



**6º CONGRESO FORESTAL  
ESPAÑOL**

---

**6CFE01-528**

---

Montes: Servicios y desarrollo rural  
10-14 junio 2013  
Vitoria-Gasteiz



---

Edita: Sociedad Española de Ciencias Forestales  
Vitoria-Gasteiz, 10-14 junio de 2013  
ISBN: 978-84-937964-9-5  
© Sociedad Española de Ciencias Forestales

## Evaluación, durante los dos primeros años, de la producción de biomasa de tres clones de chopo euroamericano en una localidad de la comarca del Pallars Jussà (Lérida)

GASPÀ COMPANYY, I.<sup>1</sup>, NAVARRO I MAROTO, P.J.<sup>1</sup>, AUNÒS, A.<sup>2</sup> y BLANCO, R.<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Área de Aprovechamientos Forestales y Biomasa. Centro Tecnológico Forestal de Catalunya.

<sup>2</sup> Departamento de Producción Vegetal y Ciencia Forestal-AGROTECNIO Center. Universidad de Lérida.

### Resumen

El chopo para producción de biomasa es un fenómeno que se está implantado ligado a centrales de generación de energía pero todavía se desconoce su potencial real. Se ha llevado a cabo el seguimiento del crecimiento que, en el transcurso de los dos primeros años de vida, han presentado los pies de tres clones de *Populus x euramericana* (Muir, Oudenberg y Adige) establecidos en una repoblación de 9 ha de superficie en el municipio de Tremp (Lleida) y dispuestos a espaciamiento de 0,5x3 metros (6.666 pies/ha). Mediante criterios de selección se han obtenido modelos reducidos a partir de las variables medidas (altura del árbol, su diámetro a 10 cm y a 1,30 m de altura del suelo y número de ramas). El clon Adige es el que ha evidenciado una mejor producción, evaluada en peso de materia seca, durante el primer año, llegando a 1,32 tms/ha. Mientras que durante el siguiente periodo vegetativo y en el cómputo de ambos años, el clon Oudenberg ha presentado una producción notablemente superior a los dos restantes de 7,59 tms/ha en los dos años.

### Palabras clave

Cultivo energético, chopo, producción, modelo predictivo, diámetro a 10 cm del suelo, Oudenberg.

### 1. Introducción

El cultivo energético forestal entendido como la producción de material vegetal con un sistema de silvicultura basado en ciclos breves de corta, uso intensivo de técnicas de cultivo como la fertilización, el riego, el control de malas hierbas y el uso de material genético superior (DIKMAN, 2006), es un cultivo extendido en otros países como puede ser Italia, Suecia, Reino Unido, etc. y que en España puede ocupar una parcela de mercado en producción de energía ya sea térmica o eléctrica.

El chopo en la populicultura tradicional con la finalidad de obtención madera de calidad está ampliamente estudiado en España, en cambio se desconoce el comportamiento de los clones de chopo para producción de biomasa.

En la comarca del Pallars Jussà en Lérida existe el proyecto de generación de energía con biomasa por parte de la empresa COMSA EMTE Medio Ambiente, en colaboración del Departamento de Agricultura, Ganadería y Pesca de la Generalitat de Catalunya, y con el apoyo del Ayuntamiento de Tremp (departamento de Promoción Económica). Se ha realizado una prueba piloto comercial en una finca de 9,16 hectáreas donde se ha estudiado la

producción de tres clones de chopo. Estos clones son Muur, Oudenberg y Adige de la especie *Populus x euroamericana*.

## 2. Objetivos

Analizar el crecimiento y la producción obtenida en una plantación de cultivo energético con clones de chopo de uno y dos años, en un marco de plantación de 3x0,5 metros y una densidad de 6.666 pies por hectárea. A la vez ofrecer fórmulas para estimar la producción en uno y dos años de edad en los clones Muur, Oudenberg y Adige a partir de datos fácilmente medibles como la altura y el diámetro a diez centímetros del suelo, diámetro normal o número de ramas.

## 3. Material

La plantación se encuentra en la finca de la Espona en la comarca del Pallars Jussà en el Pre Pirineo, al noroeste de Cataluña y es limítrofe con Aragón. Orográficamente la plantación se sitúa en la Conca de Tremp, formada por el río Noguera Pallaresa entre los pantanos de Talarn y Terradets. Coordenadas UTMx: 32634 y UTM y: 4665337.

La parcela dispone de una superficie de 9,16 hectáreas, una altitud de 390 metros y una pendiente entre uno y dos grados. La temperatura media anual es de 13 °C y la pluviometría media de 609 mm. Estos datos no reflejan que los veranos sean muy calurosos con temperaturas medias máximas de 33 y 32,1 en julio y agosto respectivamente y que de diciembre a marzo las temperaturas medias mínimas estén por debajo los 0°C.

Se observa en la tabla 1 que la finca tiene un suelo ligeramente alcalino y la misma clase textural franco-argilolimoso en los clones Muur y Oudenberg, mientras que es franca en el clon Adige. Este último presenta un suelo con menor contenido de materia orgánica y potasio respecto los otros dos.

Tabla 1. Análisis del suelo correspondiente al año 2011

Análisis	Unidad	Clon Muur	Clon Oudenberg	Clon Adige
Potencial Hidrógeno	pH	8,2	8,4	8,4
Materia Orgánica	% s.m.s.	1,49	1,44	1,18
Carbonatos	% s.m.s.	43	42	49
Nitrógeno	% s.m.s.	0,12	0,12	0,09
Fósforo	mg/kg s.m.s.	10	7	10
Potasio	mg/kg s.m.s.	193	195	85
Clase textural		franco-argilolimoso	franco- argilolimoso	franca

Las tareas de preparación del suelo se realizaron en invierno del 2009-2010 y consistieron en alzar, subsolar y arar. La plantación se inició en marzo del 2010. En el momento de la plantación se aplicó glifosato para evitar la proliferación de malas hierbas. En los días posteriores llovió, por lo que en el transcurso de la explotación se realizaron pasadas con la arada para establecer un control mecánico de malas hierbas. El segundo año de la plantación se aplicó un abonado de fondo con Blending (6000 litros / N:15 P:15 K:15).

Los clones han sido *Populus x euroamericana*, de parental femenino *Populus deltoides* y parental masculino *Populus nigra*. Los clones Muur, Oudenberg y Adige, están adaptados a

la producción de biomasa en cultivos energéticos de corta rotación, con buena capacidad de enraizamiento, crecimiento juvenil y rebrote. La plantación se llevó a cabo con una plantadora semiautomática de dos ejes separados 3 metros, que clavó las estacas a una distancia de 50 centímetros entre ellas, dejando entre 1 y 2 centímetros de estaca al descubierto. En la zona sur de la parcela se plantó el clon Muur, en el centro el clon Oudenberg y al norte el clon Adige.

El primer año no se regó, con la previsión de que la pluviometría durante la etapa vegetativa sería suficiente. La precipitación recogida en la misma parcela fue de 15 mm en julio y 15 mm en agosto del 2010. El segundo año se efectuaron dos riegos por regueros de 52 mm cada uno, en julio y agosto del 2011.

En el segundo año de plantación se observó *Crisomela populi*, un coleóptero defoliador de *Pouplus ssp*. El daño lo produce en las hojas de los tallos más altos y tiernos. La defoliación no se consideró grave y no se realizó ningún tratamiento de erradicación. El primer turno de corta será en la tercera parada vegetativa en invierno del 2012-2013.

#### 4. Metodología

##### Producción

Para estimar la producción se han establecido unos modelos que tienen como respuesta la cantidad de biomasa seca por hectárea para cada tipo de clon y año. Establecer unos modelos de producción es de utilidad ya que las técnicas destructivas de estimación de biomasa suelen tener unos costes relativamente altos y consumen tiempo debido a la cantidad de material que hay que procesar. Por lo que variables como el peso o la altura son estimadas con variables más fáciles de medir en el campo como es el caso del diámetro. Esta alternativa se basa en las relaciones entre el peso húmedo o seco del tallo y sus dimensiones dendrométricas. Mediante el análisis de regresión estas variables son cuantificadas y aplicadas a las medidas de los tallos, de esa forma se puede cuantificar la producción sin métodos de destrucción de la muestra (VERWIJST & TELENIOUS, 1999).

Se han considerado las variables descritas por FACCIONTO *et al* (2006) para las operaciones de medida y recogida de datos para la estimación de biomasa en momento de parada vegetativa, estas han sido: Supervivencia, Diámetro a 10 cm del suelo (D10), Diámetro a 130 cm del suelo o Diámetro normal (Dn), Altura (H), peso materia húmeda (mh) y peso materia seca (ms). Las unidades de peso serán en toneladas materia seca o húmeda /ha (tms/ha o tmh/ha, respectivamente). Con estas variables SIXTO (2011) encuentra la siguiente ecuación para el cálculo de biomasa seca por hectárea:

$$\ln(W) = b_0 + b_1 \ln(x1) + b_2 \ln(x2)$$

Donde ( $W$ ) Biomasa seca por hectárea, ( $x1$ ) diámetro a 10 cm o Dn dependiendo del clon, ( $x2$ ) altura y ( $b_0, b_1$  y  $b_2$ ) coeficientes de regresión

En este caso se ha tomado de referencia las variables descritas y el número de ramas por cada árbol (NR), con lo que se ha querido mejorar la ecuación de SIXTO (2011). Para ello ha sido necesario realizar un estudio destructivo (corta del árbol) con el fin de obtener el peso

seco por árbol. Posteriormente se aplicaron las ecuaciones obtenidas a una muestra superior para calcular la producción de cada clon.

Cada área de implementación de un clon se trató como una masa individual y las parcelas de inventario se seleccionaron con una malla de 100x100 metros. De todas las parcelas se escogieron las centrales para asegurar que se trataba del clon que se quería analizar. Para la muestra destructiva se seleccionaron 15 árboles por clon a razón de 5 árboles por parcela y se consideró una muestra suficientemente amplia para el objetivo del estudio. Se consideró el peso por árbol recién cortado y secado a la estufa según la norma europea EN 14774-2 que describe el método de la estufa para el secado de biocombustibles sólidos.

La muestra no destructiva consistió en identificar y medir los mismos 60 árboles cada año por cada clon. Se midió el  $D_{10}$ ,  $D_n$ ,  $H$  y  $NR$  y si uno de esos árboles estaba muerto o desaparecido se contabilizaba como marra.

Los datos se tomaron en diciembre de 2010 para el primer año de crecimiento y en enero de 2012 para el segundo año.

### Modelo estadístico

A partir de las variables analizadas se creó un modelo en función del peso seco, con la finalidad de comparar la producción obtenida con otros estudios. El modelo de logaritmos propuesto fue:

$$\ln Pms = b_0 + b_1 \cdot \ln D_{10} + b_2 \cdot \ln D_n + b_3 \cdot \ln H + b_4 \cdot \ln NB$$

Donde ( $Pms$ ) es la biomasa seca por hectárea y ( $b_0, b_1, b_2, b_3$  y  $b_4$ ) los coeficientes de regresión.

El modelo no tendría por qué incluir todas las variables sino solo las necesarias para dar una respuesta válida. El número de ramas no se incluyó en el primer año de crecimiento debido a la mezcla de ramas de diferentes árboles. La estrategia de regresión fue escoger el mejor modelo del ranking de acuerdo con dos criterios: Akaike y  $C_p$  de Mallows.

$$\text{Número de modelos posibles} = 2^k - 1$$

Siendo " $k$ " el número de variables del modelo completo

La primera estrategia consistió en buscar el valor más bajo del criterio de información de Akaike corregido, definido como:

$$AICc = 2P + \frac{2P + 1}{n - P - 1}$$

Donde  $P$  es el número de parámetros y es igual a  $k + 1$

El segundo criterio fue el estadístico  $C_p$  de Mallows, que intenta seleccionar el modelo con mejor capacidad predictiva, y viene definido por la siguiente expresión:

$$C_p = \frac{SSE(P)}{MSE} \quad (n - 2P)$$

Donde SSE(P) es la suma de cuadrados de los errores del modelo con P parámetros y MSE es la media de cuadrados del error del modelo completo.

Cuanto más se aproxime el valor del estadístico al número de parámetros, mayor será la reducción del sesgo de sus estimadores.

Con estos dos criterios se establece un ranking, con el objeto de seleccionar el mejor modelo. El modelo escogido será sometido a los supuestos básicos de regresión: linealidad, homocedasticidad y normalidad. Los dos primeros supuestos básicos se han comprobado estudiando el aspecto que presenta el gráfico de residuos frente a las predicciones, y la normalidad se determinó mediante la prueba de Shapiro Wilk's.

Finalmente se determinó si el modelo era robusto mediante el índice de robustez, que toma valores comprendidos entre 0 y 1, y en el mejor de los casos es próximo a la unidad.

$$\text{Índice de Robustez} = \frac{\sum (y_i - \hat{y}_i)^2}{\sum (y_i - \hat{y}_i(0))^2}$$

El denominador es la suma de cuadrados de los errores obtenidos, eliminando cada vez una observación.

Si el modelo no cumplía alguno de los requisitos establecidos se ha seleccionado el modelo siguiente del ranking, hasta encontrar el que cumplía con todos los criterios descritos.

## 5. Resultados

A partir de la muestra destructiva inventariada en el transcurso de los dos años de explotación se han obtenido los modelos de producción de biomasa que se muestran en la Tabla 2. Estos modelos son los que se han aplicado a la muestra no destructiva para estimar la producción que se refleja en la Tabla 3.

Tabla 2. Modelos de producción en los primeros dos años de crecimiento

Clon	Año	Modelo	R <sup>2</sup>	MC <sub>error</sub>
Muur	1	$\ln Pms = -5,789 + 3,507 \cdot \ln D10$	0,55	0,23
	2	$\ln Pms = -1,633 + 2,024 \cdot \ln D10 + 0,247 \cdot \ln Dn$	0,99	0,02
Oudenberg	1	$\ln Pms = -2,371 + 0,621 \cdot \ln H + 2,401 \cdot \ln D10$	0,91	0,01
	2	$\ln Pms = -0,89 + 1,57 \cdot \ln D10 - 0,05 \cdot \ln Dn + 0,95 \cdot \ln H + 0,20 \cdot \ln NR$	0,99	0,01
Adige	1	$\ln Pms = 1,369 - 1,157 \cdot \ln H + 2,083 \cdot \ln Dn$	0,96	0,05
	2	$\ln Pms = -2,770 + 2,389 \cdot \ln D10 + 0,230 \cdot \ln NR$	0,99	0,04

Respecto a los modelos de producción del primer año se observa que el clon Muur presenta un modelo menos predictivo en comparación a los otros dos clones, la variabilidad entre los diferentes árboles ha sido determinante. El segundo año los árboles han tendido a una homogenización y los modelos así lo indican.

La variable número de ramas ha entrado en el modelo del segundo año en el clon Oudenberg y Adige. Por lo que es una variable que aporta información valiosa. Aun así habría que ver si la información que aporta es suficientemente trascendente como para dedicar el esfuerzo que ha requerido en el proceso de muestreo. La variable que está más presente en los modelos es el diámetro a 10 cm del suelo.

Tabla 3. Producciones obtenidas en los primeros años de crecimiento

Clon	Año	Producción por árbol (g)	Producción por hectárea (tms/ha)
Muur	1	88,16	0,59
	2	458,70	3,06
Oudenberg	1	107,26	0,79
	2	1.138,07	7,59
Adige	1	200,7	1,32
	2	506,58	3,38

Destacar que la producción del segundo año incluye la producción del primero. Estos resultados ya contienen el número de marras al estar incluido en la muestra no destructiva.

El crecimiento de los diferentes clones se muestra en la Figura 1. Se representa la producción obtenida al primer año, en el segundo y la suma de los dos o producción total.

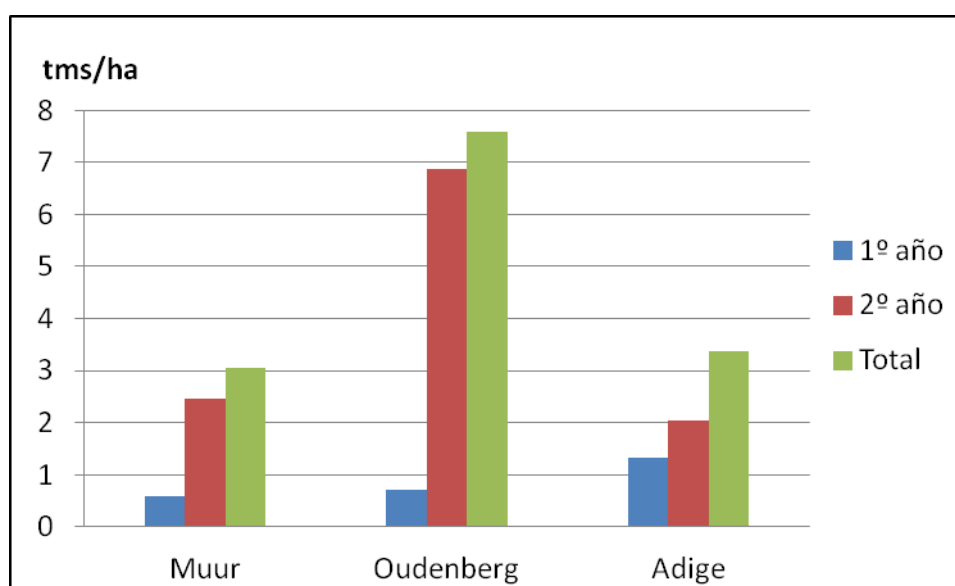


Figura 1. Producción del los tres clones de chopo en dos años

Como indica la Figura 1 el clon que más ha crecido el primer año ha sido el clon Adige, con 1,32 tms/ha. Seguido del clon Oudenberg 0,79 tms/ha y finalmente el clon Muur que ha sido el menos productivo. En cambio el segundo año el clon Oudenberg presenta un crecimiento significativamente superior a los otros dos clones, llegando a los 6,87 tms/ha y que sumado al primer año alcanza los 7,59 tms/ha.

El clon Muur es el segundo en crecimiento en el año dos, con una producción de 2,47 tms/ha que, sumado al primer año, llega a los 3,06 tms/ha, quedando atrás del clon Adige en

la producción total. El clon Adige es el que menos crece al segundo año con 2,04 tms/ha y con un crecimiento del primer año que se sitúa en las 3,38 tms/ha.

La producción del primer año se encuentra por debajo del umbral esperado. SIXTO (2011) muestra valores en los clones AF-2, Monteviso, Pegaso y I-214 en un estudio en Soria, Navarra y Granada al primer año de producción de 0,41; 6,63 y 4,02 tms/ha, respectivamente. La producción en Tremp ha sido de 0,59; 0,72 y 1,34 tms/ha respectivamente, por lo que, aún siendo superiores a la experiencia de Soria, es significativamente inferior a Navarra y Granada.

La producción promedio anual en los dos primeros ciclos vegetativos es de 2,34 tms/ha. Estos datos son claramente inferiores al estudio de MAKESCHIN (1999) (citado en SIXTO, 2007) del que se desprende la producción promedio en Europa entre los 8 y 12 tms/ha. En España se han obtenido producciones entre 10 y 17 tms/ha según SAN MIGUEL y MONTOYA (1984) (citado en SIXTO, 2007) con densidades de 5.000 pies/ha.

## 6. Discusión

Observando las producciones tan diferentes entre clones se pueden discutir si toda la plantación está en las mismas condiciones edáficas, si así es el clon Adige tiene una elevada capacidad para enraizar y eso le ha permitido crecer el primer año más que los otros. Con el sistema radicular ya establecido el clon Oudenberg ha demostrado una gran producción, por lo que se puede decir que el primer año ha dedicado muchos esfuerzos en el sistema radicular que ha aprovechado al segundo año. En cambio, el clon Muur, aunque creció más el segundo año que el clon Adige se sitúa en la cola de los tres en la producción de biomasa.

Como se describe en la tabla 1, el clon Adige está ubicado en una textura franca en comparación a una textura franca-arcilolimsa de los otros dos clones. Esta textura es menos resistente a la penetración de las raíces, a la vez que con menos capacidad de retención de agua y puede haber influido en una rápida colonización de raíces y crecimiento superior al primer año. Pero con escasez de agua en el segundo año la producción ha disminuido.

Otra discusión es si las condiciones del cultivo han sido las óptimas para el correcto desarrollo de los chopos. Estos han presentado pérdida de hojas en pleno verano y algunas se han vuelto de color amarillo en el período vegetativo durante la plantación. Este hecho se ha observado de forma más extrema en el clon Adige que, con una textura Franca, ha sido capaz de retener una cantidad menor de agua.

Cabe destacar que estos dos años han sido los de implantación del cultivo. Por lo que se espera que en los próximos años y ciclos de corta la producción aumente al disponer de un sistema radicular ya implantado.

## 7. Conclusiones

Los modelos creados muestran la conveniencia de medir las variables descritas para posteriormente seleccionar las que crearán el mejor modelo. En la misma dirección se debe crear un modelo por clon y año ya que, aunque sean la misma especie, los crecimientos han demostrado ser muy diferentes, al menos para la corta rotación.



En relación a los clones, el Adige ha mostrado una capacidad de producción de biomasa superior al Oudenberg y Muur al primer año. Mientras que el Oudenberg ha mostrado un crecimiento significativamente superior a los otros clones en el segundo año y en el total del período de estudio, siendo el que mejor se adapta a las condiciones que se han dado en Tremp. El clon Muur muestra crecimientos superiores al clon Adige en el segundo año, pero ha sido el que menos ha crecido el primer año.

Se deberá esperar al tercer año de crecimiento para ver el potencial de los clones en tres años, vista la diferencia que hay entre el primer y el segundo año.

## 8. Agradecimientos

Este proyecto nace gracias a la colaboración entre Comsa Emte Medio Ambiente S.L., el Ayuntamiento de Tremp y el Centro Tecnológico Forestal de Cataluña el cual se ha encargado del seguimiento de la plantación. Agradecer a la Universidad de Lérida por enmarcar el proyecto en un proyecto de finalización de carrera.

## 9. Bibliografía

AENOR; 2009; UNE-EN 14774-2. Biocombustibles sólidos: Determinación del contenido de humedad. Método de secado en estufa. Parte 2: Humedad total. Método simplificado.

DICKMAN, D.I.; 2006. Silviculture and biology of short-rotation woody crops in temperate region: Then and now. *Biomass & Bioenergy* 696-705.

FACCIOTTO, G.; BERGANTE, S.; LIOIA, C.; ROSSO, L.; MUGHINI, G.; ZENONE, T.; NERVO, G.; 2006. Produttività di cloni di pioppo e salice in piantagioni a turno breve. *Forest@* 238-252.

SIXTO, H.; HERNANDEZ, M.J.; BARRIO, M.; CARRASCO, J.; CAÑELLAS, I.; 2007. Plantaciones del género *Populus* para la producción de biomasa con fines energéticos: revisión. *Investigación Agraria: Sistemas y Recursos Forestales* 277-294.

SIXTO, H.; 2011. Cultivos Forestales para energía: Caso del chopo. "Curso Avanzado en Cultivos Forestales con Aplicaciones Energéticas" (I Edición). CIFOR-INIA.

VERWIJST, T.; TELENIUS, B.; 1999. Biomass estimation procedures in short rotation forestry. *Forest Ecology and Management* 137-146.