

UNIVERSIDAD DE BARCELONA FACULTAD DE BIOLOGIA
DEPARTAMENTO DE BIOLOGIA VEGETAL

ESTUDIO DE LAS CARACTERISTICAS DEL INTERCAMBIO GASEOSO
DE VARIEDADES DE GERANIO EN CULTIVO PROTEGIDO
EN ZONAS DE CLIMA MEDITERRANEO

VOL I

Memoria que presenta
M. Dolors Sant i Vilella
para optar al Grado de
Doctor en Ciencias Biológicas
dirigida por el
Dr. Jordi Aguilà i Sancho.

Barcelona, Abril 1987

3.2.3. TERCERA SERIE (DICIEMBRE)

Las condiciones ambientales en el invernadero durante el mes previo a esta serie de mediciones fueron: irradiancia $7 \text{ E día}^{-1} \text{ m}^{-2}$, temperatura diaria máxima de $19\text{--}24^\circ\text{C}$ y mínima de $7\text{--}15^\circ\text{C}$, temperatura diaria media durante las horas de sol de $13\text{--}20^\circ\text{C}$ y durante la noche de $9\text{--}16^\circ\text{C}$, DPPV medio diario durante las horas de sol $0.3\text{--}0.9 \text{ KPa}$.

Las plantas se encontraban en buen estado de desarrollo, se les había aplicado frecuentes riegos de lavados para evitar el riesgo de cúmulo de sales y presentaban una raíz nueva. La dosis de riego fué de 130 cm^3 por planta y día.

ORANGE RICARD

- Respuesta a la irradiancia sin apertura de la cámara

(3 ORL 69)

La curva de fotosíntesis alcanzó la saturación a los $700 \mu\text{E m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ con tasas fotosintéticas máximas de $12.2 \mu\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ y conductancia residual máxima de $80 \text{ mmol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$. Ambos parámetros mostraron valores ligeramente inferiores durante la bajada de irradiancia (Fig. 3.57a).

La conductancia estomática mostró los máximos valores, superiores a $200 \text{ mmol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ entre los 200 y $600 \mu\text{E m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ disminuyendo ligeramente a mayores irradiancias (Fig. 3.57b). Los máximos valores de QU fueron de $0.034 \mu\text{mol CO}_2$

$\mu\text{mol}^{-1} Q$ incidente. La relación C_i/C_o mostró una curva de saturación siendo los menores valores de 65% a las mayores irradiancias (Fig. 3.57c). El WUE siguió una curva de saturación alcanzando los valores máximos de $4.5 \mu\text{mol mmol}^{-1}$ a las máximas irradiancias medidas (Fig. 3.57d).

La relación fotosíntesis-WUE siguió una curva de saturación con la mayoría de los puntos en la plataforma con valores superiores a $3 \mu\text{mol mmol}^{-1}$. A las mayores tasas fotosintéticas se produjo un incremento del WUE debido a una limitación de la conductancia estomática (Fig. 3.58a).

La relación de la fotosíntesis con la conductancia residual fué estrecha y ligeramente curvilínea con un aumento de la curvatura a las mayores tasas. La relación con la conductancia estomática fué también lineal y positiva con fluctuaciones y un descenso apreciable y reversible en los puntos de máxima tasa (Fig. 3.58b).

El CO_2 intercelular varió entre 315 vpm y 205 vpm relacionándose de forma aproximadamente lineal con los incrementos de fotosíntesis y WUE, con un apreciable cambio de la pendiente de la relación CO_2 intercelular-fotosíntesis hacia los 230 vpm, y hacia los 260 en la relación C_i -WUE. (Fig. 3.58c). Estos cambios están en consonancia con los observados en las otras relaciones (Fig. 3.58d).

- Respuesta a la irradiancia con apertura de la cámara y medida de la porometría con el Li-1600 (3 ORLP 71)

La saturación de la fotosíntesis se alcanzó a los $500 \mu\text{E m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ con tasas de $10.5 \mu\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ y una conductancia máxima residual de $70 \text{ mmol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ con menores valores en la bajada de irradiancia (Fig. 3.59a).

La conductancia estomática siguió una dinámica de saturación con suave pendiente y pocas diferencias durante la subida y la bajada a excepción del máximo de $180 \text{ mmol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ que se alcanzó a los $500 \mu\text{E m}^{-2} \text{ s}^{-1}$. La WCRATI pasó de valores de 2.5 a 3.5 durante la subida de irradiancia, el valor máximo se alcanzó después de la respiración del mediodía con valor de 5.5. Durante la disminución de luz se produjo un descenso paulatino de la relación, si bien manteniéndose por encima de los valores obtenidos durante la subida, a excepción de los dos primeros puntos (Fig. 3.59b).

La eficiencia máxima en el uso de la irradiancia QU fue de $0.034 \mu\text{mol CO}_2 \mu\text{mol}^{-1} \text{ Q}$ incidente. La relación C_i/C_o pasó del 90% a 70% a irradiancias inferiores a los $200 \mu\text{E m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ alcanzándose el valor mínimo de 60% a la mayor irradiancia medida (Fig. 3.59c). El WUE exhibió una dinámica de saturación superando los $3 \mu\text{mol mmol}^{-1}$ a partir de $200 \mu\text{E m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ (Fig. 3.59d).

Las relaciones de la fotosíntesis y el CO_2 intercelular con los otros parámetros siguieron dinámicas similares al

tratamiento sin apertura de la cámara, el CO₂ intercelular fluctuó entre 310 vpm y 200 vpm (Fig. 3.60).

- Respuesta a la temperatura sin apertura de la cámara
(3 ORT 66)

La dinámica de la fotosíntesis en relación a la temperatura fué parabólica con tasas máximas de 9.5 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ a temperaturas entre 23 y 27°C. La conductancia por el contrario alcanzó los valores máximos de 190 $\text{mmol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ entre 19 y 23°C. El WUE disminuyó de forma lineal con la temperatura pasando de valores de 5 a 1.5 $\mu\text{mol mmol}^{-1}$. La relación C_i/C_o disminuyó igualmente con la temperatura de 75% a 69% (Fig. 3.61).

La relación fotosíntesis-WUE fué negativa por debajo de las temperaturas óptimas y positiva por encima de la misma (Fig. 3.62a). La relación entre la conductancia estomática y la fotosíntesis fué lineal y positiva a partir del óptimo de temperaturas no manteniéndose esta relación a temperaturas inferiores (Fig. 3.62b). El CO₂ intercelular se mantuvo entre 220 y 245 vpm con máximas tasas fotosintéticas y conductancias residuales hacia los 225 vpm. A igualdad de conductancia residual la reducción de C_i entre 245 vpm y 220 vpm representó una reducción de fotosíntesis (Figs. 3.62c, 3.62d).

- Respuesta a la temperatura con apertura de la cámara y medida de la porometría con el Li-1600 (3 ORTP 58)

La fotosíntesis disminuyó paulatinamente con la temperatura de forma más pronunciada a partir de los 27°C desde un valor máximo de 11.4 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$. La conductancia estomática se redujo de forma completamente lineal con la temperatura desde valores de 220 $\text{mmol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ (Fig. 3.63a).

La conductancia residual se mantuvo relativamente constante manteniendo valores máximos de 67 $\text{mmol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ entre 27°C y 32°C (Fig. 3.63c). El WUE disminuyó de forma lineal desde valores próximos a 6 $\mu\text{mol mmol}^{-1}$ hasta valores de 2 $\mu\text{mol mmol}^{-1}$ (Fig. 3.63b). La relación C_i/C_o disminuyó con la temperatura desde 72% hasta 60%. La relación de conductancias osciló alrededor de 3 (Fig. 3.63d).

El WUE disminuyó al disminuir la fotosíntesis de forma curvilínea con mayor disminución del WUE en las tasas más altas (menores temperaturas) (Fig. 3.64a). La conductancia residual se mantuvo aproximadamente constante a tasas fotosintéticas comprendidas entre 9.5 y 11.4 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ mientras que la conductancia estomática se redujo en casi un 50% (Fig. 3.64b). Esto dió como resultado una reducción del CO_2 intercelular desde los valores iniciales de 230 vpm hasta valores de 200 vpm acompañada de una reducción paulatina de la tasa fotosintética (Figs. 3.64c, 3.64d).

- Respuesta al DPPV sin apertura de la cámara (3 ORH 64)

En la parte superior de la onda de activación se alcanzaron valores máximos de fotosíntesis ($9.5 \mu\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$), conductancia residual ($50 \text{ mmol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$) y conductancia estomática ($210 \text{ mmol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$) superiores a los registrados una vez estabilizadas las medidas. Las tasas fotosintéticas se mantuvieron constantes a $8 \mu\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ para todo el rango de gradientes medidos, la conductancia estomática disminuyó ligeramente con aumentos de GPPV y la conductancia residual aumento ligeramente. El WUE disminuyó de 3 a $2.5 \mu\text{mol mmol}^{-1}$ al igual que la relación C_i/C_o que pasó de 75% a 65% (Fig. 3.65).

La constancia de la tasa fotosintética a pesar de la reducción de CO_2 intercelular de 240 a 215 vpm coincidió con una dinámica opuesta de las conductancias residual y estomática en ese mismo rango de variación (Fig. 3.66).

- Respuesta al DPPV con apertura de la cámara y medida de la porometría con el Li-1600 (3 ORHP 60)

En esta medida la tasa fotosintética se redujo en un 10% desde los valores máximos de $13.5 \mu\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ al aumentar el gradiente. La conductancia estomática siguió una dinámica similar a diferencia de la conductancia residual que se mantuvo constante en valores de $92 \text{ mmol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ (Figs. 3.67a, 3.67c).

El WUE disminuyó linealmente con el aumento de gradiente pasando de valores de 4 a $2.5 \mu\text{mol mmol}^{-1}$ (Fig. 3.67b). La relación C_i/C_o disminuyó también pasando de 68% a valores por debajo de 60%. La relación de conductancias osciló entre 3 y 5 con mayores valores a los gradientes medios medidos (Fig. 3.67c).

La fotosíntesis correlacionó lineal y positivamente con el WUE y la conductancia estomática, mientras que la conductancia residual se mantuvo constante en el rango de fotosíntesis medidas (Figs. 3.68a, 3.68b). El CO_2 intercelular se mantuvo entre 215 vpm y 190 vpm disminuyendo la tasa al disminuir el mismo con igualdad de conductancia residual (Figs. 3.68).

FLAMINGO

- Respuesta a la irradiancia sin apertura de la cámara (3 FLL 68)

La tasa fotosintética máxima de $14.4 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ y la conductancia residual máxima de $83 \text{ mmol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ se alcanzaron a los $800 \mu\text{E m}^{-2} \text{s}^{-1}$ no habiéndose logrado aún la saturación. Entre 100 y $400 \mu\text{E m}^{-2} \text{s}^{-1}$ se observaron valores menores de ambos parametros durante la bajada de irradiancia (Fig. 3.69a). Esto se relaciona con la dinámica discontinua de la conductancia estomática, con fuerte aumento de la misma con valores máximos de $320 \text{ mmol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ a los $300 \mu\text{E m}^{-2} \text{s}^{-1}$, para situarse a partir de estas irradiancias, en la

trayectoria de una nueva relación aproximadamente lineal que se mantendrá durante toda la bajada (Fig. 3.69b).

La eficiencia en el uso de la luz (QU) máxima fué de 0.038 $\mu\text{mol CO}_2 \mu\text{mol}^{-1} \text{Q}$ incidente. La relación C_i/C_o disminuyó de forma aproximadamente lineal desde valores de 90% hasta 70% durante la subida de luz manteniéndose en este valor hasta irradiancias inferiores a los 200 $\mu\text{E m}^{-2} \text{s}^{-1}$ a partir de las cuales se inició una recuperación de los niveles de CO_2 intercelular (Fig. 3.69c).

El WUE siguió dinámicas de saturación durante la subida y la bajada con mayores valores durante esta última alcanzando el valor máximo de 4 $\mu\text{mol mmol}^{-1}$ (Fig. 3.69d).

La relación del WUE con la fotosíntesis fué aproximadamente lineal durante la curva de subida de irradiancia, produciéndose durante la bajada una tendencia a mantener altos valores de WUE a pesar de la bajada de fotosíntesis (Fig. 3.70a). La fotosíntesis con la conductancia estomática presentaron una doble relación lineal y positiva existiendo un importante cambio de pendiente entre ambas. La relación fotosíntesis- conductancia residual presentó una dinámica típica, ligeramente curvilínea durante la subida de irradiancia y más rectilínea durante la bajada (Fig. 3.70b).

El CO_2 intercelular disminuyó con los aumentos de fotosíntesis pasando de 300 hasta 225 vpm valor en el cual se

alcanzaron las máximas tasas fotosintéticas. Disminuciones de la tasa no representaron recuperación importante de C_i hasta valores inferiores a $6 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$. La relación C_i -WUE fue lineal e idéntica durante la subida y la bajada con un ligero cambio de pendiente hasta los 270 vpm (Fig. 3.70c). Tanto la conductancia estomática como la residual mostraron claramente una doble relación bien diferenciada con el C_i con una transición brusca (Fig. 3.70d).

- Respuesta a la irradiancia con apertura de la cámara y medida de la porometría con el Li-1600 (3 FLLP 72)

La fotosíntesis y la conductancia residual siguieron una dinámica de saturación con valores algo inferiores durante la bajada de irradiancia. Los valores máximos de fotosíntesis ($13.7 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) y de conductancia residual ($97 \text{mmol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) se alcanzaron a las máximas irradiancias medidas (Fig. 3.71a).

La conductancia estomática presentó una dinámica suave de saturación durante la subida de irradiancia (con valores máximos de $230 \text{mmol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) y una relación casi rectilínea durante la bajada con valores algo inferiores. La relación de conductancias se mantuvo constante en valores de 3 durante la subida de irradiancia y bajo de forma completamente lineal de 3.5 a 1 durante la bajada de irradiancia (Fig. 3.71b).

La eficiencia máxima en el uso de la irradiancia fue de $0.035 \mu\text{mol CO}_2 \mu\text{mol}^{-1} \text{Q}$ incidente. La relación C_i/C_o alcanzó

valores mínimos alrededor de 65% con una dinámica marcada de saturación (Fig. 3.71c). El WUE mostró una dinámica de saturación alcanzándose ésta a irradiancias de $300 \mu\text{E m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ con valores de 3-3.5 $\mu\text{mol mmol}^{-1}$ (Fig. 3.71d).

La relación del WUE con la fotosíntesis fué de saturación con mayores valores durante la bajada (Fig. 3.72a). La fotosíntesis y la conductancia estomática se relacionaron de forma aproximadamente lineal con distinta pendiente durante la subida y la bajada. La conductancia residual mostró la relación curvilínea típica con la fotosíntesis con mayor grado de curvatura que la réplica sin apertura de la cámara (Fig. 3.72b).

El CO_2 intercelular paso de valores de 310 a 190 vpm. La relación del C_i con la fotosíntesis fué curvilínea y similar durante la subida y la bajada, si bien con menores valores de C_i durante la segunda. La relación C_i -WUE siguió una dinámica de saturación con valores prácticamente idénticos durante la subida y la bajada (Fig. 3.72c). La relación C_i -conductancia residual mostró una forma curvilínea similar a la registrada en el tratamiento sin apertura de la cámara si bien mantenida tanto en la subida como en la bajada de luz a diferencia del caso anterior (Fig. 3.72d).

- Respuesta a la temperatura sin apertura de la cámara
(3 FLT 63)

La fotosíntesis aumentó suavemente con la temperatura hasta alcanzar valores máximos de $13.9 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ entre 27°C y 32°C . Por el contrario la conductancia alcanzó los valores máximos de $370 \text{mmol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ a temperaturas inferiores siguiendo una dinámica similar a la de fotosíntesis en valores siempre superiores a $300 \text{mmol m}^{-2} \text{s}^{-1}$. La conductancia residual siguió la misma dinámica de la fotosíntesis con valores máximos de $75 \text{mmol m}^{-2} \text{s}^{-1}$. El WUE disminuyó al aumentar la temperatura desde 5.5 a 1.5 $\mu\text{mol mmol}^{-1}$, al igual que la relación C_i/C_o que pasó de 79% a 74% (Fig. 3.73).

El CO_2 intercelular se mantuvo entre 250 y 230 vpm con poca variación en su relación con los otros parámetros (Figs. 3.74).

- Respuesta a la temperatura con apertura de la cámara y medida de la porometría con el Li-1600 (3 FLTP 54)

Los datos que se presentan a continuación corresponden a los estimados a partir de la medición realizada con el porómetro LI-1600 en los puntos de estabilización.

Los valores máximos de fotosíntesis ($12.2 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) y conductancia estomática ($320 \text{mmol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) se alcanzaron a las mínimas temperaturas experimentadas. La tasa fotosintética se redujo en un 50% al aumentar la temperatura

de 15°C a 35°C siendo mayor la pendiente de la reducción a partir de los 31°C. La conductancia estomática también disminuyó al aumentar la temperatura paralelamente a la fotosíntesis si bien de forma más acentuada y sigmoideal (Fig. 3.75a). La conductancia residual disminuyó paulatinamente con el aumento de temperatura pasando de 60 a 40 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ (Fig. 3.75c).

El WUE disminuyó de valores de 5.5 a valores de 1.5 $\mu\text{mol mmol}^{-1}$ con la temperatura (Fig. 3.75b). La relación C_i/C_o al igual que la conductancia estomática disminuyó de forma sigmoideal, con un tramo de estabilización a 75% entre 19°C y 27°C. La relación de conductancias describió una curva parabólica con mayores valores algo superiores a 3 entre 19°C y 27°C permaneciendo el resto en valores de 2 (Fig. 3.75d).

La relación de la fotosíntesis con el WUE, la conductancia estomática y la conductancia residual fué lineal y positiva en el amplio rango de fotosíntesis medidos (a diferencia del tratamiento sin apertura de la cámara) (Figs. 3.76a, 3.76b).

El CO_2 intercelular se mantuvo constante en valores de 245 vpm a excepción del primer y último punto (Figs. 3.76c, 3.76d).

- Respuesta al DPPV sin apertura de la cámara (3 FLH 61)

Al aumentar el GPPV la fotosíntesis disminuyó de 15 a 13 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ y la conductancia estomática de 330 a 200

mmol m⁻² s⁻¹, mostrando ambos parámetros una ligera estabilización a gradientes entre 2.1-2.4 KPa y no alcanzándose los valores iniciales al recuperarse el GPPV (Fig. 3.77a).

La conductancia residual subió aparentemente de 80 a 90 mmol m⁻² s⁻¹ al aumentar el GPPV, la recuperación a los valores iniciales hace sospechar una subestimación de la conductancia estomática en los valores menores de ésta (Fig. 3.77c).

El WUE disminuyó de valores de 3 a 2.5 $\mu\text{mol mmol}^{-1}$ (Fig. 3.77b). La relación Ci/Co disminuyó paulatinamente con el aumento de GPPV desde valores de 74% a 63% (Fig. 3.77d).

El CO₂ intercelular varió de 230 a 200 vpm con disminución de la tasa fotosintética a pesar de la constancia o ligero aumento de la conductancia residual y debido a la fuerte reducción de conductancia estomática (Fig. 3.78).

- Respuesta al DPPV con apertura de la cámara y medida de la porometría con el Li-1600 (3 FLHP 59)

La dinámica de los parámetros de intercambio de gases fué similar a otras ya descritas en las que se alcanzan valores máximos de fotosíntesis, conductancia residual y estomática, muy por encima de los del resto de la experiencia, en la cúspide de la onda de activación. En este caso la fotosíntesis máxima fué de 13.8 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ y la conductancia residual de 91 mmol m⁻² s⁻¹. La fotosíntesis se

mantuvo, en los puntos estabilizados, prácticamente constante alrededor de $10 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$. La conductancia estomática se redujo hasta el GPPV estabilizándose a mayores GPPV y la conductancia residual aumentó ligeramente con el gradiente (Figs. 3.79a, 3.79c).

El WUE permaneció alrededor de $3 \mu\text{mol mmol}^{-1}$ con una ligera tendencia a disminuir al aumentar el gradiente (Fig. 3.79b). La relación C_i/C_o fluctuó entre 64% y 70% mientras que el valor de la relación de conductancias disminuyó de 5 hasta 2-3 con el aumento de gradiente (Fig. 3.79d).

El CO_2 se mantuvo entre 240 y 200 vpm a excepción del último punto de recuperación de gradiente en el que se produjo un aumento de conductancia sin recuperación de conductancia residual (Fig. 3.80).

OLD LADY

- Respuesta a la irradiancia sin apertura de la cámara (3 OLL 67)

La fotosíntesis y la conductancia residual mostraron una dinámica de saturación, con una disminución a la máxima irradiancia, siguiendo durante la bajada ambos parámetros una curva de saturación con valores inferiores, los valores máximos alcanzados fueron de $9 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ y $51 \text{mmol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ respectivamente (Fig. 3.81a). La conductancia estomática siguió también una dinámica de saturación tanto durante la

subida como durante la bajada produciéndose una fuerte discontinuidad en la relación. Al contrario que en la mayoría de las otras medidas las conductancias máximas ($280 \text{ mmol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$) se obtuvieron durante la bajada, invirtiéndose por ello todas las dinámicas subida-bajada de las relaciones dependientes de la conductancia (Fig. 3.81b).

La eficiencia en el uso de la luz máxima (QU) fué de $0.028 \text{ } \mu\text{mol CO}_2 \text{ } \mu\text{mol}^{-1} \text{ Q incidente}$. la relación C_i/C_o se mantuvo durante la mayor parte de la subida en valores inferiores a 70% mientras que durante la bajada se mantuvo en valores de alrededor de 83% (Fig. 3.81c). El WUE durante la subida paso de valores de 4 a $3 \text{ } \mu\text{mol mmol}^{-1}$ manteniéndose durante la bajada a valores medios de $2 \text{ } \mu\text{mol mmol}^{-1}$ (Fig. 3.81d).

La peculiar dinámica de la conductancia se reflejó en una reducción a la mitad del WUE entre la subida y la bajada en todo el rango de fotosíntesis (Fig. 3.82a). La relación fotosíntesis-conductancia estomática varió de pendiente si bien se mantuvo aproximadamente lineal en los dos tramos. En la relación con la conductancia residual se observaron también dos trazos claramente diferenciados indicando uno de ellos una mayor limitación estomática relativa (Fig. 3.82b).

El CO_2 intercelular se estabilizó en valores de 225 vpm durante la subida y alrededor de 265 vpm durante la bajada a excepción de los puntos de menor irradiancia. El WUE siguió una relación lineal con el C_i . (Figs. 3.82c, 3.82d).

- Respuesta a la irradiancia con apertura de la cámara y medida de la porometría con el Li-1600 (3 OLLP 70)

Los valores máximos de fotosíntesis ($8.2 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) y conductancia residual ($55 \text{ mmol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) se alcanzaron a los $500 \mu\text{E m}^{-2} \text{s}^{-1}$. Se produjo una fuerte reducción de la conductancia residual, tasa fotosintética y QU durante la bajada de irradiancia al igual que en la curva de conductancia estomática que partió ya de bajos valores siendo su máximo de tan solo $128 \text{ mmol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ (Figs. 3.83a, 3.83b).

Tanto la relación C_i/C_o como el WUE mostraron las dinámicas típicas si bien alcanzándose menores valores de C_i/C_o (60-65%) y mayores valores de WUE ($4-4.5 \mu\text{mol mmol}^{-1}$) (Figs. 3.83c, 3.83d).

La relación de la fotosíntesis con los otros parámetros fué en general lineal y positiva con pocas diferencias entre la subida y la bajada, observándose ligeras curvaturas a las máximas tasas (Figs. 3.84a, 3.84b).

El CO_2 intercelular osciló entre valores algo superiores a 300 vpm hasta valores de 190 vpm. La relación de los diversos parámetros con el C_i siguió unas dinámicas rectilíneas con baja pendiente y mínimas diferencias entre la subida y la bajada a excepción de los puntos de menor C_i en los que se produjo una apreciable histéresis en las relaciones. En el caso del WUE la relación fué perfectamente lineal (Figs. 3.84c, 3.84d).

- Respuesta a la temperatura sin apertura de la cámara
(3 OLT 65)

Todos los parámetros disminuyeron de forma aproximadamente lineal con los aumentos de temperatura a excepción de la transpiración y la relación C_i/C_o que aumentaron ligeramente con ésta. La fotosíntesis varió de 12.5 a 5 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$, la conductancia estomática de 290 a 120 $\text{mmol m}^{-2} \text{s}^{-1}$, la conductancia residual de 65 a 25 $\text{mmol m}^{-2} \text{s}^{-1}$, el WUE de 6 a 1.5 $\mu\text{mol mmol}^{-1}$ y la relación C_i/C_o de 76% a 78% (Fig. 3.85).

Las diversas relaciones del intercambio de gases siguieron dinámicas rectilíneas, mostrando una estrecha sincronización que dió como resultado la estabilización del CO_2 intercelular alrededor de 250 vpm a pesar de la variación en un amplio rango de la mayoría de los parámetros (Fig. 3.86).

- Respuesta a la temperatura con apertura de la cámara y medida de la porometría con el Li-1600 (2 OLTP 56)

Todos los parámetros disminuyeron de forma lineal o ligeramente curvilínea con la temperatura a excepción de la transpiración que se mantuvo prácticamente constante en todo el rango medido. Las mayores tasas fotosintéticas de 11.7 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ se alcanzaron entre los 15-19°C y las mayores conductancias residuales de 61 $\text{mmol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ entre los 19-23°C, esto fué así debido a la mayor reducción relativa

de la conductancia estomática en relación a la fotosíntesis con el aumento de temperatura (Figs. 3.87a, 3.87c). Este fenómeno se reflejó también en una baja tasa de reducción del WUE y una fuerte disminución de la relación C_i/C_o . La relación de conductancias se mantuvo en valores próximos a 3 a temperaturas inferiores a los 25°C y en valores de 2 a temperaturas superiores (Figs. 3.87b, 3.87d).

La relación de los diversos parámetros mostró dinámicas aproximadamente rectilíneas con una relación fotosíntesis-conductancia estomática tal que produjo una variación del CO_2 intercelular entre 245 vpm y valores algo inferiores a 200 vpm, con un progresivo aumento de la limitación estomática a pesar de la paulatina disminución de la conductancia residual (Fig. 3.88).

- Respuesta al DPPV sin apertura de la cámara (3 OLH 62)

A excepción de la conductancia residual que se mantuvo estable en valores de 80 $mmol\ m^{-2}\ s^{-1}$ durante toda la experiencia y de la transpiración que aumentó ligeramente, el resto de los parámetros disminuyeron de forma lineal y reversible con el gradiente. La fotosíntesis pasó de 12 a 11 $\mu mol\ m^{-2}\ s^{-1}$, la conductancia estomática de 200 a 130 $mmol\ m^{-2}\ s^{-1}$, el WUE de 4 a 3 $\mu mol\ mmol^{-1}$ y la relación C_i/C_o de 67% a 55% (Fig. 3.89).

La disminución de conductancia estomática a pesar de la estabilidad de la conductancia residual resultó en una

disminución progresiva del CO₂ intercelular desde valores de 220 vpm a valores menores de 200 vpm (Fig. 3.90).

- Respuesta al DPPV con apertura de la cámara y medida de la porometría con el Li-1600 (3 OLHP 53)

A excepción del punto de máxima tasa fotosintética de alrededor de $11 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ medido en la cumbre de la onda de activación y dejando de lado el punto de recuperación de humedad en el que sin duda se sobreestimó la conductancia estomática (con el consiguiente efecto en el cálculo de la conductancia residual y del CO₂ intercelular y otros), todos los parámetros se mantuvieron constantes o con una ligera tendencia a disminuir. La conductancia estomática y la conductancia residual alcanzaron valores máximos de $148 \text{ mmol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ y $80 \text{ mmol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ respectivamente. La relación de conductancias osciló entre 5 y 7 indicando un importante cierre relativo de los estomas de la cara adaxial (Fig. 3.91).

El CO₂ intercelular alcanzó valores muy por debajo de lo habitual entre 200 y 170 vpm. Las relaciones entre los diversos parámetros se congregaron en estrechos rangos a excepción del punto de activación y en algunos casos el de recuperación (Fig. 3.92).

3.2.4. CUARTA SERIE (MARZO)

ORANGE RICARD

Las hojas muestreadas se habían desarrollado bajo una irradiancia media de $10 \text{ E m}^{-2} \text{ día}^{-1}$, durante el mes anterior se habían registrado temperaturas diarias máximas de $18-25^\circ\text{C}$, mínimas de $8-12^\circ\text{C}$, medias durante las horas de sol de $16-18^\circ\text{C}$ y medias nocturnas de $11-13^\circ\text{C}$. El déficit de presión parcial de vapor se mantuvo en valores de $0.5-1 \text{ KPa}$. Durante éste período la dosis de riego fué de 70 cm^3 por planta y día.

- Respuesta a la irradiancia sin apertura de la cámara (4 ORL 80)

La saturación de la fotosíntesis con tasas de $9.3 \mu\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ se alcanzó a los $500 \mu\text{E m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ si bien la conductancia residual continuó aumentando hasta alcanzar el valor de $74 \text{ mmol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ a la máxima irradiancia. No se produjo histéresis a excepción del punto de $500 \mu\text{E m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ (debido a una incompleta estabilización (Fig. 3.93a).

La respuesta de la conductancia estomática fué idéntica durante la subida y la bajada, con valor máximo de $150 \text{ mmol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ hacia los $250 \mu\text{E m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ y una paulatina reducción reversible a mayores irradiancias (Fig. 3.93b).

La eficiencia en la utilización de la irradiancia máxima (QU) fué de $0.028 \mu\text{mol CO}_2 \mu\text{mol}^{-1} \text{ Q}$ incidente. Tanto

la relación C_i/C_o como el WUE siguieron curvas de saturación prácticamente sin histéresis. La relación C_i/C_o llegó a valores inferiores a 60% sin haber alcanzado aún la saturación, mientras que el WUE alcanzó valores de $3.8 \mu\text{mol mmol}^{-1}$ con saturación a partir de los $500 \mu\text{E m}^{-2} \text{s}^{-1}$ (Figs. 3.93c, 3.93d).

Las relaciones entre los diversos parámetros mostraron dinámicas típicas siendo de destacar: la gran reversibilidad de las mismas sin prácticamente histéresis, el cambio de pendiente de la relación de la fotosíntesis con la conductancia estomática y residual, el cambio de pendiente de la relación CO_2 intercelular- conductancia estomática, y el amplio rango de CO_2 intercelular que se redujo hasta valores de 177 vpm (Fig. 3.94).

La relación CO_2 intercelular-fotosíntesis fué aproximadamente lineal con una tendencia a la estabilización de las tasas a menores valores de C_i . La relación con el WUE siguió igualmente una dinámica de saturación al alcanzarse los bajos niveles de CO_2 intercelular (Figs. 3.94c, 3.94d).

- Respuesta a la irradiancia con apertura de la cámara y medida de la porometría con el Li-1600 (4 ORLP 92)

Los valores máximos de fotosíntesis ($12 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) y conductancia residual ($63 \text{mmol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) se alcanzaron a los máximas irradiancias de $750 \mu\text{E m}^{-2} \text{s}^{-1}$ (Fig. 3.95a).

Todos los parámetros mostraron una clara histéresis entre la subida y la bajada siendo más evidente en la conductancia estomática que se redujo de los valores máximos de $350 \text{ mmol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ a un 50-60% durante la bajada. La relación de conductancias siguió una dinámica peculiar, zigzageante a irradiancias inferiores a los $400 \mu\text{E m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ y con una estabilización a irradiancias superiores. Durante la subida se alcanzaron tanto los máximos valores de 3 como las mínimos de 1, durante la bajada la mayoría de los valores fueron de 2. Se produjo una disminución relativa en los dos tramos de la curva a irradiancias de $120 \mu\text{E m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ (Fig. 3.95b).

La relación C_i/C_o alcanzó los valores mínimos de 73%, la eficiencia en el uso de la irradiancia fué máximo durante la mañana con valores de $0.034 \mu\text{mol CO}_2 \mu\text{mol}^{-1} \text{ Q}$ incidente, muy superiores a los máximos de tarde de tan solo $0.024 \mu\text{mol CO}_2 \mu\text{mol}^{-1} \text{ Q}$ incidente. EL WUE siguió una dinámica de saturación alcanzándose valores máximos de $3 \mu\text{mol mmol}^{-1}$ (Figs. 3.95c, 3.95d).

La fuerte discontinuidad observada en la respuesta de la conductancia estomática a la irradiancia se manifestó en las relaciones de los diversos parámetros del intercambio gaseoso (a excepción de la relación CO_2 intercelular con el WUE) mostrando todas las relaciones dos tramos lineales o ligeramente curvilíneos. El CO_2 intercelular varió entre 320

y 230 vpm alcanzándose la máxima tasa y conductancia estomática hacia los 245 vpm (Fig. 3.96).

- Respuesta a la temperatura sin apertura de la cámara
(4 ORT 76)

La fotosíntesis describió una curva aproximadamente parabólica con tasas máximas de $10.8 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ a temperaturas entre $19-23^{\circ}\text{C}$ y mínimas de $9 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ a 35°C . La conductancia estomática disminuyó de forma lineal de 220 a $165 \text{ mmol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ al aumentar la temperatura (Fig. 3.97a).

La conductancia residual siguió también una curva parabólica alcanzándose los valores máximos de $64 \text{ mmol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ a temperaturas comprendidas entre 23°C y 30°C (Fig. 3.97c). El WUE y la relación C_i/C_o disminuyeron al aumentar la temperatura pasando de 6 a $2 \mu\text{mol mmol}^{-1}$ y de 73% a 67% respectivamente (Figs. 3.97b, 3.97d).

La relación entre los parámetros mostró la inexistencia de una limitación estomática apreciable, con tasas fotosintéticas muy similares obtenidas a expensas de una disminución del WUE, lo que resultó en un CO_2 intercelular mantenido en un estrecho rango entre 235 vpm y 215 vpm (Fig. 3.98).

- Respuesta a la temperatura con apertura de la cámara y medida de la porometría con el Li-1600 (4 ORTP 89)

La tasa fotosintética máxima de $13 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ se obtuvo en la cumbre de la onda de activación a 15°C si bien la tasa se estabilizó en valores menores en el valle de la onda. Al aumentar la temperatura se generaron ondas (de amplitud creciente y período decreciente) graficándose los valores correspondientes a la cumbre de la segunda onda registrada para cada temperatura experimentada. La fotosíntesis siguió una dinámica de descenso curvilíneo al aumentar la temperatura (a excepción del segundo punto que escapó de la dinámica general por corresponder al valle). La conductancia estomática disminuyó de forma lineal al aumentar la temperatura, las tasas máximas de $250 \text{ mmol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ registradas a los 19°C se redujeron en un 50% a los 39°C (Fig. 3.99a).

A excepción del punto de activación en que alcanzó valores de $85 \text{ mmol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$, la conductancia residual se mantuvo prácticamente constante a valores próximos a $70 \text{ mmol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ entre los 15°C y 27°C , disminuyendo a temperaturas superiores hasta un 50% a 39°C (Fig. 3.99c).

El WUE máximo de $9 \mu\text{mol mmol}^{-1}$ se alcanzó a los 15°C reduciéndose en un 50% al pasar a 19°C , posteriores aumentos de temperatura representaron una disminución lineal del índice hasta alcanzarse los valores mínimos de $1.5 \mu\text{mol mmol}^{-1}$ a las máximas temperaturas registradas (Fig. 3.99b).

La relación C_i/C_o fluctuó entre un máximo de 73% a 19°C y un mínimo de 65% a 15°C y 28°C. La relación de conductancias disminuyó de valores próximos a 8 a temperaturas inferiores a los 19°C a valores de aproximadamente 3 en los que se mantuvo a temperaturas superiores, los dos valores máximos de la relación coinciden con las dos conductancias estomáticas que escapan de la dinámica general (Fig. 3.99d).

La relación del WUE con la fotosíntesis fué curvilínea a excepción del segundo punto que escapó a la misma (Fig. 3.100a).

La fotosíntesis siguió relaciones lineales con la conductancia residual y estomática, exceptuando el tercer y cuarto punto en los que se aprecian conductancias mayores a las del resto de la experiencia, que propiciaron una liberación de la inhibición estomática predominante a lo largo de la misma, lo que se observa en el aumento de la tasa fotosintética en la relación fotosíntesis-conductancia residual (Fig. 3.100b) y en el aumento de tasa fotosintética acompañado de aumento de CO_2 intercelular a igualdad de conductancia residual (Fig. 3.100c).

A pesar de la reducción de la mayoría de los parámetros en un 50% al aumentar la temperatura, el CO_2 intercelular permaneció en un estrecho rango entre 225 vpm y 200 vpm (Figs. 3.100c, 3.100d).

- Respuesta al DPPV sin apertura de la cámara (4 ORH 73)

La fotosíntesis, la conductancia estomática, la relación C_i/C_o y en mucho menor grado el WUE, disminuyeron de forma lineal al aumentar el gradiente, al contrario de la conductancia residual que permaneció constante en valores de $55 \text{ mmol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$. Los máximos de fotosíntesis ($11 \text{ } \mu\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$), la conductancia estomática ($200 \text{ mmol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$) y C_i/C_o (70%), se alcanzaron en la cumbre de la onda de activación reduciéndose en un 25% al estabilizarse en el valle (Fig. 3.101).

El CO_2 disminuyó con el tratamiento de 225 vpm a 190 vpm volviendo a aumentar hasta algo más de 200 vpm con la recuperación de humedad (Fig. 3.102).

- Respuesta al DPPV con apertura de la cámara y medida de la porometría con el Li-1600 (4 ORHP 85)

La fotosíntesis se mantuvo en valores máximos de $13.9 \text{ } \mu\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ a gradientes inferiores a 2 KPa, reduciéndose en un 15% al aumentar el GPPV a 2.5 KPa. La conductancia estomática, la transpiración y la relación C_i/C_o disminuyeron linealmente al aumentar el gradiente, los respectivos valores máximos de $330 \text{ mmol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$, $5.25 \text{ mmol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ y 76% se redujeron en un 40%, 20% y 15% a 2.5 KPa (Fig. 3.103).

Por el contrario la eficiencia hídrica se mantuvo constante en valores de $2.5 \text{ } \mu\text{mol mmol}^{-1}$ para todo el rango de GPPV medido exceptuando el punto de recuperación de humedad

en que aumentó a $3.5 \mu\text{mol mmol}^{-1}$. La relación de conductancias fluctuó entre 2 y 3 con los valores máximos a gradientes de 2 KPa a excepción del punto de recuperación de humedad en que alcanzó valores próximos a 5.

La recuperación de humedad no supuso recuperación a los valores iniciales de la fotosíntesis, conductancia estomática y C_i/C_o pero sí de la conductancia residual que se mantuvo entre $75\text{--}80 \text{ mmol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ con valores máximos a gradiente de 2 KPa (Fig. 3.103).

El CO_2 intercelular disminuyó de 230 vpm a 200 vpm a pesar de la disminución de la fotosíntesis debido a una fuerte reducción de la conductancia estomática (Fig. 3.104).

FLAMINGO

- Respuesta a la irradiancia sin apertura de la cámara (4 FLL 81)

La fotosíntesis, la conductancia estomática, la conductancia residual y el WUE siguieron dinámicas de saturación, con valores muy similares en la subida y en la bajada, y máximos de $11 \mu\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$, $184 \text{ mmol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$, $73 \text{ mmol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ y $4 \mu\text{mol mmol}^{-1}$ respectivamente. La relación C_i/C_o siguió una relación de saturación inversa con la irradiancia con prácticamente idénticos valores durante la subida y la bajada, con valores máximos de 95% y mínimos de

64%. La eficiencia máxima en el uso de la irradiancia fué de $0.033 \mu\text{mol CO}_2 \mu\text{mol}^{-1} \text{ Q}$ incidente (Fig. 3.105).

La conductancia residual y el WUE siguieron relaciones curvilíneas con la fotosíntesis y el CO_2 intercelular. En el caso del WUE la pendiente de la relación disminuyó al aumentar la tasa o disminuir el C_i mientras que en el caso de la conductancia residual fué lo contrario. La conductancia estomática siguió una relación aproximadamente lineal en ambos casos. El CO_2 intercelular descendió de 330 vpm a 200 vpm de forma lineal y sin histéresis subida-bajada (Figs. 3.106).

- Respuesta a la irradiancia con apertura de la cámara y medida de la porometría con el Li-1600 (4 FLLP 94)

Todos los parámetros y sus relaciones siguieron dinámicas muy similares a las del tratamiento sin apertura de la cámara, con valores máximos igualmente similares: fotosíntesis $12 \mu\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$, conductancia estomática $220 \text{ mmol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$, conductancia residual $73 \text{ mmol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$, C_i/C_o 95%, (QU) $0.033 \mu\text{mol CO}_2 \mu\text{mol}^{-1} \text{ Q}$ incidente, WUE $3 \text{ mmol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$, CO_2 intercelular 330-220 vpm. La relación de conductancias se mantuvo fluctuante alrededor de 1.5 a todas las irradiancias medidas (Fig. 3.107).

Las relaciones entre los distintos parámetros fueron similares a las observadas en el tratamiento sin apertura de la cámara si bien el CO_2 intercelular se estabilizó a 220 vpm

debido a un ligero aumento de la conductancia estomática a las mayores irradiancias medidas (Fig. 3.108).

- Respuesta a la temperatura sin apertura de la cámara
(4 FLT 77)

La fotosíntesis siguió una dinámica peculiar con tasas máximas de $7.5 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ a temperaturas inferiores a los 20°C , tasas mínimas de $6 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ entre 23°C y 31°C y tasas medias a las mayores temperaturas. Dichos cambios fueron a consecuencia de una dinámica similar en la conductancia residual. La conductancia estomática disminuyó progresivamente con la temperatura de $140-100 \text{ mmol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ con un ligero incremento a la temperatura máxima (Figs. 3.109a, 3.109c).

El WUE disminuyó de valores próximos a $6 \mu\text{mol mmol}^{-1}$ a $2 \mu\text{mol mmol}^{-1}$. La relación C_i/C_o se mantuvo alrededor de 70% a temperaturas inferiores a los 27°C disminuyendo hasta 65% al aumentar la misma (Figs. 3.109b, 3.109d).

La relación fotosíntesis conductancia se mantuvo equilibrada dando lugar a un CO_2 intercelular alrededor de 235 vpm, a excepción de los dos últimos puntos en que el aumento de conductancia residual fué proporcionamlemte mayor al de conductancia estomática dando como resultado una disminución del C_i por debajo del punto de equilibrio (Fig. 3.110).

- Respuesta a la temperatura con apertura de la cámara y medida de la porometría con el Li-1600 (4 FLTP 86)

La fotosíntesis y la conductancia estomática disminuyeron de forma aproximadamente lineal con el aumento de temperatura, los respectivos valores máximos de $13.5 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$, $337 \text{ mmol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ se alcanzaron a los 15°C (Figs. 3.111a). La conductancia residual mostró un máximo de $75 \text{ mmol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ hacia los 19°C , una disminución al aumentar la temperatura y una pequeña recuperación a los 35°C (Fig. 3.111c).

La relación del WUE con la temperatura fué inversa y curvilínea pasando de 6 a $2 \mu\text{mol mmol}^{-1}$ al aumentar la temperatura (Fig. 3.111b). La relación C_i/C_o se mantuvo en 72% entre los 19°C y 31°C , registrándose el valor máximo de 77% y mínimo de 63% a 15 y 35°C respectivamente. Por debajo de los 30°C la relación de conductancias se mantuvo fluctuante alrededor de 2, disminuyendo a 0.7 al aumentar la temperatura (Fig. 3.111d).

Las relaciones de la fotosíntesis con los distintos parámetros fueron aproximadamente rectilíneas, a excepción del primer y último punto que también se separan de la relación general de alta estabilización de CO_2 intercelular en valores de 225 vpm (Fig. 3.112).

- Respuesta al DPPV sin apertura de la cámara (4 FLH 74)

La fotosíntesis se mantuvo constante en valores próximos a $7 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ (exceptuando el primer y último punto de activación y recuperación de humedad) para todo el rango de gradientes medido. La conductancia residual permaneció constante en $40 \text{ mmol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ mientras que la conductancia estomática, el WUE y la relación C_i/C_o disminuyeron con el aumento de gradiente (Fig. 3.113).

En todas las relaciones se observó que los dos puntos correspondientes a altas humedades se apartaron del resto, como indicación de un cambio reversible ya sea a nivel de la conductancia residual o estomática. El CO_2 intercelular se mantuvo entre 255 y 225 vpm (Fig. 3.114).

- Respuesta al DPPV con apertura de la cámara y medida de la porometría con el Li-1600 (4 FLHP 83)

En este tratamiento se observaron las evoluciones características para cada parámetro, con un descenso relativo más importante de la conductancia estomática que se reflejó en un mantenimiento del WUE a los mayores gradientes, menores niveles de relación C_i/C_o y menores niveles de CO_2 intercelular, que en el tratamiento sin porometría. La relación de conductancias se mantuvo entre 1.5 y 1 con tendencia a disminuir al aumentar el gradiente (Figs. 3.115, 3.116).

OLD LADY

- Respuesta a la irradiancia sin apertura de la cámara
(4 OLL 79)

La fotosíntesis máxima obtenida fué $12.6 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$, la conductancia estomática $224 \text{ mmol m}^{-2} \text{s}^{-1}$, la conductancia residual $75 \text{ mmol m}^{-2} \text{s}^{-1}$, el mínimo C_i/CO_2 68%, el máximo (QU) $0.034 \mu\text{mol CO}_2 \mu\text{mol}^{-1} \text{Q}$ incidente, el máximo WUE $3.4 \mu\text{mol mmol}^{-1}$. Las dinámicas fueron las características con muy pequeñas diferencias durante la subida y la bajada, algo mayores en la conductancia estomática y a bajas irradiancias (Fig. 3.117).

Las relaciones fueron igualmente las características destacando la perfecta linealidad de la relación CO_2 intercelular-fotosíntesis con estabilización en valores de 220 vpm a las mayores tasas (Fig. 3.118).

- Respuesta a la irradiancia con apertura de la cámara y medida de la porometría con el Li-1600 (4 OLLP 92)

En este caso la hoja exhibió unas tasas fotosintéticas muy inferiores (máxima tasa $8.4 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ y máximo QU $0.022 \mu\text{mol CO}_2 \mu\text{mol}^{-1} \text{Q}$ incidente), con las dinámicas y resto de las relaciones entre los parámetros idénticas al tratamiento sin apertura de la cámara si bien restringidas en el rango, con lo que se alcanzaron concentraciones de CO_2 intercelular mínimo de 240 vpm. La relación de conductancias se mantuvo en valores entre 1 y 1.5 durante todo el

tratamiento a excepción de algunos puntos de baja irradiancia principalmente durante la bajada (Fig. 3.119).

- Respuesta a la temperatura sin apertura de la cámara
(4 OLT 78)

La fotosíntesis y la conductancia estomática y el WUE disminuyeron linealmente con la temperatura de valores máximos a 15°C de 15 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$, 350 $\text{mmol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ y 5.5 $\mu\text{mol mmol}^{-1}$, a valores mínimos a 35°C de 9 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$, 190 $\text{mmol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ y 1.5 $\mu\text{mol mmol}^{-1}$ respectivamente. La conductancia residual se mantuvo entre los 15°C y 19°C en valores máximos de 80 $\text{mmol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ disminuyendo progresivamente hasta alcanzar el valor de 50 $\text{mmol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ a los 35°C. La relación C_i/C_o pasó de 75% a 70% a los 27°C para volver a aumentar ligeramente a mayores temperaturas (Fig. 3.121).

La relación de la fotosíntesis con los otros parámetros siguieron la dinámica curvilínea característica en las curvas de respuesta a la temperatura, en las que se obtienen máximas tasas fotosintéticas a las menores temperaturas. El CO_2 intercelular se mantuvo entre 225 vpm y 245 vpm con valores mínimos a las tasas correspondientes a los 27°C (Fig. 3.122).

- Respuesta a la temperatura con apertura de la cámara y medida de la porometría con el Li-1600 (4 OLTP 91)

Los datos que se describen a continuación corresponden a los estimados a partir de las medidas realizadas con el porómetro.

Tanto la fotosíntesis como la conductancia estomática disminuyeron al aumentar la temperatura si bien la pendiente de este cambio fué muy distinta en ambos casos, la fotosíntesis disminuyó muy suavemente hasta los 25°C mientras que la conductancia se redujo de forma importante ya a bajas temperaturas. Esto dió como resultado un mantenimiento del WUE y una reducción importante y paulatina de la relación C_i/C_o . Los máximos de conductancia residual de alrededor de 50 $\text{mmol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ se obtuvieron entre 23°C y 25°C. La relación de conductancias fué alta y superiores a 4 en todos los casos (Fig. 3.123).

La fuerte variación de conductancias en relación a la fotosíntesis dió como resultado un paulatino descenso del nivel de CO_2 que pasó de 284 vpm a 204 vpm, con un progresivo descenso de la tasa fotosintética parcialmente justificado por la reducción de conductancia residual (Fig. 3.124).

- Respuesta al DPPV sin apertura de la cámara (4 OLH 75)

La dinámica de intercambio de gases en este caso fué característica de las curvas con onda de activación importante y estabilización por debajo del máximo alcanzado

en la onda de activación. La conductancia residual se redujó de valores de 87% en el máximo de la onda de estabilización a valores de tan solo 75% una vez estabilizada, a lo largo de la experiencia la conductancia residual aumentó de forma progresiva e importante hasta recuperar el valor inicial. Esta tendencia fué inversa a la de la conductancia estomática que se redujo al aumentar el gradiente con el consecuente mantenimiento del WUE y disminución de la relación C_i/C_o (Fig. 3.125).

A nivel de relaciones esta dinámica se reflejó en una primera disminución de la tasa fotosintética a CO_2 intercelular constante de alrededor de 220 vpm, una disminución de C_i progresiva hasta valores de 185 vpm con aumento paulatino de tasa fotosintética (a pesar de la creciente inhibición estomática) y un aumento del C_i y de la tasa fotosintética propiciado por la recuperación de humedad y parcial liberación de la limitación estomática (Fig. 3.126).

- Respuesta al DPPV con apertura de la cámara y medida de la porometría con el Li-1600 (4 OLHP 85)

Los valores máximos obtenidos fueron: fotosíntesis 11.3 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$, conductancia estomática 180 $\text{mmol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ y conductancia residual 64 $\text{mmol m}^{-2} \text{s}^{-1}$.

En este tratamiento con porometría la dinámica de variación de conductancia residual fué menos pronunciada,

siendo la conductancia estomática la responsable principal de los cambios de la tasa fotosintética a mayores gradientes lo que queda de manifiesto por la reversibilidad observada. Las evoluciones del WUE y de la relación C_i/C_o fueron similares a las del tratamiento anterior. La relación de conductancias se mantuvo entre 3.5 y 2.5 con tendencia a disminuir al aumentar el gradiente (Fig. 3.127).

El CO_2 intercelular varió entre 225 vpm y 190 vpm con disminución reversible de la tasa al disminuir el C_i (Fig. 3.128).

3.2.5. EVOLUCION ESTACIONAL Y COMPARACION GLOBAL

En OR el peso específico foliar (SLW) en las hojas muestreadas en las series de medidas de laboratorio se mantuvo con pocas variaciones entre 30-50 g m⁻² con los mínimos valores en diciembre. Por el contrario tanto en FL como en OL el SLW presentó mayor dispersión y una tendencia a disminuir estacionalmente, más acusada en OL. Las hojas de FL muestreadas en diciembre mostraron valores considerablemente superiores de SLW alcanzándose valores máximos de 60 g m⁻² (Fig. 3.129).

A pesar de la dispersión de datos debida a la variabilidad de las hojas muestreadas y a los distintos tratamientos, la tendencia general de la tasa fotosintética fué a disminuir en la fase invernal, a excepción de FL en que las tasas se mantuvieron altas en la entrada del invierno y disminuyeron al inicio de la primavera. A lo largo de las experiencias las tasas máximas oscilaron entre 15 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ y 10 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ con valores máximos similares en las tres especies y mayor amplitud de rango en OL (Fig. 3.130).

En las tres especies la conductancia estomática máxima alcanzó los valores máximos en verano y otoño (dentro del rango de 300-600 mmol m⁻² s⁻¹) reduciéndose de forma acusada en invierno (dentro del rango de 100-300 mmol m⁻² s⁻¹). En general los tratamientos de temperatura comportaron mayores valores de la conductancia estomática (Fig. 3.131).

En OR y FL la conductancia residual máxima se mantuvo prácticamente sin variaciones estacionales entre valores de 60-30 $\text{mmol m}^{-2} \text{s}^{-1}$. En OL por el contrario mostró una tendencia a disminuir a lo largo de las series de medidas, de valores medios de 100 a 70 $\text{mmol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ (Fig. 3.132).

En OR y OL la respiración de oscuridad (medida al inicio de los tratamientos de irradiancias) varió estacionalmente de valores máximos en verano (próximos a $-2 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ y $-3 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ respectivamente) a mínimos de $-1 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ en invierno. En FL por el contrario la respiración se mantuvo en valores prácticamente constantes (inferiores a $-1 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) a lo largo de todas las series de medidas (Fig. 3.133).

La variación estacional de la eficiencia cuántica (QY) siguió en las tres variedades dinámicas distintas. En OR y OL las menores eficiencias correspondieron a los meses invernales mientras que en FL correspondieron al verano. El rango de variación estacional fue en OR de 0.030-0.040 $\mu\text{mol CO}_2 \mu\text{mol}^{-1} \text{Q incidente}$, en FL de 0.030-0.045 $\mu\text{mol CO}_2 \mu\text{mol}^{-1} \text{Q incidente}$ y en OL de 0.040-0.025 $\mu\text{mol CO}_2 \mu\text{mol}^{-1} \text{Q incidente}$. En general la eficiencia cuántica de tarde fue menor a la de mañana a excepción de OR en el tratamiento sin apertura de la cámara en que ambas eficiencias fueron iguales (Fig. 3.134).

En las tres especies la eficiencia hídrica varió estacionalmente dentro del rango de 2-4 $\mu\text{mol mmol}^{-1}$ si bien

con claras tendencias estacionales. En los tres variedades los valores mínimos de eficiencia hídrica se dieron en las serie de verano y los máximos en la invernal (Fig. 3.135).

En las tres variedades la relación de conductancias varió estacionalmente si bien dentro de un estrecho rango (entre 1-4), alcanzándose los valores máximos en diciembre. En OL la relación se presentó con mayor dispersión. (Fig. 3.136).

3.3. EVOLUCION DIARIA DE LA RESPUESTA HIDRICA Y DEL INTERCAMBIO DE GASES EN EL INVERNADERO

En éste apartado la descripción de los resultados se realizará siempre en el mismo orden: "Orange Ricard" (P. zonale), "Flamingo" (P. grandiflorum) y "Old Lady" (P. peltatum) utilizando indistintamente el término especie, variedad o las abreviaturas OR, FL y OL. Este orden fué el que se siguió durante los ciclos de mediciones en la casi totalidad de los muestreos.

El seguimiento de la evolución del intercambio de gases en el agro-ecosistema del invernadero se vió sujeto al importante efecto del manejo del horticultor y de la variabilidad climática, aspectos estos cuyo análisis forma parte del objetivo de este estudio.

El manejo del horticultor se vió reflejado en los déficits de partida de agua en el tiesto, la extinción de la cubierta, las temperaturas a lo largo del día y los índices de area foliar (LAI) mantenidos.

El efecto climático se reflejó principalmente en la variación estacional de la longitud del día y en la irradiancia exterior disponible modulada por la nubosidad.

En base a la irradiancia los días muestreados correspondieron a:

Días largos:

- soleado con poca extinción (ciclo 1º, Agosto) (Fig. 3.137)
- soleado con extinción media (ciclo 6º, Agosto) (Fig. 3.142)
- nublado (ciclo 5º, Mayo) (Fig. 3.141)

Días cortos:

- nublado (ciclo 4º, Febrero) (Fig. 3.140)
- soleado (ciclo 7º, Noviembre) (Fig. 3.143)
- nubosidad variable pleno invierno (ciclo 3º, Diciembre) (Fig. 3.139)
 - nubosidad alta y salinización (ciclo 2º, Noviembre) (Fig. 3.138) (Ver Nota)

Nota: Uno, de los parámetros que no se consideró en el momento de plantear los seguimientos ambientales de la experiencia fué el de la conductividad eléctrica del substrato, puesto que se consideraba que serían mantenidos en rangos aceptables por el propio horticultor.

El seguimiento de riego por pesada que se realizó, contemplado bajo la óptica del análisis físico del substrato, demostró lo incorrecto del manejo del riego tanto en dosis como en frecuencia. Sin embargo los horticultores, a pesar de

ser informados de este hecho, prefirieron seguir con su práctica habitual de riego.

La segunda medida porométrica realizada en Noviembre confirmó que el régimen de riego había provocado una rápida y drástica salinización del substrato y una parada total de la planta. Tras confirmar por mediciones de conductividad la evidente salinización se aconsejó realizar una serie de riegos de lavado. Estos tuvieron un rápido efecto y a los pocos días se observó la aparición de nueva raíz y una completa recuperación de la planta.

Las figuras citadas en este apartado se encuentran en el Anexo III, el significado de las abreviaturas y las unidades empleadas se recogen en el Anexo I.

3.3.1. PRIMER CICLO DIARIO (AGOSTO)

Esta medición se realizó en agosto, al cabo de un mes del repicado y una semana antes del primer corte de esquejes. Las plantas presentaban un aspecto saludable y se encontraban en fase de ramificación y de crecimiento rápido después del despunte. Esta fué la primera medida de las cinco realizadas en el primer ciclo de producción.

Las plantas "Orange Ricard" tenían una superficie foliar total media de 569 cm² (LAI=0.8), "Flamingo" 888 cm² (LAI=1.2), y "Old Lady" 498 cm² (LAI=0.7). El porcentaje de superficie foliar proyectada en relación a la total fué de 98% en OR, 70% en FL y 83% en OL.

El índice de tamaño de planta (SI) fué de 34.5±0.5 cm para OR, 43.3±0.8 cm para FL y 36.6±2.6 cm para OL. El índice de distribución de raíz (IDR) fué de 56±0% en OR, 66±10% en FL y 45±2.7% en OL.

El déficit de saturación del tiesto (DST) al inicio del día fué de 568 g en OR, 689 g en FL y 682 g en OL. El consumo de agua durante el día fué de 81 g en OR, 63 g en FL y 67 g en OL. En esta época las plantas recibían por término medio 90 cm³ diarios de agua por planta.

El día fué despejado y caluroso de 14 horas de duración. En el interior la radiación alcanzó una irradiancia normal de 1000 $\mu\text{E m}^{-2} \text{s}^{-1}$ al mediodía, la temperatura del aire medida con el pórometro los 38 °C y el DPPV los 3.8 KPa.

La temperatura del substrato al inicio del día fué de 21°C alcanzándose para OR los 42°C en la parte central del tiesto hacia las 14 hs, y los 45°C en la parte exterior a las 13 hs. En FL se llegó a 38°C y 41°C y en OL a 39°C y 42°C respectivamente. Durante la primera parte del día la temperatura exterior se mantuvo de 2°C a 5°C por encima de la temperatura central. A partir de las 16 hs las temperaturas se igualaron y en el caso de OR se produjo una inversión.

La irradiancia media incidente en las hojas muestreadas para OR siguió la misma dinámica general de la irradiancia horizontal, a excepción del tercer muestreo con valores de tan solo el 50% de la irradiancia horizontal. Para FL tanto el tercer como cuarto muestreo resultaron con irradiancias medias menores a las horizontales, por el contrario la curva de irradiancia en hoja para OL siguió bastante aproximadamente la dinámica de la irradiancia horizontal (Fig. 3.145).

El valor de la relación transpiración/irradiancia sobre la hoja (E/RAD) (sin tener en cuenta los datos de muy baja irradiancia) fué en todos los casos superior por las mañanas que por las tardes, siendo más agudo este contraste en el caso de FL. En términos absolutos los menores valores correspondieron a OL (Fig. 3.145).

La pérdida de agua por tiesto a lo largo del día siguió una dinámica trapezoidal para las tres especies con valores medios máximos de 8-10 g h⁻¹ para OR y de 6-8 g h⁻¹ para FL

y OL. La transpiración de hoja siguió una dinámica trapezoidal similar a la del tiesto en el caso de OR (exceptuando el punto de muestreo antes mencionado) con valores medios máximos de alrededor de $10 \text{ mmol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$, no fué así en el caso de FL con un máximo por la mañana de $5 \text{ mmol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ seguido de un descenso paulatino a partir de este momento y en OL con un valor por la mañana de $7.5 \text{ mmol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ seguido de un descenso rápido para mantenerse durante la mayor parte del día en valores entre 2 y $3 \text{ mmol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ (Fig. 3.146).

El potencial hídrico de partida y en oscuridad fué para OR de $-0.26 \pm 0.03 \text{ MPa}$, para FL $-0.22 \pm 0.01 \text{ MPa}$ y para OL $0.28 \pm 0.01 \text{ MPa}$. En los tres casos las potenciales disminuyeron paulatinamente hasta las 12.15 hs en la que alcanzaron los valores mínimos de -1.1 MPa . A partir de este momento los potenciales se recuperaron de forma rápida. En el caso de OL la recuperación se inició antes en relación a los bajos valores de transpiración de tarde. El potencial hídrico de recuperación fué en OR de $-0.37 \pm 0.02 \text{ MPa}$, en FL de $-0.35 \pm 0.02 \text{ MPa}$ y en OL de $-0.40 \pm 0.01 \text{ MPa}$ (Fig. 3.146).

La diferencia de temperatura hoja-aire siguió una dinámica de enfriamiento por la mañana, calentamiento o menor enfriamiento al mediodía y enfriamiento por la tarde. En el caso de OR la temperatura de la hoja estuvo siempre por debajo de la del aire con hasta dos grados de diferencia por la mañana y la tarde y tan solo uno al mediodía. En FL los

enfriamientos fueron mucho menores con 1°C por la mañana, temperatura igual a la del aire al inicio del atardecer y menos de 0.5°C de enfriamiento al atardecer. En OL las fases de temperatura de hoja inferior a la del aire se restringieron a primeras horas de la mañana y últimas de la tarde con un período de 4 horas al mediodía de temperatura de hoja 0.5°C de hoja superior a la del aire (Fig. 3.147).

El GPPV siguió una dinámica aproximadamente parabólica en los tres casos siendo los valores máximos para OR sistemáticamente distintos a los de las otras dos especies debido a sus menores temperaturas de hojas, sobretodo durante la mañana y la tarde (Fig. 3.147).

La conductancia estomática al agua alcanzó en todos los casos los valores máximos a las 8 hs (600, 300 y 400 $\text{mmol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ respectivamente). En OR la conductancia se redujo al mediodía para volver a aumentar al atardecer, adoptando una forma bimodal asimétrica (no se tiene en cuenta el valor debido a la baja irradiancia de hoja de la tercera medida). Tanto en FL como en OL los máximos de conductancia fueron seguidos por una fuerte reducción de la misma hasta valores de alrededor de los 100 $\text{mmol m}^{-2} \text{s}^{-1}$, que se mantuvieron desde las 10 hs hasta finalizar el día (Fig. 3.147).

Considerando en su conjunto las medidas de mañana y tarde y para OR, existió una correlación positiva entre la irradiancia foliar y la transpiración si bien con una enorme

dispersión de datos, alcanzándose valores superiores a 10 mmol m⁻² s⁻¹ en el rango de luces de 200 a 1200 μ E m⁻² s⁻¹. En el caso de la conductancia la correlación desapareció hallándose los máximos valores hacia los 300 a 500 μ E m⁻² s⁻¹ con valores individuales de hasta 800 mmol m⁻² s⁻¹ (Fig. 3.148).

En el caso de FL no existió correlación positiva entre irradiancia y transpiración, con la mayoría de los valores en la franja de 0-5 mmol m⁻² s⁻¹. La conductancia, exceptuando los datos correspondientes al segundo muestreo siguió una correlación negativa con la irradiancia, posiblemente casual (Fig. 3.148).

En OL se observó una fuerte asimetría mañana-tarde tanto en la relación irradiancia-transpiración como conductancia-transpiración. Exceptuando el primer y segundo punto de muestreo, las conductancias se mantuvieron prácticamente constantes alrededor de 100 mmol m⁻² s⁻¹. Solo las transpiraciones del segundo punto superan los 5 mmol m⁻² s⁻¹, el resto ya fuera debido a las bajas conductancias o al efecto del bajo DPPV de mañana se vió restringido en el rango 1-3 mmol m⁻² s⁻¹ correlacionado positiva y estrechamente con la irradiancia.

En OR la relación de conductancias fué enormemente variable, con valores entre 0 y 6, dependiendo fuertemente de la hora del día y de la irradiación. En FL la relación no se vió influenciada por el aumento de radiación pero si presentó

una asimetría mañana tarde, con menores valores, alrededor de 1, por la tarde. Por el contrario en OL la relación de conductancias se mostró independiente de la irradiancia y remarcablemente constante (en relación a las otras dos especies) alrededor de 1.5 para todo el rango de irradiancias medidas (Figs. 3.149, 3.151).

En la correlación irradiancia foliar-potencial hídrico, aumentos de la radiación de 0 a 200 $\mu\text{E m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ representaron un paso de potenciales de -0.25 a -0.50 MPa en las tres especies, hacia los 500 $\mu\text{E m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ se alcanzaron valores de -0.80 MPa, y hacia los 1000 $\mu\text{E m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ valores de -0.10 MPa a -0.11 MPa. En el caso de OR la recuperación de potencial siguió aproximadamente la misma trayectoria que la bajada, mientras que sobretodo en el caso de FL, y también de OL la recuperación de potencial se realizó a irradiancias menores, a pesar de las bajas conductancias de tarde. Lo que indicaría una dificultad en la absorción de agua por la raíz (Fig. 3.150).

En cuanto a la relación entre el GPPV y los parámetros fisiológicos medidos, en OR la conductancia presentó sus valores máximos en el rango de gradientes entre 1.5 KPa y 3 KPa. Altas conductancias se observaron también a bajos gradientes. Por encima de los 2.5 KPa las conductancias se vieron fuertemente reducidas. La nube central de datos fué el resultado de las condiciones de luz y del estado hídrico de la planta durante la fase de tarde. Tanto en el caso de FL

como de OL la dinámica fué similar pero con valores de transpiración y conductancia menores, con las máximas transpiraciones centradas alrededor de los 2 KPa y las máximas conductancias restringidas a valores de gradiente inferiores a 2 KPa (Fig. 3.152).

La relación del GPPV con la diferencia de temperatura hoja-aire siguió una dinámica en forma de hoz con los mayores enfriamientos entre 1.5-2.5 KPa y con valores de temperatura de hoja igual o superior a la del aire para GPPV superior a 3 KPa. La mayor dispersión de datos así como los mayores enfriamientos se presentan en OR (Fig. 3.153).

A pesar de la gran dispersión en la relación entre la transpiración y la temperatura de hoja (Fig. 3.154), se observó una fuerte correlación entre la transpiración y la diferencia de temperatura hoja-aire en las mediciones realizadas en OR, con valores de enfriamiento de hasta -4°C a transpiración de $20 \text{ mmol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$. Los valores de transpiración en el caso de FL y OL fueron muy inferiores restringiéndose a valores menores de $8 \text{ mmol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$. Alrededor de los $2.5 \text{ mmol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ se observó un calentamiento por encima del aire de hasta 1.5°C en las hojas de OL. En el mismo rango FL se mantuvo a pocas décimas por encima de la temperatura del aire y OR a pocas décimas por debajo (Fig. 3.155).

La relación de la transpiración con el potencial hídrico fué dispersa y siguió una dinámica triangular, en el primer

tramo la relación fué lineal y negativa alcanzando el potencial valores más negativo al aumentar la transpiración, en el segundo tramo la relación cambió de dirección y el potencial continuó disminuyendo (de manera más acusada en FL) a pesar de que la transpiración se redujo, en el tercer tramo el potencial se recuperó hasta valores próximos a los de partida (Fig. 3.156).

La relación entre la transpiración total de hoja y la pérdida de agua por el tiesto mostró gran dispersión de datos sobretodo en OR dado el amplio margen de tasas transpiratorias medidas. En general la pérdida de agua por el tiesto se mantuvo en valores constantes independientemente de la transpiración foliar a excepción de los puntos correspondientes a la primera y última medición del día (Fig. 3.157).

3.3.2. SEGUNDO CICLO DIARIO (NOVIEMBRE)

Este ciclo de medidas se realizó tres meses y medio después del repicado. Las plantas tenían un LAI medio aproximado de 2-2.5, y se les habían cortado una media de esquejes por planta de 10, 12 y 7 para OR, FL y OL respectivamente.

La frecuencia de riego durante esta época fué de 2 riegos de 150 cm³ cada una por semana (43 cm³ por día). Las plantas mostraban una coloración ligeramente oscura y falta de brillo que denotaba una parada del crecimiento, FL además presentaba ataque de hongos y mosca blanca. El déficit de saturación de tiesto (DST) de partida fué de 794 g en OR, 771 g en FL y 644 g en OL. El consumo total de agua por planta durante el día fué de 22 g en OR, 18 g en FL y 28 g en OL.

El día tuvo una duración de diez horas y se presentó con nubosidad alta. La radiación en el interior del invernadero fué algo superior a los 400 $\mu\text{E m}^{-2} \text{s}^{-1}$ al mediodía, la temperatura medida con el porómetro osciló entre los 22°C y los 24°C, el máximo DPPV fué de 1.8 KPa, a excepción del tercer muestreo en OL que coincidió con una subida de temperatura hasta los 28°C y un DPPV de 2.8 KPa (como resultado del cierre temporal de las ventanas de ventilación).

En las tres variedades, la temperatura del substrato en su parte central siguió una dinámica de calentamiento hasta aproximadamente las 15 hs partiendo de unos 14°C para llegar a unos 22°C, la temperatura profunda se mantuvo unos 3-5°C por encima de la central por la mañana para igualarla hacia las 15 hs (Fig. 3.138).

La irradiancia foliar en el caso de OR fué menor a la horizontal, sobre todo en los puntos de mediodía y tarde. Lo mismo sucedió en el caso de FL a excepción del segundo punto con irradiancias foliares superiores a los 700 $\mu\text{E m}^{-2} \text{s}^{-1}$. En el caso de OL la irradiancia foliar fué similar a la horizontal. La relación transpiración-irradiancia foliar (E/PAR) siguió una dinámica ascendente, si bien se mantuvo siempre a valores inferiores a 10 $\mu\text{mol } \mu\text{E}^{-1}$ (Fig. 3.158).

La pérdida de agua por tiesto siguió estrechamente la dinámica de la irradiancia horizontal con valores máximos ligeramente desplazados hacia los 10 hs de la mañana, alcanzándose valores máximos de 4, 3 y 5 g h^{-1} en OR, en FL y en OL respectivamente. La transpiración de hoja se mantuvo en los tres casos durante todo el día a valores prácticamente constantes y muy bajos, del orden de 0.7, 0.3 y 1 $\text{mmol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ en OR, FL y OL respectivamente (Fig. 3.159).

El potencial hídrico de partida fué de -0.31 ± 0.1 MPa en OR, -0.30 ± 0.1 MPa en FL y -0.25 ± 0.02 MPa en OL. El valor mínimo se alcanzó en los tres casos hacia el mediodía con valores de -1 MPa para OR, -1.1 MPa para FL y -0.9 MPa para

OL. La recuperación de potencial fué lenta a partir del mediodía a pesar de las menores irradiancias de tarde (Fig. 3.158), sobre todo en el caso de FL y OL. El potencial de recuperación fué en OR de -0.39 ± 0.2 MPa, en FL -0.50 ± 0.1 MPa y en OL -0.49 ± 0.05 MPa (Fig. 3.159).

La temperatura de hoja se apartó muy poco de la del aire, a excepción del segundo muestreo en el que se produjo un ligero calentamiento sobre el aire de alrededor de unas pocas décimas en OR, 1°C en FL y 0.5°C en OL. El GPPV siguió una dinámica parabólica con valores máximos al mediodía de alrededor de 2 KPa y con valores ligeramente superiores por la tarde en relación a los de la mañana (Fig. 3.160).

Las tres especies mostraron una dinámica de la conductancia correspondiente a un fuerte "stress". OR tras una breve apertura hasta valores de $150 \text{ mmol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ en el primer punto de medida, disminuyó su conductancia hasta valores inferiores a $100 \text{ mmol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ manteniéndose en ellos durante todo el día. FL mantuvo sus conductancias en valores inferiores a $50 \text{ mmol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$, y OL mostró una dinámica un poco más activa con la máxima conductancia de unos $150 \text{ mmol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ en el segundo punto de medida, un cierre por debajo de $100 \text{ mmol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ al mediodía, y una ligera recuperación por la tarde (Fig. 3.160).

Debido al estado de fuerte "stress" en que se encontraban las plantas, todas las relaciones entre parámetros mostraron dinámicas monótonas.

En OR los valores de transpiración fueron durante todo el día inferiores a $2 \text{ mmol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ no respondiendo a los cambios en intensidad de radiación. La conductancia mostró igualmente esta insensibilidad a los cambios de radiación con valores inferiores a $100 \text{ mmol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ durante todo el día a excepción de unos pocas hojas. En FL ni la transpiración ni la conductancia respondieron a la radiación manteniéndose durante todo el día a valores mínimos. Por el contrario en OL la transpiración mostró una correlación positiva con la irradiancia alcanzando los máximos valores de alrededor de $2 \text{ mmol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ a las máximas radiaciones incidentes de $500 \mu\text{E m}^{-2} \text{ s}^{-1}$, la conductancia mostró así mismo una cierta correlación positiva con la radiación, enmascarada por la asimetría en la relación mañana tarde y por el cierre del mediodía (Fig. 3.161).

La relación de conductancias en OR se mantuvo alrededor de 2 con gran dispersión a todas las irradiancias, a excepción de los pocos puntos de alta conductancia en los que la relación superó el valor de 4 a irradiancias inferiores a los $250 \mu\text{E m}^{-2} \text{ s}^{-1}$. En FL se mantuvo en valores de 1-2, a excepción de los valores a irradiancias superiores a $250 \mu\text{E m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ en los que tanto la relación como la dispersión de datos aumentó enormemente, posiblemente debido a la amplificación de los errores de medida en rangos de conductancia tan bajos al tratarse de un cociente. En OL, a excepción del último punto de muy baja irradiancia y conductancia, la relación de conductancias mostró una

correlación positiva con la irradiancia partiendo de valores de 1 hacia los 100 $\mu\text{E m}^{-2} \text{s}^{-1}$ para llegar a valores de 2 a los 500 $\mu\text{E m}^{-2} \text{s}^{-1}$, el cierre de mediodía representó un aumento de la relación mientras que la recuperación del cierre representó una disminución de la misma (Fig. 3.162, 3.164).

La relación entre la irradiancia foliar y el potencial hídrico mostró una clara histéresis con un descenso pronunciado del potencial al aumentar la irradiancia a los valores máximos y una plataforma de estabilización en valores próximos a -1 KPa en los que se mantuvo el resto del día a pesar de la disminución de la irradiancia (Fig. 3.163).

En OR el GPPV no tuvo prácticamente efecto ni en la transpiración ni en la diferencia de temperatura hoja-aire, ni en la conductancia, a excepción de los primeros puntos en GPPV de 0.5 KPa en que se hallaron las mayores conductancias. En FL la dinámica fué similar. En OL las transpiraciones se mantuvieron alrededor de 2 $\text{mmol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ en todo el rango de gradientes, la conductancia fué mayor hacia los 1.1 KPa de GPPV disminuyendo al aumentar éste. No hubo respuesta de la diferencia de temperatura de hoja-aire al gradiente (Fig. 3.165, 3.166). En el estrecho rango de transpiraciones medidas no se observó ninguna relación significativa entre ésta, la temperatura de hoja y la diferencia de temperatura hoja-aire (Fig. 3.167, 3.168).

En las tres variedades, a pesar de las bajas tasas transpiratorias, el potencial disminuyó hasta valores de -1 MPa en los que se mantuvieron OR y OL (Fig. 3.169).

Dado el estrecho rango de transpiraciones y pérdidas de agua por tiesto medidas, los valores de la relación se concentraron en OR y FL, mientras que en OL se insinuó una ligera correlación positiva entre los dos parámetros con menores valores por la tarde (Fig. 3.170).

3.3.3. TERCER CICLO DIARIO (DICIEMBRE)

Esta medida se realizó a los cinco meses del repicado de las plantas. Durante esta época se aplicaron riegos de lavado frecuentes y abundantes. Las plantas se habían ya recuperado de la salinización del mes anterior y presentaban buen aspecto. Se había cortado una media de esquejes por planta de 16, 18 y 10 para OR, FL y OL respectivamente.

El déficit de saturación de partida del tiesto fué de 357 g en OR, 421 g en FL y 331 g en OL. Por término medio el riego en los días previos fué de 66 cm³ de agua por planta y día (aplicado en días alternos). El consumo de agua durante el día fué en OR de 37 g, y de 35 g en FL y OL.

El día fué predominantemente claro con algunas nubes dispersas en algunos momentos del día. La duración del día fué de 9 horas. La irradiancia horizontal en el interior del invernadero alcanzó los 400 $\mu\text{E m}^{-2} \text{s}^{-1}$ hacia el mediodía, con una dinámica parabólica a excepción de OR que se encontraba situado en una banqueta ligeramente más oscura y en la que la curva de radiación fué asimétrica con mayores valores por la tarde. La temperatura de aire partió de valores inferiores a 10°C al amanecer para alcanzar los 25°C hacia el mediodía y descender rápidamente a partir de esta hora. El DPPV fué muy bajo no superando -1 KPa (Fig. 3.139).

En OR la temperatura del substrato en la parte central partió de valores por debajo de 10°C para aumentar

prácticamente de forma lineal hasta alcanzar los 18°C hacia las 5 h de la tarde, la temperatura profunda se mantuvo durante todo el día 4°C por encima de la central. En el caso de FL el aumento de temperatura del substrato central siguió la misma tendencia que en OR pero 1 °C por encima, y la del substrato profundo también se mantuvo entre 3°C y 6°C por encima de la del substrato central para igualarse al atardecer. OL mostró también una dinámica similar pero con valores un poco superiores a las de OR (Fig. 3.139).

La irradiancia foliar media en el caso de OR se mantuvo, a excepción del primer y último punto del día, en valores de 250 $\mu\text{E m}^{-2} \text{ s}^{-1}$. En FL la dinámica fué similar pero con valores de alrededor de 400 $\mu\text{E m}^{-2} \text{ s}^{-1}$. En OL la dinámica fué muy parecida a la de irradiancia horizontal con valores superiores a 500 $\mu\text{E m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ en el mediodía con dinámica parabólica (Fig. 3.171).

La relación transpiración-irradiancia de hoja siguió una trayectoria ascendente a lo largo de todo el día en el caso de OR, pasando de valores de 5 a 25 $\mu\text{mol } \mu\text{E}^{-1}$. En FL la trayectoria fué variable con valores de alrededor de 10 $\mu\text{mol } \mu\text{E}^{-1}$ por la mañana y por la tarde y un alto valor superior a 20 $\mu\text{mol } \mu\text{E}^{-1}$ al mediodía posiblemente debido a una cuestión de muestreo. En OL la dinámica fué también ascendente entre valores de 5-15 $\mu\text{mol } \mu\text{E}^{-1}$ (Fig. 3.171).

La dinámica de pérdida de agua por el tiesto fué parabólica en los tres casos con valores máximos alrededor

del mediodía, o poco antes, comprendidos entre 6-7 g h⁻¹. La transpiración foliar medida con el LI-COR tuvo así mismo una dinámica parabólica con máximos al mediodía de 2.5 mmol m⁻² s⁻¹ en OR y FL y 3.5 mmol m⁻² s⁻¹ en OL (Fig. 3.172).

El potencial hídrico de partida fué de -0.21 ± 0.04 MPa en OR, -0.06 ± 0.02 MPa en FL y -0.20 ± 0.04 MPa en OL. Durante el día el potencial bajó hasta valores de -5 MPa en OR, -6 MPa en FL y -7 MPa en OL. La dinámica tanto de OR como de OL fué redondeada y con recuperaciones por la tarde más lentas que las bajadas de la mañana. La dinámica de FL fué más aguda, con mayor pendiente de bajada así como de recuperación. El potencial de recuperación en OR fué -0.17 ± 0.01 MPa, en FL de -0.17 ± 0.04 MPa y en OL de -0.33 ± 0.05 MPa (Fig. 3.172).

La temperatura de hoja en OR fué inferior a la del aire durante todo el día aumentando esta diferencia hacia el mediodía hasta 0.8°C por debajo y manteniéndose por la tarde. En FL sólo el primer punto del día, con valores de temperatura de hoja algo superiores a los del aire, y los del mediodía, con valores algo inferiores, se apartaron de la temperatura del aire. También en OL, como en el caso de OR, el enfriamiento de la hoja fué superior por la tarde que por la mañana si bien ésta diferencia sólo superó ligeramente el medio grado (Fig. 3.173).

El GPPV presentó en las tres especies una dinámica típica asimétrica con mayores valores por la tarde que por la

mañana. En OR los valores máximos fueron -0.8 KPa, en FL -1 KPa y en OL -1.2 KPa (Fig. 3.173).

La conductancia estomática presentó en OR una dinámica asimétrica con menores valores por la mañana que por la tarde y máximo al mediodía a poco menos de $400 \text{ mmol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$. En FL la dinámica fué simétrica y triangular con un máximo al mediodía de $350 \text{ mmol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$. En OL la dinámica fué asimétrica con mayores valores por la mañana que por la tarde y un máximo al mediodía de $350 \text{ mmol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ (Fig. 3.173).

La transpiración aumentó en OR de forma lineal con los incrementos de irradiancia foliar, en el estrecho rango medido entre 0 y $400 \mu\text{E m}^{-2} \text{ s}^{-1}$, con una pendiente similar por la mañana y por la tarde pero, a diferencia de otros ciclos medidos, con valores superiores por la tarde. Debido al bajo DPPV existentes este día la causa primordial de esta dinámica de la transpiración fué la variación de la dinámica estomática. La relación entre la conductancia y la irradiancia mostró una clara asimetría mañana-tarde con valores superiores por la tarde y una correlación positiva, con mayores conductancias a mayores irradiancias, alcanzándose valores de $500 \text{ mmol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ a $400 \mu\text{E m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ (Fig. 3.174).

En FL la transpiración se correlacionó positivamente con la radiación, si bien con una ligera dispersión de los datos. Se obtuvieron tanto altos como bajos valores de conductancia en todo el rango de irradiancias medidas desde 0 a

600 $\mu\text{E m}^{-2} \text{s}^{-1}$, con una fuerte asimetría mañana tarde pero en este caso con mayores conductancias por la mañana (Fig. 3.174).

En OL la relación transpiración irradiancia foliar demostró una clara asimetría mañana tarde con mayores valores en esta última, causada básicamente por el efecto de los mayores GPPV durante la tarde. Se obtuvo una correlación positiva entre la conductancia y la irradiancia foliar, partiendo de valores de 150 $\text{mmol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ a menos de 100 $\mu\text{E m}^{-2} \text{s}^{-1}$ y alcanzándose las máximas conductancias de 350 $\text{mmol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ a irradiancias máximas de 550 $\mu\text{E m}^{-2} \text{s}^{-1}$ (Fig. 3.174).

En OR la relación de conductancias fué mayor a bajas irradiancias alcanzando valores de hasta 6 y disminuyendo al aumentar la radiación, en término medio los valores se mantuvieron entre 3 y 4. En FL La relación alcanzó los máximos valores, de 4 a 6 a bajas irradiancias disminuyendo al aumentar ésta hasta valores de 2.5 a los 600 $\mu\text{E m}^{-2} \text{s}^{-1}$, la mayoría de los puntos a todas las irradiancias se localizaron entre 2 y 3. Por el contrario en OL la relación de conductancias se mantuvo totalmente constante a lo largo de todo el día, con independencia de la irradiancia recibida, alrededor de 2 y con baja dispersión de datos (Fig. 3.175).

En OR y FL la relación entre la irradiancia foliar y el potencial hídrico fué dispersa, por el contrario en OL la dispersión fué mucho menor. En las tres especies la relación

mostró una clara histéresis con dificultad de recuperar y manteniendo potenciales más negativos por la tarde que por la mañana a igualdad de irradiancia (Fig. 3.176).

La correlación conductancia del envés-conductancia del haz mostró, en el caso de OR y FL, una respuesta lineal creciente con alta dispersión de datos y con algunos valores de conductancia del haz muy bajos, causantes de las altas relaciones de conductancia (WCRATI). En el caso de OL la dispersión de datos fué mucho menor no existiendo conductancias del haz inferiores a $50 \text{ mmol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ (Fig. 3.177).

En OR existió una correlación positiva entre la GPPV y la transpiración, con valores máximos de $4 \text{ mmol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ a -0.8 KPa , lo mismo sucedió con la conductancia con valores máximos de $450 \text{ mmol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ a gradientes de -0.8 KPa . En FL la relación entre el GPPV y la transpiración fué lineal durante la primera parte del día, con valor máximo de $4 \text{ mmol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ a -1 KPa , y se redujo a $1 \text{ mmol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ a valores de GPPV de -0.9 KPa durante la tarde debido a la reducción de la conductancia, por el contrario la conductancia no correlacionó en absoluto con el gradiente, siendo por término medio superior por la mañana que por la tarde si bien con una gran dispersión de datos. En OL la dinámica de las relaciones del GPPV con la transpiración y la conductancia fué muy similar a la de FL (Fig. 3.178).

En OR la diferencia de temperatura hoja-aire fué nula hasta los -0.5 KPa para disminuir hasta cerca de 1°C y anularse nuevamente en el rango de -0.5 a -0.8 Kpa. En FL la temperatura del hoja fué ligeramente superior a la del aire a bajo gradiente, para disminuir de forma lineal hasta 0.5°C por debajo a GPPV de -1 KPa. En OL debido a la dinámica de variación diaria del GPPV la mayoría de los puntos de diferencia de temperatura hoja-aire se encontraron en el rango de -1 KPa a -1.5 KPa, con temperaturas entre pocas décimas y 1°C inferiores a las del aire (Fig. 3.179).

Exceptuando el primer muestro de mañana, la temperatura de hoja en las tres especies se mantuvo en valores de $20_{\pm 2}^{\circ}\text{C}$ durante todo el día (Fig. 3.180).

En todos los casos los mayores enfriamientos de la hoja con respecto al aire coincidieron con las mayores transpiraciones. En el caso de OL transpiraciones de alrededor de $1 \text{ mmol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ coincidieron con ligeros calentamientos de las hojas (Fig. 3.181).

La relación entre la transpiración foliar y le potencial fué lineal y estrecha en las tres variedades si bien con menor pendiente en OL. Los potenciales más negativos coincidieron con las mayores tasas transpiratorias y la recuperación de potencial al disminuir la tasa fué rápida en OR y OL que mantuvieron la misma relación que durante la bajada, mientras que en FL mostró una ligera histéresis (Fig. 3.182).

La relación entre la transpiración foliar y la pérdida de agua por el tiesto fué lineal y positiva si bien mostrando dos tramos diferenciados sobretodo en FL y OL con menores valores de pérdida de agua por la tarde (Fig. 3.183).

3.3.4. CUARTO CICLO DIARIO (FEBRERO)

Este ciclo de medida se realizó siete meses después del repicado. Se habían cortado una media de 23, 24 y 16 esquejes por planta en OR, FL y OL respectivamente.

Durante esta época se mantenía el regimen de riego invernal con una dosis de 68 g agua por planta y día (aplicada en riegos en días alternos).

Al inicio del día el deficit de saturación del substrato fué de 381 g en OR, 350 g en FL y 319 g en OL. El consumo total de agua durante el día fué de 53 g en OR, 64 g en FL y 49 g en OL.

Las plantas tenían un LAI medio de 2.3, 2.4 y 2.6 en OR, FL y OL respectivamente. El índice de tamaño (SI) fué de 49.5 ± 2.3 cm en OR, 50.7 ± 3.0 cm en FL y 39.3 ± 1.5 cm en OL. El índice de distribución de raíz (IDR) fué de $83 \pm 8.3\%$ en OR, $55 \pm 10.8\%$ en FL y $66 \pm 5.5\%$ en OL.

El porcentaje de superficie proyectada en relación a la superficie foliar total fué de 96.1, 92.0 y 90.6 en OR, FL y OL respectivamente.

El día, con una duración de 11 h, fué soleado con nubosidad intermitente, que afectó a las medidas de irradiancia horizontal en el interior del invernadero. Como resultado de ésto, y de la situación de las plantas en diferentes banquetas, la dinámica de irradiancia horizontal aparente se vió afectada dando como resultado una curva distinta para cada especie a pesar de tratarse del mismo día.

En el caso de OR la dinámica de la irradiancia horizontal fué asimétrica, con una ascensión parabólica normal hasta valores de $750 \mu\text{E m}^{-2} \text{s}^{-1}$ al mediodía y una importante reducción de la irradiancia a valores inferiores a los $200 \mu\text{E m}^{-2} \text{s}^{-1}$ a partir de las cuatro de la tarde. En el caso de FL los puntos afectados fueron el tercero y el cuarto, coincidentes con el mediodía, quedando la curva de irradiancia truncada a valores máximos de $500 \mu\text{E m}^{-2} \text{s}^{-1}$. En OL la dinámica fué parabólica sin puntos especialmente sombreados y con el valor máximo al mediodía de $750 \mu\text{E m}^{-2} \text{s}^{-1}$.

La temperatura del aire partió de valores de alrededor de 10°C hasta alcanzar valores de $27-28^{\circ}\text{C}$ de las 11 hs a las 14 hs, fluctuando en razón de la nubosidad variable y de la apertura y cierre automático de las ventanas. El DPPV siguió una dinámica distinta en los tres casos en los puntos del mediodía debido al mismo efecto de apertura y cierre de ventanas, mostrando valores mayores a menores temperaturas como resultado de la entrada de aire frío del exterior y de

menor contenido en agua. Los DPPV máximos medidos con el porómetro fueron de -1.3 KPa, -1.5 KPa y -2 KPa en OR, FL y OL respectivamente.

La temperatura del substrato en la parte central partió de valores de 9°C aumentando hasta valores de 20°C a 22°C hacia las seis de la tarde. En los tres casos el calentamiento siguió la típica dinámica sigmoideal con una fase de calentamiento inicial muy lenta. Esto determinó que hacia el mediodía las temperaturas en la parte central se mantuvieran todavía en valores inferiores a 13-14°C. La temperatura profunda del substrato se mantuvo de 3-6°C por encima de la del substrato central en la primera parte del día para igualarse a ésta a partir de las 15 hs (Fig. 3.140).

La irradiancia media incidente en las hojas siguió en OR una dinámica parecida a la irradiancia horizontal, con el máximo de 750 $\mu\text{E m}^{-2} \text{s}^{-1}$ poco antes del mediodía. En el caso de FL y OL los valores máximos de 800 $\mu\text{E m}^{-2} \text{s}^{-1}$ y 600 $\mu\text{E m}^{-2} \text{s}^{-1}$ respectivamente se alcanzaron poco después del mediodía (Fig. 3.184).

La relación entre la transpiración y la irradiancia foliar (E/PAR) presentó una dinámica ascendente en el caso de OR muy lenta por la mañana y más acentuada por la tarde, dependiente sobretodo de la bajada de radiación en esta parte del día. En el caso de FL este índice se mantuvo constante en valores entre 5 y 10 $\mu\text{mol } \mu\text{E}^{-1}$ durante la mayor parte del día a excepción de los últimos puntos en que aumentó. En OL el

índice fluctuó en relación a los cambios de transpiración dependientes del DPPV con valores más altos alrededor del mediodía (Fig. 3.184).

La pérdida de agua por tiesto presentó en OR una dinámica asimétrica con valores máximos por la mañana alcanzando los 11 g h⁻¹. En FL la pérdida fué simétrica en relación a la hora solar con valores máximos de 14 g h⁻¹. En OL la pérdida de agua fué asimétrica con valores mayores por la tarde alcanzando los 9 g h⁻¹. La transpiración foliar en OR alcanzó valores máximos de 5 mmol m⁻² s⁻¹ antes del mediodía, posteriormente sufrió una pequeña disminución hasta valores de 4 mmol m⁻² s⁻¹ en los que se mantuvo durante la tarde. En FL la dinámica de la transpiración fué parabólica y simétrica con valores máximos de 5 mmol m⁻² s⁻¹. En OL los valores de transpiración alrededor del mediodía fueron superiores a los 5 mmol m⁻² s⁻¹, coincidiendo con la bajada del DPPV en el momento de las medidas, mostrando como resultado de ello una dinámica de transpiración distinta a la del tiesto (Fig. 3.185).

El potencial hídrico de partida fué de -0.27 ± 0.02 MPa en OR, -0.03 ± 0.0 MPa en FL y -0.34 ± 0.02 MPa en OL. Los potenciales mínimos se alcanzaron poco después del mediodía con valores de -0.8 MPa para OR y FL y -0.6 MPa en OL. En los tres casos la variación de potencial siguió una dinámica quebrada, con descensos suaves o rápidos e incluso estabilizaciones a lo largo del día, dependientes de los

cambios ambientales. Si bien, en todos los casos, se observó fases de recuperación rápida de potencial, los potenciales de recuperación de noche fueron inferiores a los de partida en OR y en FL. El potencial de recuperación fué de -0.36 ± 0.02 MPa en OR, -0.23 ± 0.07 MPa en FL y -0.35 ± 0.01 MPa en OL (Fig. 3.185).

Las temperaturas de hoja se mantuvieron alrededor de la del aire excepto en las horas de tarde en OR con una disminución de la misma de 0.8°C , el segundo punto de muestreo en FL en el que se produjo un ligero calentamiento, y las medidas de tarde en el mismo FL que siguieron una dinámica de enfriamiento igual a la de OR. En OL se produjo un enfriamiento antes del mediodía, un calentamiento después del mismo y un nuevo enfriamiento al atardecer. Dadas las pequeñas variaciones de temperatura de la hoja respecto al aire el GPPV siguió la misma dinámica que la del DPPV (Fig. 3.186).

La conductancia siguió en los tres casos una dinámica bimodal. En OR los valores máximos, ligeramente superiores a $400 \text{ mmol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$, se dieron antes del mediodía, a partir de este momento se produjo un ligero cierre y recuperación, todo ello en el rango de $350\text{--}400 \text{ mmol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$. En FL la dinámica de la conductancia fué simétrica, con valores máximos a los $400 \text{ mmol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ y un ligero descenso de la conductancia alrededor del mediodía, coincidente con las máximas irradiancias de hoja. En OL la asimetría fué aún mayor siendo

el valor máximo del primer pico de unos $350 \text{ mmol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$, con una reducción paulatina hasta los $200 \text{ mmol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ hacia las 14 hs (causante de la recuperación de potencial en esa hora), seguido de una pequeña recuperación (Fig. 3.186).

En OR la relación transpiración-irradiancia foliar siguió una respuesta lineal durante la primera parte del día alcanzando valores de hasta $6 \text{ mmol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ de transpiración a los $1000 \mu\text{E m}^{-2} \text{ s}^{-1}$, con una conducta muy distinta en la segunda parte del día con mucho mayores transpiraciones en las zonas de irradiancias más bajas $100\text{-}300 \mu\text{E m}^{-2} \text{ s}^{-1}$. Esta respuesta se debió al efecto de la conductancia estomática que siguió una buena correlación lineal con la irradiancia foliar durante la mañana, alcanzando valores de $500 \text{ mmol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ hacia los $1000 \mu\text{E m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ y mostró durante la tarde conductancias entre 300 y $500 \text{ mmol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ a pesar de las bajas irradiancias (menores de $500 \mu\text{E m}^{-2} \text{ s}^{-1}$) (Fig. 3.187).

En FL la relación transpiración-irradiancia foliar mostró una importante dispersión de datos con la mayoría de los puntos agrupados en dos rangos diferentes los de mayor irradiancia alrededor de $700 \mu\text{E m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ con transpiraciones alrededor de $5 \text{ mmol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ y los de menor irradiación (alrededor de $100 \mu\text{E m}^{-2} \text{ s}^{-1}$) con transpiraciones entre 0 y $4 \text{ mmol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$. La conductancia mostró también una enorme dispersión de datos con valores entre 100 y $500 \text{ mmol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$

para todas las irradiancias, con una ligera tendencia a mayores conductancias en las mayores irradiancias.

En OL la relación transpiración-irradiación foliar fué muy dispersa con una ligera correlación positiva. En el caso de la conductancia también se observó una gran dispersión de datos (Fig. 3.187).

En general, y a excepción del primer y segundo punto con valores entre 5 y 8 y del último punto con valores poco superiores a 2, la relación de conductancias en OR se mantuvo en valores entre 3 y 4 para todo el rango de radiaciones hasta los $1000 \mu\text{E m}^{-2} \text{ s}^{-1}$. En FL la relación de conductancias se mantuvo relativamente constante entre 1.5 y 2.5 en el rango de 100 a $750 \mu\text{E m}^{-2} \text{ s}^{-1}$, con una tendencia a aumentar a lo largo del día. En OL la relación de conductancias se mantuvo para todas las irradiancias medidas entre valores de 1.5 y 2 si bien con gran dispersión de datos a bajas y altas irradiancias (Figs. 3.189, 3.190).

La relación entre la irradiación foliar y el potencial hídrico fué aproximadamente lineal a pesar de la dispersión de datos, sobre todo a las máximas irradiancias en relación a cambios de la conductancia estomática (Fig. 3.189)

En OR el potencial hídrico disminuyó a -0.8 KPa al aumentar la irradiación hasta valores próximos a $500 \mu\text{E m}^{-2} \text{ s}^{-1}$, posteriormente aumentó rápidamente al principio, hasta -0.5 KPa al alcanzarse las máximas irradiancias, y más

lentamente al disminuir la irradiancia hasta potenciales ligeramente inferiores a los de partida.

En FL por el contrario, la relación entre la irradiancia foliar y el potencial fué lineal mostrando marcada histéresis, algunos tramos de estabilización del potencial y dificultad de recuperación al disminuir la irradiancia.

En OL el potencial disminuyó al aumentar la irradiancia alcanzando los valores mínimos de -0.7 KPa a las máximas irradiancias. Al disminuir la irradiancia el potencial recuperó de forma rápida al principio hasta valores de -0.5 KPa en los que permaneció el resto del día con tendencia a aumentar a pesar de la disminución de la irradiancia (Fig. 3.189).

En cuanto a la relación de la transpiración y la conductancia con el GPPV la dinámica de las tres variedades fué similar si bien los puntos de conductancia se hallan más dispersos según el rango de GPPV alcanzados. En el caso de OR los GPPV no superaron el 1.5 KPa con lo que la relación gradiente-conductancia tomó un aspecto más o menos lineal, quedando reducido el cierre de mediodía a un aumento de dispersión de datos a los mayores gradientes. En el caso de FL la mayor amplitud de los GPPV alcanzados hizo más evidente el descenso de conductancias al mediodía. En el caso de OL la relación se mostró aún más claramente al alcanzarse GPPV por encima de 2 KPa (Fig. 3.191).

La relación entre el GPPV y la diferencia de temperatura hoja-aire mostró una gran dispersión en las tres especies, más evidente en OL, con valores tanto positivos como negativos a todos los gradientes con un rango de valores entre ± 1.5 KPa, si bien la mayoría de los puntos se encontraron por debajo de la temperatura del aire (Fig. 3.192).

La disminución de temperatura de hoja a transpiraciones superiores a $5 \text{ mmol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ (Fig. 3.193), observable en los tres casos, fué el resultado de la apertura de las ventanas del invernadero, que produjo por una parte una bajada de temperatura del aire con el subsiguiente enfriamiento de las hojas y por otra un aumento de DPPV que a su vez incrementó la transpiración y por lo tanto el enfriamiento relativo de la hoja respecto al aire (Fig. 3.194).

La relación entre la transpiración foliar y el potencial en OR y FL fué quebrada, con marcados cambios de pendiente y variaciones bruscas de potencial no coincidentes con variaciones de la transpiración. En OL por el contrario, la relación fué lineal con recuperación rápida del potencial por la tarde. (Fig. 3.195).

La relación entre la transpiración de hoja y la pérdida de agua por el tiesto fué, a pesar de la dispersión de datos, lineal, positiva y con marcada histéresis que quedó reflejada en los valores de tarde de pérdida de agua por el

tiesto, menores en OR y FL y mayores en OL, a igualdad de tasa transpiratoria (Fig. 3.196).

3.3.5. QUINTO CICLO DIARIO (MAYO)

Este ciclo de medida se realizó en mayo, finalizado ya el ciclo productivo de esquejes y sobre plantas madre mantenidas para la venta. Se habían cortado un promedio de alrededor de 23, 24 y 17 esquejes por planta en OR, FL y OL respectivamente.

Las plantas de OR y FL se encontraban en buen estado de desarrollo y en plena floración, presentando un LAI de 3.9 y 5.6. En OL por el contrario el LAI fué de tan solo 1.1 debido a que había sido sometida recientemente a una poda fuerte de formación y la planta había quedado reducida a hojas basales, gruesas y onduladas y escasa hojas jóvenes, lo que dificultó la elección de la hoja de medida. El índice de tamaño de las plantas (SI) fué de 60.5 ± 2 cm en OR, 66 ± 1.8 cm en FL y 35.7 ± 2.8 cm en OL. El índice de distribución de raíz (IDR) fué de 83 ± 8.3 cm en OR, 56 ± 10.8 cm en FL y 46 ± 5.5 cm en OL.

El porcentaje de superficie proyectada respecto a la superficie foliar total fué de 95.6, 92.6 y 87.7 en OR, FL y OL respectivamente.

En esta época la dosis de riego diaria fué de 160 cm³ (aplicados en un solo riego al día). Al inicio del día el

deficit de saturación del substrato fué de 180 g en OR, 139 g en FL y 175 g en OL. El consumo total de agua durante el día fué de 89 g en OR, 120 g en FL y 63 g en OL.

El día tuvo una duración de 14 h y fué nuboso, sobretodo en la parte central del mismo, con las mayores irradiancias alcanzadas por la mañana y por la tarde. La irradiancia en el interior del invernadero se mantuvo la mayor parte del día por debajo de $250 \mu\text{E m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ con elevaciones esporádicas y de corta duración de hasta $800 \mu\text{E m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ por la mañana y $500 \mu\text{E m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ por la tarde. La temperatura del aire se mantuvo durante todo el día entre 25°C y 26°C , mientras que en el exterior la temperatura fué de tan solo 18°C . El DPPV se mantuvo por debajo de -1 KPa a excepción de los dos momentos de mayor irradiancia continuada (alrededor de las 10 hs y de las 16 hs) en que disminuyó a valores de -1.5 KPa (Fig. 3.142).

Para OR el clima medido con el porómetro siguió la dinámica general del día. Para FL y OL los momentos de medida coincidieron en general con menores irradiaciones no superándose en ningún momento los $400 \mu\text{E m}^{-2} \text{ s}^{-1}$, si bien la dinámica general fué la misma, con dos máximos uno en la mañana y otro en la tarde. Estas menores irradiancias en los momentos de medida representaron unos menores valores de temperatura y de DPPV.

En las tres especies la temperatura del substrato aumentó desde los 12°C al inicio del día hasta los 22°C hacia

las 15 hs, con pocas diferencias entre la parte central y la profunda, a excepción de un pequeño incremento de esta última de unos 3°C a primeras horas de la mañana, lo cual coincidió con los datos registrados en el tiesto control de la estación climática (Fig. 3.197).

Los valores medios de irradiancia foliar siguieron en los tres casos la tónica general del día con dos picos de medida de máxima irradiancia uno hacia las 9 hs y otro hacia las 16 hs con el resto de los valores entre 150 y 250 $\mu\text{E m}^{-2} \text{s}^{-1}$. En el caso de OR el primer pico alcanzó los 600 $\mu\text{E m}^{-2} \text{s}^{-1}$ y el segundo los 500 $\mu\text{E m}^{-2} \text{s}^{-1}$. En el caso de FL todas las irradiancias medias foliares fueron inferiores, el primer pico no superó los 200 $\mu\text{E m}^{-2} \text{s}^{-1}$ y el segundo alcanzó tan solo los 300 $\mu\text{E m}^{-2} \text{s}^{-1}$. En OL el primer pico alcanzó los 300 $\mu\text{E m}^{-2} \text{s}^{-1}$ y el segundo los 400 $\mu\text{E m}^{-2} \text{s}^{-1}$ (Fig. 3.197).

En las tres especies, la pérdida de agua del tiesto a lo largo del día siguió de forma estrecha e integrada la dinámica de la radiación en el interior del invernadero. Las mayores pérdidas en OR se dieron por la mañana, alrededor de 15 g h⁻¹, con valores de 7 g h⁻¹ en la parte central del día y 10 g h⁻¹ en el pico de tarde. En FL la mayor tasa fué de 18 g h⁻¹ con valores al mediodía y tarde de alrededor de 10 g h⁻¹. En OL la máxima tasa fué de 8 g h⁻¹ y los valores al mediodía alrededor de 4 g h⁻¹ (Fig. 3.198).

La transpiración foliar siguió la misma dinámica si bien en el caso de FL y OL los menores valores de irradiancia medidos en los picos de mañana y tarde se reflejaron en menores transpiraciones en estos momentos. OR mantuvo tasas de 2.5 g h^{-1} con valores máximos de 6 g h^{-1} , FL tasas de 1.5 con máximos de 2.5 g h^{-1} y OL tasas de 2 g h^{-1} con valores máximos de 2.5 g h^{-1} (Fig. 3.198).

El cociente entre la transpiración y la irradiancia foliar (E/PAR) se mantuvo en valores de $10 \mu\text{mol } \mu\text{E}^{-1}$ o algo inferiores en OR a excepción de los dos muestreos a partir del mediodía en que superó los $20 \mu\text{mol } \mu\text{E}^{-1}$ debido al mayor descenso relativo de la irradiancia foliar. En FL los mayores valores, cercanos a $20 \mu\text{mol } \mu\text{E}^{-1}$, se alcanzaron por la mañana y mediodía, con menores valores por la tarde. En OL, al igual que en OR, los valores máximos correspondieron a los muestreos próximos al mediodía debido a la disminución de la irradiancia en aquel momento (Fig.3.197).

El potencial hídrico de partida fué de $-0.37 \pm 0.01 \text{ MPa}$ en OR, $-0.22 \pm 0.02 \text{ MPa}$ en FL y $-0.18 \pm 0.05 \text{ MPa}$ en OL. Su evolución a lo largo del día siguió una dinámica peculiar gobernada por las fluctuaciones de la transpiración. En las tres especies, el primer pico transpiratorio representó una disminución paulatina del potencial hasta alcanzar los menores valores del día (-1.1 MPa en OR, -0.7 MPa en FL y -0.8 MPa en OL). A partir de este momento se produjo una rápida recuperación hasta valores de -0.4 MPa a -0.5 MPa . OR mantuvo estos

valores hasta las 16 hs en que el segundo pico transpiratorio hizo disminuir el potencial hasta -0.9 MPa, antes de la recuperación de noche en que alcanzó los 0.39 ± 0.02 MPa. En FL el potencial disminuyó ligeramente hasta valores poco inferiores a -0.5 MPa en los que se mantuvo hasta finalizar el día en que alcanzó un potencial de recuperación de -0.30 ± 0.03 MPa. En OL el potencial disminuyó paulatinamente hasta volver a alcanzar el mínimo de -0.8 MPa hacia las 16 hs, antes de la recuperación de noche en que alcanzó potenciales de -0.36 ± 0.04 MPa (Fig. 3.198).

La temperatura de hoja en OR se mantuvo durante todo el día, a excepción del primer punto, por debajo de la del aire, siendo menor la diferencia por la tarde que por la mañana alcanzándose 1.5 °C de diferencia. En FL durante todo el día la temperatura de la hoja se mantuvo 0.5 °C por debajo de la del aire al igual que en OL (Fig. 3.199).

La conductancia siguió una curva bimodal en OR con valores máximos entre 400 y 450 $\text{mmol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ y una disminución hacia las 10 hs próxima a 200 $\text{mmol m}^{-2} \text{s}^{-1}$. En FL la conductancia se mantuvo prácticamente constante durante todo el día en valores de 200 $\text{mmol m}^{-2} \text{s}^{-1}$. En OL la conductancia alcanzó valores máximos de 400 $\text{mmol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ con un pico de mañana y otro de tarde, y el resto de los valores del día entre 200 y 250 $\text{mmol m}^{-2} \text{s}^{-1}$, encontrándose los picos de máxima conductancia desplazados en relación a las disminuciones del DPPV y antes de las mismas (Fig. 3.199).

En OR la tónica general de la relación irradiancia-transpiración fué la de una correlación positiva alcanzándose irradiancias máximas de $800 \mu\text{E m}^{-2} \text{s}^{-1}$ con transpiraciones de $8 \text{ mmol m}^{-2} \text{s}^{-1}$. Esta relación general la compusieron tres poblaciones de puntos bien diferenciados, la correspondiente al primer y último punto de muestreo con irradiancias inferiores a $100 \mu\text{E m}^{-2} \text{s}^{-1}$ y transpiraciones alrededor de $1 \text{ mmol m}^{-2} \text{s}^{-1}$, la correspondiente a los puntos de baja irradiancia de $100\text{-}200 \mu\text{E m}^{-2} \text{s}^{-1}$ que se produjeron al mediodía con transpiraciones entre 3 y $4 \text{ mmol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ superiores a las esperadas en función de la correlación general y los puntos de irradiancia comprendida entre 400 y $800 \mu\text{E m}^{-2} \text{s}^{-1}$ medidos en condiciones de irradiancia cambiante lo que se reflejó en la gran variabilidad de la transpiración en esa zona. La conductancia mostró igualmente estas tres poblaciones de datos que en su conjunto dieron como resultado una gran dispersión de puntos, todos ellos con conductancias que igualan o superan las que corresponderían a la relación lineal representada por la diagonal de la gráfica que parte del origen (Fig. 3.200).

En FL la relación irradiancia foliar-transpiración se vió restringida a valores menores tanto de irradiancia como de transpiración quedando incluidos la mayoría de los puntos en una nube con transpiración menor de $2.5 \text{ mmol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ e irradiancia menor a $250 \mu\text{E m}^{-2} \text{s}^{-1}$. La relación irradiancia foliar-conductancia mostró la misma distribución que en el caso de OR, con la totalidad de los puntos en la parte

superior de la diagonal de la gráfica y restringidos a irradiancias menores de $400 \mu\text{E m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ y conductancias menores de $300 \text{ mmol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ (Fig. 3.200).

En OL la mayoría de los pares de datos irradiancia transpiración se agruparon en una nube de puntos entre 0 y $200 \mu\text{E m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ de irradiancia y 0 y $2.5 \text{ mmol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ de transpiración. Aumentos de irradiancia hasta $500 \mu\text{E m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ representaron solo pequeños aumentos de transpiración hasta $3 \text{ mmol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$. En la relación irradiancia-conductancia todos los puntos se hallaron por encima de la diagonal, las mayores conductancias de hasta $500 \text{ mmol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ se alcanzaron a los $200 \mu\text{E m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ de irradiancia, a mayores o menores radiaciones correspondieron conductancias de $350 \text{ mmol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ (Fig. 3.200).

En OR la relación de conductancias se mostró relativamente constante en valores medios, con una ligera tendencia a disminuir al aumentar la radiación. En valores individuales la tendencia fué la misma pero con una enorme dispersión de datos entre 1 y 5, mayor a menores irradiancias. En FL la relación de conductancias se mantuvo en valores medios entre 1 y 2, en valores individuales la masa de puntos se encontró entre valores de 1 y 2 a excepción de algunos puntos a bajas irradiancias que tanto superaron como fueron inferiores a estos valores. En OL la relación de conductancias, tanto en valores medios como en datos

individuales se mantuvo entre 1 y 2, con mayor dispersión de datos a bajas irradiancias (Figs. 3.201, 3.203).

El potencial hídrico se relacionó de forma lineal y negativa con la irradiancia foliar y con la transpiración. En relación a las fluctuaciones de la irradiancia la respuesta mostró gran reversibilidad, si bien con progresiva disminución de la pendiente indicadora de una cada vez mayor dificultad en la recuperación (Figs. 3.202, 3.208).

En OR el GPPV mostró una relación general lineal positiva con la transpiración con una dispersión de datos explicable a partir de la conductancia. Se encontraron tanto altas como bajas conductancias en todo el rango de gradientes medidos. En FL la relación fué idéntica si bien restringida tanto en los gradientes como en las conductancias alcanzadas. En OL por el contrario las mayores conductancias de 450 $\text{mmol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ se alcanzaron alrededor de los 0.06 KPa con una disminución a valores menores de 300 $\text{mmol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ hacia el 1.0 KPa. Esta disminución de la conductancia al aumentar el GPPV fué reversible y se repitió en cada uno de los dos picos de GPPV del día (Fig. 3.204. La reducción de conductancia afectó a la transpiración de forma que ésta no siguió una relación lineal con el GPPV.

El GPPV no tuvo un marcado efecto sobre la diferencia de temperatura de hoja con respecto al aire en ninguno de los tres casos. En OR se alcanzaron los mayores enfriamientos de hoja hasta poco más de 1°C con independencia del GPPV. En las

otras dos variedades los enfriamientos fueron mucho menores (Fig. 3-205).

La relación entre la transpiración foliar y la diferencia de temperatura hoja-aire fué lineal en OR, dándose los mayores enfriamientos por la tarde, a pesar de que la temperatura de hoja fué más elevada (Fig. 3.206). En FL y OL el estrecho rango de transpiraciones medidas concentró los puntos de la relación a valores inferiores a $4 \text{ mmol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ y -1°C (Fig. 3.207).

En las tres especies la transpiración se relacionó con la pérdida de agua por el tiesto de forma lineal positiva y estrecha durante todo el día, En OR, a pesar de que la tasa transpiratoria fué mayor, la pendiente de la relación fué menor (Fig. 3.209).

3.3.6. SEXTO CICLO DIARIO (AGOSTO)

Esta medida se realizó en agosto al cabo de un mes del repicado y una semana antes del primer corte de esquejes del 2º ciclo productivo. Las plantas se encontraban en la fase de crecimiento rápido y tenían un LAI inferior a 1.

La cantidad de riego durante esta época fué de 120 cm³ planta-día-1. El déficit de saturación del tiesto (DST) al inicio del día fué de 384 g en OR, 268 g en FL y 563 g en OL. El consumo de agua aproximado durante el día fué de 137 g en OR, 207 g en FL y 97 g en OL.

El día fué despejado y tuvo una duración de 14 horas, la irradiancia en el interior del invernadero alcanzó los 600 $\mu\text{E m}^{-2} \text{s}^{-1}$ al mediodía. La temperatura medida con el porómetro alcanzó los 33°C y el DPPV los 2 KPa hacia las 15 hs. La irradiancia siguió una dinámica simétrica mientras que la temperatura y el DPPV mostraron una cierta asimetría mañana tarde. La extinción de la cubierta para este día tuvo un valor medio de 55 %.

La temperatura del substrato en la parte central pasó de 23°C al inicio del día a 30°C, 31°C y 33°C en OR, FL y OL respectivamente hacia las 15 hs. La temperatura en la parte profunda se mantuvo de 2-4°C por encima de la central durante toda la mañana. Hacia las 16 hs las dos temperaturas se igualaron (Fig. 3.142).

La radiación media incidente en la hoja siguió la misma dinámica que la radiación horizontal pero con valores algo inferiores.

La relación transpiración-irradiancia sobre la hoja (E/PAR) presentó una dinámica similar en las tres especies si exceptuamos el primer y último punto del día de baja irradiancia. En todas las curvas se produjo una disminución de este índice hacia el mediodía. En valores absolutos el índice se mantuvo en OR y FL entre 20-40 $\mu\text{mol } \mu\text{E}^{-1}$ y en OL entre 5-10 $\mu\text{mol } \mu\text{E}^{-1}$ (Fig. 3.210).

La pérdida de agua por tiesto a lo largo del día siguió una dinámica triangular-parabólica para las tres especies, con valores máximos de 18 g h⁻¹ para OR, 25 g h⁻¹ para FL y 12.5 g h⁻¹ para OL. La transpiración foliar siguió una dinámica parabólica con valores de hasta 10 mmol m⁻² s⁻¹ en el caso de OR y una disminución al mediodía, en FL se alcanzaron valores de hasta 9 mmol m⁻² s⁻¹ sin bajada de mediodía y en OL los valores fueron mucho menores no sobrepasando los 4 mmol m⁻² s⁻¹, con una ligera disminución al mediodía (Fig. 3.211).

El potencial hídrico de partida medido en oscuridad fue para OR de -0.26 ± 0.01 MPa, para FL de -0.14 ± 0.02 MPa y para OL de -0.37 ± 0.03 MPa. En los tres casos el potencial medio disminuyó paulatinamente hasta las 12 hs alcanzándose los -0.9 MPa OR y FL y los -1.0 MPa OL. A partir del mediodía las tendencias fueron distintas: en OR el potencial se mantuvo

hasta las 16 hs momento en el cual se recuperó rápidamente; en FL se inició ya una apreciable recuperación de potencial a partir del mediodía; y en OL el potencial continuó disminuyendo hasta las 16 hs en que se inició la recuperación. El potencial hídrico de recuperación en oscuridad fué de -0.44 ± 0.02 MPa para OR, de -0.28 ± 0.03 MPa para FL y de -0.52 ± 0.04 MPa para OL (Fig. 3.211).

La diferencia de temperatura hoja-aire siguió una dinámica de enfriamiento por la mañana, calentamiento o menor enfriamiento al mediodía y enfriamiento por la tarde. En el caso de OR y FL la temperatura de hoja se mantuvo durante todo el día entre $1-1.5^{\circ}\text{C}$ por debajo de la del aire. En OL la temperatura se mantuvo a tan solo 0.5°C por debajo de la del aire y al mediodía ambas temperaturas se igualaron. El GPPV siguió una dinámica parabólica ligeramente asimétrica, muy similar en los tres casos con valores superiores por la tarde. Los valores máximos fueron de 1.8 KPa (Fig. 3.212).

La conductancia estomática medida con el porómetro siguió en OR una dinámica con máximo a la mañana, ligero descenso al mediodía y no recuperación por la tarde, el valor máximo alcanzado estuvo alrededor de los $750 \text{ mmol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ (Fig. 1-4). En FL la curva fué parabólica con una bajada al mediodía y valores máximos de tarde similares a los de mañana alrededor de los $700 \text{ mmol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$. En OL la dinámica fué completamente asimétrica con valores máximos de mañana de

350 mmol m⁻² s⁻¹, valores de tarde de alrededor de 250 mmol m⁻² s⁻¹ y claro cierre al mediodía (Fig. 3.212).

Para OR la relación irradiancia foliar-transpiración mostró una fuerte correlación positiva, (a excepción de los pares de datos correspondientes al tercer muestreo con transpiraciones superiores a 12 mmol m⁻² s⁻¹ para irradiancias alrededor de 250 μ E m⁻² s⁻¹). Las máximas irradiancias medidas de 500 μ E m⁻² s⁻¹ corresponden a transpiraciones de 11 mmol m⁻² s⁻¹. En el caso de FL la relación fué idéntica a la anterior con la misma pendiente de relación irradiancia-transpiración pero sin ningún punto de muestreo que se apartara de la correlación general. En OL la correlación fué también positiva pero con menor pendiente, alcanzándose tan solo 4 mmol m⁻² s⁻¹ de transpiración para 500 μ E m⁻² s⁻¹. A partir de los 500 μ E m⁻² s⁻¹ la dispersión de datos aumentó con la aparición de valores de muy baja transpiración.

La relación irradiancia-conductancia presento en OR y FL una dinámica de saturación con fuerte aumento de la conductancia hasta los 400 μ E m⁻² s⁻¹ y una estabilización e incluso un pequeño descenso entre los 400-600 μ E m⁻² s⁻¹. Los valores máximos fueron de 800 mmol m⁻² s⁻¹ para ambas especies. En OR la dispersión de datos fué baja y no existió diferencia apreciable entre los pares de datos de mañana y de tarde. En FL tampoco existió diferencia mañana tarde pero sí una mayor dispersión de datos. En OL la dinámica, que

podríamos denominar de agotamiento, fué completamente distinta siendo más importante el efecto de la hora del día que el de la propia radiación. En la fase de mañana aumentos de radiación implicaron, en conjunto y a pesar de la dispersión de datos, una disminución clara de la conductancia que pasó de valores máximos hacia los $400 \text{ mmol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ a valores menores de $100 \text{ mmol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ a irradiancias de $600 \mu\text{E m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ (Fig. 3.213).

La relación de conductancias (exceptuando los valores correspondientes a bajas irradiancias, que muestran en todos los casos una alta dispersión de 0 a 6) se mantuvo constante alrededor de 2 en OR y FL, para todas las irradiancias medidas, con una dispersión moderada. En OL los valores medios se mantuvieron algo por debajo de 2 si bien la dispersión de datos fué mayor sobre todo a las mayores irradiancias (Figs. 3.214, 3.216).

La dinámica de la relación irradiancia-potencial hídrico fue distinta para las tres especies. En OR y FL el aumento de la irradiancia produjo una bajada paulatina y proporcional del potencial, alcanzándose en ambas especies valores mínimos medios próximos a -0.9 MPa para irradiancias de $500 \mu\text{E m}^{-2} \text{ s}^{-1}$. En OR la relación por la tarde siguió una trayectoria distinta a la de la mañana indicativa de una dificultad en la recuperación del potencial hídrico. En FL el incremento de potencial por la tarde siguió exactamente el mismo camino que la bajada de mañana alcanzándose valores

finales de potencial próximos a los de partida. En OL el potencial partió de valores más negativo y su disminución con la irradiancia fue mayor a bajas luces, disminuyendo la pendiente de la relación al aumentar la irradiancia, los valores mínimos alcanzados fueron de -1.1 MPa. La disminución de la irradiancia a partir del mediodía no implicó una recuperación del potencial, como en las otras dos especies, sino que incluso continuó disminuyendo. Al momento de oscurecer los potenciales se mantuvieron todavía en valores de -0.7 MPa (Fig. 3.215).

Las máximas conductancias se obtuvieron en las tres especies a valores de GPPV entre $1-1.5$ KPa, entre $1.5-2$ KPa se observó una caída de la conductancia ligera en FL y acusada en OL (Fig. 3.217). Las mayores transpiraciones se alcanzaron para las tres especies a valores de 1.5 KPa, con valores máximos de $12 \text{ mmol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ para OR y FL y de $5 \text{ mmol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ para OL.

OR mostró una disminución de temperatura de hoja en relación a la del aire, mayor cuando mayor fué el GPPV. Para FL la mayor disminución se encontró a 1.5 KPa de GPPV y mayores GPPV coincidieron con un calentamiento relativo de la hoja. En OL la temperatura de hoja se mantuvo muy próxima a la del aire excepto a GPPV superiores a 1.5 KPa en que la temperatura de hoja sobrepasó a la del aire en 0.8°C (Fig. 3.218).

En las tres especies estudiadas se observó una fuerte correlación entre la transpiración y la diferencia de temperatura hoja-aire. Para el mismo valor de transpiración el enfriamiento producido en la hoja fué distinto según la especie. En OR las mayores transpiraciones ($12 \text{ mmol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$) mantuvieron la temperatura de hoja 3°C por debajo de la del aire. En FL el máximo enfriamiento alcanzado (1.5°C por debajo del aire) no coincidió con el máximo de transpiración, produciéndose un calentamiento relativo a partir de los $8 \text{ mmol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ de transpiración. En OL la temperatura de hoja fué igual o superior a la del aire para transpiraciones por debajo de los $3 \text{ mmol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$, un aumento de la misma hasta valores de $6 \text{ mmol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ dió como resultado un enfriamiento de hasta 0.5°C (Figs. 3.219, 3.220).

La dinámica de la relación transpiración-potencial fué distinta para las tres especies. En OR y FL se produjo una disminución paulatina del potencial al aumentar la transpiración y una recuperación por la tarde con mayores valores a igualdad de tasa transpiratoria. En FL además se produjo una disminución de la transpiración al mediodía que no representó aumento del potencial. En OL por el contrario el descenso fué más acusado a pesar de las menores tasas transpiratorias alcanzadas y la recuperación fué dificultosa con potenciales menores por la tarde (Fig. 3.221).

La relación entre la transpiración foliar y la pérdida de agua por el tiesto fué lineal y positiva en los tres casos a pesar de la dispersión de datos. FL presentó la relación con mayor pendiente y menor asimetría mañana-tarde. Por el contrario en OR y OL los valores de pérdida de agua por el tiesto fueron mayores por la tarde (Fig. 3.222).

Medidas de intercambio gaseoso con el equipo ADC

Los parámetros físicos, temperatura y humedad medidos con el equipo portátil ADC correlacionaron con los medidos por el porómetro LI-COR, si bien con unos desfases sistemáticos característicos que se discuten en el apartado (4.4.1.).

En cuanto a la fotosíntesis neta tanto OR como FL describieron una curva parabólica a lo largo del día siguiendo la de la irradiancia foliar, con valores máximos de $11 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ y $9 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ respectivamente. Por el contrario OL siguió una dinámica trapezoidal con valores máximos entre $5\text{-}6 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$. La conductancia residual siguió para cada planta la misma dinámica que su correspondiente fotosíntesis neta con valores máximos de 50, 40 y $25 \text{mmol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ para OR, FL y OL respectivamente (Fig. 3.223).

En OR la eficiencia en el uso de la irradiancia (QU) se mantuvo prácticamente constante durante todo el día, con una ligera pendiente de descenso, en valores de entre

0.024-0.020 $\mu\text{mol } \mu\text{E}^{-1}$ (la bajada en la tercera medida se debió al hecho de haber muestreado una hoja que recibía irradiación directa a través de las ventanas de cumbrera) (Fig. 7-1) (Fig. 9-4). En FL los valores de (QU) fueron también relativamente constantes entre 0.018 $\mu\text{mol } \mu\text{E}^{-1}$ y 0.021 $\mu\text{mol } \mu\text{E}^{-1}$ con una ligera tendencia a la baja y con una disminución hacia el mediodía. En OL los valores fueron mucho más variables con máximos de 0.019 por la mañana, una fuerte disminución hacia el mediodía hasta valores de 0.008 $\mu\text{mol } \mu\text{E}^{-1}$ y un aumento por la tarde hasta 0.015 $\mu\text{mol } \mu\text{E}^{-1}$ (Figs. 3.225, 3.230).

La dinámica de la transpiración en OR, medida con el ADC, fué muy similar a la medida con el LI-COR, al igual que la conductancia, si bien con valores inferiores en un 20%. La temperatura de hoja estimada con el ADC se mantuvo todo el día por debajo de la del aire, 3°C en OR y FL y de 1.5°C a 2°C en OL (Fig. 3.224).

En FL apareció en la curva de transpiración un cierre del mediodía no reflejado en las medidas realizadas con el porómetro (Fig. 3.225). En OL tanto la dinámica como los valores de la transpiración y de la conductancia fueron muy similares en ambos aparatos.

La eficiencia hídrica (WUE) para OR, a excepción del primer punto de muestreo en que alcanzó valores superiores a 10 $\mu\text{molCO}_2 \text{ mmol}^{-1}\text{H}_2\text{O}$, se mantuvo durante todo el día entre 1-2 $\mu\text{molCO}_2 \text{ mmol}^{-1}\text{H}_2\text{O}$, con un pequeño aumento al mediodía y una

ligera tendencia general a disminuir a lo largo del día. En FL el punto inicial fué superior a $5 \mu\text{molCO}_2 \text{ mmol}^{-1}\text{H}_2\text{O}$ y la tendencia durante al día fué similar, si bien con valores de eficiencia algo superiores. En el caso de OL el primer punto no mostró un WUE especialmente alto y la tónica general fué bastante estable a lo largo del día con valores de alrededor de $1.5 \mu\text{molCO}_2 \text{ mmol}^{-1}\text{H}_2\text{O}$ (Fig. 3.225, 3.228). Los altos valores de eficiencia en el primer punto coincidieron con los alta concentración de CO_2 intercelular en este mismo período (Fig. 3.241).

La curva de respuesta fotosintética a la irradiancia en OR siguió una presumible dinámica de saturación si bien las irradiancias de hoja (a excepción de un punto a $1100 \mu\text{E m}^{-2} \text{ s}^{-1}$) no superaron los $600 \mu\text{E m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ por lo que todos los puntos medidos pertenecieron al primer tramo aproximadamente lineal de la curva, y únicamente a irradiancias entre 400 y $600 \mu\text{E m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ se observó el inicio de la curvatura de saturación. La tasa fotosintética correspondiente a la irradiancia de $1100 \mu\text{E m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ fué de $16 \mu\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$, valor muy superior al resto de los medidos durante el día (Fig. 3.226). En FL las tasas de fotosíntesis siguieron de forma estrecha la primera parte de una curva de saturación con un apreciable grado de curvatura. En el caso de OL se observó una gran dispersión en las tasas fotosintéticas a las irradiancias máximas medidas, lo que acentuó, sobretudo a nivel de los valores medios, la clara

dinámica de saturación. En valores individuales se hallaron tasas de hasta $9 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ (Fig. 3.226).

En OR la conductancia estomática siguió con la irradiancia una relación de saturación con reducción brusca de la conductancia a las máximas irradiancias y menores valores por la tarde. En FL y OR la relación fué similar si bien la caída fué reversible alcanzándose los óptimos valores de conductancia a irradiancias inferiores a los $500 \mu\text{E m}^{-2} \text{s}^{-1}$. En FL, al contrario que en OR y OL, las máximas conductancias se alcanzaron por la tarde (Fig. 3.227).

En OR el valor de la relación C_i/C_o en OR disminuyó al aumentar la irradiancia desde valores de 93% a 88%. Por la tarde el valor aumento al disminuir la irradiancia desde valores de 83% a 91%. En FL los valores se mantuvieron durante la mayor parte del día alrededor de 90% a excepción del rango de bajas luces en que tomó valores próximos a 100% y de la zona de altas luces al mediodía en que bajó de 83%. Los valores de tarde coincidieron exactamente con los de mañana. Para OL la relación C_i/C_o siguió una dinámica parecida a la de OR con asimetría mañana-tarde y con mayor dispersión de datos, entre 80% y 95% (Fig. 3.229).

La concentración de CO_2 intercelular en OR siguió una correlación negativa respecto a la irradiancia foliar incluido el punto de $1100 \mu\text{E m}^{-2} \text{s}^{-1}$. En las otras dos especies la dinámica fué similar. En todos los casos el primer punto presento valores superiores a 400 vpm como

resultado del elevado CO₂ existente en el invernadero (Fig. 3.223) en el momento de la medida. Igualmente en las tres especies el último punto de medida mostró un CO₂ intercelular superior al esperado por la correlación del resto de los puntos del día.

Los valores de GPPV máximos alcanzados por las tres especies fueron distintos. La relación del GPPV con la fotosíntesis y con la conductancia estomática mostraron una fuerte asimetría mañana tarde (Figs. 3.231, 3.232), mientras que en su relación con la eficiencia hídrica la asimetría fué mucho menor (Fig. 3.233).

En OR la relación GPPV-conductancia mostró un cambio brusco a valores de 1.6 KPa hallándose en este valor los cuatro puntos de mayor conductancia, a la vez que un grupo denso de datos, en valores de conductancia del 50-60% de los anteriores. En FL la relación fué lineal y positiva durante la mañana, al mediodía la conductancia se redujo de forma totalmente reversible al disminuir el GPPV, mientras que por la tarde la disminución de GPPV comportó una mayor reducción relativa de la conductancia. En OL a partir de los 1.4 KPa se produjo una fuerte disminución de conductancia en función del aumento de gradiente que se mostró reversible (Fig. 3.232).

A excepción del primer y último punto de baja iluminación, el CO₂ intercelular se mantuvo para las tres especies básicamente insensible a la conductancia (Fig. 3.240).

En las tres especies la concentración de CO₂ intercelular (excluyendo los puntos de la primera medida con alta concentración de CO₂ atmosférico) disminuyó de forma perfectamente lineal en función de la tasa de fotosíntesis neta, desde valores de 325 vpm hasta 270 vpm, si bien OL presentó mayor dispersión de datos (Fig. 3.239). Una dinámica absolutamente similar se observó en la relación con la conductancia residual.

En todos los casos, menor concentración de CO₂ intercelular correlacionó con mayor eficiencia hídrica (exceptuando el primer punto de alto CO₂ atmosférico) (Fig. 3.241).

La relación de la temperatura de hoja con la fotosíntesis y la conductancia fué lineal y positiva y mostró cierta histéresis (más acusada en OR y OL con temperaturas de hoja más elevadas por la tarde. En OR y FL la máxima temperatura alcanzada fué de 31°C coincidiendo con una disminución de la conductancia, por el contrario en OL el cierre estomático fué más pronunciado y dió como resultado temperaturas de hoja próximas a 35°C (Figs. 3.234, 3.235).

Las relaciones de la eficiencia hídrica con la temperatura de hoja (Fig. 3.236) y con el gradiente (Fig. 3.233) fueron idénticas, mostrando una dinámica quebrada (en relación a los cambios de conductancia estomática) y reversible. A excepción del primer punto de muestreo (con alta concentración de CO₂ atmosférico) y del

último, las relaciones fueron totalmente reversibles en OR y OL, mientras que en FL los valores de tarde fueron inferiores. En OR y FL el GPPV disminuyó al mediodía aumentando el WUE y la temperatura de hoja, en OL la temperatura de hoja también aumento al mediodía si bien por el contrario el GPPV aumentó y el WUE se mantuvo constante. en las tres especies estas distintas relaciones fueron a consecuencia de una disminución de la conductancia (Fig. 3.235).

En OR la relación de la fotosíntesis con la conductancia estomática siguió una dinámica de saturación, con conductancias máximas de $600 \text{ mmol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ a tasas fotosintéticas de $9 \text{ } \mu\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$. Al mediodía la conductancia se redujo en un 30% si bien la tasa continuó aumentando hasta alcanzarse valores próximos a $12 \text{ } \mu\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$. Por la tarde la relación se mantuvo en valores más bajos mostrando una considerable histéresis. En FL y OL la relación lineal y positiva si bien con mucha dispersión de datos. La reducción de conductancia al mediodía no comportó variación de la fotosíntesis en FL, mientras que en OL la tasa se redujo de forma totalmente reversible. Ambas especies mostraron clara histéresis en la relación, dándose en FL mayores conductancias por la tarde (Fig. 3.237).

En las tres especies la relación de la fotosíntesis con la conductancia estomática fué estrecha y curvilínea escapando de la misma el primer punto de muestreo en OR y FL

con mayor tasa fotosintética a igualdad de conductancia residual (debido a las mayores concentraciones de CO₂ atmosférico en aquella medida) y el punto del mediodía en OL con menor tasa a igualdad de conductancia residual (por limitación estomática) Fig. 3.238).

3.3.7. SEPTIMO CICLO DIARIO (NOVIEMBRE)

El deficit de saturación del tiesto al inicio del día fué de 676 g en OR, 486 g en FL y 494 g en OL. El consumo de agua aproximado durante el día fué de 41 g en OR, 39 g en FL y 33 g en OL. A las 11.30 hs, entre el tercer y cuarto muestreo, se aplicó a OR un riego de 150 cm³ por tiesto. En aquella época la dosis diaria de riego era de 60 cm³ por planta. El LAI para las tres variedades fue de alrededor de 2.

El día tuvo una duración de diez horas y fué despejado, alcanzándose en el interior irradiancias próximas a 500 $\mu\text{E m}^{-2} \text{s}^{-1}$ al mediodía. El DPPV fué bajo alcanzando escasamente -1 KPa al mediodía. La temperatura del aire dentro del invernadero se mantuvo relativamente constante durante todo el día alrededor de 23°C a excepción del inicio de la mañana en que fué de 18°C (Fig. 3.143).

Para las tres variedades el clima medido con el LI-COR siguió la tónica del día con valores algo menores en la irradiancia horizontal. La temperatura del substrato en la parte central pasó de valores de 13°C a 19°C con una ascensión lenta a lo largo de todo el día. La temperatura profunda se mantuvo de 2-3°C por encima de la central para igualarse al atardecer.

La irradiancia foliar siguió la dinámica de la irradiancia horizontal con valores algo más elevados debido a la orientación algo inclinada de las hojas alcanzándose

valores durante la mayor parte del día entre 400-600 $\mu\text{E m}^{-2} \text{s}^{-1}$. La relación transpiración-irradiancia foliar (E/PAR) se mantuvo durante todo el día y para las tres especies en valores entre 5-10 $\mu\text{mol uE}^{-1}$ (Fig. 3.242).

La pérdida de agua por tiesto siguió una dinámica trapezoidal en OR con valores máximos de 7 g h^{-1} , y parabólica en FL y OL alcanzándose valores máximos al mediodía de 6 g h^{-1} . Para OR la transpiración foliar presentó también una dinámica trapezoidal con valores máximos de 2 $\text{mmol m}^{-2} \text{s}^{-1}$. En FL la dinámica fué parabólica con valores máximos de 3.5 $\text{mmol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ al mediodía y en OL la transpiración foliar alcanzó un máximo de 4 $\text{mmol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ por la mañana para mantenerse a partir de entonces en valores de 2 $\text{mmol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ (Fig. 3.243).

La relación de conductancias envés-haz varió de forma muy marcada a lo largo del día en OR pasando de valores de 6 por la mañana a valores entre 3 y 4 en la parte central del día para volver a alcanzar valores superiores a 6 en el último punto del día (Fig. 3.242). En FL por el contrario los valores medios se mantuvieron restringidos entre 2 y 3. En OL, tras una disminución paulatina de valores de 3 a valores de 1, se produjo un brusco incremento hasta valores de 5 no justificable por un cambio en la irradiancia foliar.

El potencial hídrico de hoja de partida fué de -0.35 MPa en OR, -0.07 MPa en FL y -0.31 MPa en OL. A lo largo del día el potencial de OR disminuyó suavemente hasta alcanzar los

-0.6 MPa al mediodía para recuperarse con mayor pendiente al atardecer. En FL la curva de potencial fué mucho más suave alcanzándose tan solo los -0.4 MPa en la parte central del día con una recuperación con pendiente equivalente a la de descenso. En OL el descenso fué más pronunciado para alcanzar el valor mínimo de -0.6 MPa hacia las 10 hs, momento a partir del cual inició una lenta recuperación. Los valores de recuperación de noche fueron de -0.31 MPa en OR, -0.1 MPa en FL y -0.28 MPa en OL (Fig. 3.243).

Las diferencias de temperatura hoja-aire fueron mínimas a lo largo de todo el día considerando los valores medios. En valores individuales OR osciló entre unas pocas décimas por debajo a 1°C por encima, FL osciló entre 1°C por debajo y 1.5°C por encima y OL entre 0°C y 1°C por encima, si bien en OR y FL la mayoría de los puntos se mantuvieron igual o por debajo de la del aire al contrario de lo que sucedió en OL (Figs. 3.244, 3.250).

En OR la conductancia estomática siguió una tendencia bimodal con máximo por la mañana de 300 mmol m⁻² s⁻¹, cierre al mediodía a valores de 200 mmol m⁻² s⁻¹ y ligera recuperación por la tarde propiciada posiblemente por las mayores irradiancias foliares en este momento. En FL la dinámica fué unimodal con conductancia máxima por la mañana de alrededor de 400 mmol m⁻² s⁻¹. En OL la dinámica fué idéntica a la de OR si bien con máximos por la mañana de 350 mmol m⁻² s⁻¹ (Fig. 3.244).

En OR tanto la transpiración como la conductancia mostraron una gran dispersión en función de la irradiancia foliar en el rango de 100 a 400 $\mu\text{E m}^{-2} \text{s}^{-1}$. Los máximos valores individuales fueron de 4 $\text{mmol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ y 400 $\text{mmol m}^{-2} \text{s}^{-1}$. A irradiancias superiores a los 400 $\mu\text{E m}^{-2} \text{s}^{-1}$ le correspondieron transpiraciones y conductancias inferiores a las máximas del orden de 2 $\text{mmol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ y 200 $\text{mmol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ respectivamente. En FL ambas relaciones mostraron también una gran dispersión de datos si bien con una correlación general positiva. En OL la mayoría de las irradiancias medidas tomaron valores entre 400 y 600 $\mu\text{E m}^{-2} \text{s}^{-1}$ y en esta zona se produjo, al igual que los otros dos casos, una gran dispersión en los valores de la conductancias y de la transpiración (Fig. 3.245).

En valores individuales la mayoría de valores de la relación de conductancias en OR se mantuvieron entre 3 y 4 para todas las irradiancias foliares medidas entre 100 y 1100 $\mu\text{E m}^{-2} \text{s}^{-1}$. A valores de irradiancia por debajo de los 400 $\mu\text{E m}^{-2} \text{s}^{-1}$ se encontraron también tanto mayores como menores valores de la WCRATI. En FL y OL la relación se mantuvo en forma de nube dispersa entre valores de 1 y 3 para irradiancias de 100 a 600 $\mu\text{E m}^{-2} \text{s}^{-1}$ (Figs. 3.246, 3.248).

La irradiancia foliar y el potencial se relacionaron lineal y negativamente si bien la pendiente de la relación fué muy suave debido al estrecho rango de potenciales medido (Fig. 3.247).

Aún dentro del estrecho margen de gradientes medidos, entre 0.03 KPa y 1.3 KPa, en OR se observó un efecto negativo de los mayores gradientes en la transpiración y en la conductancia, localizándose los máximos de transpiración y conductancia alrededor de 0.8-1 KPa (Fig. 3.249). Esta caída de transpiración y conductancia fué acompañada de una elevación de la temperatura de la hoja sobre la del aire a diferencia del resto de puntos del día en que se mantuvo algo por debajo (Fig. 3.250, 3.252).

En FL las mayores transpiraciones y conductancias se alcanzaron para valores de GPPV de 1 KPa. En esta misma zona existieron puntos de bajas transpiraciones y conductancias, si bien justificados por la disminución de irradiancia foliar (Fig. 3.249). En cuanto a la temperatura de hoja, a excepción de los puntos correspondientes al primer muestreo del día que estuvieron un poco por encima de la del aire, y dos puntos correspondientes a altas irradiancias foliares, que mostraron una temperatura de hoja de hasta 1°C por encima de la del aire, la mayoría de los puntos se mantuvieron entre 0-0.5°C por encima de la del aire (Fig. 3.250).

En OL la mayoría de los puntos fueron medidos entre 1-1.5 KPa de GPPV (Fig. 3.249). En esta zona se encontraron tanto altas como bajas transpiraciones y conductancias, no justificables por cambios en la irradiancia foliar dado que los puntos de baja transpiración correspondieron principalmente a la medida del mediodía. La mayoría de las

temperaturas de hoja fueron superiores a las del aire alcanzándose los mayores calentamientos en los mayores gradientes (Fig. 3.250).

En todas las especies la temperatura de hoja se mantuvo entre 22-23°C durante todo el día a excepción del primer punto de muestreo (Fig. 3.250).

En OR los pares de datos de la relación transpiración foliar-potencial se agruparon dentro de un estrecho rango. En FL y OL la relación fué más claramente lineal (Fig. 3.253).

La relación entre la transpiración y la pérdida de agua por el tiesto fué distinta para las tres especies. En OR fué estrecha, lineal positiva y totalmente reversible. En FL, a pesar de la mayor dispersión de datos también se observó una relación lineal si bien con mayor pérdida de agua por el tiesto por la tarde. En OL por el contrario, a excepción del primer punto, la pérdida de agua por el tiesto se mantuvo durante todo el día en valores de 5 g h⁻¹ para todo el rango de transpiraciones medido de 0-5 mmol m⁻² s⁻¹ (Fig. 3.254).

Medidas de intercambio de gases con el equipo ADC

En las medidas con el equipo ADC la dinámica de la conductancia fué idéntica a la del porómetro LI-COR si bien con valores ligeramente inferiores (Fig. 3.256).

La fotosíntesis en OR alcanzó máximos por la mañana de 8 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ seguido de un ligero descenso al mediodía y

una casi imperceptible recuperación por la tarde, en el caso de la conductancia residual los valores máximos coincidieron con los máximos de fotosíntesis de la mañana descendiendo paulatinamente hasta la tarde, no observándose descenso del mediodía en este parámetro. En FL la fotosíntesis alcanzó máximos por la mañana de $8 \mu\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ para disminuir de forma rápida durante todo el resto del día, la conductancia residual siguió una dinámica paralela a la fotosíntesis a excepción del primer punto con fotosíntesis proporcionalmente más alta. En OL la fotosíntesis alcanzó el valor máximo de $9 \mu\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ por la mañana para disminuir a valores de $7 \text{ mmol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ al mediodía y experimentar una ligera recuperación por la tarde, la conductancia residual siguió una dinámica prácticamente paralela (Fig. 3.255).

En OR la eficiencia hídrico (WUE) siguió una dinámica parabólica con máximo al mediodía de $2.5 \mu\text{mol mmol}^{-1}$ a excepción del primer punto que osciló en valores de $8 \mu\text{mol mmol}^{-1}$, coincidiendo con la mayor concentración de CO_2 atmosférico superior a los 400 ppm (Fig. 3.255). En FL el WUE alcanzó el valor máximo en el primer punto alrededor de $3 \mu\text{mol mmol}^{-1}$ para mantenerse durante todo el resto del día, con una tendencia a disminuir, desde 1.5 a $1 \mu\text{mol mmol}^{-1}$. En OL el WUE se mantuvo en valores de $2 \mu\text{mol mmol}^{-1}$ durante la parte central del día con un ligero aumento del mediodía, alcanzándose los valores máximos de $6 \mu\text{mol mmol}^{-1}$ en el primer muestreo del día (Fig. 3.257).

En OR la respuesta de la fotosíntesis a la irradiancia foliar, en el rango de irradiancias medidas hasta los 500 $\mu\text{E m}^{-2} \text{s}^{-1}$, fué lineal con una pendiente entre 0.020-0.024 $\mu\text{mol } \mu\text{E}^{-1}$, distorsionada por la alta eficiencia en el uso de la irradiancia (QU) de los primeros puntos medidos a alto CO_2 (Fig. 3.262), y una tendencia de los puntos de tarde a dar fotosíntesis ligeramente menores a los de mañana. En el caso de la conductancia residual existió también una tendencia lineal pero con menor dispersión de datos que en el caso anterior (Fig. 3.258).

En FL el rango de irradiancias foliares fué heterogéneo, con algunos puntos de medida entre 1000 $\mu\text{E m}^{-2} \text{s}^{-1}$ y 1300 $\mu\text{E m}^{-2} \text{s}^{-1}$, y sin medidas a irradiancias inferiores a los 200 $\mu\text{E m}^{-2} \text{s}^{-1}$, lo que unido a la importante asimetría mañana-tarde de la fotosíntesis dió como resultado una gran dispersión en la correlación entre la irradiancia y la fotosíntesis. La tasa superior registrada fué de 13.5 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ a 1300 $\mu\text{E m}^{-2} \text{s}^{-1}$ (Fig. 3.258). La eficiencia en el uso de la irradiancia osciló entre 0.01 y 0.02 $\mu\text{mol } \mu\text{E}^{-1}$ a excepción del primer muestreo (Fig. 3.262).

En OL tampoco existieron muestreos a bajas irradiancias. Entre 200 y 500 $\mu\text{E m}^{-2} \text{s}^{-1}$ existió una gran dispersión de datos tanto en tasas fotosintéticas como en conductancia residual, dependiente de una cierta asimetría mañana-tarde de la respuesta fotosintética así como de una elevada heterogeneidad en las hojas muestreadas (Fig. 3.258). La

eficiencia en el uso de la irradiancia se mantuvo entre 0.015 y 0.025 $\mu\text{mol } \mu\text{E}^{-1}$ a excepción del primer muestreo (Fig. 3.262).

En general la relación de la irradiancia foliar con la conductancia estomática se mostró muy dispersa en las tres variedades. En OR y OL a irradiancias iguales o superiores a los 500 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ los valores medios de conductancia disminuyeron (Fig. 3.259).

En OR la eficiencia hídrica (WUE) aumentó al aumentar la radiación si bien con dispersión de datos, de esta tónica escaparon los puntos del primer muestreo con muy alta eficiencia a baja irradiancia. En FL el WUE se mantuvo en valores de 1-1.5 $\mu\text{mol mmol}^{-1}$ a excepción del primer muestreo con valores superiores a 3 $\mu\text{mol mmol}^{-1}$, algunos puntos medidos a irradiancias superiores a 1000 $\mu\text{E m}^{-2} \text{s}^{-1}$ mostraron una eficiencia de alrededor de 2.5 $\mu\text{mol mmol}^{-1}$. En OL la eficiencia hídrica se mantuvo en valores comprendidos entre 1.5 y 3 $\mu\text{mol mmol}^{-1}$ con una tendencia a aumentar al aumentar la radiación, al igual que en las otras dos variedades, los puntos del primer muestreo dieron como resultado eficiencias hídricas entre 2 y 3 veces superiores a las del resto del día (Fig. 3.260).

La relación C_i/C_o en OR se mantuvo entre 80% y 90% incluidos los puntos del primer muestreo, a excepción de los puntos del mediodía en que la relación bajo y de los puntos del último muestreo, a baja irradiancia, en que la relación

subió; como tendencia general mayor irradiancia representó menor relación C_i/C_o . En FL la relación se mantuvo en valores entre 85% y 90%, los puntos medidos a muy alta irradiancia resultaron en índices alrededor de 80%, siendo, al igual que en el caso de OR, los puntos del último muestreo los que dieron los mayores valores. En OL la relación C_i/C_o se mantuvo entre 78% y 85% a excepción de unos pocos puntos por debajo de estos valores, la mayoría de los cuales correspondieron al mediodía (Fig. 3.261).

En OR el WUE aumentó al aumentar el GPPV hasta alcanzar los máximos valores para gradientes de 2 Kpa, sin tener en cuenta los puntos del primer muestreo (Fig. 3.265), a diferencia de lo que sucedió con la fotosíntesis que tuvo los máximos valores a 1.5 Kpa y disminuyó al alcanzarse el gradiente de 2 KPa (Fig. 3.263). Esta dinámica de la fotosíntesis se debió prioritariamente a la respuesta de la conductancia residual, y en segundo término al efecto limitante del estoma (Fig. 3.264). En FL y OL la relación del GPPV y el WUE también fué positiva si bien los puntos se concentraron en una nube debido a los menores rangos medidos y a la inexistencia del último punto de medida (Fig. 3.265). Por el contrario la relación del GPPV con la fotosíntesis y la conductancia en FL y OL fué muy dispersa dándose a los mayores gradientes medidos tanto los máximos como mínimos valores de los parámetros (Figs. 3.263, 3.264).

La temperatura se mantuvo entre 22-25°C la mayor parte del día, a excepción del primer punto de medida, con menores temperaturas en las tres especies, y del punto del mediodía en OR con mayores temperaturas. FL, a pesar de la dispersión de datos, presentó una relación lineal y positiva no observable en OL (Figs. 3.266, 3.267).

Exceptuando el primer punto de medida con altos valores de eficiencia hídrica, la relación de ésta con la temperatura de hoja fué estrecha, lineal y positiva en OR y FL y algo más dispersa en OL (Fig. 3.268).

La relación de la conductancia estomática con la fotosíntesis fué laxa en OR, con las máximas tasas fotosintéticas de 11-12 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ coincidiendo con conductancias de 350 $\text{mmol m}^{-2} \text{s}^{-1}$; la mayoría de los puntos estuvieron entre 5-8 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ de fotosíntesis y 150-300 $\text{mmol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ de conductancia con dos poblaciones divergentes una en el mismo rango de fotosíntesis pero con conductancias mucho menores (primer muestreo del día), y otra en el mismo rango de conductancias pero con menor fotosíntesis (último muestreo). En FL se cumplió la misma dinámica en la relación conductancia-fotosíntesis, si bien con valores algo más dispersos y mayor rango de conductancias. En OL la inexistencia de un último punto de medida a baja irradiancia simplificó la relación general entre la conductancia y la fotosíntesis, quedando reducida a una correlación positiva con gran dispersión (Fig. 3.269).

La conductancia residual se relacionó con la fotosíntesis de forma lineal positiva, para los tres casos, con un ligero aumento progresivo de la pendiente de la relación al aumentar la fotosíntesis. A esta tendencia general y común se escaparon en los tres casos los puntos pertenecientes al primer muestreo, que tuvieron mayores fotosíntesis de las que se esperaría en función de su conductancia residual. En el caso de los puntos de la medida del mediodía en OR y en algún punto disperso de los otras dos especies, la limitación estomática hizo que se obtuvieran medidas de fotosíntesis inferiores a las esperadas en función de la conductancia residual (Fig. 3.270).

En OR se dió una fuerte correlación negativa entre la fotosíntesis y el CO_2 intercelular (C_i), mayor fotosíntesis representó menor C_i en el rango de 250-300 ppm; valores de C_i que escaparon a esta correlación, con valores superiores, correspondieron a los puntos del primer muestreo, debido a alta concentración de CO_2 externo, que a pesar de las bajas conductancias existentes en aquel momento pudo penetrar al interior de la hoja; valores de C_i menores a los de la correlación fueron el resultado de la baja conductancia al mediodía que representó menores tasas fotosintéticas (Fig. 3.271).

En FL, al igual que en OR, se dió una clara correlación negativa entre el CO_2 intercelular y la fotosíntesis, disminuyendo el primero de 300 a 250 ppm al aumentar la

conductancia residual. De esta correlación solo escaparon los puntos de mañana, con mayores valores de C_i de los esperados según la correlación general, y algún punto esporádico con valores menores de los esperados (Fig. 3.271).

En OL la correlación básica entre el CO_2 intercelular y la fotosíntesis quedó desvirtuada por el hecho de no existir puntos de muestreo a bajas irradiancias, con lo que la mayoría de los puntos de C_i se encontraron en el rango de 220 a 250 ppm (Fig. 3.271).

En OR la disminución del CO_2 intercelular correlacionó muy estrechamente con un aumento de la eficiencia hídrica (WUE), siendo una de las correlaciones con la menor dispersión de datos encontrada. Solo los puntos medidos a alto CO_2 matinal se encuentran fuera de la población general, con valores de eficiencia de 2-3 veces por encima de ésta, si bien siguiendo la misma tendencia, dentro de su escala, de mayor eficiencia hídrica a menor CO_2 (Fig. 3.273).

En FL se observó también la alta correlación entre el CO_2 intercelular y el WUE dividida en dos poblaciones, la del primer muestreo del día con mayores eficiencias hídricas y la de la mayor parte del día en la que se insinúa una cierta estabilización de los valores del WUE a los menores valores de C_i (Fig. 3.273). La gran correlación del C_i con el WUE se dió dentro de la gran dispersión de valores de la conductancia estomática (Fig. 3.272).

En el caso de la eficiencia hídrica en OL los resultados fueron idénticos a los de las otras dos especies, tanto en la tendencia general como en la pendiente entre la concentración de CO₂ intercelular y el WUE (Fig. 3.273), y al igual que en el caso de FL a pesar de la gran dispersión de valores de conductancia estomática (Fig. 3.272).

3.3.8. OCTAVO CICLO DIARIO (FEBRERO)

Esta medida se realizó a los siete meses de iniciarse el 2º ciclo productivo. Las plantas presentaban un buen estado de desarrollo si bien en FL se acusaba cierta falta de riego y ligero ataque de hongos.

Al inicio del día el déficit de saturación del substrato fué de 578 g en OR, 602 g en FL y 485 g en OL. El consumo de agua durante el día fué de 53 g en OR, 66 g en FL y 55 g en OL. Por aquella época se mantenía una frecuencia de riego de 75 cm³ por día.

El día tuvo una duración de once horas y amaneció cubierto, despejando alrededor de las 9 hs y quedando nubosidad variable el resto del día. Los valores máximos de irradiancia en el invernadero fueron de 700 $\mu\text{E m}^{-2} \text{s}^{-1}$. La temperatura del aire partió de 17°C, aumentó suavemente, se mantuvo fluctuando alrededor de 25°C en la parte central del día y descendió lentamente a partir de las 16 hs. La temperatura del substrato en la parte central partió también de 17°C y fué aumentando lentamente a lo largo de todo el día hasta alcanzarse a las 16 hs los valores máximos de 26°C. La temperatura de la parte profunda aumentó en relación a la de la parte central a partir de las 10 hs, alcanzándose las máximas diferencias de 6°C a las 14 hs y enfriándose posteriormente por debajo de la central. El DPPV se mantuvo en -0.5 KPa hasta las 10 hs en que descendió bruscamente hasta -2 KPa, valor en que se mantuvo hasta el mediodía en

que el DPPV empezó a ascender lentamente hasta alcanzar -1 KPa (Fig. 3.144).

La irradiancia foliar siguió una dinámica distinta en las tres especies como consecuencia de la nubosidad variable. La dinámica fué parabólica en OR con valores máximos de 750 $\mu\text{E m}^{-2} \text{s}^{-1}$ por la mañana, trapezoidal asimétrica en FL con máximos de 700 $\mu\text{E m}^{-2} \text{s}^{-1}$ y triangular en OL con máximos al mediodía de 1000 $\mu\text{E m}^{-2} \text{s}^{-1}$. El índice E/PAR se mantuvo prácticamente constante en las tres especies en valores próximos a 7 $\mu\text{mol } \mu\text{E}^{-1}$ en OR y FL y próximos a 5 $\mu\text{mol } \mu\text{E}^{-1}$ en OL (Fig. 3.274).

La relación de conductancias en OR fluctuó alrededor de 5, en FL se mantuvo prácticamente constante en 1.5 y en OL paso de 2.7 a 2 valor en el que permaneció el resto del día (Figs. 3.274, 3.280).

La pérdida de agua por el tiesto siguió una dinámica trapezoidal con valores máximos al mediodía de 9.5, 12.5 y 10 g h^{-1} en OR, FL y OL respectivamente. En OR la dinámica de la transpiración fué similar a la de la pérdida de agua por el tiesto, con valores máximos de 4 $\text{mmol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ al mediodía. En FL y OL la dinámica fué triangular asimétrica, los valores máximos de 3 y 4 $\text{mmol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ respectivamente se alcanzaron antes del mediodía iniciándose posteriormente un descenso paulatino de la tasa (Fig. 3.275).

El potencial hídrico siguió dinámicas distintas en las tres especies durante el día si bien el rango de valores medidos fué similar. En OR y FL se produjo un descenso paulatino del potencial hasta alcanzarse al mediodía los valores mínimos de -0.8 MPa y -0.6 MPa, a partir de los cuales se inició una recuperación lenta del potencial en OR y rápida en FL. En OL por el contrario el descenso de potencial fué rápido iniciándose ya la recuperación antes del mediodía (Fig. 3.275).

La conductancia siguió muy de cerca la dinámica de la transpiración en las tres especies si bien en este caso los valores máximos (320 mmol m^{-2} s^{-1} en OR, 350 mmol m^{-2} s^{-1} en FL y 230 mmol m^{-2} s^{-1} en OL) se alcanzaron antes del mediodía. En las tres especies el GPPV describió una dinámica parabólica a lo largo del día de la que escapó el 2º punto de medida en OR en que los valores fueron inferiores; los valores máximos próximos a -1.5 KPa se alcanzaron cerca del mediodía (Fig. 3.276).

En OR la diferencia de temperatura hoja-aire siguió una dinámica de ligero calentamiento por la mañana y enfriamiento por la tarde. En FL la temperatura de hoja se mantuvo prácticamente igual a la del aire a excepción del mediodía en que se calentó unas décimas. Por el contrario en OL la temperatura de hoja se mantuvo todo el día por encima de la del aire con calentamiento al mediodía (Fig. 3.276).

En OR la relación de la conductancia con la irradiancia fué estrecha, lineal y positiva con valores individuales máximos de $500 \text{ mmol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ a irradiancias próximas a $1000 \mu\text{E m}^{-2} \text{ s}^{-1}$. En FL la relación también fué lineal, a pesar de la mayor dispersión de datos y los menores rangos de irradiancia medidos; las conductancias máximas de $350 \text{ mmol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ se alcanzaron a los $500 \mu\text{E m}^{-2} \text{ s}^{-1}$, por la tarde los valores de conductancia disminuyeron notablemente presentando la relación una fuerte asimetría mañana-tarde. En OL la relación fué también lineal si bien con menor pendiente, las conductancias máximas de $250 \text{ mmol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ (alcanzadas a los $750 \mu\text{E m}^{-2} \text{ s}^{-1}$) se redujeron de forma brusca e irreversible en un 30% produciéndose una fuerte discontinuidad en la relación y asimetría mañana-tarde (Fig. 3.277).

En OR la relación entre la irradiancia foliar y la relación de conductancias se presentó muy dispersa y siguiendo una dinámica peculiar, disminuyó de 5 a 3 al aumentar la irradiancia, aumento de nuevo a 5 a irradiancia máxima constante y disminuyó por la tarde de 5 a 3. En FL por el contrario la relación fué menos dispersa manteniéndose la relación de conductancias en valores de 1.5-2 a todas las irradiancias. En OL a pesar de la gran dispersión de datos, la relación de conductancias en valores medios disminuyó de 3 a 1.5 siguiendo una relación lineal, negativa y reversible con la irradiancia (a excepción del último punto con menores valores) (Fig. 3.278).

La relación entre la irradiancia y el potencial hídrico fué lineal y negativa con aparente histéresis en OR y FL. En las tres especies el potencial disminuyó al aumentar la irradiancia de 0-700 $\mu\text{E m}^{-2} \text{s}^{-1}$, recuperando posteriormente de forma lenta en OR y rápida en FL. En OL una vez alcanzados los potenciales mínimos, estos valores se mantuvieron independientemente del posterior aumento o disminución de la irradiancia (Fig. 3.279).

En las tres especies la relación del GPPV con la conductancia siguió una dinámica discontinua con marcada asimetría mañana-tarde. El segundo muestreo se realizó en un momento de aumento del DPPV en el invernadero lo que dió como resultado distintos valores de GPPV en las tres especies, menores en la primera planta muestreada (OR) y mayores en la última (OL). En OR los valores máximos de conductancia de 320 $\text{mmol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ se alcanzaron a los 0.8 KPa, a valores de GPPV próximos a 1.5 KPa la conductancia se redujo algo por debajo de 200 $\text{mmol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ y permaneció en estos valores el resto del día. En FL y OL los máximos de conductancia de 350 $\text{mmol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ y 200 $\text{mmol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ se alcanzaron a 1.2 KPa y 1.5 KPa respectivamente, sufriendo ambas especies una posterior reducción de la conductancia del 50% al aumentar el GPPV (Fig. 3.281).

Tanto al aumentar el GPPV como la transpiración la temperatura de hoja en OR se enfrió en relación a la del aire hasta -0.7°C . En FL las temperaturas se mantuvieron iguales,

a excepción de los últimos puntos (medidos a los máximos gradientes) en que se produjo un ligero calentamiento de la hoja, relacionado con una reducción de la conductancia estomática (Fig. 3.281). En OL la temperatura de hoja se mantuvo por encima de la del aire todo el día, alcanzándose la diferencia máxima de 1°C a los mayores gradientes (Figs. 3.282, 3.284).

La temperatura de hoja fluctuó entre $20-25^{\circ}\text{C}$ a lo largo del día en las tres especies a excepción del primer punto de muestreo en que fueron de 17°C (Fig. 3.283).

La relación de la transpiración con el potencial fué lineal y negativa en los tres casos. En OR la relación fué reversible dándose los menores potenciales a las máximas tasas transpiratorias. En FL la relación fue asimétrica y los menores potenciales coincidieron con valores intermedios de la transpiración. En OL al igual que en OR los potenciales mínimos se alcanzaron a las máximas tasas transpiratorias, pero la recuperación fué más lenta (Fig. 3.285).

La relación entre la transpiración foliar y la pérdida de agua por el tiesto fué lineal y positiva en las tres especies. En OR la relación fué prácticamente reversible y con poca dispersión de datos. Por el contrario FL y OL presentaron una marcada asimetría a las mayores tasas con valores de pérdida de agua por el tiesto superiores por la tarde (Fig. 3.286).

Medidas de intercambio gaseoso con el equipo ADC

A lo largo del día la fotosíntesis siguió muy de cerca a la irradiancia (a excepción del segundo punto de muestreo en OL en que dió tasas superiores). La dinámica fué triangular en OR con tasas máximas de $11.3 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ y trapezoidal en FL y OL con valores máximos antes del mediodía de 10.3 y 10.7 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ respectivamente. La conductancia residual alcanzó los valores máximos de 60, 48 y 62 $\text{mmol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ en OR, FL y OL respectivamente y siguió estrechamente a la fotosíntesis a lo largo del día, a excepción del tercer muestreo en OL en el que la fotosíntesis disminuyó a pesar de producirse un aumento de la conductancia residual, lo que indicó limitación estomática (Fig. 3.287).

Los valores de conductancia estomática estimados con el ADC fueron en OL idénticos a los medidos por el LI-COR y en OR y FL un 20% superiores. Los valores de GPPV estimados a partir del ADC fueron inferiores a los del LI-COR con valores máximos próximos a 2 KPa en las tres especies. La temperatura de hoja estimada en las medidas del ADC se mantuvo todo el día por debajo de la del aire, las diferencias fueron por término medio de -1°C , -1.4°C y -0.8°C en OR, FL y OL respectivamente (Fig. 3.288).

La eficiencia hídrica en OR en las dos primeras medidas alcanzó valores de 3 a 5 $\mu\text{mol mmol}^{-1}$ y se mantuvo constante el resto del día en valores de 2 $\mu\text{mol mmol}^{-1}$, por el contrario en FL el WUE fué aumentando a lo largo del día

desde 0.8 a 2.5 $\mu\text{mol mmol}^{-1}$ escapando de la dinámica general el segundo punto con valores superiores, en OL la dinámica fué parabólica con valores mínimos de 2 $\mu\text{mol mmol}^{-1}$ y máximos de 3.3 $\mu\text{mol mmol}^{-1}$ al mediodía (Fig. 3.289).

En OR la eficiencia en el uso de la irradiancia siguió una dinámica ascendente a lo largo del día desde 0.017 a 0.023 $\mu\text{mol CO}_2 \mu\text{mol}^{-1} \text{ Q}$ incidente a excepción del primer punto de muestreo en que el QU fué de 0.033 $\mu\text{mol CO}_2 \mu\text{mol}^{-1} \text{ Q}$ incidente. En FL el QU fluctuó a lo largo del día entre 0.016 y 0.025 $\mu\text{mol CO}_2 \mu\text{mol}^{-1} \text{ Q}$ incidente. En OL el QU siguió una dinámica parabólica con máximos de 0.037 y 0.026 $\mu\text{mol CO}_2 \mu\text{mol}^{-1} \text{ Q}$ incidente al inicio y final del día y mínimos de 0.021 $\mu\text{mol CO}_2 \mu\text{mol}^{-1} \text{ Q}$ incidente al mediodía (Fig. 3.289).

En OR la respuesta de la fotosíntesis a la irradiancia siguió una supuesta dinámica de saturación que se insinuó por algunos puntos medidos a irradiancias superiores a los 1000 $\mu\text{E m}^{-2} \text{ s}^{-1}$. En FL por el contrario, al no superar las irradiancias medidas los 650 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$, todos los puntos muestreados correspondieron a la zona lineal de la curva no observándose la dinámica de saturación pero sí una marcada asimetría de la relación a las máximas irradiancias con tasas un 25% inferiores por la tarde. En OL la curva de respuesta fué claramente de saturación alcanzándose ésta alrededor de los 600 $\mu\text{E m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ (Fig. 3.290).

La conductancia estomática siguió en las tres especies una relación lineal y positiva con la irradiancia si bien con pendientes muy distintas (casi nula en OL). Entre el segundo y el tercer punto de muestreo se produjo una discontinuidad en la relación con reducción de la conductancia media en un 20% en OR y OL y un 50% en FL, quedando los valores de tarde inferiores a los de la mañana (Fig. 3.291).

En OR la relación entre la irradiancia y la eficiencia hídrica presentó al inicio una relación lineal y positiva con altos valores de WUE que se vió bruscamente truncada al llegar a $650 \mu\text{E m}^{-2} \text{s}^{-1}$, disminuyendo la eficiencia a $2 \mu\text{mol mmol}^{-1}$ valores en los que permaneció durante el descenso de irradiancia. En FL la relación al inicio también fué lineal y positiva pero a irradiancias superiores a $450 \mu\text{E m}^{-2} \text{s}^{-1}$ se produjo una disminución del WUE iniciándose una nueva relación lineal negativa que se mantuvo durante el resto del día. En OL la relación fué lineal, positiva y estrecha durante el aumento de irradiancia alcanzándose el valor máximo de $3.3 \mu\text{mol mmol}^{-1}$ a los $1000 \mu\text{E m}^{-2} \text{s}^{-1}$ que se mantuvo durante el descenso hasta alcanzarse los $500 \mu\text{E m}^{-2} \text{s}^{-1}$ en que empezó a descender la eficiencia hídrica hasta los valores mínimos de partida (Fig. 3.292).

La relación de la irradiancia con el C_i/C_o fué en general, en las tres especies, lineal, negativa y asimétrica con menores valores por la tarde, si bien la dinámica en cada planta fué distinta debido principalmente a los diferencias

en la irradiancia máxima alcanzada. En OR se produjo una discontinuidad en la relación al alcanzarse las máximas irradiancias (entre el segundo y tercer muestreo) disminuyéndose el C_i/C_o de 83% a 75% e estableciéndose una nueva relación paralela a la anterior pero con menores valores de C_i/C_o . En FL la pendiente de la relación fué mayor, alcanzándose a los $500 \mu E m^{-2} s^{-1}$ los valores mínimos de 80% que prácticamente no recuperaron durante el descenso de la irradiancia. En OL el C_i/C_o se estabilizó en valores mínimos de 70% a irradiancias superiores a los $750 \mu E m^{-2} s^{-1}$ y aumentó de nuevo al alcanzarse los $500 \mu E m^{-2} s^{-1}$ durante la tarde (Fig. 3.293).

En las tres variedades la relación entre la irradiancia y el QU mostró una considerable dispersión de datos sobretodo en los puntos correspondientes a la primera medida del día. En OR la relación fué lineal y negativa si bien con distinta pendiente durante la subida y la bajada de irradiancia. En FL la dinámica de la relación fué peculiar, el QU aumentó de 0.02 a $0.026 \mu mol CO_2 \mu mol^{-1} Q$ incidente al aumentar la irradiancia de $100-400 \mu E m^{-2} s^{-1}$, disminuyó bruscamente a valores de $0.017 \mu mol CO_2 \mu mol^{-1} Q$ incidente al alcanzarse los $500 \mu E m^{-2} s^{-1}$ y aumentó posteriormente al disminuir la irradiancia hasta los valores iniciales. En OL la relación de la irradiancia con el QU fué idéntica a la mantenida con la relación C_i/C_o (Fig. 3.294).

La dinámica de la relación del GPPV con la fotosíntesis, conductancia estomática y la eficiencia hídrica se vió fuertemente influenciada por el momento de muestreo en un marco de cambio rápido de gradiente en la primera parte del día. Los valores máximos en los tres parámetros se obtuvieron en el segundo o tercer muestreo del día con independencia del GPPV (Figs. 3.295, 3.296, 3.297).

La temperatura de hoja medida con el ADC fluctuó entre 23-27°C a lo largo del día exceptuando el primer punto de muestreo con temperaturas de 18°C (Figs. 3.298, 3.299, 3.300).

En las tres especies la fotosíntesis se relacionó linealmente con la conductancia estomática siguiendo una dinámica asimétrica con menores valores de conductancia por la tarde. En OR las mayores conductancias medias de 370 mmol m⁻² s⁻¹ se correspondieron con tasas fotosintéticas de 10 μ mol m⁻² s⁻¹, a mayores tasas la conductancia disminuyó. En FL en valores medios las mayores conductancias de 400 mmol m⁻² s⁻¹ se correspondieron con las mayores tasas de 11 μ mol m⁻² s⁻¹; en valores individuales la máxima conductancia fué de 520 mmol m⁻² s⁻¹ y correspondió a una tasa de 13.5 μ mol m⁻² s⁻¹. En OL la relación fué lineal con pendiente prácticamente nula, en valores individuales las mayores conductancias de 320 mmol m⁻² s⁻¹ correspondieron a tasas de 12 μ mol m⁻² s⁻¹, a excepción de los dos primeros puntos de muestreo en que la conductancia fué superior a 200 mmol m-

2 s⁻¹, el resto del día esta se vió restringida a valores inferiores a los 150 mmol m⁻² s⁻¹ para una rango de fotosíntesis de 11-5 μ mol m⁻² s⁻¹ (Fig. 3.301).

La relación entre la fotosíntesis y la conductancia residual fué curvilínea con mayor curvatura en OR y OL. Se observó una asimetría de la relación a las mayores tasas fotosintéticas, mucho más pronunciada en OL (Fig. 3.302).

La relación entre la fotosíntesis y el CO₂ intercelular fue en general curvilínea, escapando de la misma el primer punto de muestreo con valores de CO₂ intercelular muy superiores debido a la alta concentración de CO₂ en el invernadero. En OR los valores mínimos de CO₂ intercelular fueron de 235 vpm y se dieron con las máximas tasas fotosintéticas, la recuperación del mismo al disminuir la tasa fué gradual alcanzándose al final del día concentraciones de 280 vpm. Por el contrario en Fl y OL los valores mínimos de CO₂ intercelular no coincidieron con las tasas máximas, y en la recuperación se alcanzaron concentraciones de 270 vpm, inferiores a las de OR. En FL la relación fué muy dispersa, los mínimos valores de CO₂ intercelular de 250 vpm se dieron dentro de un amplio rango de tasas fotosintéticas individuales. En OL el CO₂ se estabilizó en valores mínimos de 220 vpm durante el tercer y cuarto muestreo y aumentó posteriormente (Fig. 3.303).

La relación del CO₂ intercelular con la conductancia estomática fué muy dispersa en las tres especies, quedando

reducida a los puntos del primer muestreo (con CO₂ superior a 350 vpm) y una nube de puntos correspondientes a los demás muestreos, con concentraciones de CO₂ intercelular entre 200-300 vpm para un amplio rango de conductancias (Fig. 3.304).

La relación del CO₂ intercelular con la eficiencia hídrica fue en general menos dispersa que las anteriores. En OR el WUE se mantuvo en valores próximos o inferiores a 2 $\mu\text{mol mmol}^{-1}$ para todo el rango de concentraciones de CO₂ intercelular, exceptuando los dos primeros puntos de muestreo en que el WUE fue superior debido en el primer caso al efecto del alto CO₂ atmosférico y en el segundo a las altas tasas transpiratorias. En FL, exceptuando el primer punto de muestreo, la relación se redujo a una nube densa de puntos. En valores medios, a pesar del estrecho rango de WUE medido, se estableció una relación lineal y positiva, con valores máximos de eficiencia hídrica a concentraciones de CO₂ intermedias (270 vpm). En OL, exceptuando también el primer punto, la relación fué lineal y negativa coincidiendo los máximos valores de WUE (próximos a 4 $\mu\text{mol mmol}^{-1}$) con las mínimas concentraciones de CO₂ intercelular (Fig. 3.305).

3.4. PARAMETROS MORFOLOGICOS E INDICES RELACIONADOS

Por tratarse de plantas madre en producción, a las que frecuente y aleatoriamente se les cortan los tallos terminales para emplearlos como esquejes, la evolución del LAI fué errática y nunca se alcanzaron altos valores del mismo. En terminos generales el LAI se mantuvo entre valores de 2 y 2.5 durante el período de corte. En mayo, cuando la planta ya se encontraba fuera de producción, se alcanzaron los valores máximos en "Orange Ricard" (3.9) y "Flamingo" (5.6), mientras que en "Old Lady", por haberse realizado un corte tardío el LAI fue tan solo de 1.1.

El porcentaje de superficie foliar proyectada en relación a la superficie total en "Orange Ricard" se mantuvo en valores próximos al 96% a lo largo del ciclo productivo. En "Flamingo" y "Old Lady" el porcentaje varió estacionalmente de valores mínimos en agosto de 70% y 83% a valores máximos en febrero y mayo próximos al 90% en las dos variedades.

La densidad estomática sufrió una considerable variación estacional tanto en número total de estomas como en la relación entre el haz y el envés. En "Old Lady" la densidad estomática fué siempre menor en relación a las otras variedades. Los valores máximos de 186 estomas mm⁻² en "Orange Ricard", 192 estomas mm⁻² en "Flamingo" y 92 estomas mm⁻² en "Old Lady" correspondieron a las hojas muestreadas en agosto. En invierno la densidad disminuyó a

80, 99 y 65 estomas mm^{-2} respectivamente, en el mes de marzo el número total aumentó de nuevo en OR y en FL mientras que en OL se mantuvo. Tanto el número total de estomas como la relación de densidades estomáticas entre las dos caras siguió muy de cerca a los valores de conductancia estomática y relación de conductancias obtenidos en las medidas del intercambio de gases (Tab. 3.1.).

Tabla 3.1. Variación estacional de la densidad estomática (estomas mm⁻²) y la relación de densidades (envés/ haz) "Orange Ricard", "Flamingo" y "Old Lady".

"Orange Ricard"	Octubre	Diciembre	Marzo
	2 ORLP 35	3 ORLP 71	4 ORLP 92
Nº estomas haz	62	19	55
Nº estomas envés	124	61	129
Nº total estomas	186	80	166
Nº estomas haz/envés	2	3.2	3.5

"Flamingo"	Octubre	Diciembre	Marzo
	2 FLLP 34	3 FLLP 72	4 FLLP 94
Nº estomas haz	68	29	55
Nº estomas envés	124	70	78
Nº total estomas	192	99	126
Nº estomas haz/envés	1.8	2.4	1.6

"Old Lady"	Octubre	Diciembre	Marzo
	2 OLLP 36	3 OLLP 70	4 OLLP 93
Nº estomas haz	28	25	23
Nº estomas envés	64	40	41
Nº total estomas	92	65	64
Nº estomas haz/envés	2.3	1.6	1.8





