfen, con actividad residual y ligero efecto también por contacto, es absorbido por la planta (epicotilo, hipocotilo y hojas), actuando sobre los tejidos meristemáticos foliares y controla un amplio abanico de especies dicotiledóneas y de monocotiledóneas. Una misma materia activa puede presentarse bajo diferentes nombres de marca, pudiendo variar el soporte y los aditivos que la acompañan, y por tanto presentar diferentes nombres comerciales.

Superada la fase de instalación de la plantación, y salvo problemas muy puntuales, no será necesaria una nueva aplicación de herbicidas, debido a que la alta tasa de crecimiento del chopo unido a la alta densidad de cultivo, conduce pronto a un cierre de copas lo que produce un alto porcentaje de sombreo del suelo. No obstante, si existieran problemas de invasión persistente que tras una correcta valoración del umbral de daño hicieran aconsejable intervenir, es posible recurrir a realizar escardas mecánicas o aplicaciones dirigidas con la materia activa glifosato, autorizado para su uso en explotaciones forestales, siempre teniendo en cuenta que se trata de un herbicida total y translocable, y por tanto es necesario proteger el cultivo.

El control de las malas hierbas mediante el empleo de herbicidas requiere respetar unas normas básicas que garanticen la eficacia del tratamiento mediante la correcta aplicación del producto (maquinaria adecuada, dosis correcta, etc.), así como garantizar la seguridad para el aplicador (protección adecuada) y el respeto para el medio ambiente (vertidos indebidos, eliminación de envases, etc.).

En los últimos años se ha desarrollado en el norte de Europa maquinaria específica para el control mecánico de las malas hierbas en este tipo de plantaciones (Foto 8). Un ejemplo de ello es el cultivador «weedler» (www.salix.se). Sin embargo, sus características la limitan a un marco de plantación específico. Efectuar una labor con motocultor con discos permite además de eliminar las malas hierbas, recalzar los árboles en zonas ventosas y, adicionalmente, dejar enterrada la tubería de goteo si la hubiera, lo que puede contribuir a minimizar pérdidas por evaporación del agua aportada (Foto 9).

La utilización de cubiertas plásticas, de manera similar a las empleadas en cultivos hortícolas, está siendo en la actualidad ensayada en plantaciones de biomasa para el control de malas hierbas en la vega del Genil (comunicación personal, Antonio Ramos). Este tipo de cubiertas, independientemente de su valoración económica, resultan en general aptas para el



Foto 8. El control de las malas hierbas, especialmente en el primer año del cultivo, es fundamental para asegurar la instalación de la misma así como su rentabilidad. Existe maquinaria específica para la realización de un control mecánico de la hierba competidora como el que proporciona «Weedkiller» de la firma Salixfer (www.salix.se).

control de especies anuales, siendo más incierta su efectividad en el caso de que la competencia mayoritaria sea provocada por especies perennes.

El control inadecuado de la vegetación competidora puede acarrear una alta mortalidad de pies y hacer inviable la plantación (Foto 10).



Foto 9. Rotovator con discos adyacentes para el control mecánico de malas hierbas en plantaciones en alta densidad. Se observa en el detalle el aporte de tierra sobre la hilera de plantación, lo que contribuye al control de las malas hierbas que crecen en la fila proporcionando, adicionalmente, un recalce de las plantas.

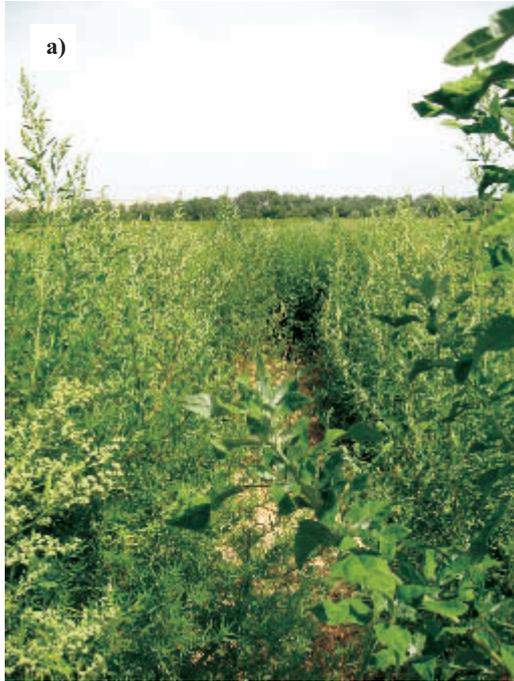


Foto 10. El control de las malas hierbas al menos en el primer año de cultivo, es uno de los factores claves para asegurar su éxito.
a) Plantación donde la abundante presencia de malas hierbas ahoga las plantas,
b) Plantación donde la presencia de malas hierbas ha sido correctamente controlada.



Reposición de marras

Si el éxito en el establecimiento de la plantación se juzga escaso, entre un 10 y un 15% de marras, lo que ha podido suceder por diversos motivos (mala conservación de la estaquilla, mala elección del momento de plantación, inadecuación del terreno, muerte por asfixia provocada por las malas hierbas, etc.) no es recomendable efectuar reposición de marras en el siguiente periodo vegetativo, práctica que suele ser habitual en plantaciones con un objetivo maderero. La alta densidad de plantación implicaría una fuerte desventaja competitiva de las nuevas estaquillas en una plantación que ya posee un periodo vegetativo, lo que conduciría a un nuevo fracaso. En este caso caben dos posibilidades: i) asumir una pérdida de producción importante ii) levantar e instalar de nuevo la plantación. Cuando el porcentaje de marras supera el 15% es aconsejable levantar la plantación y volver a instalarla.

Cuando no se detecta una pérdida importante en el número de plantas instaladas, sino más bien un escaso crecimiento debido a un inadecuado control de las malas hierbas, es aconsejable efectuar una corta al finalizar el primer periodo vegetativo que ofrezca la posibilidad de reparar ese ineficaz control, mediante una nueva aplicación herbicida. El crecimiento en este periodo vegetativo contará con la ventaja de tratarse de plantas que llevarán un año de desarrollo de raíz.

Paralelamente el material cortado, brotes de un año, puede ser utilizado para la realización de estaquillas a utilizar en una nueva plantación, lo que contribuye a diversificar en el tiempo la producción de biomasa y por consiguiente los ingresos obtenidos por ella.

Fertilización

Como se ha comentado en epígrafes anteriores, la respuesta de las plantaciones a la fertilización es una cuestión controvertida, dependiente de un conjunto múltiple de factores que actúan de manera interrelacionada: tipo de suelo, contenido inicial en nutrientes, grado de humedad del mismo, banco de semillas en el suelo, época y sistema de aplicación, etc. Su aplicación debe realizarse de manera racional y debe estar basada en un análisis previo tanto de suelo como foliar del cultivo.

Una vez realizado el abonado de fondo aprovechando las labores de preparación del suelo, pueden ser necesarias posteriores aplicaciones de nitrógeno en cobertera, es decir cuando el cultivo ya está instalado, si el contenido en el mismo se juzga insuficiente en base a los análisis referidos. La aplicación debe realizarse en dosis que no excedan las distintas normativas de las comunidades autónomas, buscando un aporte de nutrientes racionalizado.

Hay que tener en cuenta que los aportes proporcionados por el desfronde al final del periodo vegetativo contribuyen a la recirculación de nutrientes, los cuales pueden ayudar a reducir la dependencia de fertilizaciones, que tienen un coste energético, económico y ambiental que debe ser valorado.

Según Domínguez (1997), plantas de chopo con concentraciones en hojas por debajo de 2,2% de N; 0,17% de P; 1,30% de K; 0,2 % de Ca y 0,15% de Mg, mostrarían deficiencia nutricional, lo que puede implicar la necesidad de utilización de abonos complejos.

El tipo de maquinaria disponible va a determinar el sistema de aplicación del fertilizante, pudiendo distribuirse en el total de la superficie, en las bandas de cultivo (optimizando el pro-

ducto), o dosificado en el agua de riego, lo que permite una distribución uniforme del mismo, siempre que el sistema de riego sea por goteo. La aplicación de riegos mediante aguas residuales procedentes de depuradoras, ricas en materia orgánica, es otra posibilidad a considerar a la hora de plantear la fertilización siempre que se respete la legislación vigente.

Riego

En términos generales las especies e híbridos del género *Populus* altamente productivos se caracterizan por una marcada higrofilia. Por otro lado, los mapas pluviométricos en nuestro país indican una superficie mayoritaria con precipitaciones inferiores a 700 mm de lluvia al año, con una distribución estacional poco favorable para el chopo, lo que supone importantes limitaciones al desarrollo del cultivo sin el empleo de riegos regulares durante buena parte del periodo vegetativo.

Entre los sistemas de riego a emplear, la aplicación de *riego por gravedad* (a manta, por regueras, etc.), que inicialmente puede parecer más económico, supone, sin duda, un consumo inadecuado de agua, al mismo tiempo que puede favorecer otros efectos indeseados como un mayor lavado de nutrientes o una mayor proliferación de malas hierbas, así como una mayor necesidad de personal para su aplicación.

El *riego por goteo* (bajo caudal y alta frecuencia), aun a pesar de su mayor coste inicial de instalación, y la posible incomodidad al realizar la corta, presenta sin embargo diferentes ventajas. Entre ellas cabe citar el ahorro en el consumo de agua, al reducirse el volumen de suelo mojado en torno al 35 %, lo que evita pérdidas por evaporación, el menor lavado de nutrientes del suelo, así como favorecer la menor presencia de malas hierbas competidoras. Paralelamente, este sistema de riego posibilita la aplicación de fertilizante a través del mismo, lo que se conoce habitualmente como fertirrigación. El inconveniente más frecuente atribuido al riego por goteo en choperas tradicionales está en la posibilidad de causar descalce de árboles cuando se producen vientos importantes, al favorecer el desarrollo de un sistema radicular más superficial. Esto sin embargo no se considera importante cuando el chopo se cultiva en alta densidad y corta rotación, y nuestra experiencia apunta a un buen comportamiento del cultivo bajo este sistema de riego. No obstante, en zonas especialmente ventosas, la utilización de maquinaria de limpieza de calle que permita el recalce de las filas, podría solventar este inconveniente al mismo tiempo que deja enterrada la tubería de goteo y facilita las tareas de la corta.

El *riego por aspersión* resulta inadecuado en este tipo de plantaciones al alcanzar las plantas un elevado porte en breve tiempo. Asimismo, puede favorecer la propagación de plagas y enfermedades, al facilitar un alto grado de humedad que se ve también incrementado por la alta densidad de la plantación.

Los caudales a aplicar van a ser muy variables y dependientes de las características del sitio (suelo, precipitación, insolación, temperatura y viento), así como del sistema de riego empleado. Siempre resulta deseable que la cantidad de agua a aplicar se calcule en función de la evapotranspiración potencial (ETP) y del coeficiente del cultivo, procurando así una mayor eficiencia en el uso del agua.

Puesto que la necesidad de riego es sin duda la principal desventaja atribuida al chopo como productor de biomasa, y aun a pesar de que sus requerimientos son muy inferiores al de cultivos como el maíz, por ejemplo, la utilización de sistemas de riego que permitan una mayor optimización del agua será siempre deseables (Foto 11).



Foto 11. La aplicación de riego es una práctica cultural necesaria en nuestro país para garantizar el establecimiento de la plantación y obtener producciones económicamente interesantes. La aplicación de riego en la plantación debe tender hacia métodos técnicamente más eficientes que reduzcan las pérdidas de agua. a) Aplicación de riego mediante goteo, b) aplicación mediante inundación de la parcela.

Control de daños bióticos y abióticos

La presencia de plagas o enfermedades que provoquen pérdidas significativas de follaje durante el periodo vegetativo o perforaciones significativas en la madera, pueden tener repercusiones muy negativas en términos de producción, por lo que constituyen uno de los principales focos de atención en las plantaciones de chopo en alta densidad.

Puesto que en España el número de hectáreas con esta finalidad productiva es escasa en estos momentos, tenemos que referirnos a los principales problemas fitosanitarios que refieren en Europa para este tipo de plantaciones así como a las principales plagas o enfermedades del chopo cultivado para madera en nuestro país y que pueden tener importancia en esta modalidad de cultivo. Los daños ocasionados por hongos fitopatógenos de diferentes especies del género *Melampsora* sp., conocidas genéricamente como royas (*M. larici-populina* Kleb, *M. medusae* Thum o *M. allii-populina* Kleb) constituyen uno de los principales focos de atención a escala europea, concentrando en los últimos años grandes esfuerzos en los diferentes programas de mejora al desarrollo de material tolerante. Su presencia se hace notar por la aparición de pequeñas punteaduras amarillo-anaranjadas preferentemente en el envés de las hojas (Foto 12) y su repercusión es importante cuando su aparición se produce en pleno periodo vegetativo.



Foto 12. La presencia de roya puede causar defoliaciones importantes que pueden acortar significativamente el periodo vegetativo. En estos casos resulta aconsejable la utilización de material tolerante frente a la realización de tratamientos fungicidas. Se observa la característica presencia de uredios de *Melampsora* spp. en el envés de la hoja que le confieren un aspecto herrumbroso.

Otros defoliadores que pueden producir pérdidas de producción son *Venturia populina* (Vuill.) Fabricius, provocando que los brotes se sequen y ennegrezcan o *Marsonnia brunnea* (Ell. et Ev.) P. Magn, detectándose en su fase inicial por la presencia de punteaduras marrones (≈ 1 mm) rodeadas de una capa mucilaginosa, sobre las hojas basales. Sobre troncos, es posible detectar otros patógenos que producen manchas pardas sobre la corteza atribuidas a las especies *Dothichiza populea* Sacc. y Briadr o *Cytospora chrysosperma* R.Mair (Pears).

Los insectos *Melasoma populi* L. (Foto 13), *Leucoma salicis* L., *Lymantria dispar* L. o *Dicranura iberica* L. pueden producir defoliaciones importantes que acarreen una pérdida significativa de producción.

En cuanto a insectos perforadores que producen galerías que pueden mermar la cantidad de madera producida así como comprometer la viabilidad futura del tocón, pueden resultar especialmente dañinos *Cryptorrhynchus lapathi* L., *Saperda carcharias* L. o *Paranthrene tabaniformis* Rott.

La aplicación de tratamientos fitosanitarios para resolver problemas fitopatológicos debe reducirse al mínimo necesario y en cualquier caso debe atenerse a la aplicación de la legislación vigente relativa al uso de fitosanitarios. Las medidas preventivas para evitar problemas fitopatológicos pasan por la utilización de material tolerante, así como el favorecer la mayor diversidad genética del material que se emplea en las plantaciones, siendo para ello aconsejable introducir al menos 5 variedades distintas.

Adicionalmente, existe un riesgo debido a la alta palatabilidad del chopo, preferentemente de los brotes tiernos, para la fauna silvestre (ciervos, liebres, conejos, ratones, etc.), y ganado doméstico, lo que puede implicar la necesidad de vallado durante el establecimiento de la plantación en zonas de alta presencia de estas especies.

En relación a los posibles daños abióticos, es decir aquellos producidos por adversidades de tipo físico, que pueden tener mayor relevancia en plantaciones destinadas a la producción de biomasa podemos citar:

- Riesgo por heladas, que pueden provocar ennegrecimientos en las nuevas hojas así como resquebrajamientos en la corteza (Foto 14).
- Granizos intensos que pueden provocar defoliaciones importantes con la consiguiente merma en la producción (Foto 14).
- Inadecuación de terrenos, por exceso de salinidad, alta concentración de arcilla, baja fertilidad, etc.
- Daños por sequía, provocados por la falta de agua en los momentos críticos del periodo vegetativo, causando pérdidas de producción (las hojas amarillean y comienzan cayendo las basales) así como estado de debilidad generalizado en los árboles, lo que les hace especialmente vulnerables al ataque de plagas y enfermedades.



Foto 13. Escarabajo adulto y oruga del crisomélido del chopo (*Melasoma populi* L.). Su presencia, de ser abundante, puede ocasionar importantes defoliaciones.



Foto 14. Los daños de origen abiótico pueden ocasionar pérdidas de producción significativas en la medida que provocan mortalidad de plantas o, cuanto menos, retrasan el crecimiento. a) Aspecto de la plantación tras sufrir un ataque de pedrisco, b) aspecto de daños por helada.

Corta o aprovechamiento

Las operaciones de corta o aprovechamiento deberán realizarse de manera mecanizada, ya que una corta manual es inviable desde el punto de vista económico.

Las cortas se efectúan «a hecho» una vez alcanzado el turno, lo que estará en función de la densidad inicial de plantación, las características del sitio y material vegetal utilizado. Se realizan durante el periodo de parada vegetativa, después de la caída de la hoja y antes de que las nuevas yemas empiecen a brotar, y deben efectuarse en un momento en el que el suelo sea capaz de soportar el paso de la maquinaria sin que se produzca una compactación excesiva del mismo.

Es importante asegurar la futura viabilidad del tocón, realizando el corte a una altura que en ningún caso debe exceder los 10 cm sobre al suelo, siendo incluso recomendable alturas de corte inferiores, con el fin de procurar que con los sucesivos ciclos de cultivo el tocón no dificulte las tareas de corta sucesivas (Foto 15).



Foto 15. Tocón brotando al inicio de la primavera tras la corta efectuada en invierno. La corta favorece la formación de múltiples brotes cuyo número esta ligado, entre otros factores, al clon del que se trate.

El número de ciclos de corta que es capaz de soportar la plantación está fuertemente influenciado por las características de sitio, el material vegetal y el manejo aplicado, sin que se puedan definir reglas fijas. Sin embargo se considera, en general, que el número de ciclos de cultivo puede oscilar entre dos y seis. La decisión, por tanto, se deberá realizar de manera individualizada y es frecuente considerar tanto la demanda del mercado o la necesidad de retornos económicos, priorizando por tanto en razón del turno financiero, como el momento biológico óptimo de la plantación, es decir teniendo en cuenta el turno de máxima renta en especie.

Manejo de la plantación tras la corta

Una vez realizadas estas operaciones hay que garantizar el inicio de un nuevo ciclo de cultivo asegurando el rebrote de las cepas, procurando la ausencia de competencia por malas hierbas, así como el control del estado de fertilidad suficiente, como ya se ha comentado.

Si antes de la brotación de las cepas la presencia de hierba es importante, es posible utilizar la materia activa glufosinato de amonio, herbicida de post-emergencia, que actúa por contacto, no translocable y autorizado para su empleo forestal. Una vez controlada la hierba presente y antes de la brotación de la cepa se puede realizar una aplicación similar con herbicida de pre-emergencia a la referida en el apartado de control de hierbas.

Una vez agotados el número de ciclos de producción óptimos de las cepas, se deberá proceder al levantamiento de la parcela, destruyendo los sistemas radiculares así como los tocones mediante la utilización de la maquinaria disponible, por ejemplo mediante el empleo de retroexcavadora.

Seguimiento de las plantaciones

Es conveniente realizar un seguimiento de las plantaciones para poder realizar las intervenciones precisas en los momentos necesarios, así como disponer de datos que permitan efectuar una valoración final en términos económicos, energéticos y medioambientales.

Entre ellos podemos enumerar:

- Datos generales de la parcela: planos, registros, análisis de suelo, datos de cultivos o vegetación precedente, labores previas realizadas, etc.
- Replanteo adecuado de la parcela: distancia entre filas y entre árboles para garantizar la densidad deseada.
- Datos relativos a la adquisición y conservación del material vegetal.
- Información relativa a la tarea de plantación.
- Valoración del porcentaje de marras, eficiencia del control de las malas hierbas y vigor general de la plantación.
- Instalación y aplicación adecuada del riego. Cuantificación del mismo.
- Seguimiento de daños bióticos o abióticos.
- Anotación de otro tipo de intervenciones realizadas en la parcela.
- Turno de las cepas.

MECANIZACIÓN DEL CULTIVO Y MANEJO DE LA COSECHA

La completa mecanización de las plantaciones de chopo en alta densidad y corta rotación debe considerarse una necesidad para lograr la optimización económica del cultivo. Ello abarcará desde la realización mecánica de la estaquilla hasta las operaciones de pos-cosecha, siendo sin duda la plantación, corta y extracción de la biomasa las operaciones más relevantes.

Maquinaria de plantación

Debido al elevado número de estaquillas por hectárea que es necesario plantar, esta operación debe realizarse de forma mecánica.

Actualmente, se pueden considerar tres tipos de máquinas plantadoras de estaquillas. Por una parte están las plantadoras empleadas tradicionalmente para otros cultivos tales como, por ejemplo, los hortícolas o los frutales (Foto 16), realizando sobre ellas ligeras modificaciones. Estas máquinas tienen la ventaja de su fácil disponibilidad en el mercado nacional y se pueden utilizar en otros cultivos a lo largo del año, aunque no siempre el rendimiento y la calidad de plantación son similares a la que se podría obtener con maquinaria específica para este tipo de cultivo. Por ello, estas adaptaciones pueden ser aconsejables para plantar pequeñas superficies y si este uso se alterna con el de otros cultivos.

Los otros dos tipos a tener en cuenta son máquinas más o menos específicas para la plantación de los cultivos leñosos en alta densidad. Uno de ellos utiliza estaquillas ya preparadas (Fotos 17) con una longitud de unos 20-25 cm, que se pueden alimentar manual o automáticamente y que se clavan en el suelo. Generalmente, se trata de equipos arrastrados por un tractor agrícola que poseen rodillos compactadores como sistema nivelador del suelo y con inyectores dispuestos de forma radial sobre estos y equidistantes entre sí. Un operador coloca la estaquilla en un inyector, mientras otro de los inyectores se encuentra en contacto con el suelo, momento en el que la estaquilla es empujada por un sistema hidráulico que la introduce en el suelo. Este sistema va montado sobre una guía con la que se regula la profundidad de la plantación. La colocación de la estaquilla en el inyector debe de hacerse cuidadosamente con el fin de que quede plantada según su posición natural (yemas hacia arriba). La capacidad operativa de trabajo depende fundamentalmente del número de hileras plantadas simultáneamente para lo que existen diferentes máquinas.



Foto 16. Maquinas plantadoras tradicionales de horticolas (a) y de frutales (b) adaptadas para la plantación de estaquillas de chopo con posibilidad de plantar varias filas simultáneamente.

La foto 17a muestra una máquina plantadora de estaquilla de una sola fila de plantación, de la firma italiana Spapperi (www.spapperi.it). En ella se aprecia el rodillo compactador con los inyectores en los que las estaquillas son colocadas por un operador. El rendimiento de esta máquina es de unas 0,2 ha/hora en líneas individuales separadas tres metros y con una distancia entre plantas de 0,4-0,5 m.

La misma firma dispone de máquinas con este mismo sistema que plantan 2 hileras simultáneamente. También existe la opción de que las estaquillas queden plantadas sobre plástico en la misma operación a fin de evitar la proliferación de malas hierbas en los primeros meses tras la plantación.

Similar sistema es utilizado por la empresa Biopoplar (www.biopoplar.com). La máquina plantadora (Foto 18), tiene capacidad para plantar tres filas simultáneamente y a densidades entre 5500 a 8300 plantas/ha. Esta máquina requiere de un tractor con una potencia de 120 CV y de 4 operarios y tiene una capacidad de trabajo de, aproximadamente, 1,2 ha/h.

El tercer tipo de máquinas está en fase demostrativa para chopo y su diseño se deriva de las plantadoras comerciales de sauce. Estas máquinas emplean varas enteras de 1,20 a 1,80 m de longitud colocadas manualmente dentro de un compartimento desde el que se alimenta automáticamente la máquina que, además, se encarga de cortar las estaquillas a los tamaños adecuados antes de introducirlas en el suelo. La foto 5 muestra una plantadora del tipo descrito de la firma sueca Salixphere (www.salix.se). Las filas plantadas pueden ser equidistantes o pareadas. Para un cultivo de 10.000 plantas/ha, una máquina de este tipo que plante 4 filas simultáneamente, tiene un rendimiento de 1,0-1,5 ha/hora.

En cualquier caso, en plantaciones de gran superficie será más viable económicamente utilizar las plantadoras de múltiples filas.



Foto 17. Maquinas plantadoras diseñadas específicamente para la plantación de estaquillas de chopo con alimentación manual y para plantar una única fila en cada pasada. a) de la empresa Spapperi, www.spapperi.it, b) procedente de Viveros Alasia www.alasiavivai.com.



Foto 18. Máquina plantadora específica de estaquillas de cultivos leñosos para biomasa de la empresa Biopoplar operando en parcelas comerciales de Francia, plantando tres filas simultáneamente (cedida por Biopoplar, www.biopoplar.com).

Maquinaria de recolección

La recolección es la operación técnicamente más compleja a realizar en el cultivo de chopos en turno corto.

La corta se realiza en invierno, generalmente entre noviembre y febrero, después de la caída de las hojas y antes de la brotación. En esta operación es muy importante tener en cuenta la practicabilidad del suelo debida a su textura y contenido en humedad, factores que, combinados, pueden dificultar e incluso impedir la operación de recolección. Si la máquina es muy pesada, puede compactar el suelo y afectar a su estructura.

Además, los métodos de recogida a utilizar dependen también de parámetros tales como la superficie de recolección, desarrollo y diseño de la plantación, especificaciones del usuario final de la biomasa y de otros que influyen indirectamente, tales como los accesos a las parcelas de cultivo, disponibilidad de superficie para almacenamiento de la biomasa, etc.

La gran variedad de circunstancias locales y la muy escasa experiencia hasta el momento en esta operación hace que no exista un criterio general sobre como realizar el aprovechamiento, existiendo numerosos prototipos, los cuales se siguen mejorando constantemente. No obstante, se pueden diferenciar dos sistemas principales: corta y astillado en la misma operación o, sólo corta, produciendo varas en forma de haces o varas sueltas.

La elección de uno u otro sistema dependerá de que interese recoger astilla o bien la planta entera (Figura 19), posponiendo el astillado a cuando haya disminuido la humedad, que en el momento de la corta suele ser de alrededor del 50%. En el caso de que sea necesario almacenar la biomasa cosechada largos periodos de tiempo es, por lo general, más interesante realizar el aprovechamiento de la planta entera debido a la mejor conservación de la biomasa en esas condiciones. En estas circunstancias el almacenamiento conviene hacerlo cerca de las plantaciones y durante el mismo tiene lugar un secado natural. Posteriormente, la biomasa se astilla y transporta.

No se deben utilizar las parcelas de cultivo para almacenamiento en campo de la biomasa, por el peligro de dañar tanto las ruedas de los vehículos en estas actividades como producir daños en los tocones de las plantas con la consiguiente disminución de producción en años sucesivos.



Foto 19. Almacenamiento de biomasa: a) astillas, b) varas o haces; a pie de parcela procedente de cultivo de chopo en turno corto.

Maquinaria para cosecha con astillado directo

La recolección con astillado directo, en la que los tallos son cortados y astillados en una misma operación, es el método más sencillo para llevar a cabo esta operación (Foto 20).



Foto 20. Máquina cortadora-astilladora: a) Autopropulsada, de la empresa Biopoplar (www.biopoplar.com) recolectando parcelas comerciales de chopo para biomasa en Italia. b) Accionada por un tractor agrícola, de la firma italiana Spapperi (www.spapperi.it), en Soria.

En este apartado se pueden considerar dos alternativas actualmente en desarrollo. Una consistente en el uso de maquinaria forrajera autopropulsada, tradicionalmente empleada para forraje de sorgo, maíz o caña de azúcar, con el cabezal modificado y adaptado al chopo para recolectar 1 ó 2 filas simultáneamente. En esta línea, existen diversas adaptaciones de maquinaria, como la de la empresa Biopoplar, realizada sobre un cabezal con posibilidad de utilizarlo con cosechadoras forrajeras de diversas marcas y capaz de cortar plantas de diámetros medios de 13-14 cm; la de la empresa New Holland (www.newholland.com) realizada sobre la máquina FR 9000 y el cabezal 130 FB para recolectar plantas con un diámetro de hasta 15 cm y, la realizada por Claas (www.claas.com) sobre la máquina Claas Jaguar a la que se le sustituye el cabezal para cultivos herbáceos por otro específico para leñosos que corta tallos con diámetro inferior a 10 cm.

El segundo tipo de máquinas está diseñado específicamente para el aprovechamiento de biomasa de chopo en turno corto o bien son máquinas recolectoras adaptadas a partir de las existentes para otros cultivos leñosos, principalmente el sauce, como las de la firma italiana Spapperi y las de la sueca Salixphere. La máquina de Spapperi, necesita de un tractor cuya potencia mínima sea de 150 CV, con sistema de conducción reversible y se conecta a la toma fuerza. Dispone de un disco astillador con 2 cuchillas radiales y cabezal de corte con 2 cuchillas circulares. Puede actuar sobre dos filas de árboles a la vez siempre que la separación entre ellas sea de 75 cm.

La máquina Salixphere Bender de la empresa sueca Salixphere tiene la particularidad de que corta y astilla (o trocea) mediante una sierra de cadena montada sobre un bastidor flotante. Es una máquina muy flexible en sus condiciones de operación, que se adapta prácticamente a cualquier marco de plantación, pero los datos disponibles se refieren a corta de sauce, siendo la experiencia con chopo muy reducida.

En ambos casos, la astilla puede ser recogida en un depósito arrastrado por el mismo tractor que lleva el equipo de cosecha o en un remolque arrastrado por tractor que camina en paralelo al mismo y que transporta la astilla a una zona de almacenamiento intermedio.

Generalmente estas cosechadoras tienen gran capacidad de trabajo lo que requiere que el manejo de la biomasa esté muy organizado y optimizado.

Maquinaria para cosecha de planta entera

Cuando interese la recolección de la planta entera (sin astillar), se pueden utilizar máquinas que, simplemente, cortan el tallo. A partir de aquí existen distintas opciones que realiza la propia máquina y que están todavía en fase de prototipos para la recogida de chopo. Entre estas opciones pueden destacarse las siguientes:

- a) Almacenar los tallos en una plataforma de la propia máquina y descargarlas mediante un elevador incorporado que puede colocar las varas a una altura de 2-3 metros sobre el suelo de la parcela o, descargarlas directamente en un remolque, el cual saca seguidamente la biomasa de la parcela dejándola en un lugar accesible para máquinas astilladoras y camiones. Con este sistema existen máquinas como la Empire 2000, prototipo de origen sueco. Es una máquina autopropulsada cuyo cabezal está formado por dos cuchillas circulares que trabajan sobre dos hileras. El diámetro máximo de la planta a la altura del corte no debe pasar los 8 cm. Similar operación realiza el modelo Rodster de Salixphere, cortando los tallos mediante una sierra de cadenas.
- b) Colocar los tallos en el suelo en posición perpendicular a las líneas de cultivo y todos en la misma dirección para que otro equipo los retire posteriormente de la parcela y los almacene fuera de la zona de cultivo a fin de no interrumpir la brotación de los tocones. Con esta opción existen prototipos italianos de equipos suspendidos en un tractor, enganchados a los tres puntos y accionados por la toma de fuerza del tractor. El equipo de corta consiste en una sierra circular colocada sobre el chasis de la máquina y que puede girar 90 grados. Para realizar la corta, la sierra va colocada lateralmente al tractor y dispone de ajuste de desplazamiento, disponiéndose detrás de él para su transporte por carretera.

La siguiente fase, en este caso, será la recogida y transporte de las varas al margen de la finca para su astillado, una vez pasado un periodo de secado natural. El recogedor va colocado en la parte delantera del tractor y coloca las plantas en montones de forma que resulte fácil cogerlas para alimentar una astilladora forestal. Estas astilladoras van equipadas con un brazo hidráulico que las alimenta y pueden ser autopropulsadas o ir montadas sobre un camión.

- c) Tras el corte de los tallos la máquina dispone las varas en el suelo en posición paralela a las líneas de cultivo, entre las líneas del mismo, donde se pueden dejar durante cierto tiempo hasta que disminuya su contenido en humedad y entonces astillarlas y transportarlas directamente al punto de consumo (Foto 21). Este sistema lo utiliza, entre otras, la máquina de la firma italiana Mantovani que trabaja accionada por un tractor con conducción reversible, debiendo disponer de una distancia entre líneas no inferior a 350 cm.



Foto 21. Varas cortadas en invierno y dispuestas en paralelo a la línea de cultivo donde permanecen hasta la primavera para facilitar su secado. En una operación posterior se procederá al astillado en la parcela.

- d) Existen máquinas que cortan, recogen y compactan las varas dando lugar a haces o pacas cilíndricas de un tamaño adecuado para su transporte con camión y almacenamiento, lo que facilita su manejo y reduce los costes de estas operaciones. Este tipo de recogida se viene realizando para sauce con la máquina Salixphere Bundler, de la firma sueca Salixphere (Foto 22), y en la actualidad esta empresa tiene en desarrollo un prototipo para chopo. Se trata de un equipo acoplado a un remolque y



Foto 22. Máquina cortadora y compactadora de varas Bundler de la firma sueca Salixphere (www.salix.se). Corta y compacta las varas en pacas cilíndricas.

arrastrado por un tractor, el cual corta y empaqueta la biomasa en haces cilíndricos que va depositando en el suelo, de donde se recoge con un camión autocargador o similar. Al igual que en los casos anteriores, la biomasa puede quedar un tiempo en el suelo antes de ser recogida, durante el que tiene lugar un proceso de pérdida de humedad.

Los procedimientos descritos, que exigen el empleo de dos máquinas secuencialmente, no son rentables en países de climatologías húmedas, si bien, aunque no existen evaluaciones económicas detalladas, podrían tener interés en los países del área mediterránea, debido a las mayores posibilidades que ofrece la climatología para el secado de la biomasa en campo.

- e) Por último, en aquellos casos en los que el gran grosor de los tallos no permite la utilización de las anteriores máquinas, se utilizan para la recolección máquinas multitalladoras forestales convencionales, que, a veces, combinan la función de abatimiento del árbol con la de su transporte hasta una zona próxima a la plantación. Esto ocurre en determinadas plantaciones, principalmente en Estados Unidos, en las que el chopo se cultiva a turnos de 6-10 años y densidades de alrededor de 5 000 plantas/ha, lo que permite utilizar la cosecha obtenida para madera o como combustible, dependiendo de las condiciones del mercado.

La mecanización de la recolección del chopo para fines energéticos está todavía en una etapa inicial y requiere de futuros desarrollos que darán lugar a máquinas más

eficientes y que reducirán los costes de esta operación. Un aspecto concreto a mejorar es el de la falta de flexibilidad de la mayoría de las actuales máquinas frente a las diferentes condiciones de los cultivos en cuanto a densidad y grosor de los árboles a cortar, aspecto éste que, en las circunstancias actuales, puede llegar a condicionar la optimización de la producción de biomasa.

BIBLIOGRAFÍA

- DOMINGUEZ, A. 1997. «Plantaciones Forestales», en *Tratado de Fertilización*, Ediciones Mundi Prensa, 518-522.
- CANDILO M.D., RANALLI P., CESARETTI C., PASINI., 2004. «Non-food crops: their use to provide energy now a reality», *Informatore Agrario*, 60 (1), 34-38.
- PADRO, A., ORENSANZ, J. 1987. *El chopo y su cultivo*, Serie Técnica, MAPA, Madrid, 446 pp.
- IDAE, 2004. PLAN DE FOMENTO ENERGÍA RENOVABLE (2005-2010). Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía IDAE, MITC, 347 pp.
- MEZZALIRA G., BROCCHI M., 2002. «La coltivazione del genero Paulownia nel mondo», *L'Informatore Agrario*, 1, 66-73.
- SIXTO, H., HERNÁNDEZ, M.J., BARRIO, M., CARRASCO, J., CAÑELLAS, I. 2007. «Plantaciones del género *Populus* para la producción de biomasa con fines energéticos», *Investigación Agraria. Sistemas y Recursos Forestales*, 16 (3), 277-294.

AGRADECIMIENTOS

El presente manual se encuadra en el marco del Proyecto Singular Estratégico On Cultivos, PSE6-2005 (<http://www.oncultivos.es>), financiado por el Ministerio de Ciencia e Innovación así como a los proyectos RTA2005-00182-C02-01 y RTA 2008-00025-C02-00, ambos pertenecientes al Subprograma Nacional de Recursos y Tecnologías Agrarias en cooperación con Comunidades Autónomas.

Queremos agradecer a D. Jordi Salvia de BIOPOPLAR IBERICA, D. Rodolfo Lindqvist de la empresa SALIXFER, D. Fabrizio Nardin de ALASIA VIVAI, D. José María Timón de TIPLAN, D. Alvaro Almarza de NEW HOLLAND, D. Antonio Ramos, populicultor de la vega del Genil, así como a D. Pedro Solo de Zaldivar de NIARSA, la información fotográfica que nos han facilitado para la ilustración del presente manual.

Monografías INIA

Instrucciones para los autores

Serán admitidos trabajos originales que no hayan sido publicados ni sometidos simultáneamente a publicación. Los trabajos deben representar una información completa sobre un tema específico de carácter agrícola, forestal, ganadero, medioambiental o alimentario, incluidos estudios económicos en cualquiera de dichos sectores, cuyo contenido sea en su mayoría aportaciones del propio autor o autores, pudiendo incluir información de otros, si bien no de forma exclusiva.

Todas las monografías serán evaluadas por revisores anónimos. El primer autor o persona que los autores designen será informado de la recepción y resultados de la evaluación y recibirá 25 ejemplares de la monografía una vez se publique.

Cuando un trabajo haya sido aceptado para publicación como monografía INIA los derechos de publicación, traducción o reproducción por cualquier medio, quedarán en posesión del INIA.

El INIA no paga derechos de autor.

Se presentarán los originales a doble espacio y por una sola cara, en papel DIN-A4 (210 × 297 mm), con márgenes de 25 mm a cada lado y las líneas numeradas.

Se enviarán original y tres copias al Servicio de Programación Editorial Científica y Publicaciones del INIA, Carretera de La Coruña Km. 7,5, 28040 Madrid, España. Se adjuntará un CD con el trabajo completo en formato word y las figuras y tablas insertadas (con las figuras aparte en su formato original). En el caso de que el trabajo no supere los 7 Mb, puede enviarse por correo electrónico.

Composición de la monografía

Constará de los siguientes apartados: 1. *Título, Resumen y Palabras clave* en idioma original. 2. *Título, Resumen y Palabras clave* en idioma alternativo (inglés o castellano). Si se presentara en un idioma distinto al español o inglés, debe contener obligatoriamente el resumen en estos dos idiomas. 3. Introducción. 4. Texto en uno o varios capítulos. 5. Conclusiones. 6. Agradecimientos (opcional). 7. Referencias bibliográficas.

- **Título del trabajo.** Debe ser claro, corto y conciso, evitando términos como «Estudios sobre...», «Observaciones...», «Contribución al...» El título no excederá de 25 palabras.
- **Resumen.** Debe contener concisamente la esencia del trabajo. Constará de 150 palabras como máximo, sin presentar detalles experimentales, referencias bibliográficas ni abreviaturas.
- **Palabras clave:** máximo de siete.
- **Introducción.** Deberá contener todos aquellos datos de interés, antecedentes y justificación que permitan comprender el planteamiento de los objetivos y situar el tema en su contexto. No debe ser demasiado general ni demasiado exhaustiva. Si la estructura de la monografía está dividida en varios capítulos con diferentes autores, se debe hacer una introducción general independiente de la de cada uno de los capítulos.
- **Texto de la monografía.** Se puede presentar de forma continua, con los apartados correspondientes o dividida en capítulos, todos ellos relacionados con el mismo tema. Si los capítulos están escritos por un autor o autores diferentes, en cada capítulo deberán aparecer los siguientes datos: título del capítulo, nombre del autor o autores y nombre de la institución a la que pertenecen.
- **Agradecimientos.** Los agradecimientos a personas e instituciones que hayan prestado apoyo técnico y las citas de fuentes de financiación deben ser concisos.

- **Referencias bibliográficas.** El criterio de presentación de las referencias será el siguiente: apellido/s del autor, iniciales del nombre seguidas de punto; año de publicación precedido por una coma y seguido de punto; título del trabajo seguido de punto; nombre de la revista o título del libro, en caso de revista volumen, número situado entre paréntesis y primera y última página del trabajo. Si se trata de un libro deberá indicarse la editorial y el número de páginas total o, en su defecto, el número de páginas del capítulo.

Artículo estándar de revista

TYNER F.H., TWEENTEN L.G., 1998. Simulation as a method of appraising farm programs. *Am J Agr Econ* 50, 66-81.

Capítulos de libros

DOREFLING R., TIETZ D., 1993. Methods for the detection and estimation of abscisic acid and related compounds. En: *Abscisic Acid* (Addicott F.T., ed.). Praeger, NY, pp. 23-77.

Libros

MILTHORPE F.L., MOORBY J., 1999. *An introduction to crop physiology*. Academic Press, 244 pp.

Tesis

FLORES M., 2000. *Las técnicas biomoleculares en el diagnóstico y tipificación de los patógenos vegetales*. Tesis Doctoral. Universidad Carlos III, Madrid.

Actas de Congresos

SANZ P., AYERRA J.C., CALVO F., 2000. Influencia de las bajas temperaturas sobre la síntesis de antocianos en manzanas «Starking Delicious». Libro Resúmenes IV Congreso de la Sociedad Española de Ciencias Hortícolas, Toledo. Tomo II, pp. 3-5.

Artículos de internet

GILBERT D.G., 1992. SeqApp, a biological sequence editor and analysis program [en línea]. Disponible en <http://www.iubio.bio.indiana.edu/molbio/seqapp> [Consulta: 3 mayo 2002].

Documentos legales

BOE, 1996. Real Decreto 2210/1995, de 13 de noviembre, por el que se modifica la estructura orgánica del Instituto de Salud Laboral. Boletín Oficial del Estado núm 21, 24/1/1996.

Figuras y tablas

Se numerarán de forma independiente con números arábigos y deberán ser autoexplicativas.

- Las **tablas** llevarán el número y título en cabecera. Las notas aclaratorias que permitan una mejor interpretación de sus datos irán al pie.
- Las **figuras** pueden ser gráficas o fotografías y llevarán el número y la leyenda al pie. Las gráficas se prepararán con los programas Excel, Freehand o Illustrator. Las fotografías digitales tendrán una resolución superior a 300 ppp en su tamaño final, y se enviarán también aparte en formato de imagen.

Para consultar las instrucciones completas, consultar la web: www.inia.es (Publicaciones), o solicitarlas por correo electrónico (publinia@inia.es).
--

ÚLTIMAS MONOGRAFÍAS INIA. SERIE FORESTAL



N. 17, 2008

Las estaciones ecológicas actuales y potenciales de los rebollares españoles

O. Sánchez, S. Roig, M. Gaztelurrutia, A. Rubio, J.M. Gandullo
343 p.
ISBN 978-84-7498-524-5
Precio: 32 €

Seguindo la metodología aplicada repetidamente para los estudios autoecológicos paramétricos de las principales especies forestales arbóreas españolas, corresponde a esta monografía el correspondiente a los rebollares.

Tomando como base de partida el colectivo correspondiente a las parcelas del Tercer Inventario Forestal Nacional, donde el rebollo figura como especie arbórea dominante, el estudio se ha abordado en dos partes. En la primera se ha realizado la definición y cartografía de las áreas potenciales fisiográfico-climáticas de la especie, a partir de la elaboración paramétrica de los hábitat de esa naturaleza, estableciéndose clases de potencialidad que califican la aptitud del territorio para la especie, generando modelos digitales para todo el territorio español y la cartografía correspondiente.

En una segunda parte se ha abordado la definición del hábitat general de los rebollares en España, a partir del muestreo de campo en 340 parcelas del IFN, elaborándose un total de 36 parámetros ecológicos de naturaleza fisiográfica, climática y edáfica, cuya variación ha sido analizada de forma exhaustiva, valorando las analogías y diferencias entre distintos ámbitos territoriales previamente definidos y estableciéndose la definición de hábitat centrales y marginales. Asimismo se ha realizado una tipificación edáfica de los suelos de los rebollares, clasificando estos de acuerdo con FAO (1998) y con la clasificación forestal española (Gandullo, 1994).

Por último se incluye en la monografía una comparación del hábitat definido para la especie con los establecidos para otras especies forestales anteriormente estudiadas, así como un análisis de la dependencia estadística de los parámetros ecológicos definidos con algunos valores selvícolas que caracterizan fisionómicamente las masas de rebollo.



N. 18, 2008

Utilización de *Quercus pyrenaica* Will. de Castilla y León en el envejecimiento de vinos. Comparación con roble francés y americano

E. Cadahía, B. Fernández, P. Poveda, M. Sanz
175 p.
ISBN 978-84-7498-525-2
28 €

Ante la necesidad de madera de calidad para tonelería, las grandes extensiones de rebollo que pueden encontrarse, tanto en Castilla y León (722.773 ha) como en toda España (1.090.716 ha), así como la posibilidad de dar a nuestros vinos una personalidad propia, con características de calidad reconocidas, se ha realizado este estudio sobre la calidad enológica de la madera de rebollo (*Quercus pyrenaica* Willd.) que se produce en Castilla y León, es decir, sobre las propiedades químicas y estructurales de la madera, su evolución durante las diferentes etapas del proceso de fabricación de barricas y su influencia en las características del vino, en comparación con el roble francés y americano, de reconocida calidad para uso en enología.

Esta madera ha presentado unas características estructurales (grano, porosidad, permeabilidad) idóneas para su utilización en la fabricación de barricas. Sus características químicas (polifenoles, taninos y compuestos volátiles) son muy similares a las de otras especies de reconocida calidad enológica, destacando la ausencia de diferencias significativas entre las distintas regiones de procedencia, para aquellos compuestos químicos de incidencia sensorial.

La evolución de estas características químicas, durante el secado natural al aire libre y el tostado, ha dado lugar a una madera equilibrada en su composición tánica, con concentraciones similares a las que presenta la madera de *Q. petraea*, y rica en compuestos aromáticos, siendo sus niveles similares o superiores a los que pueden detectarse en la madera de roble francés y americano.



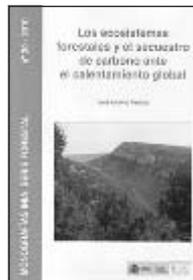
N. 19, 2010

Las estaciones ecológicas actuales y potenciales de los sabinares albares españoles

R. Alonso, O. Sánchez, S. Roig, E. López, J.M. Gandullo
188 p.
ISBN 978-84-7498-528-3
Precio: 23 €

El enebro o sabina albar, *Juniperus thurifera* L., se extiende por casi 600.000 ha del territorio español, de las cuales aproximadamente en la mitad es la especie arbórea dominante. La importancia de la sabina albar en nuestro país, donde su expansión en las últimas décadas es un hecho constatado, justifica abordar la tarea de conocer de una manera sistemática y cuantitativa sus requerimientos ecológicos.

En el marco de la metodología largamente empleada en los estudios ecológicos de las especies forestales españolas, sustentada a su vez en el concepto de envolvente ecológica, se ha caracterizado en primer lugar el hábitat fisiográfico, climático, edáfico y edafoclimático de *J. thurifera*. Así mismo, el análisis conjunto de todas las variables ecológicas contempladas ha permitido identificar un total de diez gradientes ecológicos determinantes del hábitat actual de la especie en Castilla y León, siendo los de carácter edáfico y uno climático, el termopluviométrico, los más trascendentes. Este último, muestra una notable estenoicidad, denotando además la existencia de un único patrón climático en el área de distribución de la especie. El ámbito climático ocupado por *J. thurifera* hoy en día en España se asemeja más a los medios submediterráneos que a los genuinamente mediterráneos, por lo que su estrategia para competir con especies de crecimiento más rápido consiste en ocupar las localidades de suelos más desfavorables, ya sea por su alta pedregosidad, su carácter asfixiante o su extrema basicidad.



N. 20, 2010

Los ecosistemas forestales y el secuestro de carbono ante el calentamiento global

J.A. Pardos
253 p.
ISBN 978-84-7498-529-0
Precio: 26 €

Este trabajo pretende ofrecer una visión panorámica de los efectos del incremento de CO₂ en la atmósfera (en relación con el calentamiento global y favorecido antrópicamente) sobre el secuestro de carbono en los ecosistemas forestales y el comportamiento e interacciones de sus diversos componentes.

Tras una referencia introductoria a la necesidad de reducir las emisiones de gases de efecto invernadero, firma del protocolo de Kyoto, sucesivos informes del PICC y recalcar el papel de los bosques como reservorios y sumideros de carbono, se dedica un capítulo a subrayar la incidencia de las variaciones del clima en la vida y su relación con los niveles de CO₂; se mencionan diversas formas de medición para la reconstrucción de periodos climáticos pasados (destacando el papel de las mediciones dendrocronológicas) y el desarrollo de modelos de predicción, subrayándose las incertidumbres que entrañan.

El segundo capítulo, después de aludir a las características de los tres gases de efecto invernadero más destacables (dióxido de carbono, óxido nítrico y metano), está dedicado al balance de carbono en los bosques. Se analiza su doble papel, de sumideros al absorber el CO₂ y de fuente al producirse éste en diversas circunstancias (incendios, aprovechamientos). Se aportan datos bibliográficos sobre contenido en carbono de diversos biomas, flujos de carbono y producción primaria; se comparan datos de su capacidad de captura en vegetación y suelo en diferentes ecosistemas, destacando el importante papel de éste último como reservorio de carbono.

