



7º CONGRESO FORESTAL ESPAÑOL

**Gestión del monte: servicios
ambientales y bioeconomía**

26 - 30 junio 2017 | Plasencia
Cáceres, Extremadura

7CFE01-199

Edita: Sociedad Española de Ciencias Forestales
Plasencia. Cáceres, Extremadura. 26-30 junio 2017
ISBN 978-84-941695-2-6

© Sociedad Española de Ciencias Forestales

Selección de genotipos de *Populus alba* L. en relación a la tolerancia a sequía bajo condiciones controladas

GONZALEZ GONZALEZ, I.¹, OLIVEIRA, N.¹, DE LA IGLESIA, J.P.¹, PARRAS, A.¹, SANCHEZ, M.M.¹, CAÑELLAS, I.¹ y SIXTO, H.¹

¹ Centro de Investigación Forestal (CIFOR) del Instituto Nacional de Investigación y Tecnología Agraria y Alimentaria (INIA)

Resumen

En el presente estudio se persigue explorar diferencias en la respuesta al déficit hídrico en cuatro genotipos de *Populus alba* L. susceptibles de ser utilizados en plantaciones a turno corto para la producción de biomasa en terrenos marginales. Para ello, bajo condiciones de cultivo en invernadero, se aplicaron tres regímenes hídricos diferentes coincidentes con la capacidad de campo (CC) y dos dosis reducidas de riego (60 y 40% de CC). Para la caracterización de los materiales se han evaluado parámetros relacionados con el crecimiento y la producción (diámetro basal, altura, peso de hojas y producción de biomasa leñosa aérea), la morfología (nº de ramas silépticas y área foliar específica) o el comportamiento funcional (medidas de intercambio gaseoso). Se ha identificado variabilidad en la respuesta en genotipos de *P. alba* en relación a la producción de biomasa leñosa así como en relación a la eficiencia intrínseca en el uso del agua bajo condiciones de riego diferencial. Los genotipos 'GU-1-21-29' y '111' mostraron una tolerancia mayor. La correlación entre la producción y la eficiencia solo se observó bajo condiciones de elevado estrés.

Palabras clave

Álamo blanco, riego diferencial, producción de biomasa

1. Introducción

La obtención de biomasa lignocelulósica a partir de cultivos forestales gestionados en turno corto puede constituir un componente relevante en el conjunto de la biomasa forestal con la que dar respuesta tanto a la producción de energía de origen renovable así como a la obtención de otros bioproductos de alto valor añadido. La necesidad de diversificar la producción de energía, como respuesta a la problemática generada por el cambio climático (IPCC, 2014), y la necesidad de generar riqueza económica a partir de recursos biológicos a partir del desarrollo de la bioeconomía (EC, 2012), aconsejan avanzar en la optimización sostenible de la producción de esta materia prima.

Las plantaciones con especies e híbridos de los géneros *Eucalyptus* spp. y *Populus* spp. están en el corto y medio plazo, entre las alternativas más interesantes para la producción de biomasa lignocelulósica procedentes de cultivo (MAIENZA et al., 2014; SIXTO et al., 2007). Sin embargo, en relación al chopo, su conocida higrofilia (FAO, 1980) condiciona que su cultivo se asocie con la disponibilidad de agua, lo que mayoritariamente obliga a la aplicación de riego durante el periodo de sequía estival, al menos bajo condiciones mediterráneas. Por ello, su producción en términos de biomasa puede verse afectada severamente bajo condiciones de agua limitadas (HENNIG et al., 2015). Nuevos escenarios derivados del proceso paulatino de cambio climático pueden dar lugar a la necesidad de aplicar riegos más restrictivos, lo que aconseja explorar el comportamiento de los materiales de reproducción en relación a su respuesta a la escasez de agua.

En este contexto, conseguir las mayores producciones puede no ser necesariamente deseable desde el punto de vista de la sostenibilidad. Por ello resulta de interés considerar otros escenarios de cultivo que se produzcan no solo bajo un escenario de riego deficitario, sino también dando uso a terrenos en marginalidad y por ende poco productivos. Bajo estas premisas en las que se asume una menor producción, resulta esencial conseguir la mayor adecuación del material genético a emplear.

La eficiencia intrínseca en el uso del agua, definida como el ratio de la asimilación instantánea de CO₂ en relación a la transpiración estomática (CONDON et al., 2002), se considera un parámetro indicador del comportamiento de la planta a nivel fisiológico. Su correlación con la producción no está del todo dilucidada, existiendo numerosos ejemplos en los que esta correlación está presente (ZHANG et al., 2004) pero también muchos otros en los que ambas variables se comportan con independencia (MONCLUS et al., 2005; MARRON et al., 2005), abriendo la puerta a la mejora bidireccional.

La variabilidad de respuesta en *Populus* spp. para diversas situaciones de estrés ha sido referida múltiples veces (STREET et al., 2006). En relación a estrés hídrico, se han identificado diferencias a nivel de genotipo tanto intra como inter-específica (FICHOT et al., 2015). Entre las especies de este género, *Populus alba* L. es inicialmente muy interesante para explorar dicha variabilidad, debido a su amplia distribución natural, plasticidad y rusticidad (ALBA, 2001), así como por la variabilidad intra-específica ya constatada en respuesta al estrés salino (SIXTO et al., 2005), estrés que presenta muchas similitudes a nivel de la fisiología de la planta con las que se producen cuando el estrés se deriva de la falta de agua.

Las estrategias descritas en el género *Populus* para tolerar el estrés por déficit de agua son variadas. Entre ellas se incluyen la regulación estomática y las variaciones en la tasa de fotosíntesis (ATTIA et al., 2015), las modificaciones a nivel anatómico y estructural (LARCHEVEQUE et al., 2011) o las regulaciones a nivel hormonal (CAMPBELL, 2010), entre otras.

2. Objetivos

El marco general en el que se encuadra el trabajo es avanzar en la caracterización de materiales susceptibles de ser utilizados en plantaciones bajo condiciones de agua limitantes.

El objetivo específico ha sido identificar, bajo condiciones controladas de invernadero, posibles diferencias de comportamiento en relación a parámetros de crecimiento y producción, así como a nivel fisiológico, en materiales forestales de reproducción de *P. alba* con distintos orígenes frente a condiciones de déficit hídrico.

3. Metodología

3.1. Materiales

Se han ensayado cuatro genotipos pertenecientes a la especie *P. alba* L. Dos de ellos, 'GU-1-21-29' y 'PO-10-10-20', pertenecen a dos rodales diferentes ubicados en la cuenca del río Guadalquivir (ALBA, 2001), el genotipo 'J-1-3-18' procede de un rodal de la cuenca del río Jalón (ALBA, 2001), y el genotipo '111' es de origen italiano.

Para el establecimiento del ensayo se han utilizado estaquillas de tallo de brotes de un año de edad obtenidos de cepas madre. La longitud de las estaquillas fue de aproximadamente 40 cm. Previamente a la instalación se hidrataron en agua durante 48 h. con el fin de facilitar el arraigue.

3.2. Condiciones de cultivo

El ensayo se llevó a cabo en invernadero bajo condiciones controladas de temperatura (Tmax: 25±3°C y Tmin: 10±3°C), humedad (65%) e iluminación (1000 µE m⁻² s⁻¹).

El cultivo se realizó en macetas individuales de 15,5 l de volumen, conteniendo una mezcla de turba TKS-2 y arena de río en proporción 3:1, al que se añadió abono mineral multicote (4-15-7-15+2MgO) de liberación lenta.

En cada maceta se plantó un total de 2 estaquillas. Después de dos meses desde la instalación del material, se procedió a eliminar los brotes dobles y triples hasta dejar uno por estaquilla, procurando la mayor similitud de tamaño inicial entre las plantas. El número de plántulas utilizadas por genotipo fue de treinta y seis.

3.3. Tratamientos

Se aplicaron tres regímenes de riego diferentes. Estos se correspondieron con la capacidad de campo (CC) (tratamiento control), el 60% de la capacidad de campo (R1) y el 40% de la misma (R2). La determinación y ajuste de las dosis se realizó mediante métodos volumétricos, utilizando sensores de humedad, lo que permitió la determinación tanto de la capacidad de campo como del punto de marchitez, así como el ajuste tanto de la dosis de riego como la frecuencia óptima para lograr el mantenimiento de las concentraciones elegidas. Para tal fin, en las macetas se instalaron sondas ECH20 (mod. EC-5) a aproximadamente 15 cm de profundidad que permitieron determinar el contenido de humedad. El riego se aplicó de manera programada de tal forma que se mantuvieran las concentraciones de riego elegidas, utilizando goteros individualizados con un caudal de 4 l h⁻¹.

Cada maceta (combinación de tratamiento de riego y genotipo) se consideró como réplica en un diseño aleatorizado, disponiendo de 6 réplicas para cada combinación de genotipo y tratamiento.

3.4. Parámetros evaluados

Los parámetros evaluados a lo largo de los 4 meses de crecimiento bajo las diferentes condiciones hídricas fueron los siguientes:

- i) supervivencia
- ii) crecimiento relativo en altura y diámetro
- iii) variable de arquitectura: número de ramas
- iv) variable de morfología: área foliar específica
- v) peso seco foliar
- vi) peso seco de la biomasa leñosa aérea
- vii) variables funcionales relacionadas con intercambio gaseoso:
 - a. Tasa de asimilación neta de CO₂ (A, $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$), conductancia estomática al vapor de agua (gs), infiriendo a partir de ambos valores la eficiencia intrínseca en el uso del agua (EIUA, $\mu\text{mol}\cdot\text{mol}^{-1}$). La evaluación de estos parámetros se realizó sobre seis hojas desarrolladas en seis réplicas diferentes de cada combinación genotipo/tratamiento, utilizando un LICOR LCpro+, ADC BioScientific Ltd. Hoddesdon, U.K. Las mediciones se repitieron cada 15 días a lo largo del ensayo sobre hojas totalmente expandidas y situadas en el tercio superior de la planta.
 - b. Igualmente se estimó el contenido en clorofila en hojas a través de un índice que relaciona la transmitancia a 931 nm y a 635 nm (ICC), utilizando un medidor portátil CCM-200 plus.

3.5 Análisis de datos

La evaluación de la información relativa al efecto de los tratamientos de riego sobre los genotipos para las variables relativas al crecimiento, producción o arquitectura así como para las variables fisiológicas se analizó mediante ANOVA de dos vías, considerando los tratamientos y los genotipos como factores principales. Se realizaron también análisis de la varianza de una vía cuando lo que se perseguía era valorar la respuesta a nivel de genotipo para una situación de riego concreta

o por el contrario analizar la respuesta al riego para un genotipo concreto. Cuando existieron diferencias, las medias individuales se compararon mediante el test de Newman-Keulss ($p < 0,05$).

Se ha utilizado la correlación de Pearson para determinar el grado de relación entre las variables analizadas.

Así mismo se ha utilizado un ANOVA de medidas repetidas para el análisis de la evolución en el tiempo de la eficiencia intrínseca en el uso del agua.

Para la realización de los citados análisis Se empleó el paquete informático Statgraphics Plus (v.5).

4. Resultados

En las condiciones de ensayo aplicadas no se produjo mortalidad de plantas (supervivencia del 100%) ni síntomas de decaimiento ostensible en ninguno de los genotipos bajo los diferentes regímenes hídricos. La merma de agua si se tradujo, obviamente, en diferencias significativas en parámetros de crecimiento y producción pero no en una imposibilidad aparente del desarrollo de las mismas.

La producción en biomasa leñosa (fustes y ramas) fue significativamente diferente entre las distintas dosis de riego aplicadas ($F=38,7$; $p < 0,0000$) así como entre los genotipos ($F=3,08$; $p < 0,0300$), pero no para la interacción ($F=0,66$; $p < 0,6640$). El genotipo autóctono de *P. alba* 'GU-1-21-29' mostró el mayor rendimiento medio seguido del genotipo de origen italiano '111'. En ausencia de estrés (tratamiento control), la producción media de los genotipos fue similar. Sin embargo bajo condiciones de riego restringido, 'J-1-3-18' mostró una merma productiva significativamente mayor que el resto de genotipos ensayados (Tabla 1).

Tabla 1. Valores medios de la producción en biomasa leñosa aérea (BT, gr) en los diferentes genotipos para las distintas dosis de riego ensayadas

VARIABLE	TRATAMIENTO	GENOTIPOS de <i>Populus alba</i> L. EVALUADOS				Media tratamiento
		'GU-1-21-29'	'PO-10-10-20'	'J-1-3-18'	'111'	
BT	Control	53,1± 8,1 a *	44,9±18,7 a *	49± 9,2 a *	53,1± 15,1 a *	50,02 *
	R1	42,3±18,2 a *	35,6±9,5 ab **	32,9±5,8 b **	39,3± 11,4 ab **	38,38 **
	R2	30,6±8,9 a **	29,4± 8,1 ab **	23,6±7,0 b ***	29,4± 7,7 ab ***	28,58 ***
	Media del genotipo	43,1 a	36,6 ab	35,6 b	40,56 ab	

La significación de las medias generales para el conjunto de tratamientos se muestra en negrita y con asteriscos, y para el conjunto de genotipos mediante letras en negrita. La significación entre genotipos para un determinado tratamiento se muestra mediante letras sin negrita y la comparación de medias en los tratamientos en un mismo genotipo se representa con asteriscos sin negrita. En todos los casos la comparación se realizó mediante el test de Newman-Keulss ($p < 0,05$).

La producción de biomasa leñosa, variable de mayor interés comercial para el objetivo buscado, se correlacionó significativamente con el crecimiento en altura y el diámetro basal así como con el peso de las hojas, tanto en condiciones de riego óptimo como bajo condiciones de estrés (Tabla 2). Se detectó sin embargo una mayor correlación para el incremento diametral basal o el peso foliar que en relación al incremento de la altura.

Tabla 2. Coeficientes de correlación entre la producción de biomasa leñosa aérea y la altura, diámetro, nº de ramas silépticas y masa foliar para las distintas dosis de riego ensayadas

		Incremento altura	Incremento diámetro	Nº ramas silépticas	Peso seco hojas
Biomasa leñosa aérea (control)	Correlación Pearson	0,7018	0,9237	0,3652	0,9041
	p<	0,0001	0,0000	0,0793	0,0000
Biomasa leñosa aérea (R1)	Correlación Pearson	0,6936	0,8795	0,2581	0,9408
	p<	0,0002	0,0000	0,2233	0,0000
Biomasa leñosa aérea (R2)	Correlación Pearson	0,6681	0,7601	0,3462	0,9166
	p<	0,0004	0,0000	0,0975	0,0000

La producción de ramas silépticas se vio fuertemente influido por las restricciones en el riego observándose también diferencias significativas entre los genotipos ensayados (Figura 1). Sin embargo la correlación con la producción de biomasa leñosa no fue significativa (Tabla 2).

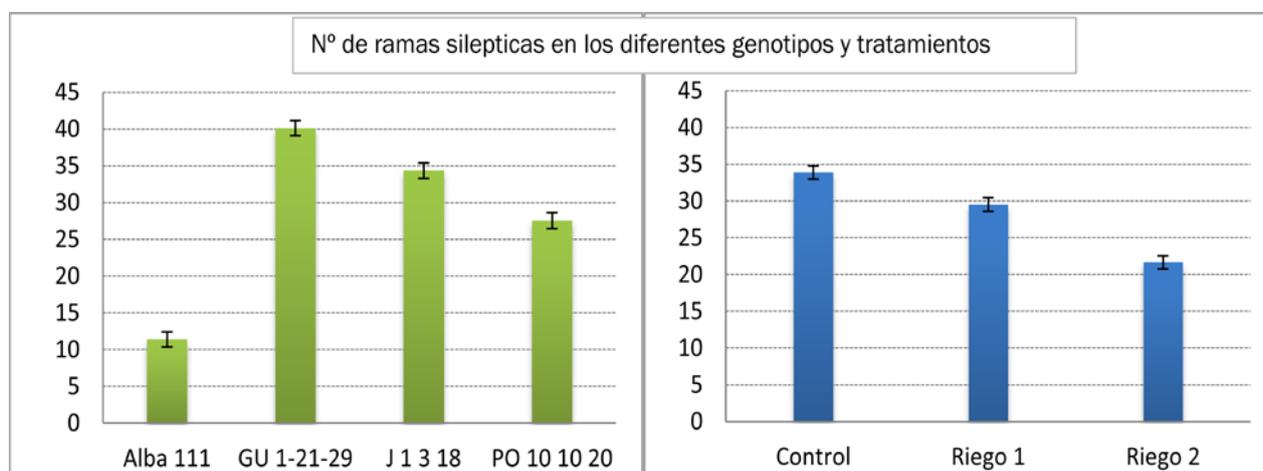


Figura 1. Número de ramas silépticas presentes en los distintos genotipos y tratamientos de riego aplicados

La eficiencia intrínseca en el uso del agua (EIUA) fue significativamente diferente a lo largo del periodo de ensayo ($F=22.7$; $p<0,0010$) (Figura 2, Tabla 3). Los valores de eficiencia, inferidos de las mediciones de intercambio gaseoso, fueron similares, tanto entre genotipos como para las distintas condiciones de riego, a las dos semanas de comenzar la aplicación de los riegos diferenciales. Sin embargo, a medida que el estrés se prolonga en el tiempo (30 días), la EIUA se incrementa bajo condiciones de alto estrés (R2) y paulatinamente también para condiciones de estrés moderado (R1 en 45 días). A nivel de genotipo no se observan diferencias iniciales en EIUA ni tampoco en fechas

próximas a la finalización del ensayo, si bien en el periodo intermedio (para los días 30 y 45) se observó una mayor eficiencia en el genotipo 'GU-1-21-29' (30 días) y '111' (45 días).

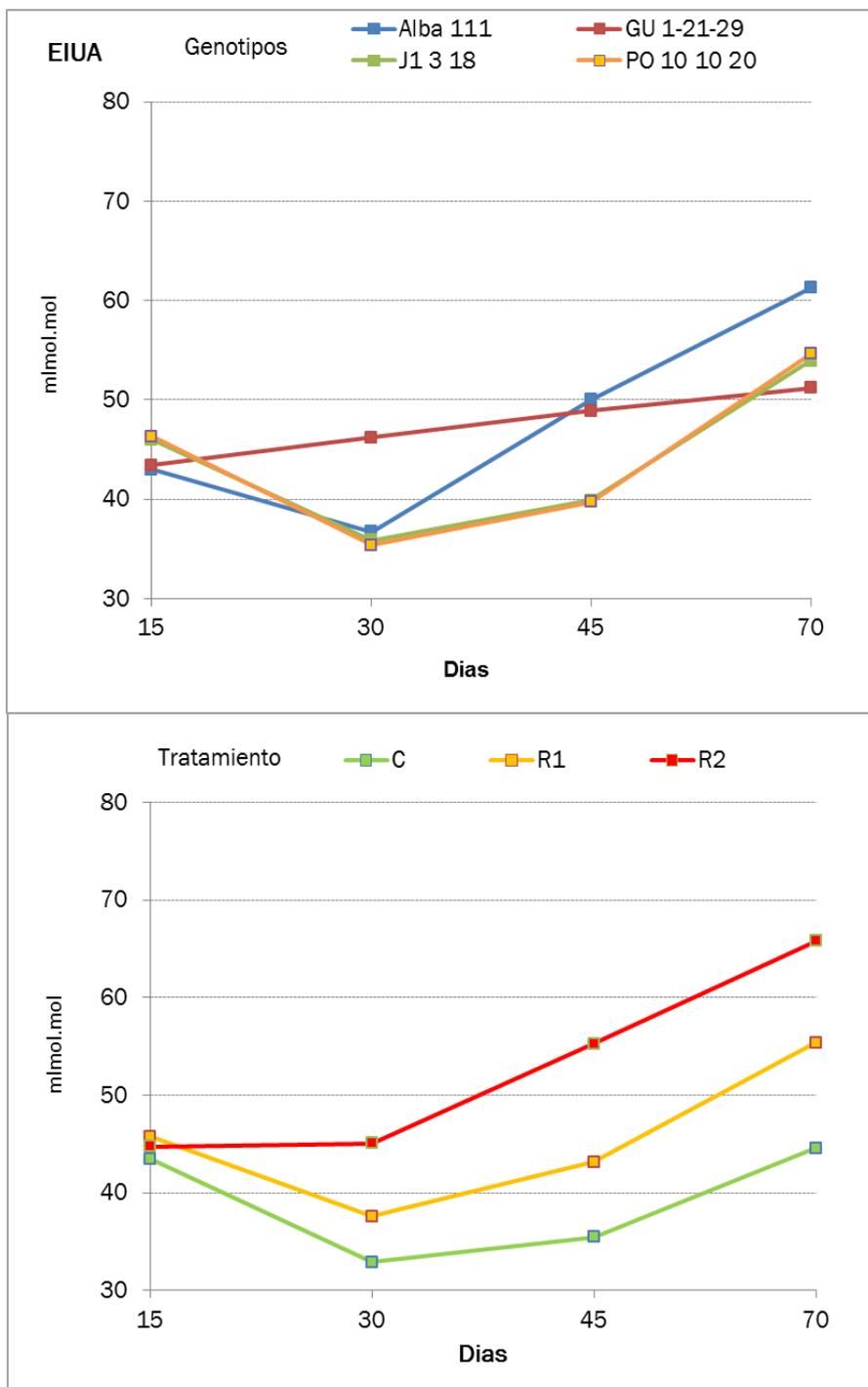


Figura 2. Eficiencia intrínseca en el uso del agua (EIUA) para los genotipos y dosis de riego ensayado a lo largo del tiempo

Tabla 3. Valores medios de EIUA para los genotipos y dosis de riego ensayado a los 15, 30, 45 y 70 días del ensayo

Genotipo	días				Media total
	15	30	45	70	
Alba 111	42,97 ab *	36,69 a **	49,98 b *	61,29 c *	47.73 a
GU 1-21-29	43,41 a *	46,19 a *	48,90 a *	51,19 a *	47.42 a
J 1 3 18	45,96 ac *	35,83 b **	39,86 ab **	53,92 c *	43.89 a
PO 10 10 20	46,33 a *	35,36 b **	39,71 ab **	54,61 c *	44.00 a
Tratamiento					Media total
C	43,48 a *	32,88 b *	35,47 b *	44,58 a *	39.10 a
R1	45,78 a *	37,60 b *	43,12 ab **	55,37 c **	45.47 b
R2	44,75 a *	45,07 a **	55,25 b ***	65,80 c ***	52.72 c

La Significación de las medias generales para el conjunto de tratamientos y genotipos se muestra mediante letras en negrita. La significación entre genotipos y tratamientos para cada uno de los días se muestra mediante asteriscos sin negrita y la comparación de medias entre los días de ensayo para un mismo genotipo y tratamiento se representa con letras sin negrita.

EIUA se correlacionó negativa y significativamente con el cierre estomático bajo condiciones de estrés tanto severo (R2) como moderado (R1) pero no se obtuvo correlación en plantas regadas adecuadamente (Tabla 4).

Tabla 4. Coeficientes de correlación entre la eficiencia intrínseca en el uso del agua y la tasa fotosintética (A), conductancia estomática (gs), contenido en clorofila (cci), área foliar específica (AFE) y biomasa leñosa para las distintas dosis de riego ensayadas

Eficiencia intrínseca en el uso del agua		A	gs	cci	AFE	Biomasa leñosa
Control	Correlación Pearson	0,5811	-0,3684	0,4230	-0,1260	-0,2044
	p<	0,0029	0,0765	0,0395	0,5573	0,3380
R1	Correlación Pearson	0,5366	-0,8038	0,4644	-0,3661	-0,0496
	p<	0,0069	0,0000	0,0223	0,0785	0,8179
R2	Correlación Pearson	0,0064	-0,5362	0,7480	-0,7114	0,4776
	p<	0,9765	0,0069	0,0000	0,0001	0,0183

La eficiencia en el uso del agua se correlacionó significativamente con la tasa de fotosíntesis neta bajo condiciones de riego óptimo o estrés moderado pero no cuando las condiciones impuestas fueron de estrés severo (Tabla 4). Sin embargo si se observó correlación significativa bajo cualquiera de las condiciones de riego en relación al índice de contenido en clorofila, siendo especialmente relevante esta correlación bajo estrés severo (R2). No se detectó correlación entre la producción de biomasa leñosa e EIUA bajo condiciones de cultivo óptimas (C) o de estrés moderado (R1),

observando correlación cuando el estrés impuesto fue mayor (R2). Similar conducta se observó para la correlación de EIUA y área foliar específica (AFE) (Tabla 4).

5. Discusión

Las especies e híbridos del género *Populus* se consideran muy sensibles a la falta de agua, siendo conocida la baja tolerancia a la falta de agua especialmente a nivel foliar (BRAATNE et al., 1992). En las condiciones de ensayo, en donde el estrés se impone en una fase muy temprana del desarrollo, se observó que si bien se produce merma productiva en los genotipos de *P. alba* ensayados, no se producía abscisión foliar ni se produjo tampoco, a las dosis de riego aplicadas, mortalidad de las plantas, lo que indica la puesta en marcha de estrategias de tolerancia a estrés (OSAKABE et al., 2014) al menos en fases juveniles, siendo viable el cultivo en el inicio del desarrollo.

Los genotipos ensayados mostraron disminuciones significativas en la producción bajo condiciones de estrés hídrico en todos los casos, si bien las pérdidas productivas fueron más relevantes en unos genotipos que en otros. El genotipo 'J-1-3-18' mostró mayor sensibilidad a la restricción hídrica que el resto. La variabilidad intra-específica en la especie se puso de manifiesto con anterioridad como respuesta al estrés salino (SIXTO et al., 2005). De hecho la mayor sensibilidad de genotipos procedentes de la cuenca del río Jalón, origen del genotipo 'J-1-3-18', se había evidenciado con anterioridad en relación a la respuesta al estrés por la salinidad. Las similitudes entre los desórdenes fisiológicos que acarrearán ambos tipos de estrés han sido frecuentemente referidas (ZHU, 2002; VERSLUES et al., 2006). La respuesta diferencial a la falta de agua en otras especies híbridas de *Populus* en relación a la producción de biomasa se ha puesto de manifiesto por diferentes autores (MONCLUS et al., 2006; KARAČIĆ & WEIH, 2006).

La correlación de la producción de biomasa leñosa en relación a otras variables indicadoras del crecimiento, como el incremento en altura o en diámetro, fue similar en relación a los distintos escenarios de riego, no observándose por tanto variación en las relaciones fenotípicas entre estas variables, opuestamente a lo referido en genotipos de sauce sometidos a estrés hídrico (WEIH et al., 2006).

El número de ramas, variable relevante desde el punto de vista de la caracterización de la biomasa obtenida por su relación con el poder calorífico o el contenido en cenizas entre otras (GUIDI et al., 2008), se ha visto significativamente influido por el régimen hídrico aplicado. Entre genotipos, las diferencias en el número de ramas silépticas emitidas fueron muy relevantes, tanto entre el genotipo italiano como entre los genotipos españoles de distintas procedencias. La correlación de la producción de ramas silépticas con la producción, aunque muy significativa como ha sido mencionado con anterioridad (RAE et al., 2004), no mostró un alto ajuste, lo que probablemente se deba a las condiciones de crecimiento bajo estrés.

Se ha evidenciado variación en relación a la eficiencia intrínseca en el uso del agua (EIUA) entre las distintas dosis de riego en función del tiempo transcurrido bajo condiciones de estrés. La imposición de un mayor estrés contribuyó en general a una mayor eficiencia, siendo consecuencia de un mayor cierre estomático. En condiciones de riego óptimo, EIUA se correlacionó con la tasa de fotosíntesis neta (A) pero no con el cierre estomático (gs). Bajo condiciones de estrés moderado tanto la tasa de fotosíntesis como la conductancia estomática mostraron alta correlación con EIUA. Sin embargo bajo estrés severo esa correlación fue relevante solo en relación a la conductancia estomática, mostrando que los genotipos intentan regular el potencial hídrico mediante cambios en gs (ATTIA et al., 2015).

A nivel de genotipo, la similitud de respuesta inicial se tradujo en diferencias a medida que el tiempo de estrés es mayor. 'GU-1-21-29' mostró una eficiencia mayor a partir del día 30 así como también el genotipo 'Alba-111' a partir del día 45. Ambos genotipos fueron los menos sensibles al

estrés desde el punto de vista de pérdida de producción de biomasa leñosa. Sin embargo, las últimas mediciones realizadas muestran valores absolutos mayores de eficiencia solo para 'Alba-111' si bien las diferencias con el resto de genotipos no fueron significativamente distintas probablemente por la alta dispersión de estas medidas aun a pesar de buscar la mayor estabilidad de condiciones durante el tiempo de medición. Por ello las diferencias inter-genotipos para este carácter en el presente ensayo no han resultado del todo relevantes.

Se ha referido múltiples veces la presencia de correlación positiva entre la producción de biomasa en *Populus* y la eficiencia en el uso del agua (ZHANG et al., 2005; YIN et al., 2005) pero también la ausencia de correlación entre ambas variables (MARRON et al., 2005; DILLEN et al., 2008). Probablemente la disparidad de resultados esté fuertemente influida por el tamaño de la planta en el momento de la evaluación así como también puede estar influida por las condiciones de cultivo. En nuestro ensayo no se detectó correlación entre la producción de biomasa leñosa área y la eficiencia en el uso del agua bajo condiciones de riego óptimas o de estrés moderado, lo que abriría la posibilidad a la selección bidireccional. Sin embargo se produjo correlación negativa bajo un estrés severo, lo que apuntaría a la imposibilidad de tener en cuenta simultáneamente ambas variables a la hora de la selección, si las condiciones de cultivo son muy restrictivas en relación al aporte hídrico.

Durante los primeros meses de desarrollo y bajo condiciones de invernadero, no se han detectado diferencias relevantes en la respuesta productiva de los genotipos estudiados cuando las condiciones de cultivo fueron óptimas, observándose sin embargo diferencias en la tolerancia bajo condiciones de estrés. Explorar esta variabilidad intra-específica puede resultar de interés como criterio adicional de selección de genotipos destinados a la producción de biomasa bajo escenarios de cambio climático en la cuenca mediterránea, donde la demanda evapotranspirativa no se compensa habitualmente con el aporte de agua por lluvia. La respuesta productiva sin embargo debe verificarse bajo condiciones de cultivo real (plantaciones) para lo cual existen ensayos específicos en curso relativos a caracterización fenotípica de la especie en el marco del proyecto RTA2014-0007-C01.

6. Conclusiones

La selección genotípica para la adaptación a ambientes de estrés está ganando relevancia en el ámbito de la agricultura desde hace años aunque todavía los mecanismos de adaptación están poco esclarecidos. Los resultados presentados indican variabilidad intra-específica en la respuesta de *Populus alba* cuando las condiciones hídricas son limitantes. Sin embargo no se ha identificado ningún genotipo tolerante al estrés, sino más bien diferencias en el grado de sensibilidad mostrada. En este sentido 'GU-1-21-29' y '111' mostraron una tolerancia mayor, reflejada tanto en parámetros relacionados con el crecimiento y la producción así como también en una mayor eficiencia intrínseca en el uso del agua para el conjunto del periodo. No obstante, en términos de adaptación, al menos en los primeros estadios del crecimiento, todos los genotipos ensayados mostraron capacidad para desarrollarse y crecer, aun a costa de la merma productiva indicada. Serán necesarios nuevos ensayos para profundizar en la variabilidad detectada así como ensayos a nivel de planta adulta en condiciones de campo.

Explorar el comportamiento de genotipos autóctonos del álamo en términos de producción de biomasa y de eficiencia en el uso del agua es una necesidad a la hora de poder plantear plantaciones destinadas a la obtención de biomasa en zonas marginales con escasos recursos hídricos.

7. Agradecimientos

El presente trabajo se ha desarrollado utilizando fondos del proyecto RTA2014-0007-C01.

8. Bibliografía

- ALBA, N.; 2001. Variedad genética de *Populus alba* L. mediante caracteres isoenzimáticos y fenotípicos. Aplicación a la selección y conservación de recursos genéticos. Tesis Doctoral. Universidad politécnica de Madrid.
- ATTIA, Z.; DOMEQ, J.D.; OREN, R.; WAY, D.A.; MOSHEILON, M.; 2015. Growth and physiological responses of isohydric and anisohydric poplars to drought. *J Exp Bot* 66 (14):4373–4381
- BRAATNE, J.H.; HINCKLEY, T.M.; STETTLER, R. F.; 1992. Influence of soil water on the physiological and morphological components of plant water balance in *Populus trichocarpa*, *Populus deltoides* and their F1 hybrids. *Tree Physiology* 11 (4):325-339
- CAMPBELL, A.S.; 2010. Drought response of *Populus* transformed with stress response transcription factors. Tesis doctoral. University of Tennessee.
- CONDON, A.G.; RICHARDS, R.A.; REBETZKE, G.J.; FARQUHAR, G.D.; 2002. Improving intrinsic water-use efficiency and Crop Yield. *Crop Science* 42 (1):122-131
- CONDON, A.G.; RICHARDS, R.A.; REBETZKE, G.J.; FARQUHAR, G.D.; 2004. Breeding for high water-use efficiency. *J Exp Bot* 55:2447-2460
- DILLEN, S.Y.; MARRON, N.; KOCH, B.; CEULEMANS, R.; 2008. Genetic variation of stomatal traits and carbon isotope discrimination in two hybrid poplar families (*Populus deltoides* 'S9-2' × *P. nigra* 'Ghoy' and *P. deltoides* 'S9-2' × *P. trichocarpa* 'V24'). *Annals of Botany* 102 (3):399-407.
- EC, 2012. Innovating for sustainable growth: A bioeconomy for Europe. *European Commission* 2012. doi: 10.2777/6462.
- FAO, 1980. Colección FAO. Montes N° 10. Los Álamos y los Sauces. FAO. Roma.
- FICHOT, R.; BRIGNOLAS, F.; COCHARD, H.; CEULEMANS, R.; 2015. Vulnerability to drought-induced cavitation in poplars: synthesis and future opportunities. *Plant Cell Environ* 38:1233-1251
- GUIDI, W.; PICCIONI, E.; GINANNI, M.; BONARI, E.; 2008. Bark content estimation in poplar (*Populus deltoides* L.) short-rotation coppice in Central Italy. *Biomass and Bioenergy* 32 (6): 518–524
- HENNIG, A.; KLEINSCHMIT, J.R.G.; SCHONEBERG, S.; LOFFLER, S.; JANBEN, A.; POLLE, A.; 2015. Water consumption and biomass production of protoplast fusion lines of poplar hybrids under drought stress. *Front Plant Sci* 6 (Article 330). doi:10.3389/fpls.2015.00330
- IPCC, 2014. Climate change: Impacts, adaptation and vulnerability. *IPCC working Group. II. Contribution to AR5*. Geneva, Switzerland.
- KARAČIĆ, A.; WEIH, M.; 2006. Variation in growth and resource utilization among eight poplar clones grown under different irrigation and fertilization regimes in Sweden. *Biomass and Bioenergy* 30 (2):115–124
- LARCHEVEQUE, M.; MAUREL, M.; DESROCHERS, A.; LAROCQUE, G.R.; 2011. How does drought tolerance compare between two improved hybrids of *balsam poplar* and an unimproved native species?. *Tree Physiol* 31:240-249

MAIENZA, A.; MUGHINI, G.; SALVATI, L.; BENEDETTI, A.; DELL-ABATE, M.T.; 2014. Assessing the influence of summer organic fertilization combined with nitrogen inhibitor on a short rotation woody crop in Mediterranean environment. *Int J For Res* 2014, Art. 371895, 5 pages.

MARRON, N.; VILLAR, M.; DREYER, E.; DELAY, D.; BOUDOURESQUE, E.; PETIT, J.M.; DELMOTTE, F.M.; GUEHL, J.M.; BRIGNOLAS, F.; 2005. Diversity of leaf traits related to productivity in 31 *Populus deltoides* x *Populus nigra* clones. *Tree Physiol* 25:425-435

MONCLUS, R.; DREYER, E.; DELMOTTE, F.M.; VILLAR, M.; DELAY, D.; BOUDOURESQUE, E.; PETIT, J.M.; MARRON, N.; BRECHET, C.; BRIGNOLAS, F.; 2005. Productivity, leaf traits and carbon isotope discrimination in 29 *Populus deltoides* x *Populus nigra* clones. *New Phytol* 167(1):53-62

MONCLUS, R.; DREYER, E.; VILLAR, M.; DELMOTTE, F.M.; DELAY, D.; PETIT, J.M.; BARBAROUX, C.; LE THIEC, D.; BRÉCHET, C.; BRIGNOLAS, F.; 2006. Impact of drought on productivity and water use efficiency in 29 genotypes of *Populus deltoides* x *Populus nigra*. *New phytologist* 169 (4):765-777

OSAKABE, Y.; OSAKABE, K.; SHINOZAKI, K.; LAM-SON, P.; 2014. Response of plants to water stress. *Front Plant Sci* 5: 86. doi: 10.3389 / fpls.2014.00086

RAE, A.M.; ROBINSON, K.M.; STREET, N.R.; TAYLOR, G.; 2004. Morphological and physiological traits influencing biomass productivity in short-rotation coppice poplar. *Canadian Journal of Forest Research* 34 (7):1488-1498

SIXTO, H.; GRAU, J.M.; ALBA, N.; ALÍA, R.; 2005. Response to sodium chloride in different species and clones of genus *Populus*. *Forestry* 78 (1):93-104

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. *Investigación Agraria: Sistemas y Recursos Forestales* 16:277-294

- STREET, N.R.; SKOGSTRÖM, O.; SJÖDIN, A.; TUCKER, J.; RODRÍGUEZ-ACOSTA, M.; NILSSON, P.; STEFAN JANSSON, S.; TAYLOR, G.; 2006. The genetics and genomics of the drought response in *Populus*. *Plant Journal* 48:321-341
- VERSLUES, P.E.; AGARWAL, M.; KATIYAR-AGARWAL, S.; JIAN-KANG ZHU, J.Z.; 2006. Methods and concepts in quantifying resistance to drought, salt and freezing, abiotic stress that affect plant water status. *Plant Journal* 45 (4):523-539
- WEIH, M.; RÖNNBERG-WÄSTLJUNG, A.C.; GLYNN, C.; 2006. Genetic basis of phenotypic correlations among growth traits in hybrid willow (*Salix dasyclados* x *S. viminalis*) grown under two water regimes. *New Phytologist* 170:467-477
- YIN, C.; WANG, X.; DUAN, B.; LUO, J.; LI, C.; 2005. Early growth, dry matter allocation and water use efficiency of two sympatric *Populus* species as affected by water stress. *Environ Exp Bot* 53 (3):315-322
- ZHANG, X.; ZANG, R.; LI, C.; 2004. Population differences in physiological and morphological adaptations of *Populus davidiana* seedlings in response to progressive drought stress. *Plant Science* 166 (3):791-797
- ZHU, J.K.; 2002. Salt and drought stress signal transduction in plants. *Annu Rev Plant Bio* 53: 247-273