

# TALLARES DE CHOPO I-214 A TURNOS MUY CORTOS

Francisco Marcos Martín, Miguel Godino García, Fernando García Robredo, Inés Izquierdo Osado y Santiago Villegas Ortiz de la Torre.

Departamento de Ingeniería Forestal. (\*) Dpto. de Economía y Gestión Forestal.  
ETSI de Montes - EUIT Forestales. Univ. Politécnica de Madrid  
Cdad. Universitaria s.n. 28040 Madrid  
Tfno: 91-3367120. Fax: 91-5439557. fmarcos@montes.upm.es

## RESUMEN

Tras una introducción en la que se presentan los principales cultivos energéticos realizados en distintos países americanos y europeos presentamos las características selvícolas más importantes de una plantación energética experimental de chopo *Populus x euramericana* I-214. La plantación está situada en Cabrerizos (Salamanca), muy cercana al río Tormes. El turno estudiado ha sido de cuatro, tres y dos años, con un recepe de dos años. Se obtiene su productividad superior a las 18 ton. de materia seca por hectárea y año. Se analiza también la relación entre el CO<sub>2</sub> fijado y la posibilidad. El objetivo perseguido es llegar a estudiar el uso de este clon como fuente de energía, fijador de CO<sub>2</sub>, creador de riqueza y puestos de trabajo.

**PALABRAS CLAVE:** Cultivo energético, productividad, fijación, CO<sub>2</sub>.

**Mesa temática 3:** Selvicultura y sistemas agroforestales.

## INTRODUCCIÓN

Los cultivos para producir biomasa con fines energéticos pueden realizarse con especies leñosas o herbáceas y son muy interesantes desde el punto de vista del balance energético (MARCOS, 1985). Entre las especies leñosas destacan el chopo y el sauce que han sido estudiados en todo el mundo debido a que son una fuente de energía autóctona y permiten el desarrollo rural sostenible. En USA destacan los estudios de BERGKVIST et al. (1998). En Canadá LABRECQUE et al. (1995, 1998) añaden lodos de depuradora, que hacen las veces de abono. También son estudiados en Europa, usando sauces, por DANFORS et al. (1998) y BULLARD (2002) con turnos de 3 a 5 años.

En España destacan los estudios con diversos híbridos de chopo, realizados hace años por SAN MIGUEL et al. con densidades de plantación que no superan los 10.000 pies/ha. CIRIA CIRIA estudia varios clones en Soria en su tesis doctoral no publicada. Y, sobre todo, destacan los de MARCOS et al. (2000 y 2001) que propone densidades de plantación muy altas (más de 25.000 pies por ha) y turnos muy cortos (2 años).

## MATERIALES Y MÉTODOS

### 1. Elección de especie y clon.

La especie elegida ha sido el *Populus x euramericana* Dode clon I-214. Con el nombre de *Populus x euramericana* (Dode) Guinier, se designan todos los cultivares híbridos derivados de *Pop. deltoides* y *Pop. nigra*. El binomio *Populus x canadensis* Moench., se presta a confusión, pues parece indicar un origen geográfico y, por otra parte, su autor no ha mencionado el origen híbrido de los álamos que describía. "Euramericana" es debido a que el *Populus nigra* L. es europeo mientras que el *Populus deltoides* Marsh. es americano. El *P. nigra* se encuentra en toda España, formando grupos, bosques de galería, bosquetes, creciendo en los márgenes de los ríos, las vegas y los sotos. Tiene tronco a menudo torcido, bastante corto, deformado en el que la ramas gruesas, por excrescencias, llegan a alcanzar un gran diámetro. Es alargado y bello, es el chopo español por excelencia. De gran valor ornamental se ha plantado mucho en jardines privados, parques públicos y paseos. El amarillento, dorado color de sus hojas otoñales sobre un fondo todo verde o reflejado en una azulada lámina de agua hacen de este chopo las delicias de pintores y poetas. Machado no pudo menos de fijarse en él en innumerables ocasiones y dedicarle algunos de sus versos más preciados. Es uno de los árboles del Duero, en Salamanca, Soria, Segovia, Valladolid, León, Palencia, Burgos, pero también de todos los ríos españoles... En las montañas españolas sube hasta los 1.800 m. El área natural del *Populus deltoides* Marsh., desde el Océano Atlántico a las grandes llanuras del Oeste de

América del Norte, en latitud, desde la Región de los Grandes Lagos y de San Lorenzo al Golfo de México, o sea de los paralelos 30°N a 50°N. Su tronco es recto y esbelto con una copa poco densa, compuesta de fuertes ramas poco ramificadas, debido a la sequía precoz de los ramillos secundarios.

Para FERNÁNDEZ MOLOWNY (1997) híbridos "son los obtenidos de cruzamiento entre dos especies distintas, mientras que los bastardos o mestizos son los cruzados dentro de la misma especie, pero entre razas o variedades distintas. Los híbridos son normalmente estériles y siempre se cumple esta afirmación salvo en casos excepcionales producidos entre géneros muy próximos, como pasa entre los cedros y los abetos; pero los de chopo tienen una enorme facilidad de reproducción asexual, esto es, por estaquillas, esquejes, brotes, etc. FANLÓ (1956) señala que "en América del Norte hay diversas especies de chopo que fueron transportados a Europa hace más de un siglo, cultivándose en un principio como formas puras. La facilidad de cruzamiento o hibridación de que hemos hablado dio lugar a que estas formas de chopos importadas se cruzaran con las razas de variedades europeas, especialmente las de chopo negro, resultando por lo general chopos de mayor crecimiento, de hojas más anchas, ramas más angulosas, tallos comúnmente más derechos, pero dando lugar a maderas más blandas y siendo en conjunto más exigente en humedad del suelo y en fertilidad." Híbridos de este grupo se han producido de forma espontánea al introducirse los álamos americanos en Europa y se mencionan desde el principio del siglo XVIII. Las características de los híbridos son intermedias entre las especies parentales. El I-214 es un híbrido, árbol hembra, muy vigoroso, con gran crecimiento en sus raíces. Es el logro más célebre del Instituto de Casale Monferrato (Italia), obtenido y experimentado por el profesor Piccarolo y su equipo, se extendió en los cultivos después de la Segunda Guerra Mundial, primero en Italia, después en el mundo entero, a excepción de los países fríos húmedos del noroeste europeo. Su éxito ha sido notable debido a su extraordinaria plasticidad, y su crecimiento extremadamente rápido. Se ha puesto en duda, a veces, la calidad de su madera: el principal defecto es el rescate del crecimiento rápido: al desarrollarse ramas muy gruesas rápidamente, se forman peligrosas horquillas y hay que realizar una poda prudencial a su debido tiempo. Este clon, sin embargo, se ha mostrado bastante sensible a *Marssonina*.

Los chopos requieren suelos relativamente fértiles de características arenisco-arcillosas, poco compactos para que sus raíces puedan extenderse fácilmente, hay especies que se adaptan a suelos algo compactos de características arcillosas, si no muy extremadas, por ejemplo el I-214. Este clon no admite estancias prolongadas en primavera y verano sobre suelos completamente cubiertos por el agua, siendo muy corriente que perezcan si estas inundaciones duran persistentemente durante dos o tres semanas, por asfixia de las raíces. Además, en terrenos con muchas piedras o mantos de grava, los chopos no se desarrollan bien, pues sus raíces no pueden extenderse ni atravesar estas capas para llegar a alcanzar la humedad. La grava interrumpe el ascenso del agua de las capas más profundas, y no retiene el agua procedente de riegos, vegetando siempre las plantas en condiciones muy precarias. Los riegos con aguas turbias son indicadísimos en estos casos. Son muy sensibles también a los terrenos permanentemente salinos, especialmente cuando en éstos falta un buen drenaje; pero en cambio pudiera ser un árbol magnífico para la puesta en cultivo de zonas de nuevos regadíos, por no requerir una perfecta nivelación del suelo, por tolerar en cualquier época de su crecimiento un acabado de la nivelación del terreno donde están plantados, porque aún a costa de una disminución de su crecimiento, pueden aguantar seis u ocho semanas en pleno verano sin riego de ninguna clase, eventualidad previsible en los nuevos regadíos por rotura de acequias, deficiencia de capacidad en los pantanos, sequía prolongada. Y, por último, porque necesita muy poca mano de obra, durante toda la época de su cultivo, la cual puede ser escasa al poner en marcha estas zonas. Los suelos más representativos de las zonas inundables son los aluviales estratificados que están expuestos frecuentemente a la desecación si se encuentran en regiones de clima continental y que presentan la gran ventaja de mantener la humedad en los estratos de textura más fina, intercalados entre los que son más arenosos" (FANLÓ, 1956). El I-214 se debe plantar desde que se caen las hojas en invierno hasta antes de que se mueva la savia. No parece que haya gran diferencia entre las plantaciones de fines de otoño (noviembre - diciembre) y las que se efectúan en invierno (enero- febrero-marzo). Es buena la época en que se han pasado las grandes heladas del mes de enero, siendo bastante propicio el mes de febrero para esta labor.

## **2. Tratamientos culturales y ensayos.**

Las parcelas se han ubicado en Cabrerizos (Salamanca), próximas al río Tormes. Latitud: 40°59'N y longitud 5°36'O. El suelo es ligeramente básico. El marco de plantación ha sido de 0,9 m · 0,3 m. Los 0,9 m son para permitir el paso de una mula mecánica para escardar.

Las labores efectuadas han sido: laboreo superficial (para preparar el terreno), añadido de estiércol y de abono nitrogenado (puede ser sustituido por lodos de estaciones depuradoras de aguas residuales) y labor (enterrado del estiércol). La plantación se ha realizado a mano sumergiendo previamente las estaquillas de unos 30 cm en una mezcla de 50 cc de insecticida y 50 g de fungicida en 100 l de agua.

Los riegos han sido por aspersión y distintos en los años pares que en los impares. En los años impares se ha empezado a regar antes y con dosis menores. El número de riegos ha sido mayor en los años impares (25) que en los pares (20) pero la dosis total de riego anual ha sido mayor en los años pares (3.300 l/m<sup>2</sup>) que en los impares (2.150 l/m<sup>2</sup>).

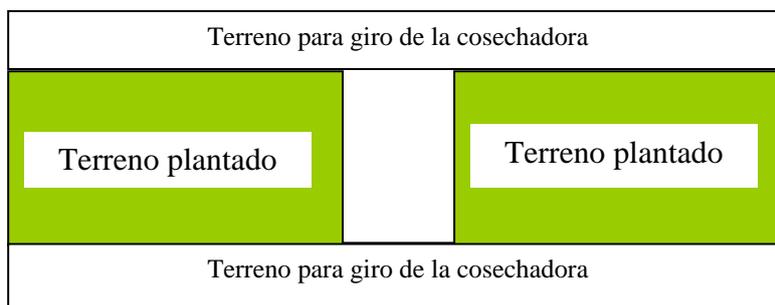
Otras labores selvícolas efectuadas han sido el abonado con abono foliar tipo 9,18,27 (con 0,03% de boro) en junio, a razón de 300 a 500 kg/ha dependiendo del año, tratamientos fitosanitarios con mezclas iguales en las que se introdujeron las estaquillas., añadido de quelato en pequeñas cantidades en el riego y escarda con mula mecánica.

Hemos efectuado una tabla de producción midiendo 250 árboles, hemos medido la densidad (d), la humedad, la composición química y el poder calorífico (en otra comunicación en este mismo congreso se detallan los materiales y métodos de estas y otras mediciones).

Con el número máximo de pies (n), el volumen por pie (V<sub>p</sub>) obtenido de las tablas de cubicación, la densidad (d), F<sub>m</sub> que es el factor de marras y que aumenta al aumentar el año de corta y el factor de terreno ocupado (F<sub>to</sub>) calculamos la productividad (P) mediante la fórmula:

$$P = n \cdot V_p \cdot d \cdot F_m \cdot F_{to}$$

Tanto F<sub>m</sub> como F<sub>to</sub> son menores o iguales a 1. El factor de terreno ocupado, en nuestro caso ha de ser menor a 30/33 ya que cada 30 metros dejamos 3 metros para el paso del tractor que fumiga, pero hay que dejar un terro también para que la máquina cosechadora de la vuelta.



A partir de la productividad y, en función de ésta, se calcula el CO<sub>2</sub> fijado siguiendo la metodología presentada por MARCOS et al. (2000).

## RESULTADOS

Según RUEDA (1997) la densidad basal (d<sub>b</sub>), es decir, la relación entre la masa de madera seca o anhidra y el volumen en el punto de saturación de la fibra, medida en g/cm<sup>3</sup>, para los clones empleados en Europa Occidental es la siguiente:

Clon	Especie	d <sub>b</sub>	Clon	Especie	d <sub>b</sub>
Agathe F	<i>P.x</i>	0,400	Ogy	<i>P.x euramericana</i>	0,34
Robusta	<i>euramericana</i>	0,390	Triplo	<i>P.x euramericana</i>	0,34
Gibecq	<i>P.x</i>	0,385	Boleare	<i>P.x euramericana</i>	0,335
	<i>euramericana</i>		Unal	<i>P.x euramericana</i>	0,335
	<i>P.x</i>				
	<i>euramericana</i>				
Primo	<i>P.x</i>	0,375	Boccalari	<i>P.x euramericana</i>	0,33
Blanc	<i>euramericana</i>	0,370	Cima	<i>P.x euramericana</i>	0,33
de	<i>P.x</i>		Dorskamp	<i>P.x euramericana</i>	0,33

Poitou I-MC Lux	<i>euramericana</i>  <i>P.x</i> <i>euramericana</i> <i>P. deltoides</i>	0,370 0,370	Flevo Ghoy Guardi Harvard Baupré Trichobel	<i>P.x euramericana</i> <i>P.x euramericana</i> <i>P.x euramericana</i> <i>P. deltoides</i> <i>P.x euramericana</i> <i>P. trichocarpa</i>	0,33 0,33 0,33 0,33 0,33 0,325
I-45/51 I-262 Stella Ostigliese	<i>P.x</i> <i>euramericana</i> <i>P.x</i> <i>euramericana</i> <i>P.x</i> <i>euramericana</i>	0,360	I-488 San Martino BL Costanzo Carpaccio Onda	<i>P.x euramericana</i> <i>P.x euramericana</i> <i>P. x euramericana</i> <i>P. x euramericana</i> <i>Populus deltoides</i>	0,315 0,315 0,310 0,310 0,310
Gaver	<i>P.x</i> <i>euramericana</i>	0,355			
Bellini Gattoni Alcinde Raspalje Luisa Avanzo	<i>P.x</i> <i>euramericana</i> <i>P.x</i> <i>euramericana</i> <i>P. deltoides</i> <i>P.x</i> <i>euramericana</i> <i>P.x</i> <i>euramericana</i>	0,350 0,350 0,350 0,350 0,345	Campeador Hunnengem I-214	<i>P. x euramericana</i> <i>P. x</i> <i>interamericana</i> <i>P. x euramericana</i>	0,295 0,29 0,29

La densidad, medida en nuestro laboratorio, utilizando dos métodos distintos ha dado los siguientes resultados:

1. Por inmersión: se hicieron 3 ensayos, el valor medio fue de 0,4462 g/cm<sup>3</sup>.
2. Por el método geométrico, que es más preciso: 0,3921 g/cm<sup>3</sup> (19 ensayos).

El valor medio final para la densidad del chopo I-214 resulta ser de 0,3768 g/cm<sup>3</sup> a una humedad media del 15% en base seca

La composición química elemental de la biomasa de chopo I-214, obtenida en el CIEMAT, es la siguiente:

Elemento	%
Carbono	49,200
Hidrógeno	6,300
Nitrógeno	0,330
Oxígeno	44,130
Azufre	0,020
Cloro	0,015
Total	99,995

La productividad obtenida, empleando la fórmula antes citada, ha sido:

Corta 1	Productividad t ms/ (ha-año)	Corta 2	Productividad t ms/ (ha-año)
Año 1	18,66 (*)	Año 1	18,96 (*)
Año 2	18,66	Año 2	18,96
Año 3	12,51	No considerados años 3 y 4	-----
Año 4	10,14		-----

(\*) Como valor medio de la productividad final del año 2 y dividida por 2.

La interpretación de estos resultados es la siguiente:

Debido a la alta densidad de plantación, el tercer y cuarto año el crecimiento es menor por la competencia en

nutrientes, agua y radiación térmica.

Los “chopitos” crecen menos en altura y en diámetro.

Este resultado era esperado.

Con la silvicultura propuesta la corta debe realizarse a los dos años.

Esperábamos mayor producción en este primer recepe pero no se obtuvo, debido al ataque de perforadores, combinado con el viento.

En comparación con cultivos de BULLARD et al (2002) que se realizan en Inglaterra, con sauces, donde el fotoperíodo es más corto que en Salamanca, la productividad es mayor. Esto lo esperábamos, pues según SAN MIGUEL et al. (1992) y la bibliografía por él citada y consultada, la productividad de la chopera (si no hay factores limitantes de suelo, agua, ataques de hongos o plagas) es función de la duración del fotoperíodo. La mayor productividad en España se conseguiría en el lugar en el que el fotoperíodo fuera mayor (si en ese lugar se solventan los condicionantes suelo, agua, ataques de hongos e insectos). Por ejemplo en la Vega del Genil.

El poder calorífico superior anhidro que manejaremos es de 4.400 kcal/kg = 17.556 kJ/kg. Siguiendo los datos de nuestros ensayos, las citas de GIMENO (1989) los valores del poder calorífico superior del *Populus nigra* L. están comprendidos entre 4.449 kcal/kg (Fabricius y Gross) y 4.601 (Feher) kcal/kg, por lo que el valor de 4.200 kcal/kg nos parece aceptable. Según análisis de laboratorio publicados (Elvira, varias publicaciones y Hernando Lara (1989)) y valor esperado teniendo en cuenta la composición química de la madera de I-214.

El protocolo de Kioto trató en 1997 de poner medidas para que el CO<sub>2</sub> atmosférico fuese fijado al terreno, en vez de ascender de forma continuada a la atmósfera cuando quemamos hidrocarburos. Nuestro objetivo en este epígrafe será determinar el CO<sub>2</sub> que es fijado por una plantación energética de chopo I-214. Para ello seguiremos la metodología presentada por Jesús Fernández (1998), modificada ligeramente por uno de nosotros (Marcos, 2000), los datos aportados con la bibliografía consultada y las consultas a los expertos que citaremos en los agradecimientos. Siguiendo esta tendencia ambientalista, el Plan de Fomento de Energías Renovables de España (IDAE, 2000) hace especial hincapie en los llamados "cultivos leñosos", para producir energía. El cultivo del I-214 es uno de estos cultivos a tener en cuenta. Realizaremos los cálculos del CO<sub>2</sub> fijado por kWh eléctrico producido.

#### **Fase A: Cultivo y transporte a central térmica.**

- Producción de **materia seca** por hectárea y año. Supondremos 18 t.

- Cantidad de C por t de materia seca: 500 kg. Son datos medios utilizados por MARCOS (2000), tras una basta revisión bibliográfica. RUEDA (o.c.) supone un 50% para *P. tremula*.

- Fijación de CO<sub>2</sub>, por similitud con otras especies agroenergéticas (FERNÁNDEZ, GONZÁLEZ, 1998) supondremos que se fijan 1,25 g de C por g de C fijado en la madera. El 0,25 restante es el fijado en forma de mineralización, humus del suelo y raíces que forman parte del tocón. Por tanto, el tocón debe ser triturado e incorporado al suelo; pero en la plantación energética como se deja que recepe, esta labor se hará al cabo de 5 ó 6 turnos de aprovechamiento.

- Emisión de CO<sub>2</sub>: En las etapas de plantación, mantenimiento, utilización de fungicidas, abonos, herbicidas, etc. Jesús Fernández emplea para el cardo (*Cynara cardunculus*) el valor total de 0,77 t de CO<sub>2</sub> por hectárea y año (es la suma de 0,25t en la maquinaria más 0,46t en las materias primas que incluyen semillas, abonos y plaguicidas más 0,06t en el transporte de biomasa a planta de aprovechamiento energético). Habría que recalcularlo para el caso del I-214, nuestros cálculos en España y Chile han dado valores aproximados a las 0,77 t. El tema del riego lo consideraremos como un factor reductor al final de los cálculos, ya que es muy variable con la zona en la que se realiza la plantación de I-214. Si se desea calcular aquí el dato de referencia es: Emisión de 76 g de CO<sub>2</sub> por cada MJ empleado en bombeo de agua. Denominamos E1 a este valor: **E1 = 0,77 t de CO<sub>2</sub>**.

- Como la molécula-gramo de CO<sub>2</sub> pesa 44 gramos frente a los 12 gramos que contiene de

carbono el CO<sub>2</sub> fijado será de 41.250 kg = **41,250 t de CO<sub>2</sub> = FI.**

### **Fase B: Combustión y generación de energía eléctrica.**

Supondremos 6.750 horas/año de funcionamiento de la central térmica; según la publicación Energía 2004 (Forum Atómico Español), que recoge datos de la AIE (Agencia Internacional de la Energía) y un rendimiento energético del 30% (en términos de energía eléctrica), es decir, el cociente entre kWh eléctricos y el producto de la masa por el poder calorífico de referencia.

Las cenizas y partículas sólidas obtenidas en la combustión son recicladas en la propia parcela o taller donde se realizó la plantación, cerrando así el ciclo de nutrientes.

\* Energía eléctrica obtenida: 18.000 kg · 17.556 kJ/kg · 0,3 = 26.326 kWh eléctricos

Supondremos que un 3% de la energía disponible se emplea en el secado (se utiliza para secar el secado natural y un secadero contracorriente), por lo que la energía eléctrica realmente disponible es de 26.326 · 0,97 = 25.536 kWh eléctricos = PE

\* Potencia instalada: 94.802<sup>4</sup> · 0,97 MJ / (6.750 · 3.600 s) = 3,78 kW

\* CO<sub>2</sub> emitido en la combustión: 18.000 kg · 0,5 · (44/12) = **32,99 t de CO<sub>2</sub> = E2**

\* Balance de CO<sub>2</sub> fijado, por hectárea:

$$BA = FI - E1 - E2 = (41,250 - 0,77 - 32,99) t = 7,49 t = 7.490 \text{ kg}$$

\* Balance de CO<sub>2</sub> fijado, referido a la energía eléctrica producida = BAE =

$$= BA/PE = 7.490 \text{ kg} / 25.536,27 \text{ kWh eléctricos} = \mathbf{293,3 \text{ g/kWh eléctrico}}$$

Superior a los 214 g/kWh citado para las plantaciones de cardo (FERNÁNDEZ, o.c.); pero ha de recordarse que en nuestra hipótesis suponemos 18.000 kg de materia seca por hectárea y año; valor no alcanzable en todos los lugares, y que suponemos suficiente agua para riego. Si suponemos que el bombeo de agua para riego emite 76 g de CO<sub>2</sub>/ MJ de energía gastado en el bombeo, podemos estimar que los valores anteriores se reducen un 20%, quedando: **BA = 5.992 kg de CO<sub>2</sub> fijados por ha**

$$\mathbf{BAE = 234,64 \text{ g de CO}_2 \text{ fijados / kWh eléctrico producido.}}$$

Una de las perspectivas que se presentan es el uso de lodos de depuradoras en plantaciones energéticas de chopos. Labrecque y otros (1995 y 1998) experimentaron con dos especies de sauces obteniendo resultados esperanzadores. En otro trabajo nuestro (sin publicar aún) definimos el índice de lodos como la máxima cantidad de lodos que, de acuerdo con la legislación vigente (autonómica, española y europea) puede admitir una chopera. Para cada lodo, procedente de una Estación Depuradora de Agua (EDAR) se obtiene un índice distinto que es función de la composición química de ese lodo.

### **CONCLUSIONES**

1. La productividad en la primera corta es superior a las 18 t de ms/(ha-año), ello es debido a la alta densidad de plantación y al crecimiento rápido de este clon.
2. En la segunda corta la productividad aumenta debido a que las raíces están más desarrolladas.

### **AGRADECIMIENTOS**

En estos años de trabajo (1997-2004) han sido varios los profesionales que han sido consultados. Tememos dejar a alguno entre las teclas del ordenador, que nos disculpe de antemano. D. Jesús Fernández, el "padre" de la agroenergética en España. D. Alfonso San Miguel y D. Sabas Yagüe nos prestaron sin reparos todas sus publicaciones. D. Alejandro Marcos, D. Ignacio Juárez, D. Javier Juárez, D. Alejandro Cuesta y D. Javier Galán nos hicieron un hueco en su trabajo facilitando aportaciones notables; también D. Sebastián Sánchez, del Vivero Central Forestal de Salamanca (Dirección Gral. del Medio Ambiente; Consejería de Agricult., Ganad. y Montes de la Junta de Castilla y León). En el IDAE encontramos el apoyo de D. Julio Artigas, D. Carlos Fernández y D. Luis García Benedicto.

### **BIBLIOGRAFÍA**

BERGKVIST P., LEDIN S. 1998. *Stem biomass yields at different planting designs and spacings in willow coppice systems*. Biomass and Bioenergy 14(2):149-186.

- BULLARD MJ, MUSTILL SJ, MCMILLAN SD ET AL. 2002. *Yield improvements through modification of planting density and harvest frequency in short rotation coppice Salix spp. 1. Yield response in two morphologically diverse varieties*. Biomass and Bioenergy. 22:15-25.
- FERNÁNDEZ MOLOWNY A. (1997). Los chopos en la cuenca del río Duero. Populicultura e inventario de las plantaciones administradas por la Confederación Hidr. Min. de Medio Ambiente. Valladolid.
- FERNÁNDEZ GONZÁLEZ J. 1997. La biomasa como energía alternativa para reducir el CO<sub>2</sub> atmosférico. Homenaje a D. Angel Ramos Fernández. ETSI de Montes. Real Academia de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales. Academia de Ingeniería. p. 1265-1286. Madrid.
- FORUM ATÓMICO ESPAÑOL. 1999. Energía 99. Forum Atómico Español. Madrid.
- GARCÍA BACAICOA P.; BILBAO R. Y USÓN C. 1998. Gasificador de biomasa integrado en un sistema mixto de producción de energía. En Energía de la biomasa: realidades y perspectivas. OTT - Universidad de Córdoba. Córdoba. España.
- GIMENO PÉREZ C. 1990. Estudio de los poderes caloríficos de las especies forestales españolas del género *Quercus* en España. Tesis doctoral inédita. Univ. de León.
- INSTITUTO PARA LA DIVERSIFICACIÓN Y AHORRO DE LA ENERGÍA (2000). Plan de Fomento de las Energías Renovables en España. IDAE - Ministerio de Industria. Madrid.
- Fanló F. J. 1956. El chopo, práctica de su plantación y tratamiento. Ministerio de Agricultura. Patrimonio For. del Estado. 6ª División Hidrológico- Forestal. Zaragoza.
- LABRECQUE M., TEODORESCU, T.I. AND DAIGLE S. 1995. Effects of wastewater sludge on growth and heavy metal bioaccumulation in two salix species. A biological purification system. Plant and Soil. 303-316.
- LABRECQUE M., TEODORESCU, T.I. AND DAIGLE S. 1998. Early performance and nutrition of two willow in short-rotation intensive culture fertilized with wastewater sludge and impact in soil characteristics. Journ. For. Res. 28:1621-1635.
- MARCOS MARTÍN F. 1985. Cultivos energéticos forestales. V Conf. sobre Planif., Ahorro y Alternativ. Energ. Zaragoza, 17-19, X,1985. Feria Oficial y Nacional de Muestras.
- MARCOS MARTÍN F., IZQUIERDO OSADO I. Y RUIZ CASTELLANO J. 2000. Cultivos energéticos de chopos. Rev. Forestal Española 26:4-14. Madrid.
- MARCOS MARTÍN F. 2001. Biocombustibles sólidos de origen forestal. Ed. AENOR. Madrid.
- RUEDA J. 1997. La madera de chopo y sus aplicaciones. Junta de Castilla y León. Valladolid.
- SAN MIGUEL AYANZ A., SAN MIGUEL AYANZ J. Y YAGÜE S. 1992. Tallares de chopo a turno corto. 19ª Sesión de la Comisión Internacional del Álamo. Zaragoza, 22-25 de septiembre de 1992.