

EFICIENCIA EN EL USO DEL AGUA Y RESPUESTA AL RIEGO DE CUATRO CLONES DE *Populus x euramericana*

L. SERRANO; M. HERNANDEZ; S. GONZALEZ; J. VOLTAS

ETSIA. Producción Vegetal y Ciencia Forestal. Universitat de Lleida.
C/ Rovira Roure 177. 25198 Lleida.

RESUMEN

Se ha evaluado el crecimiento y la eficiencia en el uso del agua, estimada a través de la discriminación isotópica del carbono (Δ) y de parámetros de intercambio gaseoso, en 4 clones de *Populus x euramericana* (3 años de edad) sometidos a dos frecuencias de riego durante el año 1999 en Albalate de Cinca (Huesca). No se ha constatado una reacción negativa de los árboles ante la modificación de la frecuencia de riego. Se ha encontrado variabilidad genotípica en Δ y en los parámetros de intercambio gaseoso (tasa fotosintética, A; conductancia estomática, g_s). En general, los valores bajos de Δ son coherentes con los valores altos de eficiencia instantánea en el uso del agua (A/g_s). El menor valor de Δ obtenido para el clon 2000 Verde está relacionado con una tasa fotosintética alta y una conductancia estomática baja. El crecimiento (altura y diámetro) se midió al final del periodo vegetativo. El clon 2000 Verde tuvo el mayor crecimiento diametral y el clon Luisa Avanzo el menor. No se encontraron diferencias significativas en el crecimiento en altura, aunque la respuesta general es comparable a la encontrada para el crecimiento en diámetro. El crecimiento en diámetro se correlacionó negativamente con Δ ($r=-0.62^*$) y positivamente con A ($r=0.62^*$). Estos resultados sugieren, que la variación de crecimiento entre clones está relacionada con cambios en Δ , que, a su vez, se deben a fluctuaciones en la tasa fotosintética (A).

P.C.: chopos, intercambio gaseoso, discriminación isotópica del carbono, crecimiento.

SUMMARY

Gas exchange, water use efficiency (WUE), carbon isotope discrimination (Δ) and growth traits were compared among 4 clones of *Populus x euramericana* (age 3 years) at two irrigation levels during 1999 in Albalate de Cinca (Huesca). No differences in any of the above parameters were detected between irrigation levels. Genotypic variation was found in Δ and in gas exchange parameters (photosynthetic rate, A; stomatal conductance, g_s). Generally low Δ values were consistent with higher values of instantaneous water-use efficiency (A/g_s). The lowest Δ found in 2000 Verde clone was related to a greater photosynthetic rate (A) and a lower stomatal conductance. At the end of the vegetative period, plant growth (height and diameter) was measured. 2000 Verde showed the largest diameter growth whereas Luisa Avanzo displayed the lowest increase in diameter. No differences in height growth were found among clones but the overall response was comparable to that found in diameter growth. In fact, diameter growth was negatively correlated with Δ ($r=-0.62^*$) and positively correlated with A ($r=0.62^*$). These results suggest that variations in growth among clones are related to changes in Δ which, in turn, are mainly driven by fluctuations in photosynthetic rate (A).

K.W.: poplars, gas exchange, carbon isotope discrimination, water use efficiency, growth

INTRODUCCIÓN

Las plantaciones de chopo en nuestro país se han venido instalando tradicionalmente en zonas de ribera. Sin embargo, en los últimos años se está produciendo un proceso de avance del cultivo del chopo hacia terrenos agrícolas de regadío (PADRO 1992) como consecuencia de las nuevas orientaciones de la Política Agraria Comunitaria (PAC) y del déficit de la producción. En estas nuevas zonas potenciales de desarrollo del chopo, la disponibilidad de agua puede llegar a ser un factor limitante para el establecimiento de nuevas plantaciones y el posterior desarrollo de los árboles. *Populus x euramericana* es una especie de luz, de temperamento muy robusto, colonizadora de terrenos desnudos de las riberas de los ríos y muy exigente en agua. Así, puede considerarse que el agua es el factor más importante para la persistencia y producción de chopos (GRAU *et al.* 1994) Por lo tanto, en las zonas donde ésta es un bien escaso, el éxito de las explotaciones del género *Populus* no depende exclusivamente de la productividad del material vegetal introducido, sino que debe tenerse en cuenta el grado de tolerancia al estrés hídrico de los clones, así como su eficiencia en el uso del agua (EUA, tasa de asimilación neta por unidad de agua transpirada) (DICKMAN *et al.* 1992).

Las herramientas tradicionalmente utilizadas para evaluar las necesidades hídricas de los árboles tanto en condiciones óptimas como de estrés hídrico incluyen parámetros de crecimiento y de intercambio gaseoso en hoja. A partir de estos últimos se puede determinar la eficiencia instantánea en el uso del agua estimada como el cociente entre tasa fotosintética (A) y conductancia estomática (g_s). Un aspecto que en los últimos años está adquiriendo preponderancia en estudios ecofisiológicos es la utilización de la discriminación isotópica del carbono (Δ) como estimador indirecto de la eficiencia en el uso del agua, considerado a su vez como factor relevante en los procesos de adaptación, productividad y probabilidad de supervivencia bajo condiciones de déficit hídrico. La EUA estimada de forma instantánea en hoja presenta variaciones espaciales y temporales a lo largo de la cubierta arbórea, de manera que estas medidas son difíciles de extrapolar al resto de la cubierta (KLOEPEL *et al.* 1998). La utilización de Δ presenta diversas ventajas: los mecanismos fisiológicos a través de los que se determina son conocidos y fáciles de medir, existe una fuerte correlación entre Δ y EUA (FARQUHAR *et al.*, 1989), y el análisis de Δ se puede realizar en tejidos estructurales y así las medidas son representativas de largos periodos de crecimiento (ZHANG *et al.* 1993). En el presente trabajo se estudia el comportamiento ecofisiológico y el crecimiento de cuatro clones de *Populus x euramericana* sometidos a dos frecuencias distintas de riego en el valle del Cinca.

MATERIAL Y MÉTODOS

El dispositivo experimental se encuentra ubicado en Alcolea de Cinca (Huesca) y consta de dos ensayos adyacentes con diferentes frecuencias de riego según un diseño de bloques completos al azar con tres repeticiones. El riego, efectuado a manta, se aplicó en turnos de 10 días durante los meses de máxima demanda hídrica (junio a septiembre) en el tratamiento control o de riego local. El caudal aplicado es el utilizado normalmente en la chopera donde está situado el dispositivo experimental, y se estima en una aportación equivalente a 1000 m³/ha. En el tratamiento de riego reducido se aplicó el mismo caudal pero con una frecuencia de entre 15-18 días durante el mismo periodo de tiempo, representando una reducción de la disponibilidad hídrica de alrededor del 30% respecto al tratamiento control. Se ensayaron cuatro clones de tres años de edad durante el año 1999: I-214, clon de ramificación verticilada, gran plasticidad y rápido crecimiento, muy utilizado en populicultura y utilizado como testigo en el presente trabajo; I-MC, clon de ramificación fuerte y verticilada, crecimiento superior al I-214 y de madera de excelente calidad para el desarrollo; Luisa Avanzo, clon de ramificación no verticilada, crecimiento extraordinario, madera de calidad superior al I-214 y válida para todas las aplicaciones industriales. 2000 Verde: clon de ramificación no verticilada y poda económica, interesante por la calidad de su madera.

La discriminación isotópica del carbono se realizó a partir de material vegetal foliar secado en estufa y triturado. Los carbohidratos solubles se disolvieron en agua destilada a 80°C durante 30 minutos y posteriormente se liofilizaron. Tanto en el caso de carbohidratos solubles como estructurales, las muestras fueron enviadas para su análisis a un laboratorio especializado (Isotope Services Inc., Los Alamos, NM, USA), donde se determinó la composición isotópica del material vegetal ($\delta^{13}\text{C}$) mediante espectrometría de masas. Los resultados de composición isotópica se transformaron a discriminación isotópica (Δ) utilizando la siguiente expresión (FARQUHAR *et al.* 1989):

$$\Delta = \frac{\delta^{13}\text{C}_a - \delta^{13}\text{C}_p}{1 + \delta^{13}\text{C}_p}$$

$\delta^{13}\text{C}_a$ = Composición isotópica del aire.

$\delta^{13}\text{C}_p$ = Composición isotópica del material vegetal.

Los parámetros de intercambio gaseoso (tasa de asimilación neta y conductancia estomática) se determinaron con un sistema IRGA portátil de ADC. La medición se llevó a cabo mediante muestreos periódicos realizados durante los meses de mayo a septiembre, en el momento de mayor estrés hídrico (antes del riego) y durante las horas centrales del día. Se realizaron un total de 6 muestreos en la parcela de riego control y de 5 en la de riego reducido.

El crecimiento se evaluó a partir de las medidas de altura y diámetro realizadas en los años 1998 y 1999 para los cuatro clones y las dos frecuencias de riego.

El tratamiento estadístico de los datos se llevó a cabo con el paquete estadístico SAS (SAS Inst. 1987) mediante análisis de varianza, de covarianza y de correlaciones entre factores.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La discriminación isotópica del carbono (Δ) determinada en carbohidratos solubles en hoja varió significativamente entre los clones ensayados (tabla 1). El efecto del riego sobre Δ no fue significativo. El clon 2000 Verde presentó el menor valor de Δ , siendo éste significativamente diferente al de los clones Luisa Avanzo e I-MC (figura 1). Los resultados de Δ para carbohidratos estructurales mostraron un patrón de variación similar.

Los parámetros de intercambio gaseoso no presentaron diferencias respecto al factor riego. La tasa de asimilación neta, la conductancia estomática y la eficiencia instantánea en el uso del agua, estimada como A/g_s , presentaron diferencias significativas para el factor clon (tabla 1). La tasa fotosintética tendió a ser superior para el clon 2000 Verde ($p=0.1$) respecto al resto de clones ensayados (figura 1). La conductancia estomática presentó unos valores inferiores en los clones 2000 Verde y Luisa Avanzo en comparación a I-214 e I-MC. La eficiencia instantánea en el uso del agua mostró unos valores superiores para los clones 2000 Verde y Luisa Avanzo respecto a I-214 e I-MC.

Contrariamente a lo que era esperable, no existieron diferencias significativas entre riegos ni para Δ ni para los parámetros de intercambio gaseoso. La escasa respuesta fisiológica ante la reducción de aproximadamente un 30% del volumen de agua aportada parece indicar que no se creó una situación real de estrés hídrico para los árboles. Las medidas de potencial matricial del suelo realizadas con un equitensiómetro en los primeros 15-20 cm constatan el ligero estrés hídrico inducido. Así, se observó una diferencia máxima de 0.23 MPa entre las parcelas con riego normal y riego reducido. La falta de respuesta ante la frecuencia de riegos reducidos parece sugerir también un sobredimensionamiento del riego en la chopera de estudio.

Independientemente del tratamiento de riego aplicado, existe variabilidad genética para los parámetros ecofisiológicos analizados. El menor valor de Δ para el clon 2000 Verde sugiere que, para todo el periodo vegetativo, éste tiende a ser el más eficiente en el uso del agua tanto si se analizan carbohidratos solubles como estructurales. Este resultado es confirmado con las medidas puntuales de intercambio gaseoso a pesar de las diferencias entre la escala de integración de las diversas medidas: 1-2 minutos para estimaciones puntuales, 24- 48 horas para Δ obtenida en carbohidratos solubles (BRUGNOLI *et al.* 1988), y todo el periodo vegetativo para Δ obtenida en carbohidratos estructurales. A pesar de ser débil, existe una correlación global negativa entre los valores de discriminación isotópica y

los valores de eficiencia en el uso del agua estimados como A/g_s ($r=-0,25^*$). De acuerdo a los resultados expresados anteriormente, la mayor eficiencia en el uso del agua del clon 2000 Verde respecto al resto de clones parece ser debida a una tasa fotosintética superior y a una mayor sensibilidad estomática expresada como una menor conductancia.

Los análisis de covarianza para el crecimiento en altura y en diámetro durante el año 1999 (no mostrados) señalan que ambos parámetros no se vieron influenciados negativamente por un aumento de la frecuencia del riego. El crecimiento en diámetro fue significativo para el factor clon ($p<0.05$) con un mayor crecimiento para los clones 2000 Verde e I-MC (figura 1). El crecimiento en altura para el factor clon no fue significativo, aunque se mantuvo el mismo rango de variación entre clones que el observado para el crecimiento en diámetro. En la figura 2 se muestra la relación existente entre el crecimiento (diametral y en altura), la discriminación isotópica del carbono y la tasa fotosintética. En nuestro ensayo, las relaciones encontradas son de signo negativo entre el crecimiento y Δ , y de signo positivo entre el crecimiento y la tasa fotosintética. La relación entre Δ y el crecimiento ha sido objeto de diversos estudios. De acuerdo al modelo de discriminación isotópica del carbono (FARQUHAR *et al.* 1989), Δ disminuye y, por tanto, la eficiencia en el uso del agua incrementa cuando la capacidad fotosintética (A) aumenta (si la conductancia estomática permanece aproximadamente constante). Bajo estas circunstancias, y en ausencia de factores limitantes del crecimiento, altos valores de A (y bajos valores de Δ) deberían traducirse en una mayor productividad. A tenor de la falta de respuesta al riego constatada en nuestro ensayo las condiciones hídricas parecen ser las óptimas para el desarrollo de los chopos. La naturaleza de las correlaciones observadas con parámetros de crecimiento sugiere que, cuando la disponibilidad hídrica no condiciona el crecimiento de los árboles, su superioridad productiva (caso del clon 2000 Verde) se encuentra globalmente asociada a una mayor eficiencia en el uso del agua como consecuencia de mayores tasas de asimilación fotosintética. Estos resultados proporcionan información sobre el comportamiento ecofisiológico de los clones a escala integradora (totalidad del periodo vegetativo), y pueden ser de utilidad para la identificación de caracteres de interés en programas de selección y mejora genética de *Populus x euramericana*.

CONCLUSIONES

La disminución del riego no afectó negativamente al crecimiento de los clones de *Populus x euramericana* de tres años de edad.

Existe variabilidad genética en el crecimiento, en la discriminación isotópica del carbono y en los parámetros de intercambio gaseoso analizados.

El clon 2000 Verde presentó la mayor eficiencia en el uso del agua, estimada tanto con medidas puntuales de intercambio gaseoso como con medidas más integradoras (Δ).

La correlación negativa entre el crecimiento y Δ , para el clon 2000 Verde, sugiere que su mayor productividad está asociada a una mayor eficiencia en el uso del agua, como consecuencia de presentar unas mayores tasas de asimilación.

AGRADECIMIENTOS

Los autores quieren expresar su agradecimiento a la Diputación General de Aragón por la cesión del terreno y por todas las facilidades prestadas para la realización de este trabajo. Este estudio ha sido realizado en el marco del proyecto CICYT AGF94-0844.

BIBLIOGRAFÍA

BRUGNOLI, E; HUBICK, K; CAEMMERER, S; WONG, S; FARQUHAR, G; (1988). *Correlation between the carbon isotope discrimination in leaf starch and sugars of C3 plants and the ratio of intercellular and atmospheric partial pressures of carbon dioxide*. Plant Physiol. 88, 1418-1424

DICKMAN, I; LIU, Z; NGUYEN, P; PREGITZAR, K; (1992). *Photosynthesis, water relations, and growth of two hybrid Populus genotypes during a severe drought*. Can. J. For. Res. 22, 1094-1106

FARQUHAR, G; EHLERINGER, J; HUBICK, K; (1989). *Carbon isotope discrimination and photosynthesis*. Annu. Rev. Plant Physiol. Plant Mol. Biol. 40, 503-537

GRAU, JM; GONZALEZ, F; MONTOTO, JL; (1994). *Populicultura Intensiva*. Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación. Madrid

KLOEPEL, B; GOWER, S; TREICHEL, I; Y KHARUK, S; (1998). *Foliar carbon isotope discrimination in Larix species and sympatric evergreen conifers: a global comparison*. Oecologia 114, 153-159

PADRO, A; (1992). *Clones de chopo para el valle medio del Ebro*. Diputación General de Aragón. Zaragoza

ZHANG, J; MARSHALL, J; (1993). *Population differences in water-use efficiency of well watered and water stressed western larch seedlings*. Can. J. For. Res. 24, 92-99

Fuente de variación	g.l.	Δ (%)			A ($\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$)			g_s ($\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$)			A/ g_s ($\mu\text{mol mol}^{-1}$)		
		CM	Ratio F	Prob.	CM	Ratio F	Prob.	CM	Ratio F	Prob.	CM	Ratio F	Prob.
Irrigación (I)	1	11.80	3.60	0.198	7.36	0.10	0.780	0.001	0.02	0.892	1211.6	4.33	0.173
Rep(I) (Error a)	2	3.28			72.32			0.038			280.1		
Clon (C)	3	3.07	4.70	0.051	75.76	3.41	0.093	0.364	18.19	0.002	3245.1	6.05	0.030
I x C	3	0.07	0.10	0.954	44.45	2.00	0.215	0.327	16.37	0.003	730.3	1.36	0.341
Rep(I) x C (Error b)	6	0.65			22.19			0.020			536.4		
I x Fecha de muestreo (F)	9	0.84	7.88	0.003	170.49	9.09	0.002	2.104	5.63	0.008	9141.9	12.39	<0.001
Rep(I) x F (Error c)	9	0.11			18.75			0.374			737.6		
C x I x F	27	0.19	1.66	0.078	34.63	1.80	0.066	0.155	1.18	0.328	256.8	0.99	0.509
Error experimental	27	0.12			19.21			0.131			259.2		
Error de muestreo	264	-			4.57			0.063			194.7		

Tabla 1. Resultados del análisis de varianza para la discriminación isotópica del carbono (Δ), tasa fotosintética (A), conductancia estomática (g_s) y eficiencia en el uso del agua (A/ g_s).

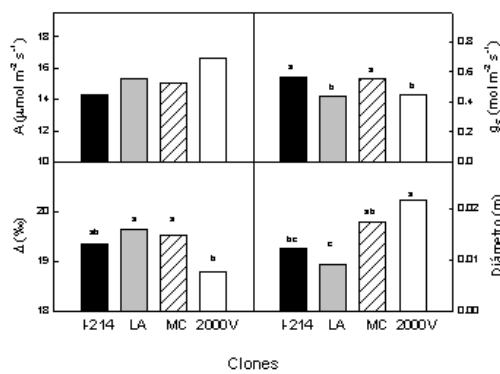


Figura 1. Tasa fotosintética (A), conductancia estomática (g_s), discriminación isotópica del carbono (Δ) y crecimiento en diámetro para 4 clones de *Populus x euramericana*.

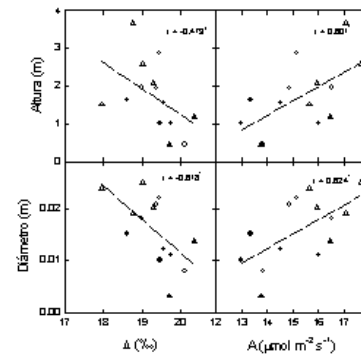


Figura 2. Relación entre la discriminación de carbono (Δ) y la tasa fotosintética (A) con el crecimiento en altura y en diámetro.