

EVOLUCIÓN DE LA PRODUCCIÓN DE BIOMASA ENERGÉTICA EN CLONES DE CHOPO DURANTE EL PRIMER PERÍODO VEGETATIVO

Hortensia Sixto Blanco¹, Jose Luís Montoto Quinteiro¹, Isabel Cañellas Rey de Viñas¹, María José Hernández Garasa¹ y Marcos Barrio-Anta²

¹ Dpto. de Sistemas y Recursos Forestales, CIFOR-INIA. Carretera de la Coruña km 7. 28080-MADRID (España). Correo electrónico: sixto@inia.es

² Dpto. de Biología de Organismos y Sistemas. Universidad de Oviedo. Escuela Universitaria de Ingenierías Técnicas. C/ Gonzalo Gutiérrez s/n. 33600-MIERES (Asturias-España)

Resumen

Se presentan los resultados sobre la producción de biomasa de 9 clones de chopo después del primer ciclo de cultivo y el efecto que sobre la misma han tenido la fertilización y el control de herbáceas. Se han ajustado también ecuaciones para cada uno de los clones en tres fechas distintas a lo largo del ciclo productivo (mayo, julio y septiembre) y se han aplicado a los datos de inventario de alturas y diámetros. Los resultados han mostrado diferencias importantes entre clones en cuanto a producción de biomasa. Además se ha visto un efecto negativo de la fertilización superficial en la producción de biomasa debido a la gran proliferación de herbáceas tras la aplicación del fertilizante. El tratamiento que proporcionó un mayor incremento en biomasa fue el control de herbáceas mediante la aplicación de herbicidas. El clon que acumuló mayor acumulación de biomasa al final del primer ciclo del cultivo fue el 2000 verde (más de 10 t.ha⁻¹), seguidos por el AF2 y el Monviso con producciones de unas 8,5 t.ha⁻¹. Por su parte, los clones interamericanos usados mostraron los peores resultados.

Palabras clave: *Plantaciones energéticas, Cuidados culturales, Clones, Chopo*

INTRODUCCIÓN

La biomasa fue la primera y única fuente de energía utilizada por el hombre durante siglos y lo continúa siendo en muchos países no industrializados. Sin embargo la búsqueda de energías alternativas a los combustibles fósiles, para mitigar el cambio climático, ha reavivado de nuevo el interés por esta fuente de energía en los países industrializados. Así, la elaboración en 1999 del Plan de Fomento de las Energías Renovables en España, establece la necesidad de diversificar las fuentes de energía y reducir

las emisiones de CO₂ mediante la sustitución de combustibles fósiles por energías renovables. Dentro de estas fuentes de energías alternativas, la producción de biomasa lignocelulósica a partir de cultivos forestales en cortas rotaciones (SRF), se contempla como una alternativa viable para la obtención de energía "limpia". Además esta biomasa se complementará con otra procedente de residuos selvícolas y/o agrícolas y de las industrias agroforestales. Entre las especies forestales susceptibles de ser utilizadas en SRF con esta finalidad productiva, el chopo se considera como una de las más prometedoras:

i) por la existencia de amplias zonas adecuadas para su cultivo, ii) por ser bien conocido su cultivo y comportamiento y iii) por ser una especie ya extendida en plantaciones para la producción de madera de aserrío y desenrollo.

Sin embargo, a pesar de que en la década de los ochenta se comienza a ensayar la capacidad productiva del material clonal disponible y su comportamiento a las altas densidades, turnos cortos y distintos tratamientos culturales (SAN MIGUEL Y MONTOYA, 1984; CIRIA, 1998) en la actualidad es necesario realizar un importante esfuerzo para determinar en diferentes estaciones los clones y las técnicas de cultivo más adecuadas para optimizar la producción de manera sostenible.

Dentro del conjunto de prácticas culturales que se pueden aplicar al cultivo hasta su corta final, el control de malas hierbas y la fertilización son dos de los más importantes. El control de las malas hierbas es imprescindible para lograr el adecuado establecimiento de la plantación, no solo por la merma en el crecimiento que supone la competencia por el agua y los nutrientes, sino también por la intensa competencia inicial que se establece por la luz y el espacio, de tal forma que la hierba puede ahogar literalmente la plantación (BUHLE et al., 1998; KAUTER, 1999). La fertilización se considera como un factor que aumenta la producción total de biomasa producida por los chopos; sin embargo, la conveniencia de la aplicación del abonado así como su dosis y/o composición suelen estar íntimamente ligados a las características del suelo, siendo frecuentes resultados poco coincidentes en función de las condiciones de ensayo (HEILMANN & XIE, 1993). La cuantificación de

este aumento en el crecimiento y producción no siempre es fácil de determinar, ya que en muchos casos sus efectos positivos quedan enmascarados por el efecto combinado que provoca el control de la vegetación competidora. El objetivo de este trabajo es comparar nueve clones de chopo en cuanto a su producción en biomasa y determinar el efecto de la fertilización y el control de malas hierbas en la misma a lo largo del primer período de crecimiento.

MATERIAL Y MÉTODOS

Diseño experimental y datos empleados

El ensayo experimental instalado fue un split-plot con 2 factores cualitativos: clon (9 niveles) y tratamientos (3 niveles: control de malas hierbas, con aplicación de glifosato a razón de 4 l.ha⁻¹, fertilización con aplicación de fertilizante 12:12:17 a razón de 800 kg.ha⁻¹ y testigo). Entre todo el material clonal disponible, se usaron nueve clones: 6 del catálogo español y tres del catálogo italiano, seleccionados exclusivamente para la producción de biomasa (dos ya catalogados y uno más en proceso de catalogación) (Tabla 1). Cada clon se ubicó en parcelas de 25 plantas (a un marco de 0,30x1 m). Las unidades experimentales (parcelas) se agruparon en 4 bloques y cada factor (clon y tratamiento) se asignó aleatoriamente a una unidad experimental dentro de cada bloque.

Para la estimación de la biomasa seca se cortaron 12 pies de cada clon (1 en cada parcela) en la fila externa (fila de amortiguación) al núcleo de 9 plantas que será cortado al final del ciclo de cre-

Clon	Catalogado	Tipo de híbrido
I-214	en 1992 (BOE 24 de junio)	<i>Populus x euramericana</i>
IMC		
2000-Verde	en 2003 (BOE 14 de marzo)	
Guardi		
AF2	En fase de catalogación en Italia	
Unal	en 2003 (BOE 14 de marzo)	<i>Populus x interamericana</i>
USA 49-177		
Monviso	Registrado en Italia	<i>(P. deltoides x P. trichocarpa) x P. nigra</i>
Pegaso		

Tabla 1. Clones ensayados en los diseños experimentales

cimiento. Como se están ensayando 9 clones, la muestra total disponible fue de 108 árboles. Este proceso se repitió en tres fechas diferentes: finales de mayo de 2006, finales de julio y finales de septiembre de 2006. Para cada una de las fechas se elaboraron ecuaciones de biomasa. En las fechas intermedias las ecuaciones se ajustarán sólo al efecto de efectuar comparaciones entre clones ya que las ecuaciones predictivas de utilidad son las que proporcionan la biomasa al final del ciclo productivo considerado. Cada planta se etiquetó y se llevó al laboratorio para la estimación del peso seco. Antes de proceder a su secado, la biomasa aérea de cada individuo se separó en las siguientes fracciones: hojas, fuste y ramas. Todas estas muestras fueron posteriormente secadas a 65°C de temperatura hasta peso constante.

En las mismas fechas que las ecuaciones de biomasa se llevó a cabo un inventario completo del "núcleo central" de nueve plantas en todas las parcelas. Se midió el diámetro a 10 cm del suelo (d_{10} , en mm), el diámetro normal (d , en mm, si el árbol alcanzaba la altura normal) y la altura total (h , en cm).

Estimación de la biomasa en cada una de las fechas

Inicialmente se consideraron los modelos más ampliamente usados para la modelización de la biomasa forestal (CLUTTER *et al.*, 1983; SNOWDON *et al.*, 2001). El análisis inicial muestra que de 14 ecuaciones de biomasa probadas, el modelo alométrico (1) y el modelo de variable combinada (2) son los que mejores resultados proporcionan para las distintas componentes de la biomasa. Estos modelos ya eran destacados por RONDEUX (2003), como dos de los modelos con mejores resultados para la estimación tanto del volumen como de la biomasa. Se seleccionó para cada clon y fecha (mayo, julio y septiembre) el modelo con mayor valor del coeficiente de determinación y se aplicó a los datos de los inventarios en las mismas fechas.

$$\ln(W) = \beta_0 + \beta_1 \ln(x_1) + \beta_2 \ln(x_2) \quad (1)$$

$$\ln(W) = \beta_0 + \beta_1 \cdot \ln(x_1^2 x_2) \quad (2)$$

Donde W es el peso seco de la biomasa del pie, x_1 representa las variables explicativas del árbol y β_i son los parámetros a estimar por el ajuste de regresión. Al deshacer la transformación logarítmica (para su uso práctico) se usó el factor

corrector del sesgo $c = \exp(EMC/2)$, donde EMC es el error medio cuadrático del modelo.

Análisis comparativo de la producción de biomasa entre clones y tratamientos

El modelo estándar para el diseño experimental considerado es el siguiente:

$$y_{ijk} = \mu + \alpha_i + \beta_j + \lambda_k + (\alpha\beta)_{ik} + (\alpha\lambda)_{ik} + (\beta\lambda)_{jk} + (\alpha\beta\lambda)_{ijk} + e_{ijk} \quad (3)$$

donde y_{ijk} es la variable respuesta (biomasa) en el bloque k del clon i aplicando el tratamiento j , μ es la media global, α_i es el efecto fijo del clon i -ésimo, β_j es el efecto fijo del tratamiento j -ésimo, λ_k es el efecto del bloque k -ésimo, $(\alpha\beta)_{ij}$ es la interacción del nivel i del factor clon con el nivel j del factor tratamiento, $(\alpha\lambda)_{ik}$ es la interacción del nivel i del factor clon con el nivel k del factor bloque, $(\beta\lambda)_{jk}$ es la interacción del nivel j del factor tratamiento con el nivel k del factor bloque, $(\alpha\beta\lambda)_{ijk}$ es la interacción del nivel i del factor clon con el nivel j del factor tratamiento y con el nivel k del factor bloque y e_{ijk} es el error aleatorio independiente e idénticamente distribuido.

Una vez comprobada la existencia de diferencias significativas en la variable respuesta ($p < 0,05$), interesa llevar a cabo una comparación múltiple de medias con el objetivo de clasificar los clones en grupos de igual productividad. Para ello se va a emplear el test de Student-Newman-Keuls (SNK). Este test está considerado intermedio al valorar su carácter conservativo (tendencia de declarar diferencias entre las medias) en la clasificación de Chew de 1979 (MIZE & SCHULTZ, 1985).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Ecuaciones de biomasa

La ecuación que proporcionó mejores resultados en la estimación de la biomasa al final del primer año de crecimiento fue en todos los casos la ecuación alométrica. La capacidad predictiva de esta ecuación fue alta para todos los clones con más del 90% de la variabilidad explicada (Tabla 2). Como se puede apreciar en dicha tabla no siempre d_{10} fue la variable de diámetro más correlacionada con la biomasa total ya que en los tres clones más productivos d mostró una

Clon	Ecuación	R ²
2000 verde	$W=1,001969(-5,229979 \cdot d_{10}^{2,300437} h^{-0,440996})$	0,96
AF2	$W=1,002067(-5,748944 \cdot d_{10}^{2,142754} h^{-0,306642})$	0,98
Guardi	$W=1,001668(-10,784835 \cdot d_{10}^{1,513800} h^{0,797979})$	0,92
I-214	$W=1,001403(-12,986078 \cdot d_{10}^{1,4730930} h^{1,176259})$	0,95
IMC	$W=1,002492(-10,959949 \cdot d_{10}^{1,923233} h^{0,582488})$	0,97
Monviso	$W=1,002161(-6,175294 \cdot d_{10}^{2,094285} h^{-0,159856})$	0,95
Pegaso	$W=1,000999(-11,541193 \cdot d_{10}^{2,123957} h^{0,581445})$	0,98
USA49/177	$W=1,003169(-12,325856 \cdot d_{10}^{2,127656} h^{0,754083})$	0,96
Unal	$W=1,004876(-11,803524 \cdot d_{10}^{2,006490} h^{0,722363})$	0,93

Tabla 2. Ecuaciones para la estimación de la biomasa área (sin hojas) a finales de septiembre

correlación superior y fue la variable considerada en las ecuaciones de biomasa. Esto es lógico, ya que a medida que los chirpiales crecen en diámetro, la parte basal del tronco suele presentar la corteza agrietada y con pequeñas irregularidades, independientemente de su altura, por lo que d_{10} no es la variable de diámetro más adecuada para usar como variable explicativa en los modelos predictivos de biomasa.

Análisis comparativo de la producción de biomasa entre distintos clones ensayados

Los resultados del análisis de la varianza indicaron que el modelo era altamente significativo en cada una de las fechas analizadas. En la figura 1 y figura 2 (izquierda) se puede ver la evolución gráfica de la biomasa total producida en cada una de las tres fechas consideradas y para los nueve clones ensayados. Analizando las distintas fuentes

de variación del modelo se comprueba que todas las interacciones son significativas. Como se puede ver en la comparación de medias llevada a cabo con el test SNK para los datos al final del primer ciclo vegetativo (Tabla 3), existen tres grupos significativamente diferentes en cuanto a la producción de biomasa aérea (sin hojas): producción alta (2000 verde), producción media (Monviso, AF2, IMC, Guardi, Unal, I-214 y Pegaso) y producción baja (USA 49-177).

Análisis del efecto tratamiento en la producción de biomasa

Al analizar el efecto del factor tratamiento en la producción de biomasa se observó un efecto beneficioso del tratamiento de herbicida (producción en biomasa significativamente mayor que en las parcelas testigo y que en las fertilizadas). Resultó sorprendente que las parcelas fertilizadas

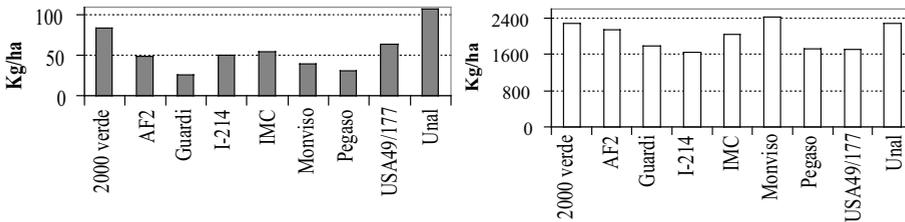


Figura 1. Gráficos de producción de biomasa área (sin hojas) por clones a finales del mes de mayo (izquierda) y a finales del mes de julio (derecha)

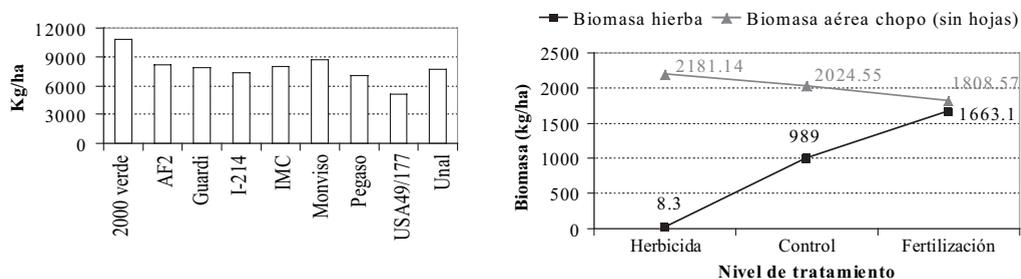


Figura 2. En el gráfico de la izquierda, producción de biomasa aérea (sin hojas) por clones a finales del primer ciclo vegetativo. A la derecha, biomasa seca de chopo vs. biomasa seca de hierba en el mes de julio para cada uno de los tratamientos, suponiendo una plantación multiclonal. Las diferencias entre las medias de la biomasa en cada tratamientos fueron significativas ($p=0,05$)

Grupo*	Media (Kg/ha)	Nº árboles	clon
A	10799,2	108	2000 verde
B	8729,7	108	Monviso
B	8145,9	108	AF2
B	7935,4	108	IMC
B	7910,5	108	Guardi
B	7707,2	108	Unal
B	7364,0	108	I-214
B	7064,9	108	Pegaso
C	5122,7	108	USA49/177

Tabla 3. Valores medios de biomasa aérea (sin hojas) al final del primer período vegetativo. Medias con la misma letra no son significativamente diferentes ($p=0,05$) de acuerdo con el test SNK

produzcan la misma biomasa que las no fertilizadas (no hay diferencias significativas entre las medias). Esto era todavía más patente en el mes de julio donde la producción de biomasa de las parcelas testigo superaba a las de las fertilizadas. Para tratar de explicar este hecho se valoró la biomasa herbácea existente en las parcelas sometidas a cada uno de los tratamientos. Para ello se localizaron sistemáticamente 36 puntos de muestreo (12 en cada tratamiento). En cada punto de muestreo se recogió toda la biomasa superficial de herbáceas que caía dentro de un bastidor rectangular de 75x44,4 cm (0,33 m²). Dicha biomasa fue llevada a laboratorio y secada a 85°C hasta peso constante. Los resultados se muestran en figura 2 (derecha). Como se puede apreciar, en el mes de julio, las parcelas fertilizadas presentan un 67,7% más de biomasa herbácea que las parcelas testigo, siendo clara la relación entre producción de biomasa de chopo y la abundancia de

herbáceas. Concretamente las parcelas fertilizadas presentaron un 12,1% menos de biomasa total de chopo respecto a las parcelas control y 18,9% menos respecto a las parcelas con tratamiento de herbicida. Aunque al final del primer ciclo vegetativo las parcelas fertilizadas se recuperaron algo, su producción media en biomasa no presentó diferencias significativas respecto a las parcelas testigo (Tabla 4). Con esto se puede concluir que la fertilización superficial fue aprovechada principalmente por las herbáceas que proliferaron en mucha mayor medida que en las parcelas testigo. Dicha proliferación redundó en una mayor competencia para los chopos que se vio reflejada en una menor producción de biomasa aérea. Aunque no se ensayó en esta plantación experimental, es de suponer que la combinación de fertilización y aplicación de herbicida es el tratamiento que propiciará unas mayores producciones de biomasa.

Variable: biomasa aérea			
Grupo*	Media (Kg.ha ⁻¹)	Nº árboles	Tratamiento
A	8920,2	324	Herbicida
B	7408,5	324	Fertilización
B	7264,4	324	Testigo

Tabla 4. Producción de biomasa aérea (sin hojas) por tratamientos. Resultados de comparación múltiple de medias con test SNK. Medias con la misma letra no son significativamente diferentes ($p=0,05$) de acuerdo con el test SNK

BIBLIOGRAFÍA

- SAN MIGUEL, A. Y MONTOYA, J.M.; 1984. Resultados de los primeros 5 años de producción de tallares de chopo en corta rotación (2-5 años). *Anales INIA: Ser. For.* 8: 73-91.
- CIRIA, P.; 1998. *Efecto del turno de corta y de la densidad de plantación sobre la productividad de diversos clones de chopo en condiciones de corta rotación.* Tesis Doctoral. ETSI Agrónomos. Universidad Politécnica de Madrid. Madrid.
- BUHLE, D.; NETER, D.; RIEMENSCHNEIDER, E. & HARTLER, R.; 1998. Weed management in short rotation poplar and herbaceous perennial crops grown for biofuel production. *Biomass and Bioenergy* 14(4): 385-394.
- CLUTTER, J.L.; FORSTON, J.C.; PIENAAR, L.V.; BRISTER, G.H. & BAILEY, R.L.; 1983. *Timber management: a quantitative approach.* Wiley. New York.
- HEILMANN, P.E. & XIE, F.; 1993. Influence of nitrogen growth and productivity of short rotation *Populus trichocarpa* x *Populus deltoids* hybrids. *Can. J. For. Res.* 23: 1863-1869.
- KAUTER, D.; 1999. *Poplars for short rotation forestry. An overview of the genus.* European Energy Crops Internetnetwork (EECI) (<http://www.eeci.net/archive/biobase/B10529.html>)
- SNOWDON, P.; EAMUS, D.; GIBBONS, P.; KHANNA, P.K.; KEITH, H.; RAISON, R.J. & KIRSCHBAUM, M.U.F.; 2001. Synthesis of allometrics, review of root biomass, and design of future woody biomass sampling strategies. *National Carbon Accounting System, Tech. Report* 31: 114. Australian Greenhouse Office. Canberra.
- RONDEUX, J.; 1993. *Le mesure des arbres et des peuplements forestiers.* Presses agronomiques de Gembloux. Gembloux.
- MIZE, C.W. & SCHULTZ, R.C., 1985. Comparing treatments means correctly and appropriately. *Can. J. For. Res.* 15: 1142-1148.