

Evaluación del crecimiento y de la producción durante los dos primeros años del cultivo energético (sauce, chopo y abedul) en antiguas escombreras de minera en Langreo (Asturias)

Castaño-Díaz, M. , Castaño-Santamaría, J., Barrio-Anta, M., Álvarez-Álvarez, P., Afif Khouri, E., Roces-Díaz, J.V. Y Cámara-Obregón, A.
 Grupo De Investigación En Sistemas Forestales Atlánticos (Gis-Forest).
 Departamento De Biología De Organismos Y Sistemas, Universidad De Oviedo

Introducción

El concepto de Desarrollo Sostenible, definido como "la satisfacción de las necesidades de la generación presente sin comprometer la capacidad de las generaciones futuras para satisfacer sus propias necesidades", pone de relieve la importancia de disponer de fuentes de energía menos contaminantes y más eficientes (DEMIRBAS, 2001). La biomasa juega un papel importante en estas lides, ya que contribuye significativamente a la estrategia de reducción del dióxido de carbono atmosférico, exigida por el Protocolo de Kyoto (GASOL et al., 2009), siendo además, una fuente de energía relativamente abundante en el mundo (PÉREZ et al., 2011). Las previsiones del Panel Intergubernamental sobre el Cambio Climático (IPCC) son halagüeñas sobre el futuro de la biomasa con fines energéticos, en cuanto a que establecen que, antes de 2100, la cuota de participación de la biomasa en la producción mundial de energía estará entre el 25 y el 46% (IDAE, 2007).

Los cultivos energéticos son plantaciones de crecimiento rápido cuyo fin es producir la mayor cantidad posible de biomasa, mediante rotaciones cortas y densidades altas, para con ella, generar energía (PÉREZ et al., 2011). Según el destino final de dicha biomasa, podemos clasificar los cultivos energéticos en tres tipos (PINEDA y CABELLO, 1998): oleaginosos, alcohólicos y lignocelulósicos. Son estos últimos los que se utilizan para la producción de biocombustibles sólidos para usos térmicos y/o eléctricos (cogeneración) (GRUENEWALD et al., 2007), y son conocidos internacionalmente como Short Rotation Forestry (SRF). Este tipo de cultivos permite conseguir elevadas pro-



Medida del diámetro

ducciones de biomasa en periodos cortos de tiempo (turnos de 2 a 10 años); además de contribuir a la reducción de gases de efecto invernadero, debido a su papel como sumidero de carbono (NABUURS et al., 2007). En Europa, los cultivos forestales se basan principalmente en el empleo de *Salix* sp. y *Populus* sp., aunque también destaca el uso de *Eucalyptus* sp. y *Robinia pseudoacacia* (FERNÁNDEZ, 2007).

Este tipo de cultivos forestales puede ser implementado en terrenos marginales o degradados, lo que supone una oportunidad real de uso y recuperación de suelos agrícolas abandonados (GRUENEWALD et al., 2007) e incluso de superficies pertenecientes a antiguas explotaciones mineras (BUNGART & HÜTTL, 2004). En el caso de las cuencas mineras asturianas, la explotación tradicional del carbón genera muchos estériles, que se han ido almacenando en escombreras, donde la instalación de estos

cultivos serviría para dinamizar, tanto social como económicamente, zonas que se están viendo castigadas en la actualidad, promoviéndose incluso la creación de empleos directos e indirectos.

Sin embargo, para llevar a cabo una adecuada planificación en el establecimiento de una plantación energética, es necesario conocer lo más exhaustivamente las características, tanto del material vegetal que se va a emplear, como de las técnicas de cultivo a utilizar (preparación del terreno, fertilización, densidades de plantación, etc.). Con este estudio, lo que se pretende es obtener información tanto de los aspectos culturales, como de las técnicas de cultivo y de la producción de biomasa de varias especies candidatas.

Objetivos

El principal objetivo del presente estudio es la evaluación del crecimiento y producción potencial de varios clones de *Betula*, *Populus* y *Salix* en tres plantaciones instaladas en antiguas escombreras mineras, teniendo en cuenta las diferentes características del lugar de cultivo así como la respuesta a los distintos tratamientos aplicados. Una capacidad productiva significativa de estos clones en términos de biomasa con un fin energético, permitiría establecer comercialmente estos cultivos en áreas marginales.

Metodología

Las zonas de estudio se encuentran ubicadas en el Concejo de Langreo (Asturias), en terrenos pertenecientes a antiguas escombreras de carbón de la empresa HUNOSA. En total, se efectuaron 3 plantaciones: Moz-

Tabla 1. Material vegetal empleado

Ensayo	Especie	Clon	Progenitor
Mozquita	Salix	Bjorn	<i>Salix schwerinii</i> x <i>Salix viminalis</i>
		Inger	<i>Salix trianta</i> x <i>Salix viminalis</i>
		Olof	<i>Salix viminalis</i> x (<i>Salix schwerinii</i> x <i>Salix viminalis</i>)
Cantil I	Betula	B. alba	<i>Betula alba</i>
		AF2	<i>Populus</i> x <i>canadensis</i>
	Populus	Monviso	<i>Populus generosa</i> x <i>Populus nigra</i>
		Beaupré	<i>Populus deltoides</i> x <i>trichocarpa</i>
	Salix	S. alba	<i>Salix alba</i>
Tora		<i>Salix schwerinii</i> x <i>Salix viminalis</i>	
Cantil II	Populus	AF2	<i>Populus</i> x <i>canadensis</i>
		I-214	<i>Populus</i> x <i>euramericana</i>
		Raspalje	<i>Populus</i> x <i>interamericana</i>
	Salix	Olof	<i>Salix viminalis</i> x (<i>Salix schwerinii</i> x <i>Salix viminalis</i>)
		Tordis	(<i>Salix viminalis</i> x <i>Salix schwerinii</i>) x (<i>Salix viminalis</i>)

Tabla 2. Niveles de fertilización y herbicida empleados.

Nivel de tratamiento	Fertilización		Herbicida	
	Año 1	Años restantes	Año 1	Años restantes
F0 (control)	No se aplica	No se aplica	No se aplica	No se aplica
F1	80 kg/ha de NH ₄	300 kg/ha de NPK 6:20:12	Aplicación de glifosato (4 l/ha)	Aplicación de glifosato (4 l/ha)
F2	160 kg/ha de NH ₄ (20 – 25% de N)	600 kg/ha de NPK 6:20:12	Aplicación de glifosato (4 l/ha)	Aplicación de glifosato (4 l/ha)

quita, Cantil I y Cantil II, entre los años 2008 y 2010. En un primer momento (2008), se realizó la plantación únicamente en Mozquita, de modo que se tuviesen en cuenta todos los factores a estudiar en el ensayo: el tipo de clon (Tabla 1), la densidad de plantación (dos niveles: 10.000 y 15.000 pies ha⁻¹) y el tratamiento (F0, F1 y F2), (Tabla 2). Las cantidades de fertilizante a emplear se eligieron en vista de los resultados obtenidos en el análisis de suelo previo a la plantación, teniendo en cuenta el límite máximo de cantidad de nitrógeno permitido a aplicar en zonas vulnerables, que es de 170 Kg ha⁻¹. El diseño experimental constó pues de 3 bloques, cada uno de ellos compuesto por 18 parcelas de 400 m² (20x20 m), dispuestas aleatoriamente, en cada una de las cuales se analizó una de las 18 posibles combinaciones de los tres factores a estudiar.

Los datos correspondientes al primer inventario dasométrico y de biomasa realizado en Mozquita en el año 2010, mostraron que apenas existían diferencias en el crecimiento y producción de biomasa en función de la densidad, por lo que para las plantaciones de Cantil I y Cantil II, solamente se tuvo en cuenta una densidad de plantación de 10.000 pies ha⁻¹. El diseño experimental llevado a cabo en Cantil I y II fue el mismo que en el caso de Mozquita. Sin embargo, la elección de especies a implantar y la densidad de plantación sufrieron modificaciones. En Cantil I, el material vegetal utilizado, fue

una variedad de clones de chopo, sauce y abedul (véase Tabla 1). Todos ellos fueron elegidos por su capacidad para adaptarse a las condiciones físicas propias de la escombrera. Tras observar durante el primer año el desarrollo de las plántulas introducidas en Cantil I, y comprobando que el abedul no consiguió el crecimiento esperado, únicamente se emplearon clones de Populus y Salix (Tabla 1) en Cantil II, puesto que ambas mostraron un desarrollo adecuado en las otras dos plantaciones.

La información relativa al crecimiento se obtuvo siguiendo el protocolo descrito por la Forestry Commission (2003) para la toma de datos en plantaciones de sauce y chopo en rotaciones cortas. Según sus indicaciones, se midieron el número de brotes por cepa, la altura de cada uno de los brotes (m) y los diámetros basal (a 0,25 m del suelo) y normal (a 1,30 m) de todos ellos. En la plantación de Mozquita, las mediciones se llevaron a cabo en subparcelas de 11,25 x 11,25 m establecidas en el centro de cada una de las 54 parcelas del estudio, midiendo entre 140 y 190 cepas según la densidad de plantación, mientras que en Cantil I y Cantil II el inventario dasométrico se realizó en una subparcela de 5,00 x 8,00 m, midiendo 40 cepas en cada una de ellas.

Posteriormente, se cortaron 10 cepas en cada subparcela descrita anteriormente, en todas las plantaciones, lo que supuso un total de 1620 cepas. Tras su peso en verde,

las muestras se secaron en una estufa de aire caliente a 70°C, durante 48 horas, hasta que alcanzaron peso constante seco. A continuación se estimó la producción de biomasa seca por hectárea (Kg ha⁻¹) como producto de la producción por cepa y el número de cepas por hectárea.

Para comprobar la influencia de cada una de las variables categóricas estudiadas (clon, densidad y tratamiento para Mozquita, y clon y tratamiento para Cantil I y II) sobre la producción de biomasa por hectárea, se efectuó un análisis de la varianza (ANOVA) para comprobar la existencia de diferencias estadísticamente significativas en la variable respuesta entre clones, niveles de tratamiento y niveles de densidad, así como entre todas las combinaciones posibles de dichas variables. Por otra parte, en cada una de las plantaciones se determinó el clon más productivo de todos los empleados y se comprobó qué variables influían de manera más importante sobre su producción de biomasa, volviéndose a ajustar un ANOVA igual al anterior, pero sin considerar el efecto del clon. Para resolver dichos análisis se emplearon dos PROC ANOVA de SAS/STAT® (SAS Institute Inc., 2004) con un nivel de significación del 5%.

Resultados

Los resultados del primer ajuste mostraron que el clon utilizado, el tratamiento empleado, la ubicación de las parcelas (factor bloque) y todas las combinaciones entre dichas variables, tuvieron un efecto significativo sobre la producción de biomasa (Tabla 3). En el análisis correspondiente a la plantación de Mozquita, se observó que el factor densidad no tiene un efecto significativo sobre la producción de biomasa, como ya se comentó previamente.

En la Tabla 4 se muestran los valores medios de la altura total (cm), diámetros basal y normal (cm) y de producción de biomasa seca (Kg ha⁻¹), de los clones que presentaron un mayor crecimiento en cada una de las plantaciones estudiadas durante estos dos primeros años. Se superaron los dos metros de altura media en las tres plantaciones con unos diámetros basales superiores a 1 cm, siendo el clon Olof en el Cantil II el que mostró un mayor crecimiento tanto en altura como en diámetro.

Para dichos clones (exclusivamente), se efectuó otro ANOVA para descubrir si los resultados previos (en cuanto a la consideración conjunta de la totalidad de clones



Tabla 3. Resultados del ANOVA para cada una de las variables categóricas estudiadas así como para las interacciones de primer orden entre ellas.

Ensayo	Variable	F-value	P > F
Mozquita	bloque	35,48	<0,001
	densidad	2,95	0,0858
	clon	1100,75	<0,001
	tratamiento	794,19	<0,001
	blo*densidad	193,76	<0,001
	blo*clon	45,83	<0,001
	blo*trat	17,05	<0,001
	densidad*clon	24,09	<0,001
	densidad*trat	101,52	<0,001
	clon*trat	344,98	<0,001
Cantil I	bloque	29,60	<0,001
	clon	99,60	<0,001
	tratamiento	52,72	<0,001
	blo*clon	15,51	<0,001
	blo*trat	17,04	<0,001
	clon*trat	15,83	<0,001
Cantil II	bloque	26,53	<0,001
	clon	120,53	<0,001
	tratamiento	3,63	0,0266
	blo*clon	6,88	<0,001
	blo*trat	3,45	0,0080
	clon*trat	18,30	<0,001

[*] Se ha optado por no incluir el resto de combinaciones para hacer más fácil la lectura de la tabla.

estudiados) enmascaraban algún tipo de información. En la Tabla 5 se recogen los resultados de dicho análisis, a la vista de los cuales puede concluirse lo siguiente:

en el caso de Mozquita, bloque, tratamiento aplicado y todas las combinaciones entre dichas variables y con respecto a la densidad, tienen un efecto significativo en la pro-

ducción de biomasa del clon Olof. En Cantil I se obtuvo el mismo resultado para el clon Tora, con la excepción de que la densidad de plantación (como en Cantil II) no se empleó en el análisis al ser única (10.000 pies ha⁻¹). Sin embargo, en Cantil II, únicamente el bloque tuvo un efecto significativo sobre la producción de biomasa del clon Olof, mientras que el tratamiento aplicado y su interacción con el bloque resultaron no tener efecto significativo alguno.

Finalmente, la Tabla 6 muestra la producción media de biomasa (Kg ha⁻¹) de los mejores clones de cada plantación, para cada uno de los niveles de densidad y de tratamiento considerados.

En la tabla anterior se observa que Mozquita fue la plantación en la que la cantidad de biomasa seca obtenida en aquellas parcelas donde se aplicó fertilizante, fue mayor en relación con las parcelas control (6,47 y 8,09 veces superior para F1 y F2, respectivamente). Esta tendencia fue igualmente observada en Cantil I aunque con menores diferencias. Sin embargo, no se observan diferencias significativas en Cantil II, como ya se comentó previamente (véase Tabla 5).

Discusión

La producción en los cultivos energéticos lignocelulósicos de corta rotación se ve en gran parte afectada por las variaciones intraespecíficas del genotipo, las condi-

Tabla 4. Producción media en biomasa seca (kg ha^{-1}), altura media (h), diámetro medio a 25 cm (d_{25}), y diámetro medio a 130 cm (d_{130}) para el clon con mayor crecimiento para cada una de las plantaciones de ensayo.

Ensayo	Clon	h (cm)	d_{25} (cm)	d_{130} (cm)	P (Kg ha^{-1})
Mozquita	Olof	211,00	1,08	0,94	4,19
Cantil I	Tora	210,26	1,41	1,08	1,75
Cantil II	Olof	285,99	1,87	1,39	1,74

ciones del sitio y las prácticas de manejo llevadas a cabo (BAUM et al., 2002). Los resultados obtenidos en las plantaciones de cultivos energéticos forestales establecidos en los terrenos de antiguas escombreras de mina (Mozquita, Cantil I y Cantil II), confirman dicha afirmación, indicando que la producción en biomasa de la plantación depende del clon seleccionado, del tratamiento aplicado (fertilización y herbicida) y del emplazamiento de la parcela (efecto bloque), así como de sus interacciones.

Los clones del género *Populus* son más adecuados que los de *Salix* para los objetivos de producción de biomasa con fines energéticos debido a las características ecológicas de la Península Ibérica (SAN MIGUEL y MONTOYA, 1984; CIRIA et al., 1996). Sin embargo, el análisis de los crecimientos en nuestras parcelas de estudio, demostró lo contrario, ya que situaron a los clones Olof y Tora, (especies del género *Salix*), en primer lugar (Tabla 4). El clon Olof se vio favorecido por las condiciones del medio donde se instaló, lo que le confirió un crecimiento superior y una producción más elevada que el resto. Sin embargo, su ausencia en Cantil I, supuso que el clon Tora fuese el mejor en este caso. Son varios los estudios que afirman que no existe un clon de *Salix viminalis* (ambos lo son) superior en cuanto a producción de biomasa en sistemas de rotación corta (Ej. WEIH & NORDH, 2002), sino que la producción viene determinada por la adecuación de la planta a las condiciones del sitio (equivalente a la calidad de estación), lo que corroboró el hecho de que el bloque tuviese un efecto significativo sobre la producción de biomasa.

En cuanto al tratamiento aplicado, la combinación de fertilizante y herbicida en distinta proporción, constituyó una variable muy influyente en la producción de biomasa. De hecho, las proporciones aplicadas han dado lugar a diferencias notables en la producción, aunque ésta no sea proporcional a dichas dosis (véase Tablas 4 y 6). La necesidad, adecuación y rentabilidad de los aportes nutricionales en este tipo de plantaciones, generan una gran controversia, ya que la respuesta del cultivo depende de un

Tabla 5. Resultados del ANOVA para cada una de las variables categóricas estudiadas, así como para las interacciones de primer orden entre ellas, para los clones más productivos por plantación.

Ensayo	Variable	F-value	P > F
Mozquita	bloque	35,48	<0,001
	densidad	2,95	0,0858
	clon	1100,75	<0,001
	tratamiento	794,19	<0,001
	blo*densidad	193,76	<0,001
	blo*clon	45,83	<0,001
	blo*trat	17,05	<0,001
	densidad*clon	24,09	<0,001
	densidad*trat	101,52	<0,001
Cantil I	bloque	29,60	<0,001
	clon	99,60	<0,001
	tratamiento	52,72	<0,001
	blo*clon	15,51	<0,001
	blo*trat	17,04	<0,001
Cantil II	bloque	26,53	<0,001
	clon	120,53	<0,001
	tratamiento	3,63	0,0266
	blo*clon	6,88	<0,001
	blo*trat	3,45	0,0080
	clon*trat	18,30	<0,001

Tabla 6. Producción media de biomasa seca (Kg ha^{-1}) por densidad y tratamiento para el clon más productivo.

Ensayo	Clon	Producción de biomasa seca (Kg ha^{-1})				
		Densidad		Tratamiento		
		N1	N2	F0	F1	F2
		(10.000 pies ha^{-1})	(15.000 pies ha^{-1})			
Mozquita	Olof	4,18	4,20	0,81	5,24	6,56
Cantil I	Tora	1,75	-	0,55	1,25	3,42
Cantil II	Olof	1,74	-	0,82	0,78	0,89

gran número de factores, que no siempre son tenidos en cuenta (VANDE-WALLE et al., 2007). Por ejemplo, se sabe que la fertilización incrementa la susceptibilidad de los sauces a herbívoros y patógenos de todo tipo (Ej. ADEGBIDI et al., 2003; CAMBOURS et al., 2006), al incrementarse la concentración de nitrógeno en la hoja en detrimento de las sustancias de defensa como glucósidos fenólicos y taninos concentrados (ADEGBIDI et al., 2003), por acidificar el sustrato modificando el

balance de nutrientes (KOPP et al., 1996), así como por causar la debilidad radical de las plantas, lo que favorece también los derribos por viento y las afecciones fúngicas (DRENOU, 2006).

En cuanto a las interacciones entre factores, se observó que el tratamiento tiene un efecto sobre el crecimiento de los distintos clones, si bien dicho efecto no está suficientemente contrastado a la fecha de acuerdo con SIXTO et al. (2007). No obstante, la ubicación de la parcela (bloque)

modifica el efecto del tratamiento, al igual que el desarrollo del clon (véase Tabla 3). Por otra parte, en el análisis correspondiente a la plantación de Mozquita para la totalidad de clones estudiados, se observó que la densidad no tenía un efecto significativo sobre la producción de biomasa (Tabla 3), resultado que se corrobora al considerar únicamente el clon más productivo (Olof) (Tabla 5). De hecho, el incremento es del 0,47% para una densidad de 15.000 pies ha⁻¹ en comparación con emplear 10.000 pies ha⁻¹, lo que no justifica el gasto extra que supone plantar 5.000 árboles más por hectárea. Según la Forestry Commission (2002), los clones de *Salix viminalis* incrementan su producción en biomasa a medida que aumenta la densidad de plantación. Sin embargo, no todos los autores coinciden en el efecto positivo que supone el incremento de la densidad sobre la producción de biomasa. Por ejemplo, VERWIJST & TELENUS (1999) afirma que la producción total permanece indepen-

diente de la densidad, e incluso que puede reducirse como consecuencia del aumento de la mortalidad natural derivada de la propia densidad excesiva. Finalmente, desea destacarse el resultado obtenido en Cantil II para el clon Olof (Tabla 6). Se observa que ni el tratamiento ni su interacción con el bloque tienen un efecto significativo sobre la producción de biomasa, lo cual no ocurre en el resto de plantaciones. Bajo nuestro punto de vista, el porcentaje de marras observado en Cantil II (aproximadamente 40%) enmascara el efecto de la fertilización. De hecho, si no se tuviesen en cuenta las marras, los valores de la producción de biomasa mostrados en la Tabla 6, se verían incrementados significativamente.

Conclusiones

El clon seleccionado, la calidad de estación y la aplicación de fertilizante y herbicida tuvieron

un efecto significativo en la producción de biomasa aérea en las plantaciones energéticas estudiadas, aunque con respecto a este último factor, no está claro si el incremento de producción se debe más a la acción del herbicida o a la del fertilizante, por lo que podría concluirse que es la acción combinada de control de la competencia y aplicación de nutrientes lo que genera una mayor producción. En ningún caso la densidad de plantación tuvo efecto alguno sobre la producción.

Agradecimientos

Los terrenos en los que se han establecido los cultivos han sido cedidos por la empresa HUNOSA, que además financia el proyecto "Ensayo de cultivos energéticos en antiguos terrenos de cielo abierto de HUNOSA", en el cual se engloba este estudio.

Bibliografía

- ADEGBIDI, H.G.; VOLK, T.A.; WHITE, E.H.; ABRAHAMSON, L.P. 2001. Biomass and nutrient removal by willow clones in experimental bionergy plantations in New York State. *Biomass Bioenerg.* 20: 399–411.
- BAUM, C.; LEINWEBER, P.; WEIH, M.; LAMERSDORF, N.; DIMITRIOU, I. 2009. Effects of short rotation coppice with willows and poplar on soil ecology. *Agriculture and Forestry Research* 3 (59): 183–196.
- BUNGART, R.; HÜTTL, R. 2004. Growth dynamics and biomass accumulation of 8-year-old hybrid poplar clones in a short rotation plantation on a clayey-sandy mining substrate with respect to plant nutrition and water budget. *Eur. J. For. Res.* 123: 105–115.
- CAMBOURS, M.A.; HEINSOO, K.; GRANHALL, U.; NEJAD, P. 2006. Frost related dieback in Stonian energy plantations of willows in relation to fertilisation and pathogenic bacteria. *Biomass Bioenerg.* 30: 220–230.
- CIRIA, M.P.; GONZÁLEZ, E.; MAZÓN, P.; CARRASCO, J.E. 1996. Influence of the rotation age and plant density on the composition and quality of poplar biomass. *Biomass for Energy and Environment* 2: 968–973.
- DEMIRBAS, A. 2001. Biomass resource facilities and biomass conversion processing for fuels and chemicals. *Energy Convers. Manage.* 42: 1357–1378.
- DRÉNOU, C. 2006. Les racines. Face cachée des arbres. Institut pour le Développement Forestier, Service d'Utilité Forestière du Centre National Professionnel de la Propriété Forestière. Paris.
- FERNÁNDEZ, J. 2007. Cultivos energéticos y cultivos alimentarios: Dos actividades agrícolas. Seminario sobre cultivos energéticos, biomasa y biocombustibles, 6 y 7 de diciembre de 2007, Evora [en línea]. Disponible en: <<http://www.isa.utl.pt/def/interreg/docs/3P.1.pdf>>
- FORESTRY COMMISSION, 2003. Mensurational variables protocol. En: *Yield Models for Energy Coppice of Poplar and Willow*. Forestry Commission, Ae. 14 pp.
- GASOL, C.M.; MARTÍNEZ, S.; RIGOLA, M.; RIERADEVALL, J.; CARRASCO, J.; ANTON, A.; CIRIA, P.; GABARRELL, X. 2009. Feasibility assessment of poplar Bioenergy systems in the Southern Europe. *Renew. Sust. Energy. Rev.* 13 (4): 801–812.
- GRUENEWALD, H.; BRANDT, B.; UWE, B.; BENS, O.; KENDZIA, G.; HÜTTL, R. 2007. Agroforestry systems for the production of woody biomass for energy transformation purposes. *Ecol. Eng.* 29: 319–328.
- IDAE, 2007. Energía de la biomasa [en línea]. Disponible en: <http://www.idae.es/index.php/mod.documentos/mem.descarga?file=/documentos_10374_Energia_de_la_biomasa_07_b954457c.pdf> [Consulta: 16 de diciembre de 2012].
- KOPP, R.F.; ABRAHAMSON, L.P.; WHITE, E.H.; NOWAK, C.A.; ZSUFFA, L.; BURNS, K.F. 1996. Woodgrass spacing and fertilization effects on wood biomass production by a willow clone. *Biomass Bioenerg.* 11: 451–457.
- NABUURS, G.J.; MASERA, O.; ANDRASKO, K.; BENITEZ-PONCE, P.; BOER, R.; DUTSCHKE, M.; ELSIDDIG, E.; FORD-ROBERTSON, J.; FRUMHOFF, P.; KARJALAINEN, T.; KRANKINA, O.; KURZ, W.A.; MATSUMOTO, M.; OYHANTCABAL, W.; RAVINDRANATH, N.H.; SANZ SÁNCHEZ, M.J.; ZHANG, X. 2007. Forestry. En: METZ, B.; DAVIDSON, O.; BOSCH, P.; DAVE, R.; MEYER, L. (Eds.) *Climate Change 2007: Mitigation. Contribution of Working Group III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge University Press, Cambridge (UK), pp. 541–584.
- PÉREZ, S.; RENEDE, C.J.; ORTIZ, A.; MAÑANA, M.; DELGADO, F.; TEJEDOR, C. 2011. Energetic density of different forest species of energy crops in Cantabria (Spain). *Biomass Bioenerg.* 35 (11): 4657–4664.
- PINEDA, M.; CABELLO, P. 1998. Energía de la biomasa: Realidades y perspectivas. Servicio de Publicaciones de la Universidad de Córdoba. Córdoba, España. 223 pp.
- SAN MIGUEL, A.; MONTOYA, M. 1984. Resultados de los primeros 5 años de producción de tallares de chopo en rotación corta (2-5 años). *Anales del Instituto Nacional de Investigaciones Agrarias. Serie-Forestal* 8: 73–91.
- SAS INSTITUTE INC. 2004. SAS/STAT® 9.1 User's Guide. SAS Institute Inc., Cary, N.C.
- SIXTO, H.; HERNÁNDEZ, M.J.; BARRIO, M.; CARRASCO, J.; CAÑELLAS, I. 2007. Plantaciones del género *Populus* para la producción de biomasa con fines energéticos: revisión. *Invest. Agrar. Sist. Rec. For.* 16 (3): 277–294.
- VANDE WALLE, I.; VAN CAMP, N.; VAN DE CASTEELE, L.; VERHEYEN, K.; LEMEUR, R. 2007. Short-rotation forestry of birch, maple, poplar and willow in Flanders (Belgium) I—Biomass production after four years of tree growth. *Biomass Bioenerg.* 31: 267–275.
- VERWIJST, T.; TELENUS, B. 1999. Biomass estimation procedures in short rotation forestry. *For. Ecol. Manage.* 121: 137–146.
- WEIH, M.; NORDH, N.E. 2002. Characterising willows for biomass and phytoremediation: growth, nitrogen and water use of 14 willow clones under different irrigation and fertilization regimes. *Biomass Bioenerg.* 23: 397–413.