

ASIMILACIÓN DE CO₂ DE ESPECIES RIPARIAS LEÑOSAS EN LAS RIBERAS DEL HENARES

MARÍA FÉLIX MARTÍNEZ ⁽¹⁾, TEODORA MARTÍNEZ ⁽¹⁾ Y JOSÉ ANTONIO MANZANERA ⁽²⁾

(1) Instituto Madrileño de Investigación Agraria. Ctra. N-II, Km. 38,200. Alcalá de Henares 28800-Madrid.

(2) Universidad Politécnica de Madrid. E.T.S.I. de Montes. Ciudad Universitaria s/n. 28040-Madrid.

Resumen

El objetivo del presente trabajo ha sido evaluar la tasa de asimilación de CO₂, como parámetro fundamental en el intercambio gaseoso. El estudio se ha llevado a cabo en el Soto del Henares. Se definieron tres zonas de estudio: A) bosque ripario natural, B) zona revegetada en 1994 y C) área plantada en 1999. Se analizaron tres especies de plantas: *Populus alba* en las tres áreas; y *Fraxinus angustifolia* y *Crataegus monogyna* únicamente en las zonas plantadas. Se ha observado el efecto de las zonas, de las franjas horarias de muestreo y de la orientación de las hojas de las plantas. Se utilizó un analizador de gases mediante absorción de rayos infrarrojos y los datos se analizaron mediante ANOVA. La asimilación de CO₂ por parte del álamo mostró diferencias significativas en cuanto a las zonas de estudio. En las especies analizadas en las plantaciones, se observó que la asimilación fue mayor en la plantación joven que en la más antigua. En todos los casos se observaron diferencias significativas de la asimilación en cuanto al horario de muestreo y la orientación de las hojas. Se discuten los resultados en función de la transpiración y la conductancia estomática.

PALABRAS CLAVE: Fijación de carbono, *Populus alba*, *Fraxinus angustifolia*, *Crataegus monogyna* y transpiración.

INTRODUCCIÓN

Los bosques de ribera son ecosistemas muy productivos y de una alta diversidad biológica, y constituyen valiosos corredores verdes que modelan y vertebran el paisaje mediterráneo. En concreto el soto del río Henares es un espacio de especial valor estratégico por la proximidad al cinturón de corredor de Henares. Su valor ecológico llevó a la Administración en el año 2000 a aprobar el Decreto 169/2000, por el que se establecía un régimen de protección preventiva para el espacio natural "Soto del Henares", en los términos de Alcalá de Henares y Los Santos de la Humosa. Anteriormente ya se había trabajado en esta área y se habían llevado a cabo proyectos de restauración de diversas zonas a partir de plantaciones efectuadas con las especies más abundantes y representativas de este medio natural (MARTÍNEZ, T. (1994); MARTÍNEZ, T. (1996); MARTÍNEZ, T. (2000); MARTÍNEZ, T. (2001); MARTÍNEZ, T. (2002); MARTÍNEZ, T. y ELORRIETA, (1995); MARTÍNEZ, T y MARTÍN, J. (2001); MARTÍNEZ, T. y MOLINA, J. R (2000))

Enmarcados en este contexto han surgido proyectos de investigación encaminados a evaluar la situación de las plantas introducidas en la restauración del espacio protegido y compararlas con las de origen natural, con el fin de establecer recomendaciones para futuras actuaciones de conservación en el entorno.

Una de las líneas que se han venido estudiando es lo que presenta este trabajo: la respuesta de los parámetros ecofisiológicos de intercambio gaseoso de las plantas presentes en el espacio protegido, esencialmente los valores de la tasa de asimilación neta (A , $\mu\text{mol CO}_2/\text{m}^2\text{s}$) que se relacionan a su vez con otros parámetros como son la tasa de transpiración (E , $\text{mmoles de vapor}/\text{m}^2\text{s}$) y la conductancia estomática al vapor de agua (g_s , $\text{moles de vapor}/\text{m}^2\text{s}$).

MATERIAL Y MÉTODOS

Se realizaron estudios preliminares durante los periodos estivales de 2001 y 2002, lo que nos ayudó a diseñar un muestreo más adecuado para en el 2003, determinar y en lo posible cuantificar los diferentes parámetros que intervienen en el proceso fotosintético. El estudio se llevó a cabo durante los meses de Junio y Julio de 2003.

El área de estudio se sitúa en el espacio protegido del soto del río Henares, y consta de tres zonas de características diferentes. Una de ellas, constituida por vegetación natural de ribera, cuyo principal representante es el álamo blanco con individuos adultos de gran tamaño y abundantes pies de regeneración, acompañándole en algunas zonas olmos y taray. Las otras dos zonas son plantaciones efectuadas en 1994 y 1999 con álamos (*Populus alba* L.), fresnos (*Fraxinus angustifolia* Vahl.), majuelos (*Crataegus monogyna* Jacq.) y otras especies con menor representación.

En todas estas zonas se tomaron muestras de álamo, por ser una de las especies más características de esta ribera. En la zona del bosque natural se tomaron muestras de dos rangos de esta misma especie para tener un marco más representativo del bosque natural. En el resto de las zonas, además del álamo, se tomaron datos de asimilación y otros parámetros del fresno y del majuelo, por ser también muy abundantes y reunir las características necesarias para el uso de este tipo de aparato de medición.

Las medidas se tomaron con un analizador de actividad fotosintética Lci. Se trata de un equipo portátil, con autonomía de 10 horas lo que nos permitía un fácil manejo en el campo. Consta de un IRGA miniaturizado (analizador de gases mediante absorción de rayos infrarrojos) dentro de la cámara de medida, que nos proporciona datos de actividad fotosintética y de transpiración por diferencia de concentración de CO₂, H₂O y O₂ dentro y fuera de la cámara. Además posee un sistema de almacenamiento de datos ilimitado, que nos facilita la toma de datos sucesiva que conviene realizar para obtener posibles diferencias a lo largo de las variaciones horarias, diarias, estacionales y de orientación. El único inconveniente de la utilización de este sistema es que exige un área foliar mínima (6.25cm²), con el que calcula los parámetros de intercambio gaseoso. Esta dificultad se solventó calculando el área real de las hojas que no cubrían tal superficie mediante un analizador de imágenes (programa WINDIAS) y el posterior cálculo manual de los parámetros de interés, como son la transpiración, conductancia estomática y la asimilación.

En cada área de estudio se tomaron 10 individuos de cada especie (en el caso de los álamos de la zona A, se tomaron 10 individuos de porte arbóreo bien desarrollado, y otros 10 individuos de arbustivo).

De cada uno de estos individuos se tomaron mediciones en cuatro hojas, cada una de ellas situadas en la copa en una de las orientaciones sur, norte, este y oeste y en cuatro periodos diarios, que comprendían de 10-12h, de 12-14h, de 14-16h y de 16-18h. Este último muestreo fue difícil de realizar por la limitación térmica del Lci (45°C), excedida en algunos casos, por lo que se han excluido en los análisis estadísticos.

Los análisis estadísticos se han realizado mediante el programa STATISTICA, utilizando ANOVA y comparando las medias mediante el test LSD.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Bosque natural (Zona A): Populus alba

En esta zona, como ya se ha mencionado, se han estudiado individuos de *Populus alba* de porte arbóreo y arbustivo.

El factor época del año (en Junio y Julio) no presentó diferencias significativas en estos individuos, mientras que las características del árbol (que posea porte arbóreo o arbustivo) si presentó diferencias en cuanto a la transpiración y en cuanto a la conductancia estomática (presentan valores significativamente mayores los individuos más desarrollados); sin embargo la asimilación no mostró

diferencias significativas entre los distintos portes.

La orientación ha dado diferencias significativas estadísticamente. Los muestreos realizados en las orientaciones E y S presentaron valores de asimilación neta mayores, presentando diferencias con los tomados en las orientaciones W y N (valores más bajos) (Figura 1). Esto nos lleva a diferenciar entre hojas de sol y hojas de sombra. Este efecto se ve incrementado por la interacción con el factor horario de muestreo ya que a medida que avanza el sol, los máximos de asimilación los ofrecen aquellas orientaciones que se benefician de una mayor irradiación, lo que explica que a primeras horas en posición E se alcance el máximo de asimilación neta y después se desplace hacia la posición S, obteniéndose valores mínimos siempre en posiciones N y W (Figura 1).

También se observa una variación en los valores de asimilación obtenidos en posición E a lo largo del muestreo diario: vemos que a primeras horas los valores son muy elevados, en las horas intermedias desciende, llegando en el último muestreo a valores mínimos. Este descenso puede responder a las condiciones en las que se encuentra la planta a medida que transcurre el día: a primera hora la planta está recuperada del estrés sufrido durante el día anterior, y sus estomas están abiertos, y en posición E está recibiendo el máximo de radiación, por tanto su asimilación neta es máxima; pero a medida que transcurre el día, la planta va acumulando un estrés hídrico importante y la posición E va percibiendo menos radiación, por lo que pierde capacidad de asimilación. Las necesidades hídricas de la planta se reflejan en los valores de asimilación (en todas las orientaciones disminuye la asimilación, cuando se provoca el cierre de estomas), pero en las orientaciones que están más expuestas al sol al mostrar los máximos de asimilación, es donde se observan mayores variaciones.

Plantaciones y bosque natural: Populus alba

Si analizamos la Tabla 1 ó la Figura 2 se observa que existen diferencias significativas importantes en cuanto a las zonas de muestreo. Los álamos de la plantación de mayor edad son los que presentan en Junio los valores más altos en los tres parámetros estudiados, mientras que en Julio, los de la plantación más joven son los que alcanzan valores de asimilación más elevados. Esta situación puede explicarse por el hecho de que a principios del mes de Julio, la plantación más joven recibe un riego en profundidad, hecho que no se produce en las otras zonas.

En cuanto a la orientación, se sigue reconociendo el mismo modelo que en el caso anterior: se pueden distinguir hojas de sol con valores máximos y hojas de sombra con valores mínimos (Figura 3).

En el horario de muestreo se encuentra una situación contrapuesta en cuanto a los parámetros testados: a primera hora los valores de transpiración son más bajos y a medida que transcurre el día van aumentando; sin embargo, con los otros dos parámetros pasa lo contrario, a primeras horas tenemos valores más altos que a últimas (Figura 4). Esta circunstancia podría explicarse porque a primeras horas la planta está en condiciones óptimas ya que a lo largo de la noche ha sido capaz de recuperarse del estrés sufrido durante el día, consecuentemente la conductancia estomática es mayor en las primeras horas, pero los estomas se van cerrando conforme avanza el día como medida de protección contra la falta de agua y al exceso de temperatura, condiciones que provocan un aumento de la transpiración y una disminución en la tasa de asimilación.

Plantaciones de 1994 y 1999: Populus alba, Fraxinus angustifolia y Crataegus monogyna

La Figura 5, presenta la asimilación neta que las tres especies estudiadas muestran en las distintas orientaciones a lo largo del muestreo en la plantación de 1994-95.

Como se observa, el álamo es la especie que mayores valores de asimilación neta presenta en todos los rangos de muestreo horario, seguida por el majuelo. El fresno solo en la primera hora presenta diferencias significativas en cuanto al factor orientación, ya que en las siguientes horas presenta valores muy bajos y muy similares en cualquier orientación (valor máximo de fresno: $5.49 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ en la posición E de la primera hora, valor mínimo del fresno: $1.38 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ en la posición N de la tercera hora). Estos valores están muy por debajo de los encontrados por KAZDA *et al.* (2000) en el dosel de *Fraxinus angustifolia* ($A_{\text{max}} = 16 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$, con luz de saturación) en un bosque del sur de la República Checa. En el estudio, consideran que este valor es alto, en comparación con los encontrados en otras especies.

Algo que ya se observa en la Figura 5 y que queda aún más patente en la 6, son las diferencias que se observan entre los valores de asimilación que muestran las hojas orientadas al E y al S, con respecto a los que muestran las orientadas al W y al N. Este “patrón” de diferencias entre hojas de sol y hojas de sombra sufre distorsiones en la tercera hora de muestreo, debido posiblemente a que el funcionamiento del aparato se ve dificultado por las altas temperaturas que se alcanzaban en estas horas (+/- 42°C) y a que en dicho periodo las diferencias de asimilación de las hojas en las posiciones W y S es menos acusada porque ambas reciben mucha insolación, distinguiéndose claramente de la posición N.

Al hacer el estudio comparativo entre las zonas se observan diferencias significativas, siendo la plantación más joven la que presentó valores más altos en todos los parámetros estudiados ($E= 13.46 \text{ mmol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$, $g_s = 0.220 \text{ mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ y $A= 8.87 \text{ } \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$). En cuanto a las especies, destacar que el fresno en la plantación joven presentó mayor transpiración y asimilación que el resto ($E= 9.940 \text{ mmol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ y $A= 11.81 \text{ } \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$), siendo la que presentó valores mínimos el álamo ($E= 5.226 \text{ mmol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ y $A= 7.168 \text{ } \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$). La especie que menor conductancia estomática presentó fue el majuelo ($g_s= 0.127 \text{ mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$), presentando diferencias estadísticamente significativas con el resto.

Otro aspecto digno de señalar es que la especie que se vio menos influenciada por el factor orientación es *Crataegus monogyna*, hecho que se podría explicar por tratarse una especie arbustiva y dado que la insolación será más homogénea debido a sus propias características (las hojas de sol no provocan sombras a las hojas de sombra), aunque es indudable que el grado de insolación sí repercute en función de la orientación (Figura 7).

En este estudio se ha detectado la interacción que ocurre entre los factores zona y especie (Figura 8). Se observa como los *Populus alba* de la plantación de 1994, poseen valores significativamente más bajos de los parámetros de intercambio gaseoso que los obtenidos en los ejemplares de la plantación realizada en 1999. Por el contrario, en el caso del *Fraxinus angustifolia* se da la circunstancia inversa; en la plantación más joven presenta valores superiores que los mostrados en la más crecida.

Este hecho puede ser explicado por el origen de las plantas de cada una de las zonas. En la plantación de 1999 los álamos plantados provinieron de vivero, y en la de 1994 fueron árboles obtenidos de la propia finca, lo cual le concede una adaptación mejor, por lo que parece lógico que presente valores de asimilación más elevados. Por otra parte, hay que tener en cuenta que la plantación más joven estaba recibiendo riego.

BIBLIOGRAFÍA

KAZDA, M.; SALZER, J. & REITER, I.; 2000. Photosynthetic capacity in relation to nitrogen in the canopy of *Quercus robur*, *Fraxinus angustifolia* and *Tilia cordata* flood plain forest. *Tree Physiology* 20: 1029-1037. Heron Publishing-Victoria, Canada.

MARTÍNEZ, T.; 1994. Ecosistemas de Madrid: Un Soto en el Henares. *Boletín Agrario: Madrid También es Campo*, Nº 11: 20-22.

MARTÍNEZ, T.; 1996. Datos preliminares sobre la evolución de la reforestación-restauración efectuada en las riberas del Henares en la Finca El Encín. *Madrid Boletín Agrario* 1: 26-30.

MARTÍNEZ, T.; 2000. La vegetación de ribera del Río Henares en la Comunidad de Madrid. Consejería de Medio Ambiente. Comunidad de Madrid, Madrid.

MARTÍNEZ, T.; 2001. Respuesta de la supervivencia de diferentes especies y de la edad de la planta a distintos tratamientos experimentales en la restauración efectuada en las zonas riparias de la finca El Encín. *Boletín agrario*, Nº 31

MARTÍNEZ, T.; 2002. Respuesta de la supervivencia de diferentes especies y de la edad de la planta a distintos tratamientos experimentales en la restauración efectuada en las zonas riparias de la finca

“El Encín”. Boletín Agrario: Agricultura Investigación y Desarrollo. Madrid.

MARTÍNEZ, T. y ELORRIETA, I.; 1995. El Soto de El Encín. Dirección General de Agricultura y Alimentación, Comunidad de Madrid, Madrid. 115 pp.

MARTÍNEZ, T y MARTÍN, J. 2001.; Evaluación de la supervivencia de distintas especies riparias en las plantaciones efectuadas en las riberas del Henares con fines de restauración. N° Comunicación 1031. III Congreso Forestal Español. Granada.

MARTÍNEZ, T. y MOLINA, J. R.; 2000 .Evolución de las riberas del Henares en la Comunidad de Madrid en 40 años. Interés en su restauración y conservación. CD (Comunicaciones). Congreso de Medio Ambiente. Madrid.

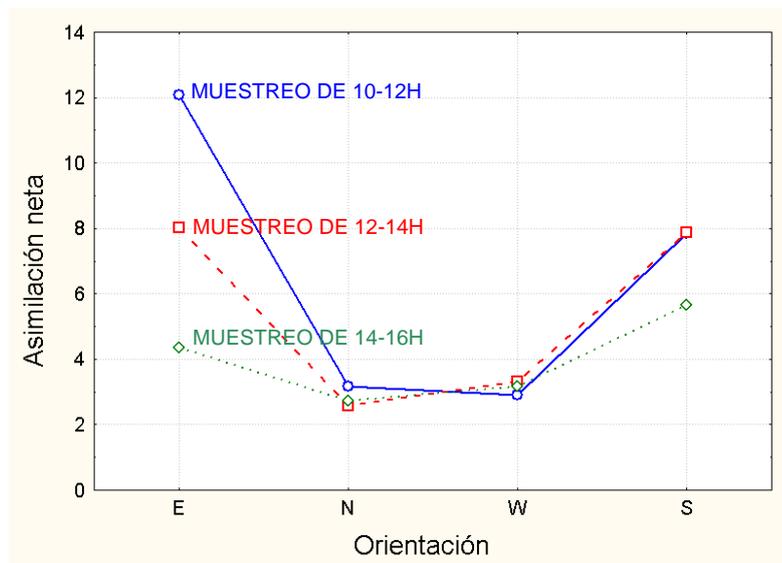


Figura 1. Valores de asimilación neta ($\mu\text{mol CO}_2/\text{m}^2\text{s}$) de *Populus alba* para los tres rangos horarios de medida y en las cuatro orientaciones principales ($F(6.468)=12.78$; $p<0.0000$).

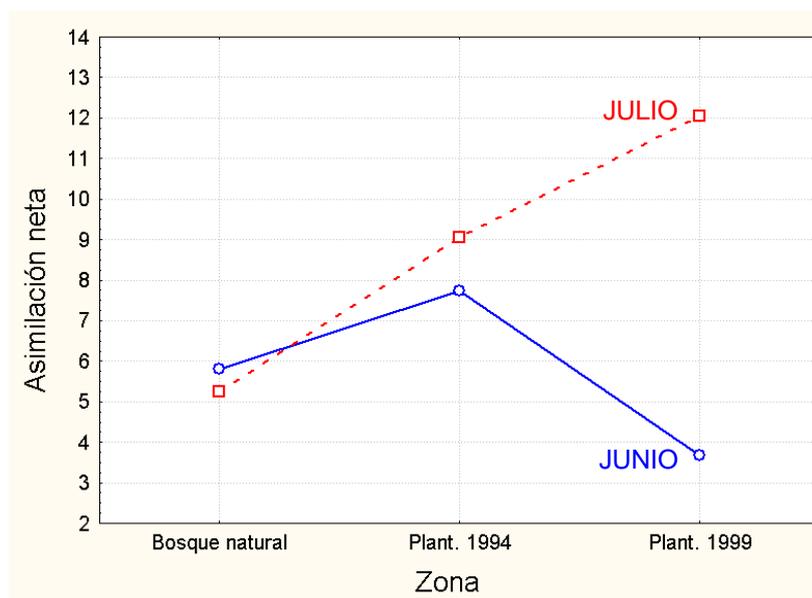


Figura 2. Valores de asimilación ($\mu\text{mol CO}_2/\text{m}^2\text{s}$) de *Populus alba* en las tres zonas de estudio durante los muestreos de Junio y Julio ($F(2.714)$).

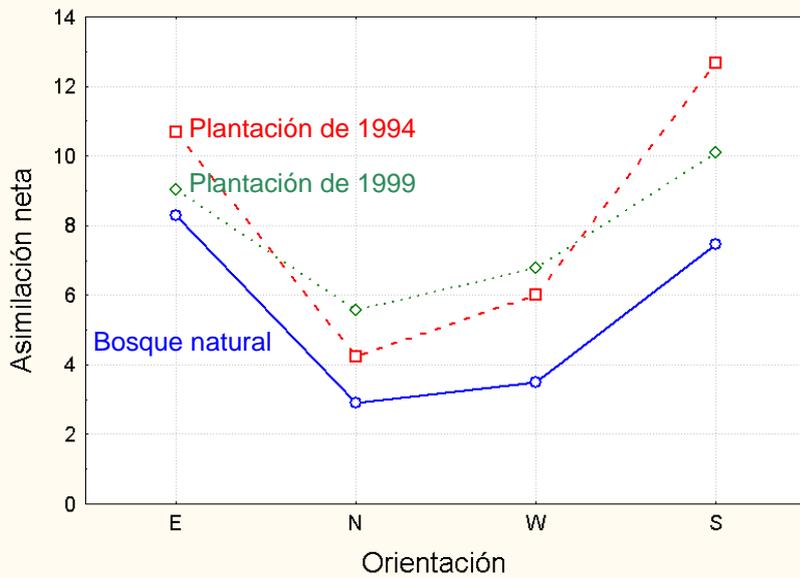


Figura 3. Valores de asimilación neta ($\mu\text{mol CO}_2/\text{m}^2\text{s}$) de *Populus alba* en las tres zonas de muestreo, en las cuatro orientaciones principales, en todo el periodo ($F(6.708) = 3.06$; $p < 0.0058$).

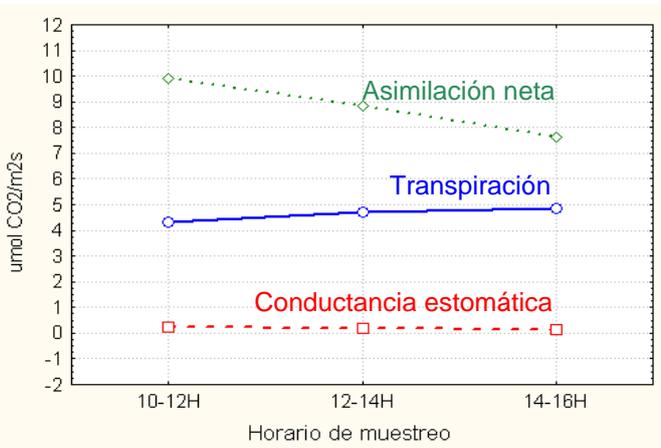
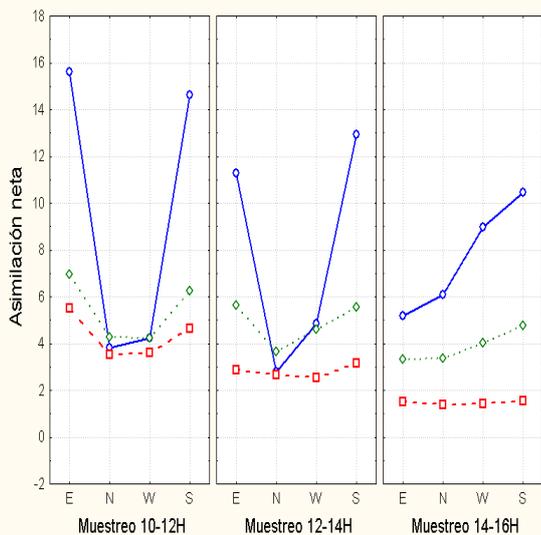
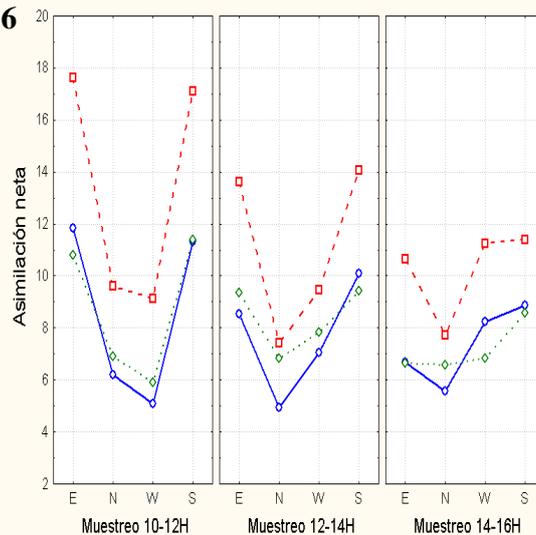


Figura 4. Valores de transpiración ($\text{mmol CO}_2/\text{m}^2\text{s}$), conductancia estomática ($\text{mol CO}_2/\text{m}^2\text{s}$) y asimilación ($\mu\text{mol CO}_2/\text{m}^2\text{s}$) de *Populus alba* en los tres rangos horarios de muestreo durante el muestreo de Julio ($Rao R (6.710) = 33.63$; $n < 0.0000$).

5



6



Figuras 5 y 6. Valores de asimilación neta ($\mu\text{mol CO}_2/\text{m}^2\text{s}$) de *Populus alba* (línea azul continua), *Fraxinus angustifolia* (línea roja discontinua) y *Crataegus monogyna* (línea verde de puntos) para los tres rangos horarios de medida y en las cuatro orientaciones principales, para todo el periodo. **Figura 5** para la parcela plantada en 1994-95 ($F(12.684) = 4.79$; $p < 0.0000$) y **Figura 6** para la plantación más joven ($F(12.684) = 0.20$; $p < 0.9984$).

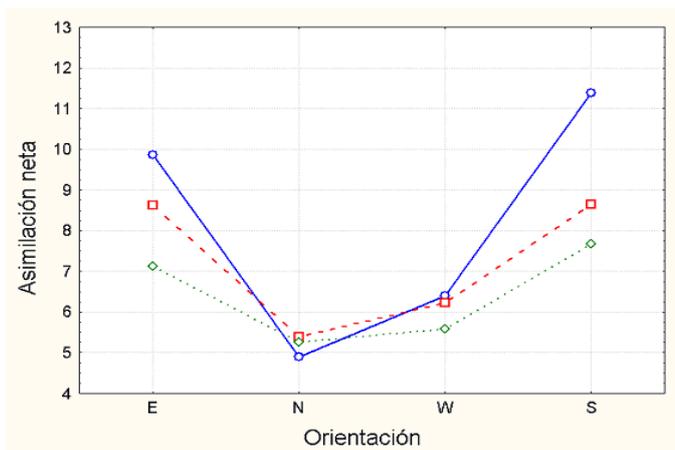


Figura 7. Valores de asimilación neta ($\mu\text{mol CO}_2/\text{m}^2\text{s}$) de *Populus alba* (línea azul continua), *Fraxinus angustifolia* (línea roja discontinua) y *Crataegus monogyna* (línea verde de puntos) en las cuatro orientaciones principales, para todo el periodo ($F(6.1428)=3.22$; $p<0.0039$).

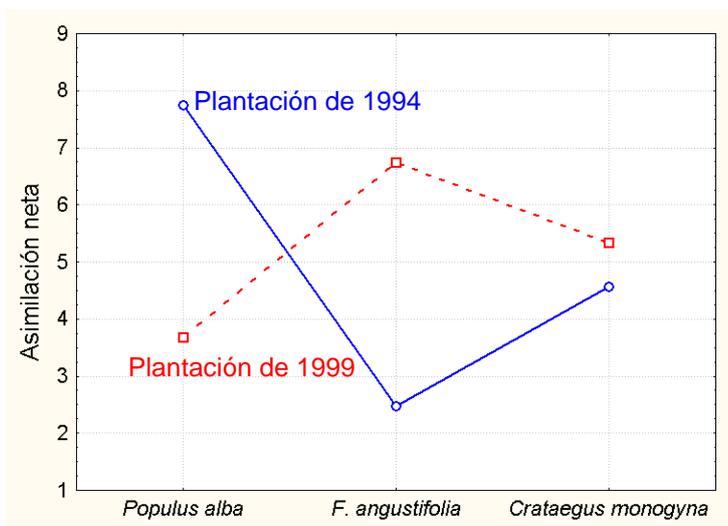


Figura 8. Valores de asimilación neta ($\mu\text{mol CO}_2/\text{m}^2\text{s}$) de *Populus alba*, *Fraxinus angustifolia* y *Crataegus monogyna* en las zonas revegetadas en 1994 y en 1999, durante el muestro de Junio ($F(2.711)=62.53$; $p<0.0000$).

Tabla 1. Valores de los parámetros de intercambio gaseoso de *Populus alba* en las tres zonas de muestreo.

PARAMETRO	ZONA	JUNIO	JULIO
ASIMILACIÓN ($\mu\text{mol CO}_2/\text{m}^2\text{s}$)	Bosque natural	5.797	5.259
	Plant. 1994-95	7.740	9.063
	Plantación 1999	3.672	12.058
TRANSPIRACIÓN ($\text{mmol CO}_2/\text{m}^2\text{s}$)	Bosque natural	4.640	4.273
	Plant. 1994-95	5.700	5.393
	Plantación 1999	2.069	4.214
CONDUCTANCIA ESTOMÁTICA ($\text{mol CO}_2/\text{m}^2\text{s}$)	Bosque natural	0.122	0.121
	Plant. 1994-95	0.196	0.228
	Plantación 1999	0.086	0.183

Tabla 2. Valores de los parámetros de intercambio gaseoso de *Populus alba*, *Fraxinus angustifolia* y *Crataegus monogyna* en las zonas de plantación.

PARAMETRO	ESPECIE	Plant. 1994	Plant. 1999
ASIMILACIÓN ($\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$)	<i>Populus alba</i>	8.402	7.168
	<i>Fraxinus angustifolia</i>	2.860	11.810
	<i>Crataegus monogyna</i>	4.732	8.245
TRANSPIRACIÓN ($\text{mmol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$)	<i>Populus alba</i>	5.554	5.226
	<i>Fraxinus angustifolia</i>	1.100	9.940
	<i>Crataegus monogyna</i>	2.912	6.845

CONDUCTANCIA ESTOMÁTICA (mol CO ₂ m ⁻² s ⁻¹)	<i>Populus alba</i>	0.212	0.158
	<i>Fraxinus angustifolia</i>	0.025	0.186
	<i>Crataegus monogyna</i>	0.055	0.127
