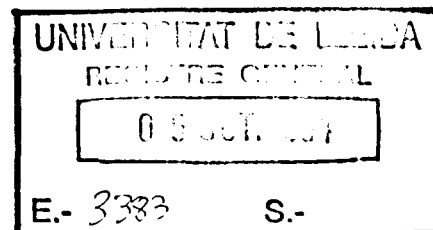


UNIVERSITAT DE LLEIDA
ESCOLA TÈCNICA SUPERIOR D'ENGINYERIA AGRÀRIA



Tesis Doctoral

**RESPUESTA FISIOLÓGICA Y PRODUCTIVA DEL ESTRÉS HÍDRICO EN
DIFERENTES ESPECIES FRUTALES: MELOCOTONERO (*Prunus persica* L
Batsch), AVELLANO (*Corylus avellana* L) Y NOGAL (*Juglans regia*).**

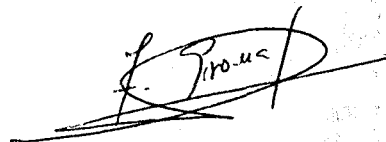
(043) "1994" Gir

UNIVERSITAT DE LLEIDA
ESCOLA TÈCNICA SUPERIOR D'ENGINYERIA AGRÀRIA

RESPUESTA FISIOLÓGICA Y PRODUCTIVA DEL ESTRES HIDRICO EN
DIFERENTES ESPECIES FRUTALES: MELOCOTONERO (*Prunus persica* L
Batsch), AVELLANO (*Corylus avellana* L) Y NOGAL (*Juglans regia*).

Tesis presentada para optar al grado de Dr. Ingeniero Agrónomo.
Dirigida por el Dr. Elías Fereres Castiel Catedrático de Producción
Vegetal de la Universidad de Córdoba y el Dr. Juan Ramón Castel
Sanchez, Investigador del Instituto Valenciano de Investigaciones
Agrarias (IVIA). Tutorada por el Dr. Ignacio Romagosa Clariana,
Catedrático de Producción Vegetal de la Universitat de Lleida.

El Doctorando

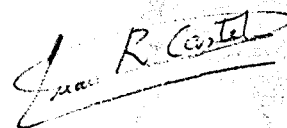


Joan Girona i Gomis

Los Directores de la Tesis

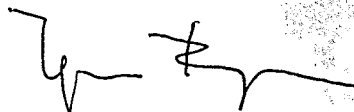


Dr. Elías Fereres Castiel



Dr. Juan Ramón Castel Sanchez

El Tutor



Dr. Ignacio Romagosa Clariana

Lleida, Septiembre 1994

0032-07260

INDICE.

RESUMEN.	1
INTRODUCCION.	4
REVISION BIBLIOGRAFICA.	7
1. CRECIMIENTO VEGETATIVO Y PRODUCTIVO DE LOS ARBOLES FRUTALES.	8
1.1. Factores determinantes del crecimiento.	8
1.1.1. Crecimiento por división celular.	8
1.1.2. Crecimiento por expansión celular.	9
1.2. Ciclos anuales	10
1.2.1. Melocotonero.	10
1.2.2. Avellano.	11
1.2.3. Nogal.	12
2. REQUERIMIENTOS DE AGUA DE LOS CULTIVOS.	12
2.1. Métodos tradicionales.	13
2.2. Nuevos enfoques orientados a aumentar la eficiencia en el uso del agua.	14
3. RESPUESTA DE LOS ARBOLES FRUTALES AL DEFICIT HIDRICO.	16
3.1. Efecto del déficit hídrico sobre el contenido hídrico y el intercambio gaseoso en árboles frutales.	16
3.1.1. Efecto sobre el contenido y relaciones hídricas en órganos vegetativos y hojas.	18
3.1.2. Efecto sobre el intercambio de vapor de agua.	20
3.1.3. Efecto sobre la tasa de asimilación de CO ₂ .	21
3.2. Efecto del déficit hídrico en el crecimiento vegetativo	23
3.3. Efecto del déficit hídrico en el cuajado y crecimiento del fruto.	23
4. RESPUESTA DE LOS ARBOLES FRUTALES (ESPECIALMENTE ESPECIES DE FRUTOS SECOS) A LA SALINIDAD Y A LA TOXICIDAD.	26
4.1. Efectos de la salinidad sobre el crecimiento.	26
4.2. Efectos de la toxicidad en los árboles frutales.	28

4.2.1. Efectos sobre el intercambio gaseoso.	29
4.2.2. Desequilibrios nutricionales.	30
4.2.3. Otros efectos.	30
4.3. Interpretación agronómica del efecto de las sales.	30
CAPITULO I. RESPUESTA DE DOS VARIEDADES DE MELOCOTON (<i>Prunus Persica</i> L. Batsch) A UN PROGRAMA DE DEFICIT CONTROLADO DE RIEGO. I. ASPECTOS FISIOLÓGICOS.	33
1. INTRODUCCION.	34
2. MATERIAL Y METODOS.	35
3. RESULTADOS.	39
4. DISCUSION.	43
CAPITULO II. RESPUESTA DE DOS VARIEDADES DE MELOCOTON (<i>Prunus Persica</i> L. Batsch) A UN PROGRAMA DE DEFICIT CONTROLADO DE RIEGO. II. PRODUCCION.	60
1. INTRODUCCION.	61
2. MATERIAL Y METODOS.	62
3. RESULTADOS.	63
4. DISCUSION.	67
CAPITULO III. CARACTERIZACION DEL INTERCAMBIO DE GASES Y DE LA EFICIENCIA EN EL USO DEL AGUA EN EL AVELLANO (<i>Corylus avellana</i> L.)	77
1. INTRODUCCION.	78
2. MATERIAL Y METODOS.	79
3. RESULTADOS.	81
4. DISCUSION.	83
CAPITULO IV. RESPUESTA DEL NOGAL (<i>J. Regia</i>) A DIFERENTES NIVELES DE NaCl EN EL AGUA DE RIEGO.	94
1. INTRODUCCION.	95
2. MATERIAL Y METODOS.	95

3. RESULTADOS.	97
4. DISCUSION.	98
CAPITULO V. INFLUENCIA DE LA DISPONIBILIDAD DE AGUA EN EL CRECIMIENTO DEL GRANO EN EL AVELLANO (<i>Corylus avellana</i> L.) Y EFECTOS SOBRE LA PRODUCCION DE LA CAMPAÑA SIGUIENTE.	106
1. INTRODUCCION.	107
2. MATERIAL Y METODOS.	108
3. RESULTADOS.	109
4. DISCUSION.	112
DISCUSION GENERAL Y CONCLUSIONES.	121
BIBLIOGRAFIA CITADA.	128

INDICE DE FIGURAS

CAPITULO I

- Figura 1.1.** Evolución estacional del contenido volumétrico medio de agua en el suelo en función de los tratamientos de riego aplicados (Control [CRC, SLC] y Déficit Controlado de Riego [CRD, SLD]) a dos variedades de melocotonero ("Spring Lady" [SLC, SLD] y "CalRed" [CRC, CRD]) en un perfil de 0 a 2 m. Cada punto representa la media de 6 repeticiones (7 profundidades/rep.) \pm ES. 47
- Figura 1.2.** Evolución de los perfiles del contenido volumétrico de agua en el suelo en diferentes fases del ciclo anual (A,B,C) en respuesta a los tratamientos de riego (Control "C" (2) y Déficit Controlado de Riego "DCR" (1)) aplicados a una variedad de melocotón de maduración temprana "Spring Lady". Cada punto representa la media de 6 repeticiones. A). Crecimiento del fruto, B). Postcosecha (junio) y C). Postcosecha (julio - septiembre). 48
- Figura 1.3.** Evolución de los perfiles del contenido volumétrico de agua en el suelo en diferentes fases del ciclo anual (A,B,C) en respuesta a los tratamientos de riego (Control "C" (2) y Déficit Controlado de Riego "DCR" (1)) aplicados a una variedad de melocotón de maduración tardía "CalRed". Cada punto representa la media de 6 repeticiones. A). Fases I y II del crecimiento del fruto, B). Fase III del crecimiento del fruto (junio) y C). Postcosecha. 49
- Figura 1.4.A.** Perfiles del contenido de agua en el suelo en respuesta a los tratamientos de riego aplicados (Control [CRC, SLC] y Déficit Controlado de Riego [CRD, SLD]) a dos variedades de melocotonero ("Spring Lady" [SLC, SLD] y "CalRed" [CRC, CRD]). Cada punto representa la media de 6 repeticiones \pm ES. 50
- Figura 1.4.B.** Perfiles del contenido de agua en el suelo en respuesta a los tratamientos de riego aplicados (Control [CRC, SLC] y Déficit Controlado de Riego [CRD, SLD]) a dos variedades de melocotonero ("Spring Lady" [SLC, SLD] y "CalRed" [CRC, CRD]). Cada punto representa la media de 6 repeticiones \pm ES. 51
- Figura 1.5.** Evolucion estacional de A) potencial hídrico de hoja medida al alba "predawn", B) potencial Hídrico de hoja medido al mediodía y C) conductancia estomática medida al mediodía, en respuesta a los tratamientos de riego aplicados (Control [CRC, SLC] y Déficit Controlado de Riego [CRD, SLD]) a dos variedades de melocotonero ("Spring Lady" [SLC, SLD] y "CalRed" [CRC, CRD]). Cada punto representa la media de 4 repeticiones (2 - 3 hojas/rep.) \pm DE. 52
- Figura 1.6.** Relación entre el contenido volumétrico medio de agua en el suelo y el potencial hídrico de hoja medido al alba ("Predawn"). Cada punto corresponde a un par de datos pertenecientes a una misma parcela elemental, obtenidos en el intervalo máximo de 2 días. 53
- Figura 1.7.** Evolución diurna de A) potencial hídrico de hoja , B) conductancia estomática, C) transpiración y D) asimilación neta de CO₂ el día 28 de junio de 1988 (día del año: 180) en respuesta a los tratamientos de riego aplicados (Control [CRC, SLC] y Déficit Controlado de Riego [CRD, SLD]) a dos variedades de melocotonero ("Spring Lady" [SLC, SLD] y "CalRed" [CRC, CRD]). Cada punto representa la media de 6 observaciones \pm DE. 54

Figura 1.8. Relación entre la asimilación neta de CO₂ y A) la conductancia estomática y B) la temperatura de hoja el día 28 de junio de 1988 (día del año: 180) en respuesta a los tratamientos de riego aplicados (Control [CRC, SLC] y Déficit Controlado de Riego [CRD, SLD]) a dos variedades de melocotonero ("Spring Lady" [SLC, SLD] y "CalRed" [CRC, CRD]). Cada punto representa datos obtenidos simultáneamente en la misma hoja de melocotonero. Para A) la línea continua corresponde a "CalRed" tratamiento Control (CRC), la línea discontinua con puntos intermedios corresponde a "CalRed" tratamiento de Riego Deficitario Controlado (CRD), la línea discontinua corresponde a "Spring Lady" tratamiento Control (SLC) y la línea de puntos corresponde a "Spring Lady" tratamiento de Riego Deficitario Controlado (SLD). 55

Figura 1.9. Evolución diurna de A) potencial hídrico de hoja, B) conductancia estomática, C) transpiración y D) asimilación neta de CO₂ el día 21 de julio de 1988 (día del año: 203) en respuesta a los tratamientos de riego aplicados (Control [CRC, SLC] y Déficit Controlado de Riego [CRD, SLD]) a dos variedades de melocotonero ("Spring Lady" [SLC, SLD] y "CalRed" [CRC, CRD]). Cada punto representa la media de 6 observaciones ± DE. 56

Figura 1.10. Evolución diurna de A) potencial hídrico de hoja, B) conductancia estomática, C) transpiración y D) asimilación neta de CO₂ el día 11 de agosto de 1988 (día del año: 225) en respuesta a los tratamientos de riego aplicados (Control [CRC, SLC] y Déficit Controlado de Riego [CRD, SLD]) a dos variedades de melocotonero ("Spring Lady" [SLC, SLD] y "CalRed" [CRC, CRD]). Cada punto representa la media de 6 observaciones ± DE. 57

Figura 1.11. Evolución diurna de la eficiencia en el uso del agua para tres días del ciclo anual en respuesta a los tratamientos de riego aplicados (Control [CRC, SLC] y Déficit Controlado de Riego [CRD, SLD]) a dos variedades de melocotonero ("Spring Lady" [SLC, SLD] y "CalRed" [CRC, CRD]). Cada punto representa la media de 6 observaciones ± DE. 58

Figura 1.12. Relación entre la conductancia estomática y el Índice de Ball ($A h_s/c_s$) para tres días del ciclo anual en respuesta a los tratamientos de riego aplicados (Control [CRC, SLC] y Déficit Controlado de Riego [CRD, SLD]) a dos variedades de melocotonero ("Spring Lady" [SLC, SLD] y "CalRed" [CRC, CRD]). Cada punto representa datos obtenidos simultáneamente en la misma hoja de melocotonero. La línea continua corresponde a "CalRed" tratamiento Control (CRC), la línea discontinua con puntos intermedios corresponde a "CalRed" tratamiento de Riego Deficitario Controlado (CRD), la línea discontinua corresponde a "Spring Lady" tratamiento Control (SLC) y la línea de puntos corresponde a "Spring Lady" tratamiento de Riego Deficitario Controlado (SLD). 59

CAPITULO II

Figura 2.1. Distribución de los tamaños comerciales (nº de frutos/caja) de los pases de la cosecha (A,B) y el total (C) de una variedad de melocoton de maduración temprana "Spring Lady" en respuesta a los tratamientos de riego aplicados: Control (SLC) y Deficit Controlado de riego (SLD). El tamaño comercial "Pequeños" engloba a todos aquellos frutos que son inferiores al tamaño "80". 71

Figura 2.2. Distribución de los tamaños comerciales (nº de frutos/caja) de los pases de la cosecha (A,B,C) y el total (D) de una variedad de melocoton de maduración tardía "CalRed" en respuesta de los tratamientos de riego aplicados: Control (CRC) y Déficit Controlado de Riego (CRD). El tamaño "NC" se refiere a aquellos frutos que no son comerciables (mal estado, con golpes, etc).El tamaño comercial "Pequeños" engloba a todos aquellos frutos que son inferiores al tamaño "80" pero son comerciables. El tamaño "Super" engloba a aquellos frutos que son superiores al tamaño "48".

72

Figura 2.3. Evolución estacional del fruto [A) Diámetro, B) Peso fresco, C) Peso seco y D) Peso del agua] de dos variedades de melocotón ("Spring Lady" [SLC, SLD] y "CalRed"[CRC, CRD]) en respuesta a los tratamientos de riego aplicados (Control [CRC, SLC] y Déficit Controlado de Riego [CRD, SLD]). Cada punto representa la media de 6 repeticiones (8 frutos / repetición) \pm ES.

73

Figura 2.4. Evolución estacional del crecimiento del fruto [A) Diámetro, B) Peso fresco, C) Peso seco y D) Peso del agua] de dos variedades de melocotón ("Spring Lady" [SLC, SLD] y "CalRed"[CRC, CRD]) en respuesta a los tratamientos de riego aplicados (Control [CRC, SLC] y Déficit Controlado de Riego [CRD, SLD]). Cada punto representa la media de 6 repeticiones (8 frutos / repetición) \pm ES. La línea continua corresponde a "CalRed" tratamiento Control (CRC), la línea discontinua con puntos intermedios corresponde a "CalRed" tratamiento de Riego Deficitario Controlado (CRD), la línea discontinua corresponde a "Spring Lady" tratamiento Control (SLC) y la línea de puntos corresponde a "Spring Lady" tratamiento de Riego Deficitario Controlado (SLD). Todas las líneas se ajustan a una función polinómica de 4º grado

74

Figura 2.5. Evolución estacional del crecimiento relativo del fruto [A) Diámetro, B) Peso fresco, C) Peso seco y D) Peso del agua] de dos variedades de melocotón ("Spring Lady" [SLC, SLD] y "CalRed"[CRC, CRD]) en respuesta a los tratamientos de riego aplicados (Control [CRC, SLC] y Déficit Controlado de Riego [CRD, SLD]). Cada punto representa la media de 6 repeticiones (8 frutos / repetición) \pm ES. La línea continua corresponde a "CalRed" tratamiento Control (CRC), la línea discontinua con puntos intermedios corresponde a "CalRed" tratamiento de Riego Deficitario Controlado (CRD), la línea discontinua corresponde a "Spring Lady" tratamiento Control (SLC) y la línea de puntos corresponde a "Spring Lady" tratamiento de Riego Deficitario Controlado (SLD). Todas las líneas se ajustan a una función polinómica de 4º grado

75

Figura 2.6. evolución estacional del porcentaje de materia seca del fruto en función de los tratamientos de riego aplicados (Control [CRC, SLC] y Déficit Controlado de Riego [CRD, SLD]) a dos variedades de melocotonero ("Spring Lady" [SLC, SLD] y "CalRed"[CRC, CRD]). Cada punto representa la media de 6 repeticiones (8 frutos / repetición) \pm ES.

76

CAPITULO III

Figura 3.1. Evolución diaria del potencial hídrico de hoja en tres variedades de avellano "Negret", "Gironell" y "Pauetet", todas ellas en condiciones de regadío, durante seis días diferentes de 1986. Cada punto corresponde a la media de 12 observaciones \pm ES.

87

Figura 3.2. Evolución diaria de la conductancia estomática en las tres variedades de avellano "Negret", "Gironell" y "Pauetet", todas ellas en condiciones de regadío, durante seis días diferentes de 1986. Cada punto corresponde a la media de 12 observaciones \pm ES.

88

- Figura 3.3.** Evolución diaria de la asimilación neta de CO_2 en las tres variedades de avellano "Negret", "Gironell" y "Pauetet", todas ellas en condiciones de regadío, durante seis días diferentes de 1986. Cada punto corresponde a la media de 12 observaciones \pm ES. 89
- Figura 3.4.** Evolución diaria del potencial hídrico de hoja (A,D), de la conductancia estomática (B,E) y de la asimilación neta de CO_2 (C,F) en dos variedades de avellano "Negret" (A,B,C) y "Gironell" (D,E,F), en función de dos condiciones de cultivo: riego y secano. Los datos presentados corresponden al día 11-06-86. Cada punto corresponde a la media de 12 observaciones \pm ES. 90
- Figura 3.5** Respuesta de la asimilación neta de CO_2 a diferentes niveles de radiación (PPFD) para tres variedades de avellano en condiciones de regadío. Cada punto corresponde a un control individual que cumple las siguientes condiciones: $g_s > 200 \text{ mmol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$, Temperatura de hoja $< 34^\circ \text{ C}$, GPPV $< 2.5 \text{ KPa}$, $g_r > 50 \text{ mmol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$. 91
- Figura 3.6** Relación entre la asimilación neta de CO_2 a diferentes niveles de radiación (PPFD) para la variedad "Negret" en condiciones de regadío. Cada punto corresponde a un control individual que cumple las siguientes condiciones: $g_s > 200 \text{ mmol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$, Temperatura de hoja $< 34^\circ \text{ C}$, GPPV $< 2.5 \text{ KPa}$, $g_r > 50 \text{ mmol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$. Los parámetros del mejor ajuste obtenido son: $R^2 = 0.93$, $y = -0.388 + 0.024 x - 0.000018 x^2$. 91
- Figura 3.7.** Relación entre la asimilación neta de CO_2 y la conductancia estomática para tres variedades de avellano en condiciones de regadío. Cada punto corresponde a un control individual que cumple las siguientes condiciones: PPFD $< 700 \mu \text{ mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$, Temperatura de hoja $< 34^\circ \text{ C}$, GPPV $< 2.5 \text{ KPa}$, $g_r > 50 \text{ mmol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$. La línea continua corresponde al c.v. "Negret", la línea discontinua al c.v. "Gironell" y la línea discontinua con puntos intercalados al c.v. "Pauetet". 92
- Figura 3.8.** Relación entre la asimilación neta de CO_2 y la conductancia residual del estoma al CO_2 para tres variedades de avellano en condiciones de regadío. Cada punto corresponde a un control individual que cumple las siguientes condiciones: PPFD $< 700 \mu \text{ mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$, Temperatura de hoja $< 34^\circ \text{ C}$, GPPV $< 2.5 \text{ KPa}$, $g_s > 200 \text{ mmol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$. La línea continua corresponde al c.v. "Negret", la línea discontinua al c.v. "Gironell" y la línea discontinua con puntos intercalados al c.v. "Pauetet". 92
- Figura 3.9.** Relación entre la conductancia estomática y el gradiente parcial de presión de vapor para tres variedades de avellano en condiciones de regadío. Cada punto corresponde a un control individual que cumple las siguientes condiciones: PPFD $< 700 \mu \text{ mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$, Temperatura de hoja $< 34^\circ \text{ C}$, GPPV $< 2.5 \text{ KPa}$, $g_r > 50 \text{ mmol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$. La línea continua corresponde al c.v. "Negret", la línea discontinua al c.v. "Gironell" y la línea discontinua con puntos intercalados al c.v. "Pauetet". 93
- Figura 3.10.** Relación entre la tasa de transpiración y el potencial hídrico de hoja para dos variedades de avellano en condiciones de regadío. Cada punto corresponde a un control individual que cumple las siguientes condiciones: PPFD $< 700 \mu \text{ mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$, Temperatura de hoja $< 34^\circ \text{ C}$, GPPV $< 2.5 \text{ KPa}$, $g_s > 200 \text{ mmol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$, $g_r > 50 \text{ mmol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$. La línea continua corresponde al c.v. "Negret", la línea discontinua al c.v. "Pauetet". 94

CAPITULO IV

- Figura 4.1.** A) Evolución estacional del consumo diario de agua de los diferentes tratamientos de concentración de NaCl en el agua de riego. B). Relación entre el consumo total de agua de riego por planta y la concentración de NaCl en el agua de riego. Cada punto representa la media de 16 determinaciones \pm ES. 102
- Figura 4.2.** A) Evolución estacional del crecimiento relativo del diametro de tronco [$CRDT_i = (DT_i - DT_1)/DT_1 * 100$] de los diferentes tratamientos de concentración de NaCl en el agua de riego. B). Relación entre el consumo total de agua de riego por planta y la concentración de NaCl en el agua de riego. Cada punto representa la media de 16 determinaciones \pm ES. 103
- Figura 4.3.** Evolución durante el ensayo de la asimilación neta de CO_2 (A), de la conductancia estomática (B), de la concentración subestomática de CO_2 (C) y de la transpiración (D) de los diferentes tratamientos de concentración de NaCl en el agua de riego. Cada punto representa la media de 10 determinaciones \pm ES. 104
- Figura 4.4.** Composición química de las diferentes partes de la planta (A) Lámina foliar, B) Tallo, C) Raíz fina y D) Raíz de reserva) en respuesta a la concentración de NaCl en el agua de riego. Cada punto corresponde a la media de 4 determinaciones \pm ES. Las curvas dibujadas corresponden al mejor ajuste para cada elemento: línea continua para el Cl^- (triángulos), línea discontinua para el Na^+ (cuadrados) y línea de puntos para el Ca^{++} (círculos). 105

CAPITULO V

- Figura 5.1.** Evolución estacional del contenido gravimétrico de agua en los 50 cm superiores del suelo, en función de los tratamientos de riego aplicados en 1990 (1^{er} año de ensayo). Cada punto representa la media de 4 repeticiones (4 profundidades/rep.) \pm ES. 116
- Figura 5.2.** Evolución estacional del peso fresco del grano (A) y del peso seco del grano (B), durante 1990, en respuesta a los tratamientos de riego aplicados. La flecha indica el momento de corte del riego para el tratamiento Sin Riego. Cada punto representa la media de 4 repeticiones (16 frutos/rep.) \pm ES. 117
- Figura 5.3.** Relación entre la asimilación neta de CO_2 y la conductancia estomática. A) en función de los tratamientos, y B) durante dos días con condiciones climáticas diferentes. 118
- Figura 5.4.** Evolución estacional del contenido gravimétrico de agua en los 50 cm. superiores del suelo, en función de los tratamientos de riego aplicados en el año anterior (1990, 1^{er} año de ensayo). Cada punto representa la media de 4 repeticiones (4 profundidades/rep.) \pm ES. 119
- Figura 5.5.** Evolución estacional del peso seco del grano durante 1991, en respuesta a los tratamientos diferenciales aplicados en 1990. Cada punto representa la media de 4 repeticiones (16 frutos/rep.) \pm ES. 120
- Figura 5.6.** Evolución estacional de la longitud de las brotaciones durante 1991, en respuesta a los tratamientos aplicados en 1990. Cada punto representa la media de 4 repeticiones (20 brotaciones/rep.) \pm ES. 120

INDICE DE TABLAS

CAPITULO I.

Tabla 1.1. Resumen de los tratamientos, de la duración de las fases de crecimiento de fruto para cada variedad y consumos de agua de riego. 37

Tabla 1.2. Perímetro de tronco. 41

CAPITULO II.

Tabla 2.1. Resumen de resultados de los parámetros más característicos de la cosecha en la variedad "Spring Lady". 65

Tabla 2.2. Resumen de resultados de los parámetros más característicos de la cosecha en la variedad "CalRed". 66

Tabla 2.3. resumen de los parámetros color y dureza en la cosecha de la variedad "CalRed". 67

CAPITULO IV.

Tabla 4.1. Relación entre los diferentes componentes de la planta y la concentración de NaCl en el agua de riego. 101

Tabla 4.2. Conductividad eléctrica y concentración de Cl^- en el extracto de saturación de las muestras de sustratos al final del experimento. 101

CAPITULO V.

Tabla 5.1. Estado hídrico de la planta e intercambio gaseoso en 1990. 114

Tabla 5.2. Datos de producción (Cosecha 1990). 114

Tabla 5.3. Características del fruto (Cosecha 1990). 114

Tabla 5.4. Estado hídrico de la planta e intercambio gaseoso en 1991. 114

Tabla 5.5. Datos de producción (Cosecha 1991). 115

Tabla 5.6. Características del fruto (Cosecha 1991). 115

RESPUESTA FISIOLÓGICA Y PRODUCTIVA DEL ESTRÉS HÍDRICO EN DIFERENTES ESPECIES FRUTALES: MELOCOTONERO (*Prunus persica* L Batsch), AVELLANO (*Corylus avellana* L) Y NOGAL (*Juglans regia*).

RESUMEN

RESUMEN

El manejo del agua en plantaciones frutícolas, o arbóreas, requiere un profundo conocimiento de la respuesta del árbol a diferentes situaciones de estrés hídrico, y de como las posibles técnicas de aplicación de agua de riego y las condiciones del medio (principalmente suelo y agua) donde se encuentra ubicada la plantación, pueden condicionar la disponibilidad de agua para la planta.

Con la finalidad de profundizar y ampliar este tipo de conocimientos se ha desarrollado el presente trabajo. Para su realización se han elegido tres especies (melocotón, avellano y nogal), y tres temáticas relacionadas con el agua: sensibilidad estacional al déficit hídrico (y en consecuencia la aplicación de estrategias de riego deficitario controlado (**RDC**)), ecofisiología de las relaciones hídricas e intercambio de gases y calidad del agua de riego. Con ello se pretende abarcar varios aspectos de la respuesta de los árboles frente a posibles estreses hídricos.

Los resultados obtenidos nos permiten observar la especificidad de la respuesta productiva y fisiológica que cada caso estudiado en la relación "especie:condiciones del medio" nos aporta. En el caso del melocotonero (Capítulos I y II) sometido a calendarios de riego deficitario controlado se ha visto la importancia que el tipo de suelo tiene en la aplicación de estas estrategias, y como este factor condiciona el intercambio de gases, el estado hídrico de la planta y la evolución del crecimiento del fruto y cosecha. En este sentido es de remarcar el incremento en la capacidad fotosintética experimentada por los melocotoneros de la variedad "CalRed" que estuvieron sometidos a un tratamiento de riego deficitario controlado.

En el estudio de los dos temas de avellano (Capítulos III y V) se pone de manifiesto la alta sensibilidad que este cultivo presenta a las situaciones de déficit hídrico especialmente al déficit parcial de presión de vapor y a la falta de agua durante la fase de crecimiento del fruto. En este mismo cultivo se ha observado una fuerte influencia varietal el comportamiento de los parámetros fisiológicos analizados en este trabajo. Destacándose la necesidad de cubrir los requerimientos hídricos de esta especie en las fases de llenado de frutos.

Finalmente se estudia la sensibilidad del nogal (Capítulo IV) a la toxicidad del NaCl presente en el agua de riego. Todos los parámetros analizados (consumo de agua, intercambio de gases, crecimiento, desarrollo foliar, necrosis, etc.) detectan una gran sensibilidad de esta especie a la presencia de NaCl en el agua de riego y se detecta que no existe ningún mecanismo aparente de exclusión eficiente como para mitigar los daños observados.

RESPUESTA FISIOLÓGICA Y PRODUCTIVA DEL ESTRÉS HÍDRICO EN DIFERENTES ESPECIES FRUTALES: MELOCOTONERO (*Prunus persica* L Batsch), AVELLANO (*Corylus avellana* L) Y NOGAL (*Juglans regia*).

INTRODUCCION

INTRODUCCION

La racionalización del uso del agua se está convirtiendo en un objetivo importante para muchos sectores de nuestra sociedad (industria, servicios, urbano, administración, agrícola, ..) y en fuente de debate en diferentes esferas del ámbito social, político y económico. La importancia del recurso agua y la preocupación que éste suscita, se han puesto de manifiesto en dos importantes eventos de resonancia mundial: la "Conferencia mundial sobre el Medio Ambiente, Rio (Brasil, 1992)" y la "Conferencia mundial sobre el crecimiento de la población, El Cairo (Egipto, 1994)" donde el agua ha sido el tema de ponencias específicas. A nivel español, el reciente "Symposium Nacional: Presente y Futuro de los regadíos españoles. CEDEX, Madrid (1994)" ha puesto de relieve la preocupación, cada vez más creciente, que el agua suscita en nuestra sociedad.

Es evidente que en esta inquietud tiene una singular repercusión en el sector agrario, especialmente en las zonas de regadío, puesto que éstas utilizan alrededor de un 80% de los recursos hídricos. Con la liberalización de los mercados a nivel mundial (tras los acuerdos del GATT) o a nivel de la UE (como consecuencia de la PAC), estas mismas zonas de regadío se ven sometidas a un alto nivel de competencia mundial en la comercialización de sus productos. Competencia que tan solo se puede vencer si se dispone de productos de calidad con costes unitarios de producción bajos.

En la denominada área mediterránea, el agua es probablemente el factor de producción más importante para conseguir estos objetivos, y muy especialmente en la producción de hortalizas y frutas. Es impensable obtener una buena calidad comercial sino se dispone de agua para el riego regular de los cultivos. Lo mismo ocurre con la producción, ya que tan solo se pueden obtener buenas cosechas en condiciones de regadío (o suministro fácil de agua para la planta), y por lo general existe la tendencia a rebajar los costes unitarios del producto al incrementarse la producción.

En el caso de árboles frutales existe una complicación añadida, puesto que además de conseguir buenas producciones de la máxima calidad dentro del año, deben mantenerse unos árboles capaces de producir en los años siguientes. Así hay que buscar equilibrio entre crecimiento del árbol, producción y nivel de reservas, teniendo en cuenta que cada especie tiene un comportamiento específico, y muy relacionado a las condiciones de medio en las que se cultiva.

En los últimos años se ha asistido a un importante incremento de trabajos publicados que abarcan la temática del agua y su efecto sobre la producción en árboles frutales (ver Revisión bibliográfica), no obstante algunas de estas técnicas o estrategias de manejo no son aplicables en otras condiciones de medio diferentes a las de la zona donde se ha realizado el estudio. Es por ello que el estudio del comportamiento o modificación de resultados previos es muy útil para la agricultura de cada zona.

Para la realización del presente trabajo se han elegido tres especies (melocotón, avellano y nogal) que representan una gama de respuestas al estrés hídrico, y tres temáticas relacionadas con el agua: sensibilidad estacional al déficit hídrico (y en consecuencia la aplicación de estrategias de riego deficitario controlado (RDC)), ecofisiología de las relaciones hídricas e intercambio de gases, y calidad del agua de riego. Con ello se pretende abarcar varios aspectos de la respuesta de los árboles frente a posibles estreses hídricos.

En cada uno de los 5 trabajos (capítulos) que componen la tesis, se describe el objetivo particular de cada uno de ellos. No obstante, existe un objetivo común que es el estudio con detalle y rigor de cada situación con la finalidad de llegar a conclusiones que puedan ser de utilidad, y explicar, dentro de lo posible, el porqué de cada respuesta obtenida. Este procedimiento nos permitirá llegar a conclusiones mucho más generalizables, y así ampliar el conocimiento sobre el comportamiento de los árboles frente a diferentes situaciones de estrés hídrico. Este tipo de información permite ser más eficientes en el uso del agua, a la vez que mejorar la calidad y la cantidad de la producción, objetivos, como antes se han citado, de la mejora de la competitividad de las explotaciones agrícolas.

RESPUESTA FISIOLÓGICA Y PRODUCTIVA DEL ESTRÉS HÍDRICO EN DIFERENTES ESPECIES FRUTALES: MELOCOTONERO (*Prunus persica* L Batsch), AVELLANO (*Corylus avellana* L) Y NOGAL (*Juglans regia*).

REVISION BIBLIOGRAFICA

REVISION BIBLIOGRAFICA

1. Crecimiento vegetativo y productivo de los árboles frutales.

1.1. Factores determinantes del crecimiento.

El crecimiento, ya sea de órganos vegetativos o del fruto, es uno de los procesos más inmediatamente afectado por el déficit hídrico (*Hsiao, 1973*). Es por este motivo que se ha creído importante desarrollar un apartado inicial sobre los diferentes procesos que intervienen en el crecimiento.

En el proceso del crecimiento debemos distinguir dos fases bien diferenciadas: la división celular y el crecimiento expansivo.

1.1.1. Crecimiento por división celular.

La división celular es el primer responsable del crecimiento. En los órganos vegetativos, los meristemas apicales hacen posible el crecimiento primario por adición de nuevas células (*Brown, 1980.a*). Los meristemas apicales son, en este sentido, omnipotentes y son los artífices de todo tipo de crecimiento primario.

El tipo de división celular diferencia básicamente que órgano va a dar lugar a un meristemo apical. Así las hojas se forman normalmente en base a divisiones paralelas a la superficie (*Guttenberg, 1961*), mientras que las ramas crecen en base a una división celular paralela y perpendicular a la superficie. Es en el crecimiento primario donde las células se diferencian en función del tejido al que van a pertenecer (*Salisbury y Ross, 1985*).

El crecimiento primario está muy estrechamente relacionado con las señales químicas-hormonales pertenecientes al grupo de las auxinas como el IAA (Acido Indol-3-Acético) (*Kögl et al., 1934; Cleland, 1980*) y al grupo de las citoquininas (CK) que son las promotoras de la división celular (*Letham, 1974; Horgan, 1984*). En este sentido todos aquellos factores que de una forma u otra afecten a los promotores o inhibidores del crecimiento tendrán una repercusión directa sobre el crecimiento primario.

El crecimiento secundario de órganos vegetativos tiene su base en el cambium vascular, de tal forma que la división celular se produce únicamente a partir de este tejido (*Brown, 1980.b*). El tipo de evolución que sufren las células del crecimiento secundario en órganos

vegetativos ha sido descrita por *Wilson y Howard (1968)*, donde básicamente las células procedentes del cambium se diferencian en células del floema y células del xilema, previo proceso de elongación.

Al igual que en el crecimiento primario existe un control hormonal muy importante sobre la división celular (*Wareing et al, 1964*) especialmente debido a la presencia de GA (Acido Giberélico), mientras que el IAA parece tener un efecto predominante en la diferenciación celular del xilema. El efecto de condiciones externas sobre el contenido de GA y IAA puede modificar el crecimiento de tallos y ramas, por ejemplo el contenido de GA se reduce muy rápidamente en presencia de estrés hídrico (*Aharoni et al., 1977*).

En los frutos existe tan solo un crecimiento primario debido a división celular. El número de células del fruto determina el tamaño potencial del mismo (*Ross, 1952*).

1.1.2. Crecimiento por expansión celular.

La expansión celular o crecimiento secundario se debe básicamente a un engrosamiento celular debido a un potencial de turgencia lo suficientemente importante como para aumentar el volumen de la célula (*Green, 1968; Green et al., 1971*), así como el suministro de materia elaborada (básicamente proteínas)(*Cleland, 1971; Bates y Cleland, 1979*), sales minerales y agua para el crecimiento de los órganos celulares y de las vacuolas (*Bradford y Hsiao, 1982*).

Desde un punto de vista físico, el crecimiento expansivo puede ser analizado en términos de volumen celular, toma de agua y gradientes de potencial, potencial de turgencia y extensibilidad celular (*Bradford y Hsiao, 1982*). Es en estos términos que el crecimiento expansivo es el más afectado por el déficit hídrico (*Hsiao, 1973*) lo cual queda reflejado en la siguiente ecuación física:

$$dV/Vdt = E_g C ((\Delta\Psi + \psi_p - \psi_{p,th}) / (E_g + C))$$

basada en la ecuación de *Lockhart (1965)* [$dV/Vdt = E_g (\psi_p - \psi_{p,th})$] y a la que *Hsiao et al. (1976.a)* le incorporaron el término de la conductancia (C). Los restantes términos representan: dV/Vdt = tasa de crecimiento, E_g = tasa de extensibilidad, $\Delta\Psi$ = diferencia de potencial entre la fuente y el sumidero de agua para el crecimiento celular, ψ_p = potencial de presión, $\psi_{p,th}$ = valor mínimo de potencial de presión a partir del cual puede haber crecimiento.

De acuerdo con esta propuesta física el mantenimiento del potencial de turgencia viene muy condicionada por la capacidad de osmoregulación de la planta (*Acevedo et al., 1979; Sharpe y Davies, 1979*). El crecimiento expansivo definitivo, como consecuencia de la extensibilidad celular, dependerá de las propiedades de "elasticidad" (crecimiento reversible) o "plasticidad" (crecimiento irreversible) que posea la membrana celular (*Hsiao y Bradford, 1983*).

Al igual que en los procesos de división celular el efecto hormonal tiene una marcada incidencia sobre el engrosamiento celular, ya sea por un incremento de la plasticidad de la pared celular (*Adams et al., 1975; Cleland, 1967*) o jugando a favor del potencial osmótico.

1.2. Ciclos anuales.

En este apartado se hace una breve descripción de aquellos aspectos del crecimiento vegetativo y productivo más significativos, en el contexto de las necesidades hídricas y de la fisiología del estrés, de las especies base de esta tesis.

1.2.1. Melocotonero.

El melocotonero fructifica sobre yemas laterales en ramas de 1 año (*Jackson, 1986*) y el crecimiento del fruto sigue una curva sigmoide-doble (*Connors, 1919; Chalmers y van den Ende, 1975; DeJong et al., 1987*). En condiciones normales de cultivo se practica un aclareo de frutos de aproximadamente un 20% (*Ryugo, 1988*), aunque los resultados de esta técnica dependan de muchos factores: desde la producción, a las demandas de mercado o a las condiciones del medio (*Johnson y Handley, 1989*).

El crecimiento vegetativo empieza al inicio de la temporada. En todas las variedades el crecimiento primario tiene lugar durante los 90 primeros días. Para las condiciones del Valle de San Joaquín (California) el 80% del crecimiento vegetativo ocurre entre el 1 de mayo y el 15 de julio (*DeJong et al., 1987*), aunque en variedades tempranas se puede apreciar un segundo crecimiento vegetativo después de la cosecha.

El crecimiento del fruto sigue una curva sigmoide-doble con tres fases más o menos diferenciadas: La fase I es un período de rápido crecimiento después de la antésis, en la cual el volumen del endocarpio es el que se ve más incrementado. El proceso de división celular finaliza en la mitad de la fase I. Durante la fase II el fruto crece de forma muy lenta, pero en la fase III su crecimiento se ve acelerado y ya no se detiene hasta la cosecha. La pendiente y duración de la fase II depende de la duración y posible solapamiento de las fases I y III. La

existencia o no de la fase II y su duración es lo que diferencia las variedades en cuanto a la época de maduración del fruto (*DeJong et al., 1987*). El crecimiento en la fase III se debe básicamente a un engrosamiento de las células del mesocarpio (*Ryugo, 1988*). Aunque este modelo se ha usado desde 1919 (*Connors, 1919*) un reciente trabajo de *DeJong y Goudriaan (1989)* demuestra que la fase II no es realmente diferente de la I y la III y que el crecimiento del fruto consiste básicamente en tan solo 2 fases, la primera con una tasa relativa de crecimiento del fruto muy alta, pero que decrece rápidamente, y la segunda con una tasa relativa de crecimiento del fruto constante.

1.2.2. Avellano.

El avellano presenta un ciclo vegetativo bastante peculiar ya que desde el proceso de diferenciación de yemas a la fecundación de los óvulos transcurre prácticamente un año (*Tasias, 1975; Bergougnoux et al., 1978*). Dentro de este ciclo biológico es interesante remarcar el importante desfase importante entre la polinización (que en las condiciones de Tarragona tiene normalmente lugar a mediados de marzo (*Molina, 1973; Tasias, 1975*)), y la fecundación que suele ocurrir a primeros de junio. En este período el crecimiento del tubo polínico pasa por diferentes etapas de crecimiento activo y paradas (*Romisondo, 1965*) y es precisamente en la etapa previa a la fecundación cuando presenta su máxima sensibilidad (*Thompson, 1965*).

El crecimiento del peso seco del fruto sigue una curva sigmoide simple con una tasa de crecimiento máxima durante los primeros días del mes julio y finaliza su desarrollo a finales de julio. De aquí a la recolección no se observa ningún crecimiento en el grano y sí una pérdida progresiva de humedad (*Bergougnoux et al., 1978*).

El avellano fructifica sobre madera de un año y por consiguiente el crecimiento vegetativo del año anterior es un factor de producción determinante. Existen algunos trabajos que relacionan la longitud idónea de las brotaciones para obtener una buena cosecha y citan crecimientos vegetativos de 15 a 40 cm. como los idóneos para la máxima fructificación (*Romisondo, 1966; Barbeau, 1973*). En todos los casos se ha demostrado que brotaciones inferiores a los 5 cm. son totalmente improductivas.

Es una especie que en las condiciones de medio de la zona productora de Tarragona presenta unas exigencias de cultivo muy elevadas (*Tous et al., 1994*) y una gran sensibilidad al déficit hídrico (*Girona et al., 1994; Tous et al., 1994*).

1.2.3. Nogal.

La tendencia fructificativa del nogal es el factor más determinante del potencial productivo en árboles jóvenes (*Hendricks et al., 1985*). En este sentido la fructificación lateral es un importante carácter para la entrada rápida en producción de las plantaciones. Este comportamiento productivo tiene menos importancia en plantaciones adultas. La fructificación lateral se da en "spurs", mientras que la fructificación terminal se da en ramas de un año.

Dado que el porcentaje de cuajado es muy elevado y en consecuencia como más grandes sean los árboles más productividad potencial tendrán (*Lin et al., 1977*). Todos aquellos factores que afecten el crecimiento del árbol tienen un efecto determinante sobre la producción, como por ejemplo las disponibilidades de agua (*Ramos et al., 1978; Goldhamer et al., 1989*), o la calidad de los suelos.

El nogal es una especie altamente sensible a todos los estreses: altas o bajas temperaturas, suelos con altos contenidos en arcilla (*Begg, 1985*), falta de agua de riego (*Ramos et al., 1978; Goldhamer et al., 1989*), calidad de las aguas (*Catlin y Schreader, 1985*) y especialmente a la asfixia radicular (*Catlin et al., 1977; Girona, 1993*) incluso cuando esta se produzca en los meses de parada invernal.

2. Requerimientos de agua de los cultivos.

El total de agua evaporada de la superficie del suelo y del agua transpirada por las hojas (o masa vegetal), durante un período determinado, se conoce por el nombre de evapotranspiración (ET) (*Doorenbos y Pruitt, 1977*). El conocimiento de las necesidades hídricas de los cultivos es un aspecto importante para obtener producciones satisfactorias sin que se haya de desperdiciar grandes cantidades de agua y nutrientes, o someter al cultivo a condiciones de anaerobiosis radicular. Cuando las disponibilidades de agua para el uso agrícola no son limitantes, el riego con los requerimientos máximos (ET_{máx}) puede ser práctica generalizada y la determinación de estos valores un objetivo en los programas I+D. No obstante, existen situaciones donde es imposible o no aconsejable satisfacer estas necesidades hídricas, ya sea por la falta de agua, por planteamientos ecológicos que induzcan a reducir la contaminación de acuíferos limitando las infiltraciones de agua y fertilizantes, o donde se pretenda la manipulación del cultivo por medio de la restricción de los suministros hídricos, puesto que el uso de la ET_{máx} no necesariamente coincide con la máxima producción (*Tanner y Sinclair, 1983*). Por este motivo el contenido de este

apartado se subdivide en dos enfoques diferentes de evaluar los requerimientos de agua de los cultivos.

2.1. Métodos tradicionales.

El valor de la **ET** depende fundamentalmente del clima, del cultivo (especie), de la variedad, de su edad, de la densidad de plantación, de las características del suelo, del sistema de riego, de las técnicas de cultivo, de la situación y orientación de la parcela, y probablemente de muchos otros factores (*Fereres et al., 1981.a; Loomis, 1983; Ungear y Steart, 1983*). Dado que no existen modelos que integren el conjunto de los factores enumerados anteriormente, se han desarrollado un gran número de modelos empíricos, para predecir el consumo de agua de los cultivos, basados en datos del clima (*Bowen, 1926; Penman, 1948; Blaney y Criddle, 1950; Van Bavel, 1966; Campbell y Phene, 1976; Doorenbos y Pruitt, 1977; Monteith y Unsworth, 1990*). Alguno de estos modelos hacen la estimación del total de agua evaporada de la superficie del suelo y del agua transpirada por una cubierta vegetal (césped) de 1 cm. de altura, que se conoce por el nombre de evapotranspiración de referencia (**ET_o**) (*Doorenbos y Pruitt, 1977*). En California se utiliza el "**California Irrigation Management Information System**)(**CIMIS**) (*Snyder et al., 1985, Pruitt et al., 1986*) que estima la **ET_o** mediante la ecuación modificada de Penman (*Phene et al., 1986*) y a partir de aquella las necesidades totales de cada cultivo (**ET_c**) mediante los coeficientes de cultivo (**K_c**) (**ET_c = ET_o x K_c**) (*Wright, 1982; Phene et al., 1985*). Los **K_c** integran la mayoría de los factores que definen las características de cada parcela (*Doorenbos y Pruitt, 1977*).

Las necesidades de agua de los árboles frutales se han determinado para las especies más importantes de los Estados Unidos y de forma particular para los californianos (*Doorenbos y Pruitt, 1977; Worthington et al., 1984; Goldhamer y Snyder, 1989*), aunque más recientemente se hayan publicado nuevos estudios realizados en Oceanía (*Caspari et al., 1993*). Hay evidencia que los valores de la **ET_o** no se correlacionan con los de la **ET_c-árboles** con la misma bondad con la que lo hacen con la **ET_c-herbáceos**, especialmente para los valores altos de demanda hídrica en los que hay una sobrestimación de la **ET_o**, probablemente debido a la diferente forma con que absorben la radiación los cultivos de cobertura completa y aquellos que se organizan en filas, como los árboles frutales (*Valancogne et al., 1990*). Sin embargo, el valor de la **ET_o** se sigue usando en árboles para estimar las necesidades máximas del cultivo, que se asume son aquellas que producirán la máxima producción. La evaluación de la **ET_c** se ha desarrollado en base a la presencia de agua en el suelo de tal forma que éste no sea un factor limitante (*Doorenbos y Pruitt, 1977*). En este caso se esperaría la máxima producción de biomasa (raíces, ramas, hojas y tallos)

(Bradford y Hsiao, 1982) pero, con la excepción de unos pocos cultivos herbáceos, no necesariamente la máxima producción del producto deseado (frutos, granos, ...).

2.2. Nuevos enfoques orientados a aumentar la eficiencia en el uso de agua.

Habiendo sido estimadas las necesidades máximas de agua para algunos cultivos, las siguientes investigaciones se encaminaron a caracterizar (y a menudo optimizar) el ratio "cosecha/agua aplicada" definida como eficiencia en el uso del agua (**water use efficiency**)(WUE)(Loomis, 1983), aunque este enfoque no era en realidad tan nuevo, ya que, según citan Tanner y Sinclair (1983), antes del inicio de este siglo, 14 investigadores ya habían trabajado en WUE.

Algunos intentos de mejorar el WUE se basaron en la reducción de agua en porcentajes fijos respecto a los requerimientos máximos a lo largo del ciclo anual (Garnier y Berger, 1985 [melocotonero]; Goldhamer et al., 1985 [pistachero], 1989 [nogal]). Otros ensayos se basaron en regar cuando se obtenían valores de potencial mátrico en el suelo que superaban límites preestablecidos (Uriu, 1965 [melocotonero]; Layne et al., 1981 [melocotonero]; Li et al., 1989.a [melocotonero]; Michelakis et al., 1994 [olivo]), o cuando el agua disponible del suelo se situaba por debajo de unos niveles determinados (Lötter et al., 1985 [manzano]; Assaf et al., 1975 [manzano]), acorde a variaciones micrométricas del tamaño de ramas, troncos y/o frutos (Huguet, 1985; Li y Huguet, 1989 [melocotonero]), en base a índices de estrés como el "crop water stress index CWSI" (Garrot et al., 1993 [pecanero]) o utilizando equipos para determinar velocidades o flujos de sava y testando varias hipótesis de optimización (Caspari et al., 1993 [peral asiático], Green y Clothier, 1989 [kiwi y manzano], Valancogne y Nasr, 1989 [manzano], Cohen y Fuchs, 1989 [cítricos]). En todos estos estudios se observó una reducción de la producción a medida que el total de agua aplicada disminuía por debajo de las necesidades máximas. En el caso del pistachero y del nogal la reducción de producción no fue en el mismo año, sin embargo, en árboles de fruta de hueso y pepita el efecto de la reducción de agua en la producción se dejó notar dentro del mismo año. Estos resultados indican que la respuesta productiva al estrés hídrico puede ser diferente dependiendo de la especie. Con metodologías como la reducción de agua en porcentajes fijos respecto a los requerimientos máximos a lo largo del ciclo anual se elaboraron las llamadas "funciones de producción del agua" (Hanks, 1983) que pretendían establecer el una curva de respuesta de la producción al aporte de agua.

En otros cultivos, como en el olivo, el planteamiento ha sido en algunos casos diferente, ya que se ha basado en determinar el incremento de producción al aumentar las aportaciones de agua partiendo de una situación de no riego. Los aportes de agua se han establecido

principalmente en base a coeficientes fijos a lo largo del ciclo anual (*Dettori et al., 1989; Michelakis, 1990; Solé, 1990; Goldhamer et al., 1993; Goldhamer et al., 1994*).

Una nueva estrategia para mejorar el WUE fue la puesta en práctica de los calendarios de riego deficitario controlado (RDC) (*Chalmers et al., 1981* [melocotonero]; *Fereres et al., 1981.b* [almendro]; *Irving y Drost, 1987* [manzano]; *Li et al., 1989.b* [melocotonero]; *Mitchell et al. 1989* [peral]; *Castel y Buj, 1990* [cítricos]; *Lavee et al., 1990* [olivo]; *Ozyilmaz y Ozkara, 1990* [olivo]; *Goldhamer y Viveros, 1991, Girona et al., 1994* [almendro]; *Caspari et al., 1994* [peral asiático]). Estas estrategias se basan en reducir los aportes hídricos en aquellos momentos en que el estrés hídrico no afecta (o afecta menos) a la producción final. Con este enfoque se han obtenido algunos resultados prometedores, donde reducciones importantes de agua parecen mermar poco o nada la producción. En el caso del melocotonero las estrategias de riego deficitario tienden a reducir el crecimiento de las ramas como consecuencia de una limitación del agua durante la fase II del crecimiento del fruto y después de la cosecha, lo cual no tan solo mejora la eficiencia en el uso del agua sino que también permite un mayor control del crecimiento vegetativo, especialmente en plantaciones de alta densidad (*Chalmers et al., 1981*). Otra manera de mejorar el WUE es limitando exclusivamente el agua después de la cosecha. *Fereres et al. (1981.b)* observaron que el almendro en suelos no muy profundos se resentía muchísimo de un déficit hídrico en post-cosecha, mientras que *Larson et al. (1988)* y *Johnson et al., (1992)* encontraron que la aplicación de un solo riego a mediados de verano en variedades tempranas de melocotón, y en suelos profundos, es suficiente para la supervivencia del árbol, el desarrollo de las yemas de fruto y el mantenimiento de las producciones. Probablemente la densidad de plantación, la profundidad del suelo y sobre todo la diferente finalidad productiva del almendro (máximo número de frutos) y del melocotonero (buen tamaño de frutos) podrían explicar este resultado a primera vista contradictorio.

Probablemente el cultivo con más ensayos sobre RDC sea el melocotonero, especialmente en variedades tardías, puesto que las fases de crecimiento del fruto están lo suficientemente diferenciadas para que se pueda distinguir cada una de ellas (*DeJong et al., 1987*) y aplicar un porcentaje distinto de la ETc. Así *Chalmers et al. (1981)* encontraron que regando variedades tardías de melocotón con un 100 a 120% de la ETc durante las fases III y post-cosecha, era suficiente para mantener la producción y el tamaño del fruto, habiendo sometido a los árboles en las fases I y II del crecimiento del fruto a una reducción importante de las aportaciones hídricas.

En el caso específico del melocotonero cabría hacer dos consideraciones que parecen fundamentales: 1). Dado que las prácticas de aclareo eliminan un porcentaje considerable de

frutos (*Havis, 1962; Ryugo, 1988; Byers, 1989*), la reducción de la longitud de las ramas no afecta de un modo significativo el número final de frutos por árbol, siempre y cuando sean árboles bien desarrollados. 2). Las reducciones hídricas en la fase I del crecimiento del fruto no parecen muy aconsejables puesto que es una fase básicamente de división celular y por consiguiente de definición del potencial de crecimiento del fruto (*Ragland, 1934; Denne, 1963*). Tan solo en suelos profundos una reducción del 60% al 75% de la aplicación de agua durante la fase I del crecimiento del fruto podría ser posible, siempre y cuando haya suficiente agua disponible para asegurar el máximo desarrollo del fruto.

Es evidente que los aspectos comerciales (calidad del fruto, aptitud para la conservación, presencia, ..) poseen cada vez más una fuerza determinante en el conjunto del sistema productivo, y por consiguiente es necesario analizar el efecto de las estrategias de RDC en la calidad del fruto. En el caso del manzano, *Ebel et al., (1993)* demostraron que las estrategias de RDC que ellos usaron en sus experimentos alteraron las fechas de maduración, la calidad del fruto y el periodo de conservación de la fruta.

3. Respuesta de los árboles frutales al déficit hídrico.

La respuesta de los árboles frutales al déficit hídrico es, sin duda, el resultado de un gran número de procesos afectados en el tiempo por situaciones de estrés cambiantes. A éstos se les une el factor acumulativo de la permanencia del árbol, lo que hace que los efectos residuales puedan ser tanto o más importantes que los inmediatos.

Conocida esta complejidad, se ha optado por dividir el contenido de esta parte de la revisión en tres áreas: el de las relaciones agua-planta e intercambio gaseoso, la del crecimiento vegetativo y finalmente la estrictamente dedicada al fruto y a la producción. Aunque la importancia de las tres parece evidente, es interesante matizar la trascendencia de las relaciones hídricas como promotor de mecanismos que pueden tener incidencia determinante en los otros aspectos. Además, es una buena herramienta para explicar y comprender respuestas detectadas en crecimiento vegetativo y/o de la producción de frutos.

3.1. Efecto del déficit hídrico sobre el contenido hídrico y el intercambio gaseoso en árboles frutales.

La limitación del agua disponible del suelo reduce el potencial hídrico en hoja y la conductancia estomática (*Castel y Fereres, 1982; Tan y Buttery, 1982.a; Behboudian et al., 1986.a*). En estas condiciones la tasa de asimilación de CO₂ normalmente decrece (*Tan y Buttery, 1982.a; Swietlik et al., 1983; Behboudian et al., 1986.a*). Aunque la utilización

de la conductancia estomática para predecir la respuesta de la fotosíntesis al déficit hídrico es una simplificación y puede que no sea totalmente correcta, ya que existen muchos otros factores involucrados en el proceso fotosintético (*Schulze, 1986*), los efectos del control estomático sobre la fotosíntesis son tan importantes que suelen ser la causa principal de variaciones en el consumo de CO_2 (*Schulze y Hall, 1982*).

Existen diferentes propuestas para explicar los múltiples procesos que ocurren en el control y el movimiento del agua en la planta, pero el modelo del "Continuo Suelo Planta Aire" (SPAC) es el más comúnmente usado (*Kramer, 1983; Jones, 1985; Katerji y Cruiziat, 1985*). Dicho modelo explica la conducta estomática y la del potencial de agua en la planta en función del grado de déficit hídrico al que ésta esté sometida. Así mismo intenta explicar el comportamiento fotosintético y del crecimiento frente al estrés hídrico, ya que juega con los dos parámetros más relacionados con estos procesos: potencial hídrico y conductancia estomática.

Midiendo el potencial hídrico de hoja, como indicador del último paso del SPAC, pueden predecirse, basándose en experiencia previas, el desarrollo vegetativo y crecimiento reproductivo (*Jordan, 1983*). Aunque, en algunos casos, el ajuste osmótico pueda permitir crecimientos vegetativos a potenciales hídricos de hoja muy bajos, ya que son posibles unos potenciales de turgencia positivos y en consecuencia promotores de la capacidad de engrosamiento celular (*Hsiao, 1973; Acevedo et al., 1979; Morgan, 1984*).

De acuerdo con este planteamiento, la reducción del potencial matricial del suelo implicaría una menor absorción de agua por las plantas y en consecuencia se produciría una disminución del turgor de la hoja que conduciría al cierre estomático. No obstante, existe cierta evidencia de que la falta de agua en el suelo puede inducir el cierre estomático sin que el estado hídrico de la hoja se modifique (*Bates y Hall, 1981; Davies y Sharp, 1981; Blackman y Davies, 1985; Gollan et al., 1986*).

Se ha postulado el papel de mensajeros de algunas hormonas que informarían a la hoja de las condiciones en las que se encuentra el sistema radicular. Algunos de estos compuestos son sintetizados en la raíces, como el ACC (ácido 1-amino-ciclopropano-1-carboxílico)(precursor del etileno) y las citoquininas (CK)(*Bradford y Hsiao, 1982*). Una tercera hormona que juega un papel importante es el ABA (ácido absísico), que induce el cierre estomático (*Xiloyannis et al., 1980; Loveys y Düring, 1984*), mientras que las CK promueven la apertura estomática (*Jewer y Incoll, 1980*).

Diferentes trabajos sugieren que las raíces podrían parar de producir CK con los primeros síntomas de falta de agua en el suelo (*Itai y Benzioni, 1976; Vaadia, 1976*). La ausencia de CK podría reducir la apertura estomática, mientras otros parámetros de la planta (potencial hídrico de hoja, turgor, ABA) permanecen inalterados (*Blackman y Davies, 1985; Turner, 1986.a*). En otros casos se sugiere que pequeñas cantidades de ABA metabolizadas en las raíces podrían llegar a la hoja e inducir el cierre estomático (*Zhang et al., 1987, Passioura, 1988; Gowing et al., 1993*).

La importancia de estos planteamientos se pone de manifiesto cuando se utilizan sistemas de riego que tan solo humedecen volúmenes de suelo limitados y donde existe una parte de la raíz en suelo seco. En estos casos parece ser que la reducción drástica de la zona mojada podría inducir a que se activasen los mensajes químicos, incluso cuando en la zona húmeda del suelo existiera agua fácilmente absorbible por la planta (*Blackman y Davies, 1985; Proebsting et al., 1989*) pudiendo llegar a modificar el crecimiento del árbol y las relaciones hídricas y de intercambio gaseoso (*Tan et al., 1981; Tan y Buttery, 1989.b; Proebsting et al., 1989*). Aunque caldría validar alguno de estos ensayos en situaciones de cultivo real, puesto que la mayoría de ellos se han realizado en macetas, es evidente que existe un efecto negativo en el cultivo cuando existe una situación de limitación importante de la zona humedecida (*Proebsting et al., 1989*). No obstante, la magnitud de estos efectos es difícil de evaluar y probablemente muy condicionada al cultivo y a las características del medio.

3.1.1. Efecto sobre el contenido y relaciones hídricas en órganos vegetativos y hojas.

Aunque la respuesta al estrés hídrico presenta algunas características generales para todas las plantas, es evidente que la sensibilidad o la resistencia de un cultivo al estrés hídrico depende de la especie (*Scholander et al., 1965; Begg y Turner, 1976*), del órgano y/o proceso fisiológico que desarrolle en el momento del déficit y de la duración del estrés (*Hsiao, 1973; Begg y Turner, 1976; Irving y Drost, 1987; Li et al., 1989.b; Li et al., 1989.c*). En este sentido el efecto del déficit hídrico sobre las relaciones hídricas de los órganos vegetativos debe analizarse en base a su funcionalidad y a las repercusiones que una alteración en ellos pueda tener sobre otros procesos o partes de la planta.

Dado que los efectos directos del déficit hídrico sobre los órganos vegetativos tienen que ver con la deshidratación de los mismos y su efecto sobre el crecimiento (ver 1.1), que los efectos indirectos actúan sobre el estoma y la capacidad de asimilar CO₂ (ver 3.1.2 y 3.1.3) y que todos ellos se analizan en otros apartados de la revisión. El contenido de éste punto se centra en la importancia que puedan tener diferentes parámetros en la detección del estrés y su posible uso para explicar el proceso.

El potencial hídrico (*Slavík, 1974*) es uno de los parámetros más usados para explicar alguno de los cambios observados en las plantas sometidas a estrés hídrico (*Davies y Lakso, 1978; Lakso, 1979; Faci y Fereres, 1980; Castel y Fereres, 1982; Hand et al., 1982; Tan y Buttery, 1986; Kramer, 1988; Torrecillas et al., 1988; Xiloyannis et al., 1988*). No obstante, la evidencia de que las plantas son capaces de acumular solutos en condiciones de restricciones hídricas (*Hsiao et al., 1976.b*) y la presunción de los efectos que las variaciones de potencial osmótico pueden tener sobre el cierre estomático (*Turner, 1974*) o sobre el balance de carbón (*McCree, 1986; McCree et al., 1984*), hace que la medida única del potencial hídrico sea insuficiente para explicar ciertos procesos (*Turner, 1986.b*). Algunos trabajos más recientes apuntan la posibilidad de que otros parámetros como los módulos de elasticidad (*Serrano et al., 1991; Meinzer et al., 1990*) sean usados para la explicación de estos procesos. En este sentido las curvas de presión volumen (*Tyree y Hammel, 1972; Tyree y Jarvis, 1982*) se muestran como una herramienta importante para la comprensión de algunos de estos procesos.

La determinación del potencial hídrico del tallo y su posterior correlación con el potencial hídrico de hoja (*Turner, 1981*) parece, según la teoría del SPAC, un buen método para determinar resistencias entre puntos, o como indicador estable del estrés. Esta determinación se basa en encerrar una rama en una bolsa opaca y hermética por un periodo más o menos largo de tiempo y posteriormente comprobar el potencial hídrico de las hojas de esta rama. Se determina el valor del potencial hídrico de hoja como indicador del potencial hídrico del tallo porque se asume que estas hojas no transpiran y que en consecuencia el flujo es nulo (*Begg y Turner, 1970*). En la práctica padece de algunos defectos como es el incremento de temperatura en el interior de la bolsa o la posibilidad de que exista cavitación en el ramo (entre tallo y hoja) (*Boyer, 1985*) (*Hsiao, comunicación personal*).

Otro de los parámetros comúnmente utilizados para la determinación del déficit hídrico de órganos vegetativos, ha sido el contenido relativo de agua (RWC) (*Kramer, 1988; Slavík, 1974*). La dificultad para correlacionarlo con el contenido hídrico del suelo y la baja correlación con el potencial hídrico cuando los valores del RWC bajan del 94% hace que este sea un parámetro poco usado. Otras razones que se han aducido como inconvenientes para su uso rutinario, como es la dependencia del RWC con la edad (*Knipling, 1967*), no debería ser tal ya que el resto de parámetros más comúnmente usados (potencial hídrico, conductancia estomática) también varían con la edad del órgano elegido (*Steinberg et al., 1989; Andersen y Brodbeck, 1988*).

Algunos trabajos mostraron buena correlación entre variaciones micrométricas de tallo con el potencial hídrico de hoja (*Parsons et al., 1979*) o el espesor de la hoja y el potencial hídrico de la planta (*McBurney, 1992*). Aunque la utilización de los primeros en plantas leñosas parece tener una cierta dificultad, podría ser éste un buen método para la determinación en continuo del potencial hídrico.

Más estrictamente en los efectos del déficit hídrico sobre los órganos vegetativos deben tenerse en cuenta las posibles repercusiones que la restricción continua de agua pueda tener sobre la cavitación (*Scholander et al., 1957*) así como lo irreversible que esta pueda ser (*Boyer, 1985*).

3.1.2. Efecto sobre el intercambio de vapor de agua.

El intercambio de vapor de agua (transpiración) depende básicamente del gradiente de humedad existente entre el exterior y el interior (de los estomas de la hoja) y de la conductancia entre estos dos puntos (*Kramer, 1983*). Dado que el gradiente de humedad exterior puede ser muy variable y poco relacionado con la planta, el contenido de este apartado se basa sobre la conductancia estomática y su respuesta frente a diferentes condiciones, como máximo indicador del intercambio de vapor de agua.

Existen numerosos trabajos que muestran la buena correlación existente entre el potencial hídrico de hoja y la conductancia estomática (*Davies y Lakso, 1978; Lakso, 1979; Fereres et al., 1981.b; Castel y Fereres, 1982; Hand et al., 1982; Tan y Buttery, 1982.a,1986; Garnier y Berger, 1987; Torrecillas et al., 1988*), aunque en alguno de ellos se especifica que esta relación puede ser modificada con el tiempo (*Lakso, 1979; Schulze y Küppers, 1979*) o por las condiciones de estrés del cultivo (*Torrecillas et al., 1988*). Este comportamiento de los estomas en respuesta al potencial hídrico concuerda plenamente con la teoría del SPAC, cuyo posterior desarrollo ha atribuido al ABA el papel de controlador del cierre estomático. Dicho papel se basa en la buena correlación observada entre descensos de potencial hídrico de hoja y aumentos importantes de ABA en hoja, con el consiguiente cierre estomático (*Hiron y Wright, 1973; Kriedemann y Loveys, 1974; Milborrow, 1974; Zabadal, 1974; Xiloyannis et al., 1980*). No obstante, en otros trabajos se evidencia que el efecto del ABA está más relacionado con su concentración en las células guarda de los estomas y sus posibles efectos sobre el potencial de turgencia (*Davies y Lakso, 1978*), que con el contenido total en hoja (*Raschke et al., 1976; Gowing et al., 1993*). Esto concuerda con otros trabajos donde se concluye que para el control del cierre estomático solo es necesario cantidades muy pequeñas de ABA (*Zhang et al., 1987*).

Aunque el modelo de funcionamiento descrito anteriormente sigue siendo válido para algunos casos, parecen existir otros mecanismos de control estomático. Así, existe evidencia de que los estomas responden al déficit hídrico de presión de vapor (DPV) (*Kaufmann, 1982; Johnson y Ferrell, 1983; Farquhar et al., 1980; Gollan et al., 1985; Turner et al., 1984, 1985; Guehl y Aussenac, 1987*), y a altos contenidos de CO₂ en la cavidad subestomática (*Morison y Gifford, 1983*). Responden también a señales remitidas desde la raíz (ABA, ..) cuando ésta detecta algún estrés (*Bates y Hall, 1981; Tan y Buttery, 1982.b; Blackman y Davies, 1985*), o como respuesta a la presencia o no de frutos en el árbol (*DeJong, 1986*). De todas formas el papel del ABA como mensajero sigue teniendo un papel importante, al menos en los dos últimos de los casos, que a su vez estarían de acuerdo con el concepto propuesto por *Loveys y Düring (1984)* donde el ABA podría ser cargado y extraído de la hoja en función de estrategias de máxima eficiencia en el uso del agua.

3.1.3. Efectos sobre la tasa de asimilación de CO₂.

La tasa de asimilación neta de CO₂ en plantas puede verse afectada por condiciones de corta (horas o días) o larga (días o semanas) duración. La respuesta a condiciones de corta duración puede ser un ajuste en la tasa fotosintética y cambios en la apertura estomática (*Schulze, 1986*). La respuesta a condiciones de larga duración se caracteriza por cambios en el desarrollo foliar y en la capacidad fotosintética del mesófilo de la hoja. La posibilidad de que condiciones de déficit hídrico de larga duración puedan modificar la capacidad del aparato fotosintético debe tenerse en cuenta al abordar estos estudios.

Como se ha comentado anteriormente, el déficit hídrico en el suelo hace disminuir el potencial hídrico de hoja y la conductancia estomática, y como consecuencia la tasa de asimilación de CO₂ decrece (*Castel y Fereres, 1982; Swietlik et al., 1983; Behboudian et al., 1986.a; Tan y Buttery, 1988.a,b*). No obstante, esta es solamente una primera aproximación de la respuesta fotosintética al déficit hídrico ya que existen muchos más factores involucrados en este proceso (*Schulze, 1986*). En aquellos trabajos en que se presentan datos de fotosíntesis vs conductancia estomática lo suficientemente amplios (*Jones y Fanjul, 1983; Lin et al., 1984; Goldhamer et al., 1985*) es posible constatar que a valores altos de conductancia estomática, pequeñas limitaciones estomáticas no afectan la tasa de asimilación de CO₂, y ello es debido a que el consumo de CO₂ por parte del mesófilo es menor que la conductancia del CO₂ a través del estoma (*Boyer, 1976*). En estas condiciones, pequeñas limitaciones en el aporte hídrico podrían mejorar la eficiencia en el uso del agua.

Así mismo, algunas adaptaciones fisiológicas pueden mejorar la fotosíntesis en plantas sometidas a un déficit hídrico. Por ejemplo, la regulación osmótica permite una actividad fotosintética adecuada en condiciones de potencial hídrico de hoja por debajo de los -5 MPa. Esto indica que los mecanismos de la fotosíntesis no se ven afectados por bajos potenciales hídricos si existe un potencial de turgencia suficiente para mantener los estomas abiertos, tal y como se ha observado en manzano (*Lakso, 1983*). Otra de las posibles adaptaciones fisiológicas es el ajuste de la capacidad del mesófilo para aumentar su potencialidad en el consumo de CO_2 en condiciones de altas temperaturas (*Mooney et al., 1977*) o a condiciones de potenciales hídricos de hoja muy bajos (*Matthews y Boyer, 1984*). Estos cambios parecen ser promovidos por estreses de larga duración, ya que en periodos de corta duración no existe tal adaptación (*Bolaños, 1988*).

En algunas áreas donde las temperaturas son elevadas y la humedad del aire baja, como en el caso del Valle de San Joaquín, las condiciones ambientales pueden restringir la actividad fotosintética, debido a una refrigeración insuficiente (*Even-Chen et al., 1981*) o a cambios en el aparato fotosintético en el mesófilo (*Schulze, 1986*). En estas condiciones las hojas del árbol parcialmente iluminadas pueden jugar un papel importantísimo en el total del CO_2 asimilado, convirtiéndose en la parte más productiva del árbol, según ya había apuntado *Lakso (1980)* con respecto al manzano. Por otra parte, recientes trabajos de *Gaudillere y Moing (1990)* ponen de manifiesto que las hojas situadas en segundo plano y normalmente sombreadas tienen una capacidad fotosintética muy inferior a las constantemente iluminadas (evidentemente el análisis comparativo se hizo en condiciones estandar para obtener las curvas A/Ci según la metodología de *Farquhar y Sharkey, 1982*). De todas formas, la iluminación indirecta en condiciones silvestres y forestales se ha descrito como un factor importantísimo (*Pearcy, 1990*).

Muy recientemente, un trabajo realizado sobre diferentes sistemas de formación en manzano ha puesto de manifiesto la influencia de tales sistemas sobre la transmisión y redistribución de la radiación solar en el interior de los árboles, pero el nulo efecto que ejercían sobre las tasas fotosintéticas en hoja (*Ferree et al., 1993*). Parece ser que existe una aclimatación del sistema fotosintético a cada situación lumínica puesto que sí había modificaciones, por ejemplo, sobre las curvas A/PAR.

Estos mecanismos (relacionados con la temperatura de hoja y grados de iluminación) que no parecen responder de forma uniforme en todos los ensayos realizados, podrían tener una importancia fundamental para explicar algunos de los resultados observados en estrategias de déficit controlado de riego.

3.2. Efecto del déficit hídrico en el crecimiento vegetativo.

Existen numerosas referencias que ponen de manifiesto el efecto negativo del déficit hídrico sobre el crecimiento vegetativo, ya sea en base al crecimiento del tronco (*Hendrickson y Veihmeyer, 1950; Veihmeyer, 1972, 1975; Assaf et al., 1975; Chalmers et al., 1981; Goldhamer et al., 1985; Larson et al., 1988*), a la longitud y grosor de las brotaciones (*Uriu et al., 1964; Nerd y Benzoni, 1988; Li et al., 1989.c; Olien y Flore, 1990; Goldhamer et al., 1993; Metheney et al., 1994*) e incluso sobre el sistema radicular (*Richards y Cockroft, 1975; Atkinson, 1980; Steinberg et al., 1990*). Además de tener un importante efecto sobre los parámetros fisiológicos de intercambio de gases y potencial hídrico, el déficit hídrico tiende a reducir el crecimiento celular (*Terry et al., 1983; Kuang et al. 1990*) y puede modificar las tendencias de acumulación de carbohidratos de tal forma que el crecimiento relativo de la raíz suele ser superior al de la parte aérea (*Bradford y Hsiao, 1982; Steinberg et al., 1990*). El ajuste osmótico a nivel celular puede paliar, en parte, esta respuesta al déficit hídrico (*Morgan, 1984; Acevedo et al., 1979; Kuang et al., 1990*).

3.3. Efecto del déficit hídrico en el cuajado y crecimiento del fruto.

El efecto del déficit hídrico sobre el crecimiento del fruto parece ser menor que el observado sobre los órganos vegetativos, especialmente cuando la referencia es el crecimiento externo (diámetro o perímetro del fruto) (*Uriu, 1965; Assaf et al., 1975; Mitchell et al., 1984; Nerd y Bonzi, 1988; Chalmers et al., 1986; Li et al., 1989.b*).

Dependiendo de la especie y del porcentaje de agua que tenga el fruto, el efecto del déficit hídrico puede manifestarse de forma diferente, por ejemplo, no se ha observado la misma respuesta en el fruto del melocotonero (*Li et al., 1989.b*) que en el del almendro (*Nieddu et al., 1989; Girona, 1992*) al aplicar restricciones de agua de riego. En este sentido hay que analizar la respuesta de cada parte del fruto (exocarpio, mesocarpio, endocarpio) al estrés, diferenciando a su vez el efecto sobre el contenido hídrico y sobre la materia seca (*Chalmers y van den Ende, 1975*).

En las primeras fases de crecimiento del fruto se produce una división celular rápida que definirá el tamaño potencial de dicho fruto (*Ragland, 1934; Denne, 1963*) y se ha observado una correlación alta entre este crecimiento primario y el nivel de etileno (*Marei y Crane, 1971; Looney et al., 1974*), agente químico altamente susceptible al estado hídrico de la planta (*Bradford y Hsiao, 1982*). Aunque esta fase puede ser muy importante para el desarrollo del fruto no existen datos fiables sobre el efecto del déficit hídrico en este

período, dado que los requerimientos hídricos del mismo suelen ser muy bajos, y tan solo pequeñas precipitaciones pueden ser suficientes para aliviar cualquier tipo de déficit por lo que se refiere al crecimiento del fruto (*Chalmers et al., 1984; Li et al., 1989.d*); presentándose en algunos casos resultados contradictorios sobre el efecto que el déficit hídrico en esta fase de división celular tiene sobre el tamaño final del fruto (*Lötter et al., 1985; Irving y Drost, 1987*).

En frutos con alto contenido hídrico en el mesocarpio, la fase III del crecimiento del fruto (*Connors, 1919*) es sin duda la más sensible al déficit hídrico (*Uriu, 1965; Assaf et al., 1975; Chalmers et al., 1983; Goldhamer et al., 1988; Li et al., 1989.b*) básicamente por lo que se refiere al tamaño y peso final. Cuando se analizan los efectos del déficit hídrico en la fase III del crecimiento del fruto sobre la acumulación de materia seca (básicamente carbohidratos), se detecta que ésta se ve muy poco afectada, hasta el punto de no observarse diferencias entre frutos en árboles sometidos a estrés hídrico y árboles bien regados en lo referente a frutos climatéricos (*Goldhamer et al., 1988*), al igual que ocurre en la fase rápida de llenado del grano (semilla) en los frutos secos (*Goldhamer y Shackel, 1989*).

Además de que la acumulación de materia seca en el fruto sea menos sensible al estrés hídrico que la expansión celular en el crecimiento vegetativo (*Chalmers et al., 1986*) existe, en ciertas especies, una dominancia del crecimiento del fruto sobre el crecimiento vegetativo (*Chalmers y van den Ende, 1975; DeJong et al., 1987*). Ambos factores son determinantes en que el árbol ponga todo su esfuerzo en el desarrollo del fruto en ciertas fases del ciclo anual.

La recuperación del fruto frente a limitaciones hídricas de corta duración parece ser evidente (*Goldhamer et al., 1990*) especialmente cuando éstas no coinciden con el inicio del crecimiento rápido de la fase III (*Vidaud et al., 1987*). En este sentido cabe citar los trabajos de *Chalmers et al. (1981, 1984, 1986)* y *Mitchell et al. (1982, 1984, 1986, 1989)* en melocotón y peral, en los que a través de déficits regulados de riego, en las fases I y II del crecimiento del fruto, no tan solo no obtienen frutos menores, sino que incluso el tamaño y peso de los frutos son mayores en los árboles sometidos a estrés que en los regados con el 100% de la ETC, consiguiendo así producciones finales superiores.

El efecto del agua sobre el cuajado y caídas fisiológicas del fruto es probablemente mucho más importante en especies como las de frutos secos y olivo, que en el caso de las especies de fruta de hueso y pepita, a juzgar por la cantidad de referencias que pueden encontrarse en la bibliografía. No obstante, el hecho de que los frutos secos (almendro, pistacho) y el

olivo estén muy extendidos en zonas de secano, lo que no ocurre con el melocotón o la manzana, pudiera indicar que este efecto esté más relacionado con un ajuste del cultivo a las disponibilidades hídricas, que al estrictamente fisiológico. Así, *Assaf et al. (1975)* observaron que el déficit hídrico aumentaba significativamente la caída de frutos en manzano, aunque ésta se producía regularmente a lo largo del ciclo de crecimiento del fruto.

En el estudio del efecto del agua sobre el número de frutos en el árbol, se deben analizar los posibles efectos sobre cada uno de los procesos fisiológicos más importantes del ciclo anual: emisión de yemas, diferenciación floral, floración y cuajado.

Existen suficientes referencias como para asegurar que el estrés hídrico afecta a todos ellos, así *Handley et al. (1989)*, *Patten et al. (1989)* y *Johnson et al. (1992)* detectaron un importante incremento en la inducción de yemas florales con doble ovario y consecuentemente mayor porcentaje de frutos dobles, cuando los melocotoneros se sometían a un déficit hídrico en el período de diferenciación floral. Previamente se había constatado la influencia positiva que el aumento de calor tenía sobre la formación de frutos dobles en el cerezo (*Philp, 1947*). En este mismo sentido, *Larson et al. (1988)* observaron que los melocotoneros sometidos a déficit hídrico en post-cosecha presentaban al año siguiente una intensidad de floración un 30% superior a los árboles regados regularmente, y que el cuajado de frutos era también superior en el tratamiento sometido a déficit hídrico. *Li et al. (1989.b)* y *Mitchell et al. (1984)* aportan resultados muy similares en sendos ensayos de estrategias de riego deficitario en melocotón y peral respectivamente. Estas observaciones contrastan con los resultados aportados por *Goldhamer y Shackel (1990)* en almendro, donde se pone de manifiesto el efecto negativamente drástico que el déficit hídrico en post-cosecha tiene sobre el cuajado del fruto en la campaña siguiente.

No obstante, existe un punto en común en todos estos trabajos y es el hecho de que déficits hídricos ligeros en el momento de la diferenciación floral favorecen la producción de yemas reproductivas. Aunque, esta tendencia se ve drásticamente invertida cuando los frutales se someten a prolongados períodos de déficit hídrico (*Brown, 1952; Proebsting y Middleton, 1980; Goldhamer y Shackel, 1990*).

Un déficit hídrico moderado parece no afectar el proceso de caída de frutos (*Li et al., 1989.b, Goldhamer y Shackel, 1990; Lampinen et al., 1991*), pero déficits hídricos severos favorecen una mayor caída. Esta reacción se ha observado en diferentes especies (manzano, ciruelo, melocotonero) (*Assaf et al., 1975; Li et al., 1989.b; Lampinen et al., 1991*), pero especialmente en el olivo (*Lavee et al., 1990*) donde la competencia entre frutos es muy

grande (Rapoport y Rallo, 1983; Suárez et al., 1984; Rallo y Fernández-Escobar, 1985; Rapoport y Rallo, 1991).

4. Respuesta de los árboles frutales (especialmente especies de frutos secos) a la salinidad y a la toxicidad.

El cultivo de las especies de frutos secos en el litoral mediterráneo se encuentra básicamente localizado en áreas con reducidas disponibilidades de agua. El uso de aguas de baja calidad para regar estas especies puede representar una oportunidad importante para mejorar su productividad, en especial cuando se ha demostrado que reducidas aportaciones hídricas pueden incrementar la producción de algunas especies de frutos secos de forma substancial (Goldhamer et al., 1987; Torrecillas et al., 1989).

Incluso pueden ser más eficientes aquellas aportaciones de reducidas cantidades de agua, cuando se usan estrategias de riego deficitario controlado (RDC) (Chalmers et al., 1981; Mitchell et al., 1989) y de forma muy especial en el caso del almendro (Goldhamer y Shackel, 1989, 1990; Girona, 1992).

En este sentido parece de especial importancia el posible aprovechamiento de aguas residuales (industriales o urbanas) para el riego de plantas cultivadas en zonas con recursos hídricos limitados (Asano y Pettygrove, 1987; Pettygrove y Asano, 1988; Neilsen et al., 1989)

El efecto de las sales sobre las plantas cultivadas se puede presentar a través de diferentes mecanismos dependiendo del cultivo y del tipo de sales (Maas, 1986). En función principalmente del tipo de sales y del tipo de estrés producido a la planta diferenciaremos dos grupos de respuestas : los producidos por *salinidad* y los producidos por *toxicidad*.

No existe mucha información sobre el comportamiento de los frutales frente a la presencia de sales (Maas, 1986; Hoffman et al., 1989) especialmente si se compara con la generada con plantas anuales. En la revisión efectuada los cultivos leñosos que disponían de mayor información son los cítricos y el pistachero, y tan solo se han encontrado unas pocas referencias referidas a otros cultivos (melocotón, ciruela, viña, ...).

4.1.- Efectos de la salinidad sobre el crecimiento.

Se entiende como salinidad la presencia de concentraciones elevadas de sales solubles en el suelo (o solución) en la cual se cultiva una planta (Flowers y Yeo, 1986). La presencia de

estas sales produce una disminución del potencial osmótico y por consiguiente una mayor dificultad para que la planta pueda tomar el agua del suelo (*Hsiao et al., 1976.b*). En este sentido sus efectos no se diferencian en mucho de los provocados por la falta de agua (*Flowers y Yeo, 1986; Kramer, 1983*).

El efecto de la salinidad sobre el crecimiento debería actuar sobre los mismos parámetros que el estrés hídrico, y por consiguiente el crecimiento vegetativo (en primer lugar) y la elaboración y redistribución de carbohidratos son los aspectos sobre los que la salinidad podría afectar a la planta (*Bradford y Hsiao 1982; Rawson y Munns, 1984; Munns y Termaat, 1986*), no obstante los casos de salinidad presentan ciertas particularidades específicas, como son la capacidad de acumulación de solutos y una mayor facilidad para adaptarse a ciclos cortos de falta de agua, que deben tenerse en cuenta al estudiar este estrés (*Aspinall, 1986; McCree, 1986*).

Diferentes trabajos muestran el efecto de las sales reduciendo crecimiento: *Sepaskhah y Maftoun (1981)* y *Parsa y Karimian (1975)* en pistachero, *Hoffman et al. (1989)* y *Catlin et al. (1993)* en ciruelo, *Boland et al. (1993)* en melocotonero, *Klein et al. (1994)* en olivo. En el caso del pistachero, que se cita como un cultivo resistente a las condiciones de sequía (*Spiegel-Roy et al., 1977*), éste puede crecer a un ritmo del 50% usando aguas de riego de hasta 10 dS/m, mientras que reduce su tasa de crecimiento a 0 a salinidades de 20 dS/m (*Sepaskhah y Maftoun, 1988*). En comparación, *Hoffman et al. (1989)* citan, para el ciruelo, primeros efectos negativos sobre la producción (valores para cosecha y longitud de brotaciones) para aguas de 2.6 dS/m y 0 de producción para concentraciones salinas de 5 a 6 dS/m. Estos valores del ciruelo no difieren en mucho de los recopilados por *Maas (1986)* para la mayoría de frutales. Una explicación del buen comportamiento del pistachero se podría encontrar en su gran capacidad de mantener cierta turgencia, incluso a potenciales de hoja tan bajos como - 6 MPa (*Behboudian et al., 1986.b*). Estos tipos de ajuste se han observado sobre otros cultivos, como los cítricos, donde se detecta un importante ajuste osmótico a la presencia de sales, de tal forma que algunas combinaciones patrón-injerto sometidos a salinidad presentan potenciales de turgencia mayores que las respectivas combinaciones control (*Behboudian et al., 1986.a; Lloyd, et al., 1990*). Esta dependencia del patrón en la respuesta a la salinidad se ha observado en otras especies como son el pistachero (*Picchioni et al., 1990*) y el nogal (*Catlin y Schreader, 1985*).

Al igual que en el caso del déficit hídrico; las plantas sometidas a los efectos de un estrés salino también suelen alterar la redistribución de los carbohidratos de forma que el cociente **Raiz:Tallo (R/T)** aumenta porque se acumula más carbono en las raíces (*Mooney, 1972; Agren y Ingestad, 1987; Hunt y Lloyd, 1987*). Este cambio podría ser consecuencia de un

mensaje hormonal que intervenga en los procesos de redistribución del carbono (*Munns y Termaat, 1986*). En el mismo sistema radicular, existe diferente intensidad de daños entre raíces de reserva y raíces finas, mientras que las primeras podrían aumentar sus reservas existe una marcada disminución en la presencia de raíces finas cuando aumentan la salinidad y/o toxicidad de la solución del suelo (*Snapp y Shennan, 1992, 1994*).

4.2.- Efectos de la toxicidad en los árboles frutales.

Cuando algunos elementos solubles están presentes en grandes cantidades, las plantas pueden tomarlos de la solución del suelo y la concentración en el interior del vegetal puede incrementar hasta llegar al punto en que estos elementos se convierten en tóxicos para las plantas (*Pitman, 1984*). Los elementos más citados que provocan toxicidad en las plantas cultivadas son Cl^- , Na^+ y B^- .

Algunas plantas han desarrollado diferentes mecanismos como estrategias para resistir la toxicidad específica: barreras radicales a la entrada de iones específicos (*Pitman, 1984*) y exclusión y/o inclusión salina (*Baker, 1981*). De lo contrario pueden aparecer los efectos que se analizan en los siguientes apartados.

La primera de las estrategias usadas son las barreras radicales a la penetración de iones concretos (mecanismo típico de evitancia) que mantienen una concentración baja de sales y/o de algunos iones dentro de la planta. Este es un mecanismo habitual en halófitas, las cuales tienen la capacidad de reducir la permeabilidad radicular frente a ciertos iones (*Stelzer y Läubli, 1977*). En los cítricos y en la vid se han observado individuos que presentan mecanismos de exclusión frente al Cl^- (*Sykes, 1992; Zekri y Parsons, 1992*).

Algunas especies usan sales para incrementar el potencial del xilema (inclusión). Estas sales son normalmente compatibles con los procesos de adquisición y redistribución de los compuestos orgánicos, y no provocan desequilibrios nutricionales (*Cheeseman, 1977*).

El proceso de exclusión consiste en acumular iones específicos (Na^+ , Cl^- , ..) en el interior de las vacuolas celulares, y por lo tanto la presencia de estos elementos no tiene ninguna repercusión ni en el crecimiento de la planta, ni en su actividad fotosintética o en los hábitos de redistribución de los compuestos orgánicos. *Läubli (1984)* describe algunas características de los mecanismos de exclusión de sales en leguminosas, aunque él mismo se cuestiona la posibilidad de desequilibrios nutricionales de Ca^{2+} y K^+ como consecuencia de la exclusión. Más recientemente, otros trabajos realizados preferentemente en cítricos

(Maas, 1993) y más excepcionalmente en manzano (Schreiner y Ludders, 1992) confirman la existencia de estos mecanismos en especies leñosas.

4.2.1.- Efectos sobre el intercambio gaseoso.

La presencia de sales se ha asociado generalmente a un cierre estomático en la mayoría de especies sensibles (Logstreth y Nobel, 1979; Walker et al., 1979; 1981; 1983), no obstante esta respuesta parece no deberse directamente a un cierre por falta de agua, puesto que como vimos en el punto anterior el ajuste osmótico juega en muchos casos a favor de la apertura estomática. En este sentido Levitt (1980) (Cap.IV. Salt Stresses) aporta algunos ejemplos de como la presencia de Cl^- favorece, a corto plazo, la apertura estomática.

Parece ser que la actividad fotosintética, a través de una reducción de la capacidad del mesófilo para asimilar CO_2 (von Caemmerer y Farquhar, 1981; Farquhar y Sharkey, 1982), es la que se ve primeramente afectada por la presencia de sales. Este efecto se ha detectado en pistacheros y cítricos (Behboudian et al., 1986.a.b) y en higuera (Golombek y Ludders, 1993). Seeman y Critchely (1985) detectaron una bajada del 40% en la actividad de la **RuBP** carboxylasa para concentraciones altas de Cl^- en hojas de *Phaseolus vulgaris*, por otra parte Seeman y Sharkey (1986) vieron que concentraciones importantes de NaCl disminuían las reservas de **RuBP** debido a la imposibilidad de regeneración de **RuBP** (como pasaría en plantas cultivadas con concentraciones muy bajas de nitrógeno) lo que podría explicar las reducciones observadas en transpiración (Behboudian et al., 1986.b) y conductancia estomática (Leonardi y Flückiger, 1986), como consecuencia de un cierre estomático debido a un exceso de CO_2 en la cavidad subestomática (Bradford, 1982).

Es remarcable la capacidad que el pistachero tiene para reducir los efectos que la presencia de sales tiene sobre la fotosíntesis. Behboudian et al. (1986.a) reportan un experimento donde plantas de pistachero que fueron regadas de forma continua con aguas de 225 mM Cl^- no mostraron ninguna reducción en su tasa fotosintética, mientras que en cítricos se observan disminuciones muy importantes con aguas de 70 mM Cl^- (Behboudian et al., 1986.b), aunque ésta pueda variar en función del portainjerto (Walker et al., 1993). En el caso de la higuera, con aguas de 100 mM de ClNa , se apreció una ligera disminución de la tasa fotosintética, aunque parece ser que la primera causa de la misma no fuese una limitación estomática, según se indica en trabajo de referencia (Golombek y Ludders, 1993).

4.2.2.- Desequilibrios nutricionales.

El exceso de algunos elementos o compuestos puede convertirse en una importante limitación en la absorción de otros nutrientes, causando una deficiencia nutricional en las plantas.

Uno de los desequilibrios nutricionales más conocidos es que la presencia de Na^+ reduce la capacidad radicular de absorber K^+ (Lynch y Läuchli, 1984) llegando incluso a una reducción significativa en la concentración del potasio en las hojas (Walker et al., 1987). Otro de los efectos del Na^+ es el desplazamiento de Ca^{++} de las membranas celulares, haciéndolas más frágiles (LeHaye y Epstein, 1969; Kent y Läuchli, 1985).

En contraste con lo anteriormente expuesto, parece que algunos elementos como el hierro mejoran la resistencia de las plantas a las sales, como en el caso del pistachero (Sepaskhah et al., 1985).

4.2.3.- Otros efectos

Reducciones en la tasa de crecimiento y en la capacidad fotosintética de las plantas, y necrosis foliar son los síntomas más típicos del estrés salino. La necrosis es normalmente el resultado de una concentración muy alta de iones a nivel foliar, que resulta en un tejido necrótico, probablemente como consecuencia de lesiones en la membrana citoplasmática (Leopold y Willing, 1984) que provoca un desgarre de la misma y la muerte del tejido.

Otras manifestaciones como toxicidad de las yemas (como ocurre con el B^- en el pecanero) (Sparks y Payne, 1976) son también consecuencias de la sensibilidad de las plantas cultivadas a la presencia de sales. Así mismo se ha detectado que el boro es tóxico para el pistachero (Sepaskhah et al., 1988) con un grado de sensibilidad muy diferente entre variedades (desde muy sensitivas a casi tolerantes).

4.3.- Interpretación agronómica del efecto de las sales.

Desde un punto de vista agronómico existen algunas cuestiones que no tienen una respuesta concretada en las caracterizaciones definidas anteriormente. Preguntas como ¿Qué cantidad de sales puede soportar un cultivo sin que disminuya su cosecha? o ¿Cuál es la relación entre concentración de sales y reducción de cosecha?, no encuentran una respuesta concisa si nos basamos únicamente en el estudio de los mecanismos definidos previamente.

Maas y Hoffman (1977) desarrollaron una metodología para evaluar los efectos de las sales sobre las plantas cultivadas. Los parámetros básicos de la misma consisten en definir la máxima concentración de sales en la cual no existe reducción en la cosecha (umbral de sensibilidad), y aquella concentración en la cual la cosecha se reduce a cero. La pendiente de la recta entre estos dos puntos define la sensibilidad del cultivo a la presencia de sales. Recientemente se ha publicado una actualización de los resultados obtenidos con esta metodología (*Maas, 1986*).

Existen pocas referencias para cultivos leñosos, y además la mayoría de ellas se basan en parámetros del crecimiento y no en producciones. De los pocos trabajos que aportan resultados de producción frente a salinidad cabe citar *Hoffman et al. (1989)* en ciruelo, (1er trabajo realizado en campo), a *Hayward et al. (1946)* y a *Boland et al., (1993)* en melocotoneros en macetas. Comparando los resultados de producción del ensayo de ciruelo en campo (límite de sensibilidad = 2.6 dS/m(EC_e) y pendiente del 31%) y los indicativos publicados por *Maas y Hoffman (1977)* (límite de sensibilidad = 1.5 dS/m(EC_e) y pendiente del 18%), vemos que existe una desviación importante entre ellos, en el sentido de que los indicativos eran mucho más conservadores en el límite de sensibilidad, pero en cambio la pendiente mucho más suave de lo que ha aportado en el ensayo de campo. Es importante resaltar en este trabajo que las reducciones en crecimiento vegetativo debidos a la salinidad (parámetro sobre el que se basan algunas de las estimaciones de la tabla de sensibilidad de árboles frutales (*Maas y Hoffman, 1977; Maas, 1986*)) eran prácticamente idénticas a las observadas en la producción.

A la vista de lo expuesto es fácil ver una cierta falta de resultados constatados de campo en el área de la sensibilidad de los árboles frutales a la presencia de sales. Si bien es verdad que cada vez somos capaces de explicar mejor algunos procesos fisiológicos ligados a la salinidad (en gran parte gracias a los avances en especies de ciclo anual, como por ejemplo en tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill) , también es cierto que existe muy poca información para la cuantificación productiva.

Dada la dificultad de plantear ensayos como el del ciruelo, otras estrategias como la selección de individuos resistentes a la presencia de sales podría ser una alternativa interesante (*Hassan y Catlin, 1984; Nieves, et al., 1991; Benlloch et al., 1994*) existan o no conocimientos previos de como la salinidad afecta a estas especies (*McNeilly, 1990*). Otra posibilidad sería la manipulación genética para inducir resistencias (*McGranahan et al., 1988*). Aunque es difícil asociar genes con respuestas fisiológicas al estrés de salinidad (algunas veces porque los procesos fisiológicos relacionados con estas situaciones no se comprenden lo suficiente), se han obtenido ya algunos avances interesantes (*Shannon,*

1984; Tal, 1984) y el volumen de trabajo que se realiza en este sentido es considerable (Blum, 1988; Cruz et al., 1990; Saranga et al., 1991).

RESPUESTA FISIOLÓGICA Y PRODUCTIVA DEL ESTRÉS HÍDRICO EN DIFERENTES ESPECIES FRUTALES: MELOCOTONERO (*Prunus persica* L Batsch), AVELLANO (*Corylus avellana* L) Y NOGAL (*Juglans regia*).

CAPITULO I

Respuesta de dos variedades de melocotón (*Prunus persica* L Batsch) a un programa de déficit controlado de riego. I. Aspectos fisiológicos.

CAPITULO I. RESPUESTA DE DOS VARIEDADES DE MELOCOTON (*Prunus persica* L. Batsch) A UN PROGRAMA DE DEFICIT CONTROLADO DE RIEGO. I. ASPECTOS FISIOLÓGICOS.

1. INTRODUCCIÓN.

Debido a la escasa pluviometría invernal, a la sequedad de los veranos y a una demanda evapotranspirativa muy alta, la agricultura de California y de forma muy especial la del Valle de San Joaquín, dependen totalmente del agua de riego. Como consecuencia de la sequía de los últimos años, existe una creciente demanda de conocimientos sobre como los cultivos, especialmente los frutales, responden a condiciones de limitación de recursos hídricos.

Aunque ya existía alguna información sobre la respuesta de los árboles frutales al estrés hídrico (*Uriu et al., 1964; Garnier y Berger, 1985; Goldhamer et al., 1985; Layne et al., 1981; Lotter et al., 1985*), el planteamiento de los casos estudiados se basó en regar con porcentajes fijos de la ETC o con niveles mínimos de agua en el suelo, sin tener en cuenta el estado fenológico o la fase de crecimiento vegetativo o del fruto. En estos trabajos se correlacionaba la cantidad de total de agua aplicada con la producción final o el crecimiento vegetativo, lo cual es, evidentemente, el primer paso para entender la respuesta de un cultivo a diferentes tipos de estrés hídrico.

En otros trabajos se ha planteado el estudio del efecto del estrés hídrico en diferentes fases del crecimiento del fruto (*Chalmers et al., 1981; Mitchell et al., 1989*) o en el período de postcosecha (*Larson et al., 1988; Johnson et al., 1992*). De estos estudios se desprende que es posible reducir las cantidades de agua aportadas en riego sin que la producción se vea afectada, con la intención de limitar crecimientos vegetativos excesivos, sin tener que aplicar otras técnicas culturales, como la poda de verano (*Myers, 1993*), poda de raíces (*Ferre y Rhodms, 1993*) o sistemas de formación que limiten los crecimientos vegetativos (*Bassi et al., 1993*). En Australia, *Chalmers et al. (1981)* redujeron los aportes de agua de riego durante la fase II del crecimiento del fruto en melocotonero (unos 2 meses) y obtuvieron una producción significativamente mayor a la obtenida en un tratamiento de riego total. *Larson et al. (1988)* y *Johnson et al. (1992)* no encontraron ningún efecto sobre la producción del año siguiente cuando sólo se había aplicado un riego de postcosecha a una variedad temprana de melocotonero. En ambos estudios se ahorraron importantes cantidades de agua y existió reducción de crecimiento vegetativo.

En el caso del incremento de producción en el trabajo de *Chalmers et al. (1981)*, se podría pensar en posibles cambios en la capacidad fotosintética de las hojas como consecuencia de una adaptación a una situación de estrés de larga duración (*Schulze, 1986*) o a una diferente redistribución de los asimilados (*Hsiao, 1973; Chalmers et al., 1981*). De todas formas no está claro, con los datos que aportan estos trabajos, cuales son los factores involucrados en la respuesta productiva cuando se aplica un calendario de déficit controlado de riego (DCR).

También se presentan dudas razonables respecto a la aplicabilidad de DCR en suelos fértiles y profundos, ya que el trabajo original de *Chalmers et al. (1981)* se realizó en suelos muy superficiales y muchas de las parcelas de melocotonero de California están situadas en suelos fértiles, profundos y con una alta capacidad de almacenamiento de agua. Se desconoce si los ciclos de desecamiento y humectación usados con las técnicas de DCR serán los suficientemente rápidos en este tipo de suelo, y como afectará a la conducta de los procesos fisiológicos.

Este trabajo tiene la finalidad de estudiar el efecto de CDR en el estado hídrico del árbol y el intercambio gaseoso en melocotonero en las condiciones del Valle de San Joaquín.

2. MATERIAL Y MÉTODOS.

Parcela Experimental. El trabajo experimental se desarrolló durante la primavera y verano de 1988 en una parcela de melocotoneros de 0.52 ha localizada en "Kearney Agricultural Center" - Parlier - California, dependiente de la Universidad de California. El suelo de la parcela experimental es del tipo "Hanford" arenoso-limoso, con una capacidad de almacenamiento de agua útil de 400 mm en sus 3 m de perfil. La precipitación media anual es de 250 mm con un período libre de lluvias que abarca toda la primavera y el verano. La temperatura media es de 15 °C en abril y 25 °C en agosto. Las temperaturas máximas diarias en verano se sitúan alrededor de los 40 °C. La humedad relativa tiene una fluctuación diaria entre el 15% al mediodía y el 98% al amanecer.

En la parcela experimental se cultivaban dos variedades de melocotón (*Prunus persica* L. Batsch): "Spring Lady" y "CalRed", variedades temprana (cosecha a finales de mayo) y tardía (mediados de agosto) respectivamente, que estaban injertadas sobre pies francos de melocotonero "Nemaguard". En este estudio se utilizaron un total de 590 árboles de 4 años

de edad, plantados a un marco de 3.9 x 2.0 m. Media parcela estaba orientada N-S y la otra mitad E-O.

La parcela disponía de una instalación de riego localizado con un emisor (micro-aspersor circular) para cada árbol que proporcionaba una pluviometría de 38 l/h y una área mojada del 60% de la superficie del suelo, lo que permitía la formación de una franja húmeda continua sobre la línea de árboles de cada parcela elemental. El sistema de riego se controló con un programador de tiempo y electroválvulas. El agua aplicada se registró con la ayuda de contadores volumétricos situados al inicio de las líneas de cada una de las parcela elementales. La eficiencia del sistema se evaluó en un 90%.

La parcela se cultivó siguiendo las prácticas habituales de la zona, incluyendo una franja de unos 90 cm. tratada con herbicida debajo de los árboles y un "mulching" en las calles. Los árboles fueron sometidos a un aclareo manual de frutos durante la cuarta semana de abril y la cosecha se realizó el 13 y 17 de mayo en los "Spring-Lady" y los días 15, 18 y 25 de agosto en "CalRed". Durante los años anteriores la parcela se había regado de forma uniforme con una dosis de riego que cubría las necesidades totales del cultivo (100% ETc). En las dos variedades los árboles presentaban un aspecto similar.

Diseño experimental. Se aplicaron dos tratamientos de riego: control (C) y déficit controlado de riego (DCR). En el tratamiento C se aportaron la totalidad de los requerimientos hídricos (100% ETc) determinados de acuerdo con la metodología del cálculo de la evapotranspiración de referencia (ETo) "Penman-modificado" (*Doorenbos y Pruitt, 1977*) y unos coeficientes de cultivo (Kc) estimados (*Goldhamer, 1989*). El tratamiento DCR se regó con un 25% de la ETc durante las fases I, II y en postcosecha, mientras que en el transcurso de la tercera fase de crecimiento se regó con un 100%-130% de la ETc (tabla 1.1).

Se utilizó un diseño de bloques completamente al azar (*Little y Hills, 1972*) con seis repeticiones y cuatro tratamientos: Spring-Lady Control (SLC), Spring-Lady DCR (SLD), CalRed Control (CRC) y CalRed DCR (CRD), lo que configuraba un total de 24 parcelas elementales que consistían en tres líneas de 10 árboles cada una, donde los 8 árboles centrales se utilizaron como base de los controles experimentales y los 22 restantes como árboles guarda.

Tabla 1.1. Resumen de los tratamientos, de la duración de las fases de crecimiento de fruto para cada variedad y consumos de agua de riego.

Tratamientos	Duración de las fases de crecimiento del fruto días del año (% de agua aplicada a cada fase)				Agua aplicada en riego	
	I	II	III	PC	Total (mm)	% Control
<i>CalRed</i>	80-125	125-180	180-230	230-295		
CRC - Control	(100 %)	(100 %)	(100 %)	(100 %)	1200	100 %
CRD - DCR	(25 %)	(25 %)	(100-130%)	(25 %)	720	60 %
<i>Spring Lady</i>	80-115	-----	115-138	138-295		
SLC - Control	(100 %)	(100 %)	(100 %)	(100 %)	1200	100 %
SLD - DCR	(25 %)	-----	(100-130%)	(25 %)	360	30 %

¹ Postcosecha.

DCR. Déficit controlado de riego.

Controles generales. Los datos procedentes de una estación climática automatizada, localizada a 500 m de la parcela experimental, se utilizaron para caracterizar los parámetros del clima. Esta estación climática forma parte de la red de estaciones climáticas de California CIMIS (California Irrigation Management Information System).

Para evaluar la cantidad de agua aplicada, se utilizaron contadores volumétricos localizados en cada parcela elemental, que eran leídos semanalmente. La diferencia entre el agua aplicada y la teórica se usaba para corregir el calendario de riego de la semana siguiente.

El contenido volumétrico de agua del suelo (Θ_v) se determinó por el método de la sonda de neutrones (Campbell Hydroprobe Model 503) que fue previamente calibrada para el suelo de la parcela experimental. Se instaló un tubo de acceso de 3 m de profundidad en cada parcela experimental, en la franja mojada entre un árbol y el microaspersor. La humedad del suelo se determinó semanalmente a incrementos de 30 cm en el perfil del suelo.

El crecimiento de árbol se estudió en base a 2 determinaciones del perímetro de tronco (junio 1988 y marzo 1989) (Veihmeyer, 1975). Se controlaron 8 árboles por parcela elemental y la lectura se realizó a una altura de 40 cm sobre el nivel del suelo.

Controles fisiológicos. El potencial hídrico de hoja (Ψ_h) se determinó siguiendo la técnica de la bomba de presión (Scholander et al., 1965) teniendo en cuenta las recomendaciones de Turner y Long (1980). Las lecturas se realizaron con una bomba de presión con manómetro analógico de 0 a 4 MPa (SoilMoisture Equipment Corporation Model 3005).

La determinación de la conductancia estomática (g_s) y de la transpiración (E) se realizó con un porómetro portátil "Steady-State" (LI-COR Corp., Model LI-1600). En el manejo del porómetro se tuvieron en cuenta las posibles fuentes de error apuntados por *McDermitt* (1990).

La tasa neta de asimilación de CO_2 (A) se determinó con un sistema IRGA portátil (The Analytical Development Co. Ltd., Model ADC LCA-2)(ADC). Los cálculos del intercambio de gases se realizaron con las ecuaciones propuestas por *von Caemmerer* y *Farquhar* (1981). Todas las determinaciones se realizaron a una intensidad lumínica igual o superior a los $700 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$, que es la radiación mínima a la cual se llega a la saturación en melocotonero (*DeJong*, 1983).

Se realizaron tres grupos de controles: 1). antes de la salida del sol ("predawn"), 2). al mediodía y 3). diurnas.

En las medidas de "predawn" se determinó el Ψ_h en dos hojas libres de rocío en cada parcela elemental y en tres repeticiones por tratamiento. Estos controles se realizaron con una periodicidad casi semanal desde el 14 de mayo al 23 de setiembre, de tal forma que al final de la campaña se disponía de un total de 18 controles de "predawn".

Los seguimientos de mediodía se realizaron también con periodicidad semanal desde el 4 de mayo al 23 de setiembre (23 controles en total). Las lecturas fueron hechas entre las 13:30 y las 15:30 horas PST (Pacific Standard Time). En los controles de mediodía se determinaron: Ψ_h , g_s y E (básicamente) en hojas que recibían radiación solar directa. Se controlaron 2 hojas por árbol, y 2 árboles en cada una de la cuatro repeticiones estudiadas por tratamiento.

Se realizaron 6 controles de día completo a lo largo de la campaña (20 de mayo, 17 de junio, 28 de junio, 6 de julio, 21 de julio y 11 de agosto), con lecturas cada 2-3 horas, generalmente desde el amanecer al anochecer. Las determinaciones fueron hechas siempre en hojas individuales (3 para cada una de las tres repeticiones analizadas) y con buena iluminación. Sobre una misma hoja se pasó el equipo ADC, el porómetro LI-1600 y se determinó el Ψ_h .

En todos los casos se eligieron hojas completamente desarrolladas y situadas entre las posiciones 4 y 5 del ramo para evitar las variaciones debidas al desarrollo y edad de la hoja descritas por *Stainberg et al. (1989)* y *Andersen y Brodbeck (1988)*.

3. RESULTADOS.

Características del clima. La mayoría de los meses de primavera y verano alcanzaron temperaturas máximas diarias próximas a los 40 °C. Las temperaturas medias mensuales siguieron una tendencia ascendente desde abril a julio con un pequeño descenso en agosto, con una temperatura media mensual de 27 °C en el mes de julio. La humedad relativa del aire mínima se situó normalmente entre los valores del 40 y el 20 % con algunos valores extremos en los meses de julio y agosto próximos al 10 %.

La precipitación total entre abril y agosto fue de 101 mm, de los cuales 67 mm cayeron en el mes de abril. La evapotranspiración de referencia (ET_o) para este período fue de 860 mm, por consiguiente el déficit de referencia fue de 759 mm.

Agua de riego aplicada. Las cantidad total de agua de riego aplicada a los tratamientos de control (CRC y SLC) fue de 1200 mm, mientras que en los tratamientos deficitarios se aplicaron 720 mm en "CalRed" (60% del tratamiento de control) y 360 mm en "Spring Lady" (30% del tratamiento de control)(tabla 1.1) El programa de aplicación de agua de riego se basó en los cálculos de la ET_c para los tratamientos C y en los diferentes porcentajes estacionales de la ET_c para los tratamientos DCR.

Contenido volumétrico de agua en el suelo. El contenido volumétrico medio de agua en el suelo (Θ_v) era similar en los cuatro tratamientos a principios del mes de abril (días 70 al 100). A partir de este momento el Θ_v en CRD empezó a descender como consecuencia de la aplicación de sólo el 25% de la ET_c en la fase II del crecimiento del fruto en "CalRed", recuperándose parcialmente a partir de primeros del mes de julio (días 180 a 190) y descendiendo nuevamente después de la cosecha de esta variedad (finales de agosto, a partir del día 230). En el tratamiento SLD el Θ_v descendió a primeros de junio (alrededor del día 155) como consecuencia de la aplicación del 25% de la ET_c , llegándose a registrar valores considerablemente bajos (4 %) a mediados de agosto y hasta finales de setiembre (días 210 a 270). Cabe resaltar el hecho de que en los tratamientos de control (C) el Θ_v era mayor en

las parcelas de "Spring Lady" que en las de "CalRed", produciéndose esta diferencia después de la cosecha de "Spring Lady" cuando los árboles de esta variedad ya no tenían fruto y en la variedad "CalRed" los frutos empezaban el crecimiento rápido correspondiente a la fase III (fig. 1.1) aún cuando las dos variedades habían recibido las mismas cantidades de agua a de riego.

La evolución de los perfiles del Θ_v en la variedad "Spring Lady" fue relativamente estática hasta la cosecha, manteniéndose similares a los observados en CRC (fig. 1.2 A). Después de la cosecha empezó un agotamiento predominantemente de la parte superior de los perfiles del tratamiento SLD (fig. 1.2 B₁) seguido de un desecamiento de la parte inferior (figs. 1.2 B₁ y 1.2 C₁). En los perfiles correspondientes al tratamiento SLC puede observarse un progresivo aumento del Θ_v en los niveles superiores especialmente en los períodos de máxima demanda hídrica (figs. 1.2 B₂ y 1.2 C₂), sugiriendo que se regaba con más agua de la extraída..

La evolución de los perfiles del Θ_v correspondientes a la variedad "CalRed" siguió un desecamiento progresivo y uniforme en el tratamiento CRD durante las fases I y II del crecimiento del fruto (hasta el 28 de junio) (fig. 1.3.A₁), mientras que para este mismo período los perfiles correspondientes al tratamiento CRC permanecían relativamente estáticos (fig. 1.3 A₂). Durante la fase III del crecimiento del fruto en "CalRed" los perfiles del tratamiento CRC siguieron un proceso de desecamiento progresivo de la parte inferior con un aumento progresivo de los valores del Θ_v de la parte superior (fig. 1.3 B₂), mientras que en CRD había una recuperación general del Θ_v debido a que se regaba con valores del 100-130% Etc. Esta recuperación se manifestó de forma inmediata en la parte superior de los perfiles, con un marcado retraso en la parte media y nunca en la más inferior (fig. 1.3 B₁). Después de la cosecha los perfiles del tratamiento C se mantuvieron bastante estables, mientras que hubo un nuevo desecamiento de la parte superior de los perfiles CRD (fig. 1.3 C).

El estudio comparativo de los perfiles del Θ_v correspondientes a los cuatro tratamientos en idénticas fechas muestra: a) que en la variedad "Spring Lady" éstos se mantuvieron similares hasta la cosecha (figs. 1.4 A₁,A₂,A₃) y la diferencia a la que se llegó a finales del verano (fig. 1.8 A₄); b) que en la variedad "CalRed" hubo un desecamiento progresivo desde principios del mes de mayo hasta el inicio de la fase III del crecimiento del fruto (figs. 1.4 A₂,A₃) y la dificultad que existió para que los perfiles de CRD se acercaran a los CRC durante la fase de crecimiento rápido del fruto, observándose como el 9 de agosto (días

antes de la cosecha de esta variedad) en la parte inferior de los perfiles existían aún importantes diferencias (fig., 1.4 B).

Crecimiento vegetativo. El crecimiento vegetativo del árbol fue controlado a través del perímetro de tronco. Aunque en las dos ocasiones en que se determinaron los valores de este parámetro no se detectaron diferencias estadísticas entre tratamientos de riego dentro de una misma variedad, se observó un perímetro mayor de los árboles correspondientes a la variedad "Spring Lady". Los tratamientos sometidos al **DCR** tuvieron un incremento relativo del perímetro de tronco significativamente inferior a los tratamientos control (tabla 1.2).

Tabla 1.2. Perímetro de tronco.

Parámetro	Probabilidad > F	Medias de los tratamientos			
		CRC	CRD	SLC	SLD
PT 06/88 ^{AV}	0.001	25.7 b ¹	25.6 b	29.8 a	30.6 a
PT 03/89 ^{AV}	0.001	44.4 b	42.9 b	51.4 a	50.4 a
Inc. PT ^{ACV}	0.001	19.6 b	18.2 c	20.9 a	18.8 bc
IR PT (%) ^{ACV}	0.001	71.1 ba	65.3 c	75.0 a	68.4 abc

Cada valor representa la media de 6 repeticiones, en las que se midieron los perímetros de tronco de 8 árboles.

PT 06/88 Perímetro de tronco (cm) medido en junio de 1988.

PT 03/89 Perímetro de tronco (cm) medido en marzo de 1989.

Inc. PT Incremento del perímetro de tronco (cm).

IR PT (%) Incremento relativo del perímetro de tronco (%).

¹ Valores con diferentes letras dentro de la fila indica diferencias significativas para $\alpha=0.05$.

^{AV} Análisis según Proc ANOVA.

^{ACV} Análisis según Proc ANCOVA.

Evolución del potencial hídrico de hoja (Ψ_h) antes del amanecer. Los valores del Ψ_h antes del amanecer ("**predawn**") (fig. 1.5 A) siguieron una evolución muy parecida a la tendencia mostrada por el Θ_v para los diferentes tratamientos (fig. 1.1). En este sentido se ha podido constatar una buena correlación entre ambos parámetros (fig. 1.6).

En el tratamiento **CRD** los valores de Ψ_h -"**predawn**" descendieron hasta finales del mes de junio, donde a consecuencia del aumento del % de **ETc** aplicado hubo una recuperación importante ,aunque no se llegó a una recuperación total hasta transcurrido un mes. Los valores de Ψ_h -"**predawn**" volvieron a descender después de la cosecha. En el tratamiento **SLD**, como consecuencia de un desecamiento importante y de larga duración, se obtuvieron valores medios de Ψ_h -"**predawn**" muy bajos, que incluso llegaron a -1.4 MPa.

Evolución del Ψ_h y de la conductancia estomática (g_s) en los controles a mediodía. Los valores del Ψ_h a mediodía siguieron una evolución claramente diferenciada entre tratamientos, de forma similar a lo que habían mostrado los Ψ_h - "predawn", aunque los valores de Ψ_h a mediodía fueron mucho más dependientes del clima (fig. 1.5 B). Los valores del Ψ_h a mediodía del tratamiento **CRD** necesitaron 4 semanas para igualarse a los valores del **CRC** durante la fase III del crecimiento del fruto. En cuarenta días los árboles de **SLD** pasaron de valores de Ψ_h semejantes al tratamiento **SLC** (-1.0 MPa) a valores muy bajos (-2.3 MPa) y claramente diferenciados de los del tratamiento control.

La evolución de g_s fue similar a la observada en Ψ_h a mediodía, aunque mucho más fluctuante. Los valores del tratamiento **CRD** fueron casi siempre menores que los de **CRC**, así mismo g_s en el tratamiento **SLD** se diferenciaron claramente de los observados en **SLC**, especialmente a partir del mes de julio (fig. 1.5 C).

Evolución diaria de Ψ_h , g_s , E y asimilación neta de CO_2 (A). Se realizaron 6 determinaciones de día completo durante 1988. En los dos primeros (datos no presentados) (20 de mayo (día 141) y 17 de junio (día 169)) no se observaron grandes diferencias entre tratamientos. El 28 de junio (día 180) se realizó el tercero de los controles donde ya se detectaron mayores diferencias. Los valores de Ψ_h en el tratamiento **CRD** fueron netamente inferiores a los de control, y el tratamiento **SLD** mostró una evolución igualmente diferenciada con valores intermedios entre **CRD** y control (fig. 1.7 A). Mientras que estas diferencias se mantenían para E y g_s (fig. 1.7 B,C), las diferencias en A eran relativamente mucho menores (fig. 1.7 D).

La relación entre A y g_s no fue significativamente diferente entre tratamientos (fig. 1.8 A), aunque parece que existía una importante limitación de A debido a altas temperaturas (fig. 1.8 B).

El 21 de julio (día 203) se realizó el quinto control, donde los valores de Ψ_h fueron casi idénticos para **CRD** y **CRC**, mientras que **SLD** se desmarcaba con valores muy negativos (fig. 1.9 A). La evolución diaria de g_s y E mostraron valores significativamente inferiores en **CRD** que en **CRC**, y **SLC** seguía con valores inferiores a los de **CRC** y **SLD** mucho más todavía. No hubo grandes diferencias entre los dos tratamientos de la variedad "CalRed" para A (fig. 1.9 B,C,D).

El último de estos controles se realizó el 11 de agosto (día 224), 4 días antes del primer pase de la cosecha de la variedad "CalRed", y aún había algunas diferencias en Ψ_h entre ambos tratamientos de riego para dicha variedad. g_s y E no mostraron grandes variaciones en **CRD**, **CRC** y **SLC**. La tendencia de A para **CRD** mostraba valores superiores a los de **CRC**. Para todos los parámetros **SLD** mostró valores muy bajos (fig. 1.10).

4. DISCUSIÓN.

En este experimento fue posible detectar diferencias significativas en Θ_v (figs. 1.1, 1.4 A y B) y Ψ_h -"**predawn**" (fig. 1.5 A) entre tratamientos de riego 40 días después del inicio de los mismos en la variedad "CalRed". No es posible relacionar los resultados de Θ_v y estado hídrico de la hoja obtenidos en este estudio de **DCR** con los de otros trabajos de **DCR** (*Chalmers et al., 1981; Mitchell y Chalmers, 1982; Mitchell et al., 1984; Li et al., 1989*) porque los autores no aportaron resultados sobre estos parámetros. De todas formas, en otros trabajos del mismo equipo (*Chalmers et al., 1983*) observaron que tan solo 9 días después del inicio de los tratamientos de riego diferenciales tenían valores de Ψ_h mucho más bajos que los medidos en este trabajo después de 40 días de aplicar el tratamiento de **DCR**.

No obstante durante la fase II del crecimiento del fruto de la variedad "CalRed" (días 140 al 180) las determinaciones de contenido hídrico del suelo (fig. 1.1) y de Ψ_h -"**predawn**" (fig. 1.5 A) indicaron que los árboles sometidos al tratamiento de **DCR** estaban significativamente más estresados que los árboles del tratamiento C. Queda igualmente claro que la reducción de agua disponible en este período causó un descenso importante en la evolución diurna de los valores de Ψ_h , g_s y A (fig. 1.7), pero la repercusión sobre estos parámetros no fue tan clara como en el Ψ_h -"**predawn**". Estos resultados son consistentes con la idea de que el funcionamiento estomático tiende a reducir las pérdidas excesivas de agua cuando la demanda evaporativa es mayor que el suministro (*Bradford y Hsiao, 1982*). En melocotonero ya se había observado previamente una conducta similar de los estomas en condiciones experimentales muy diferentes (*Acevedo et al., 1973; Garnier y Berger, 1985; Larson et al., 1988; Proebsting et al., 1989; Tan y Buttery, 1986; Xiloyannis et al., 1980*). El hecho de que no exista un efecto directo de los estomas en los valores del Ψ_h -"**predawn**" explica aparentemente la fuerte relación observada entre la media de los

valores del Θ_v y del Ψ_h - "predawn" (fig. 1.6). Resultados similares en melocotonero habían sido publicados por *Xiloyannis et al. (1980)* y estos datos indican que el control del Ψ_h - "predawn" puede ser un valor importante a la hora de determinar el efecto relativo de los tratamientos de **DCR** sobre el estado hídrico de suelo y planta.

El hecho de que los valores de **A** en los tratamientos de **DCR** se vieran menos afectados por los déficits hídricos que los de g_s en la misma fecha (día 180) indica que los árboles del tratamiento **DCR** podrían ser fotosintéticamente más eficientes en el uso del agua, que los árboles del tratamiento **C** (fig. 1.11 A). Para probar esta hipótesis se preparó la figura 1.8 A donde se presentan los valores de **A** en relación a los de g_s obtenidos en la misma hoja durante el control diurno del día 180. Se puede observar una tendencia generalizada en la que las hojas del tratamiento **DCR** mostraban una tasa de asimilación de CO_2 (**A**) superior que la de las hojas del tratamiento **C**, en el todo el rango de g_s y particularmente a valores de g_s altos. Aunque esta tendencia se puso de manifiesto en ambas variedades, los valores correspondientes a "CalRed" estaban en este momento mucho más diferenciados. No obstante, estas diferencias no eran estadísticamente significativas. Dado que parte de la variabilidad de los valores de **A** con respecto a g_s pudieran deberse a variaciones diurnas de temperatura y humedad, se utilizó el denominado "Índice de Ball" (*Ball et al., 1987*) para reevaluar esta relación. Dicho índice ha sido diseñado para evaluar la relación existente entre g_s y **A**, al variar estos en función de la humedad relativa de la superficie foliar (h_s) y del valor inverso de la fracción molar de CO_2 en la superficie de la hoja (**Ca**), de tal forma que $g_s = k \cdot A \cdot (h_s / Ca)$. El valor de la pendiente **k** representa la sensibilidad de g_s a la **A**, concentración de CO_2 , humedad y temperatura. Las pendientes de las rectas de regresión resultantes de este análisis para los tratamientos **DCR** y **C** fueron estadísticamente diferentes (fig. 1.12 A). Este resultado indica que las hojas de melocotoneros sometidos a estrés hídrico en el tratamiento **DCR** eran fotosintéticamente más eficientes en el uso del agua durante el período de estrés que las de control y parece que esta adaptación se mantuvo incluso hasta finales de la fase III de crecimiento del fruto en la variedad "CalRed", donde la g_s fue similar para ambos tratamientos (figs. 1.10 A, 1.11 B y C). Respuestas similares han sido detectadas por *Reyes-Lopez (1985)* y *Harrison et al. (1989)* en melocotonero y pistachero. Este tipo de mecanismos de adaptación son característicos de plantas que han sido expuestas a un incremento gradual de estrés a través de un período largo de tiempo. Un buen ejemplo está en la mejora de la capacidad fotosintética a través del tiempo en el tratamiento **SLD** (fig. 1.12 A, B, y C). Una exposición más abrupta al estrés hídrico generalmente decrece los valores de **A** en el mismo o en mayor grado de lo que ocurre con g_s (*Schulze, 1986*). Esta puede ser una diferencia muy importante entre el

estrés al que estuvieron sometidas los melocotoneros del tratamiento de **DCR** del experimento de Australia (*Chalmers et al., 1981; Mitchell y Chalmers, 1982*) debido a que el estrés se manifestó muy repentinamente por las condiciones de suelo muy superficial del ensayo.

La caída general de la evolución diurna de **A** observada en todos los tratamientos en los tres días de las figuras 1.7 D, 1.9 D y 1.10 D, puede deberse muy probablemente a tres factores: a). una caída en el Ψ_h , b). un incremento del déficit de presión de vapor (**DPV**) y c). a un incremento de la temperatura de hoja. La representación gráfica de **A** con respecto a la temperatura de hoja (fig. 1.8 B) indica una caída repentina de **A** entre 32 y 36°C. Este descenso tan importante de **A** por encima de los 32°C es mayor del que se ha descrito para otras especies frutales (*Lakso y Seeley, 1978*) y está probablemente motivado por la combinación de los tres factores mencionados anteriormente y no es únicamente una respuesta a la temperatura de hoja.

La lenta recuperación de los valores medios del Θ_v , así como de los puntuales en los perfiles inferiores (figs. 1.1 y 1.3 A) cuando se reinició el riego total durante la fase III del crecimiento del fruto en la variedad "CalRed" (días 180-230) se debió a que la tasa de infiltración de aquellos suelos era muy baja. Tasas de infiltración bajas son frecuentemente debidas a densidades aparentes de suelo altas y otras propiedades físicas de suelo en ambientes semiáridos (*Haynes, 1981; Unger y Stewart, 1983*). Este es un problema común en los suelos del Valle de San Joaquín que está sobre-explotado por el uso intensivo de maquinaria agrícola. Aunque prácticas alternativas de manejo del suelo, tales como el uso de cubierta vegetal (*Glenn y Walker, 1989*), tratamientos químicos del suelo (*Miyamoto, 1985*) y un manejo especializado del riego (*Jensen, 1972*) pueden mejorar la infiltración de estos suelos, ninguno de ellos ofrece una solución definitiva al problema. El sistema de riego y las prácticas de conducción del suelo usados en este experimento fueron inicialmente elegidos para minimizar este problema y dado que el suelo nunca se había secado demasiado se consideró que la infiltración no era un problema significativo. Pero, al permitir que el suelo se secara de forma importante en el tratamiento **DCR** la infiltración del suelo disminuyó de tal modo que al aplicar volúmenes importantes de agua al inicio de la fase III de crecimiento del fruto de la variedad "CalRed" se encharcó el suelo de la parcela. Estos problemas de infiltración podrían limitar extraordinariamente la posibilidad de uso de estrategias de **DCR** en ambientes semiáridos en los que existen estos suelos, puesto que es crítico el poder suministrar grandes cantidades de agua a la parcela cuando se inicia la fase III de crecimiento del fruto.

La influencia del fruto sobre el intercambio gaseoso y el consumo de agua (transpiración) queda reflejado en la comparación de los tratamientos control de las dos variedades a partir de la cosecha de los frutos de la variedad "Spring Lady" (17 de mayo, día 138). La evolución del contenido medio de agua en el suelo para el tratamiento C en ambas variedades (fig. 1.1) indica que hay un agotamiento más importante del perfil en la variedad con frutos. La evolución diurna de la g_s y de la E indican una mayor transpiración y sobre todo una mayor g_s en CalRed (figs. 1.7 B y C, 1.9 B y C, 1.10 B y C). Estos resultados parecen indicar que la fuerza de sumidero del fruto influye sobre la capacidad de las hojas (o más concretamente de los estomas) para regularse en función de las necesidades de la planta. En este sentido *DeJong* (1986) observó en melocotoneros que la ausencia de frutos hacía disminuir los valores de la g_s , y como consecuencia los valores de A también eran menores, aunque sin afectar a la capacidad fotosintética del mesófilo. *Testolín y Costa* (1991), sin embargo, concluyen que la presencia o no de frutos en el árbol (melocotonero) tiene una incidencia muy baja en A . En el presente trabajo parece que se puede afirmar lo mismo, ya que las variaciones diurnas de g_s y de A observadas, se concretan en rectas del "Índice de Ball" no significativamente diferentes entre CRC y SLC (fig. 1.12 A, B y C), por lo que los estomas parecen ser el mecanismo de control más afectado por la presencia o no de frutos.

Los resultados de este experimento indican que el DCR se puede usar para imponer un estrés moderado en melocotoneros de maduración tardía, del tipo "CalRed", durante las fases I y II de crecimiento del fruto en los suelos fértiles y profundos de California. De todas formas, este estrés fue lo suficientemente severo como para causar una reducción en el crecimiento del diámetro del tronco (tabla 1.2). Aunque esta reducción fue estadísticamente significativa, solo representa un 7% respecto al tratamiento C y su repercusión agronómica puede ser cuestionada. No se detectaron síntomas visibles que indicasen una reducción en el crecimiento vegetativo. Estas mínimas consecuencias sobre el crecimiento vegetativo pueden ser debidas al largo tiempo transcurrido hasta conseguir un moderado estrés en tratamientos de DCR.

El valor práctico más importante de usar estrategias de DCR en las condiciones de este experimento, es la mejora de la eficiencia en el uso del agua, puesto que los tratamientos de DCR consumieron un 40% (CalRed) y 60% (Spring Lady) menos de los volúmenes de riego usados en C. Estos ahorros pueden ser importantes en años secos, ya que el efecto sobre la producción fue mínimo (Capítulo II).

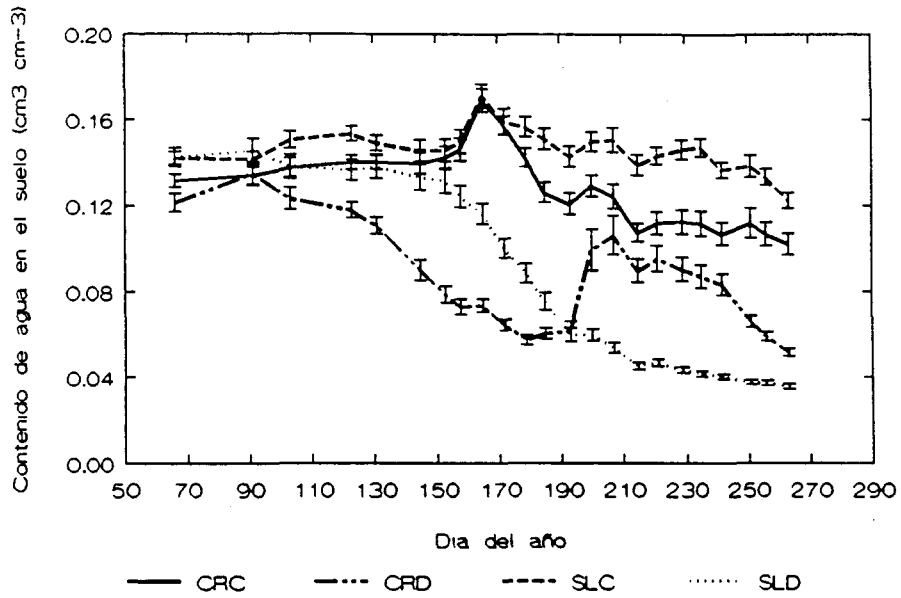


Figura 1.1. Evolución estacional del contenido volumétrico medio de agua en el suelo en función de los tratamientos de riego aplicados (Control [CRC, SLC] y Déficit Controlado de Riego [CRD, SLD]) a dos variedades de melocotonero ("Spring Lady" [SLC, SLD] y "CalRed" [CRC, CRD]), en un perfil de 0 a 2 m. Cada punto representa la media de 6 repeticiones (7 profundidades/rep.) \pm ES.

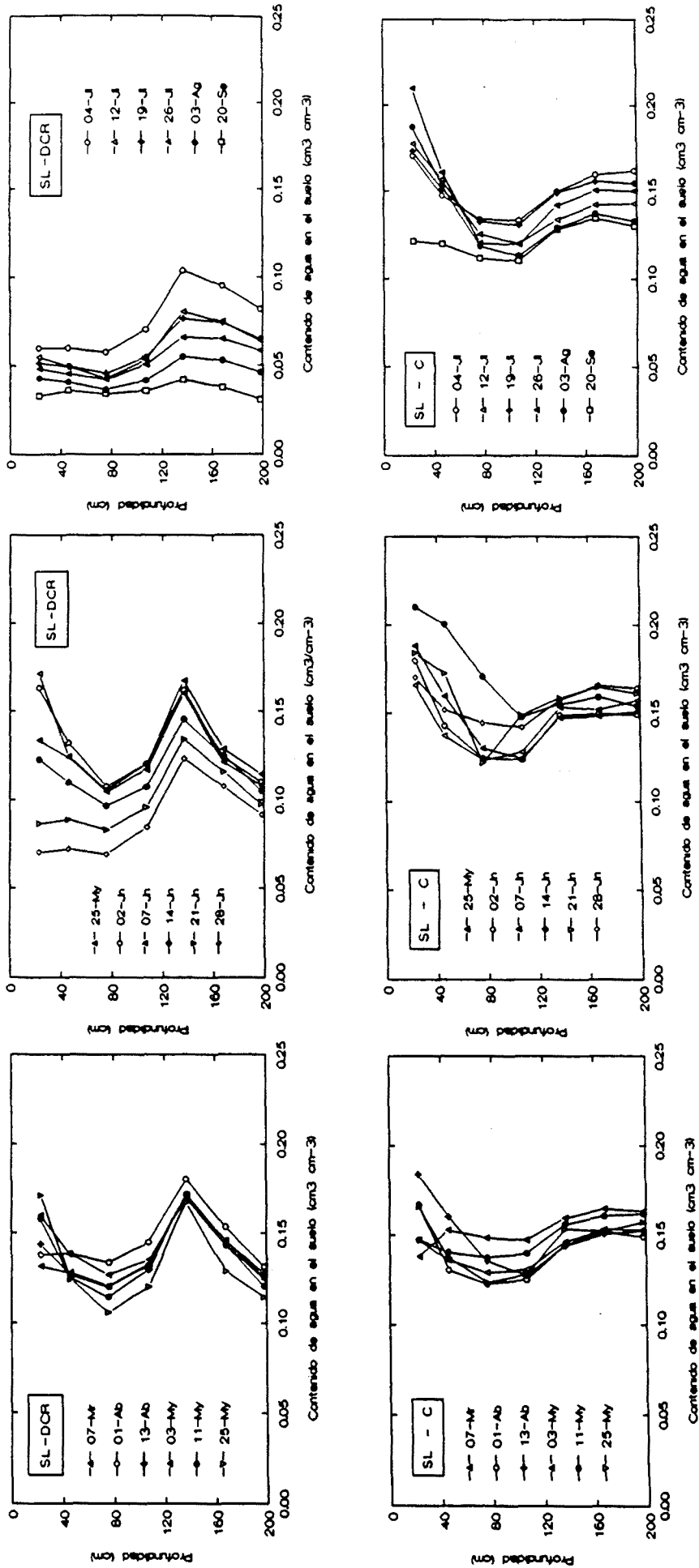


Figura 1.2. Evolución de los perfiles del contenido volumétrico de agua en el suelo en diferentes fases del ciclo anual (A,B,C), en respuesta a los tratamientos de riego (Control "C"₍₂₎ y Déficit Controlado de Riego "DCR"₍₁₎) aplicados a una variedad de maduración temprana "Spring Lady". Cada punto corresponde a la media de 6 repeticiones. A). Crecimiento del fruto: B). Postcosecha (junio - septiembre).

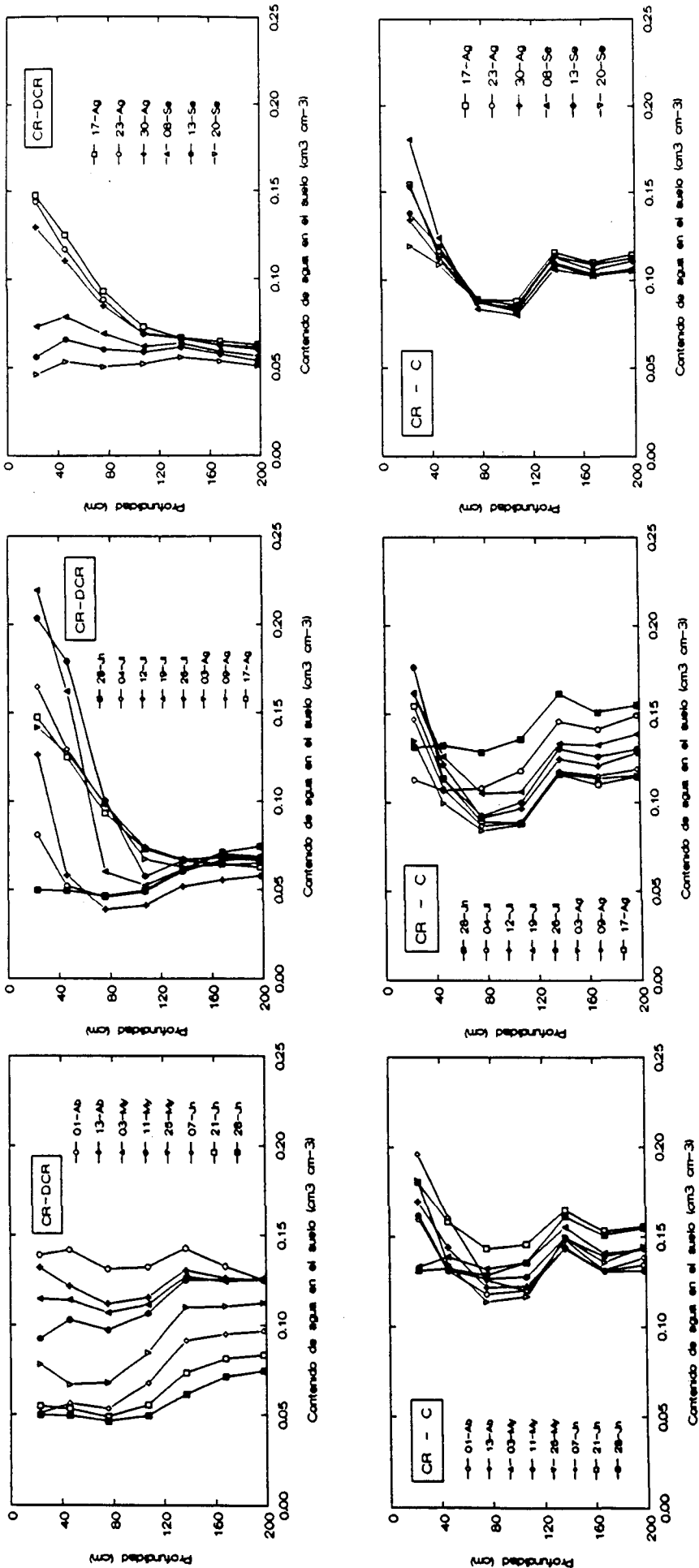


Figura 1.3. Evolución de los perfiles del contenido volumétrico de agua en el suelo en diferentes fases del ciclo anual (A,B,C), en respuesta a los tratamientos de riego (Control "C"₍₂₎ y Déficit Controlado de Riego "DCR"₍₁₎) aplicados a una variedad de melocotón de maduración tardía "CalRed". Cada punto corresponde a la media de 6 repeticiones. A). Fases I y II del crecimiento del fruto; B). Fase III del crecimiento del fruto y C). Postcosecha.

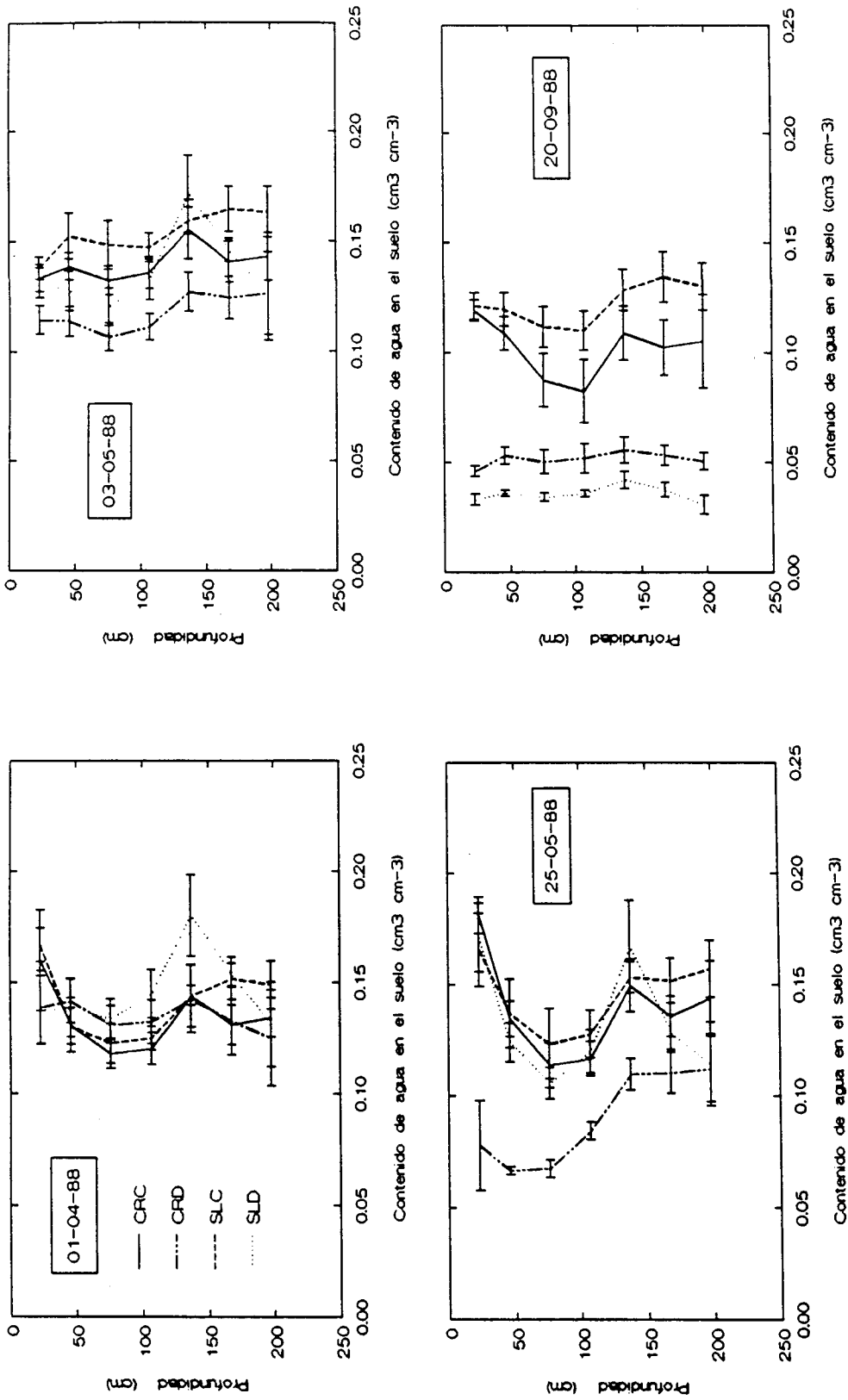


Figura 1.4.A Perfiles del contenido volumétrico de agua en el suelo en respuesta a los tratamientos de riego aplicados (Control [CRC, SLC]) y Déficit Controlado de Riego [CRD, SLD]) a dos variedades de melocotonero ("Spring Lady" [SLC, SLD] y "CalRed" [CRC, CRD]). Cada punto representa la media de 6 repeticiones ± ES.

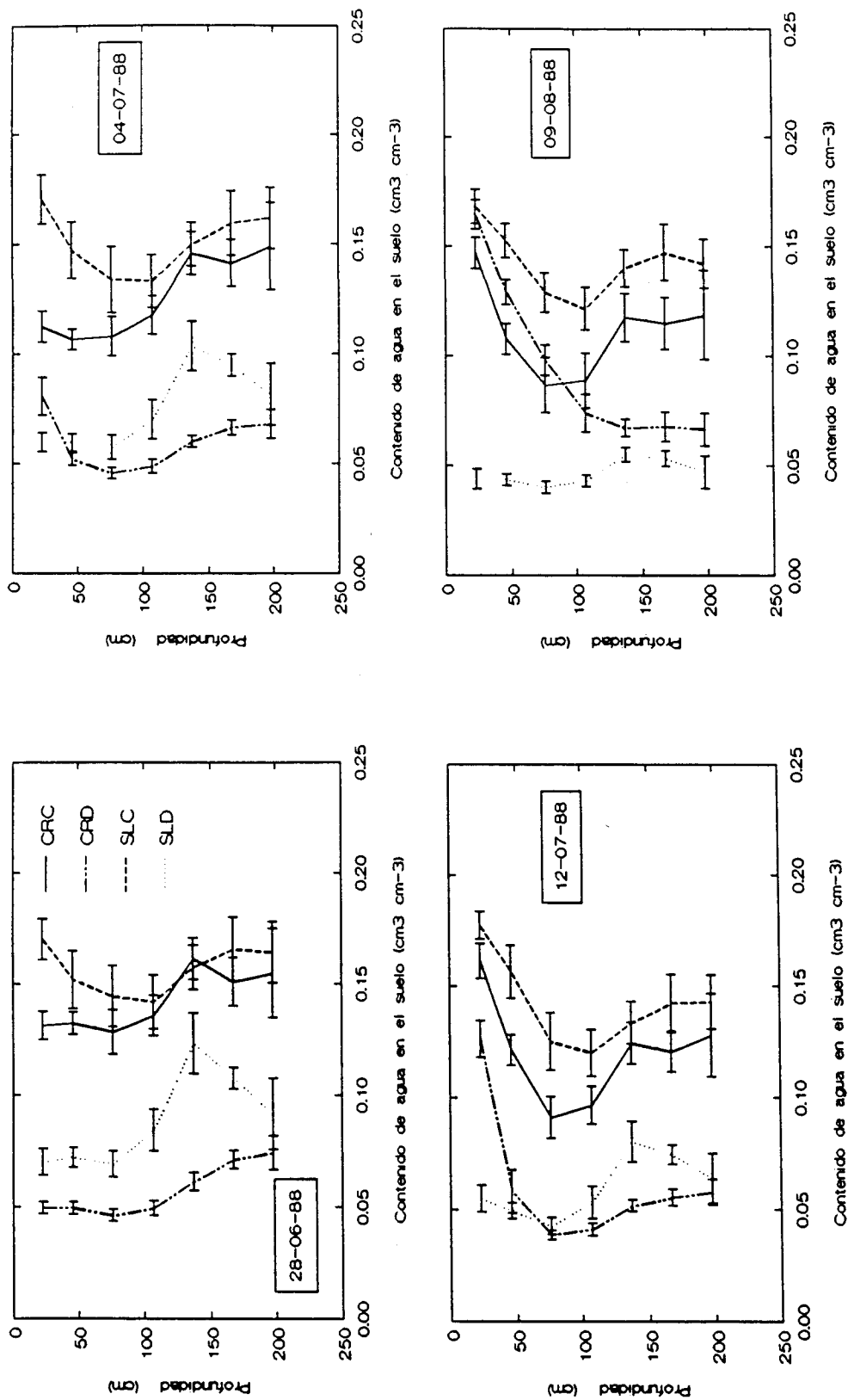


Figura 1.4.B Perfiles del contenido volumétrico de agua en el suelo en respuesta a los tratamientos de riego aplicados (Control [CRC, SLC] y Déficit Controlado de Riego [CRD, SLD]) a dos variedades de melocotonero ("Spring Lady" [SLC, SLD] y "CalRed" [CRC, CRD]). Cada punto representa la media de 6 repeticiones \pm ES.



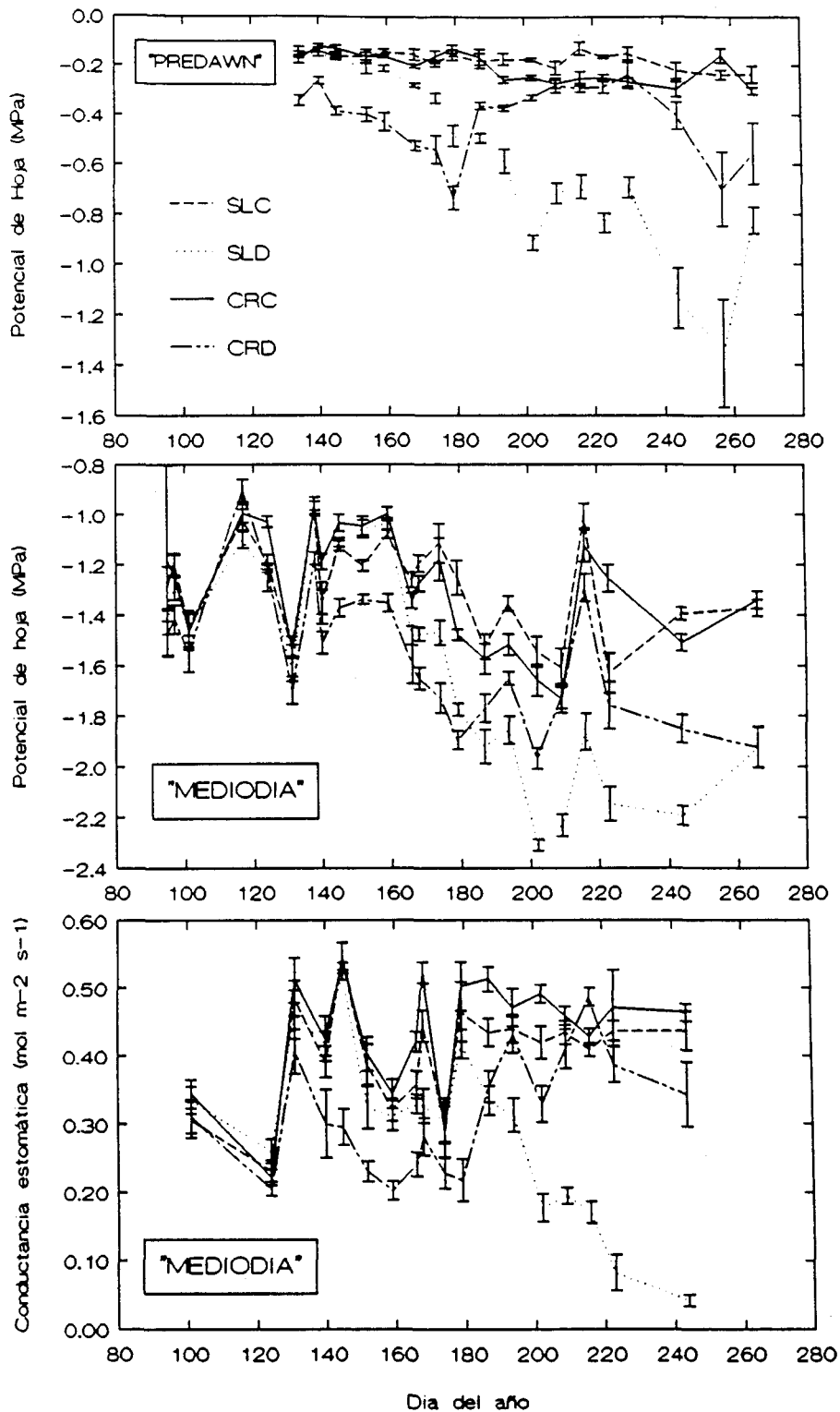


Figura 1.5. Evolución estacional del A) potencial hídrico de hoja medida al alba "predawn", B) potencial hídrico de hoja medido al mediodía y C) conductancia estomática medida al mediodía, en respuesta a los tratamientos de riego aplicados (Control [CRC, SLC] y Déficit Controlado de Riego [CRD, SLD]) en dos variedades de melocotonero ("Spring Lady" [SLC, SLD] y "CalRed" [CRC, CRD]). Cada punto representa la media de 4 repeticiones (2 - 3 hojas/rep.) \pm DS.

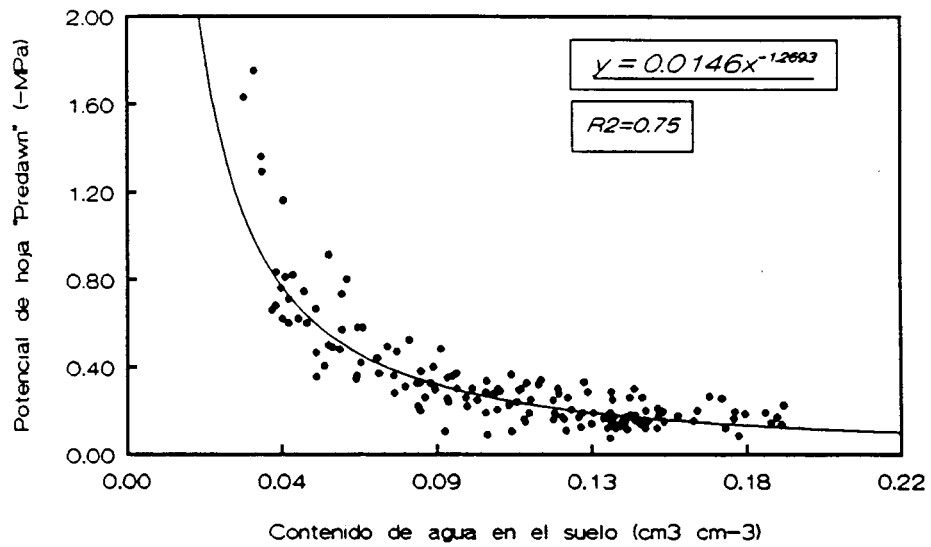


Figura 1.6. Relación entre el contenido volumétrico medio de agua en el suelo y el potencial hídrico de hoja medido al alba ("Predawn"). Cada símbolo corresponde a un par de datos pertenecientes a una misma parcela elemental, obtenidos en el intervalo máximo de 2 días.

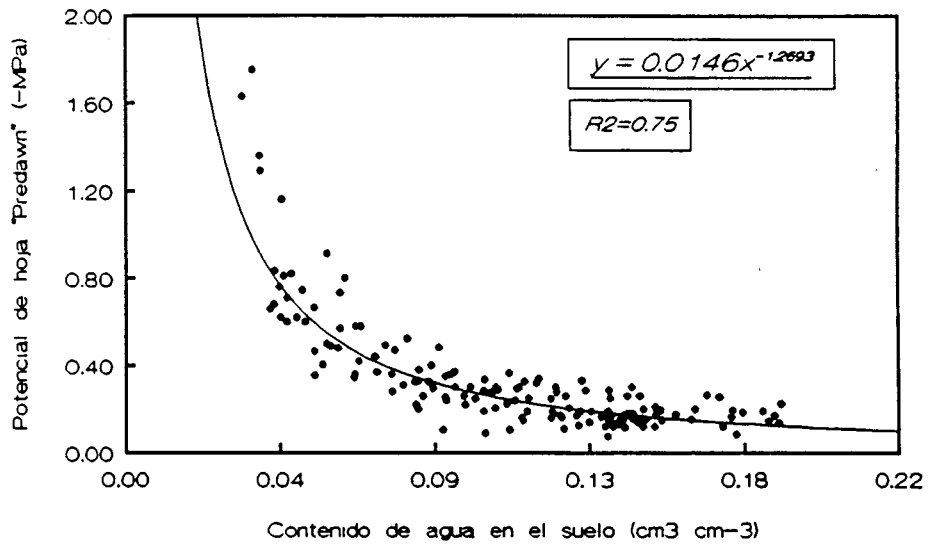


Figura 1.6. Relación entre el contenido volumétrico medio de agua en el suelo y el potencial hídrico de hoja medido al alba ("Predawn"). Cada símbolo corresponde a un par de datos pertenecientes a una misma parcela elemental, obtenidos en el intervalo máximo de 2 días.

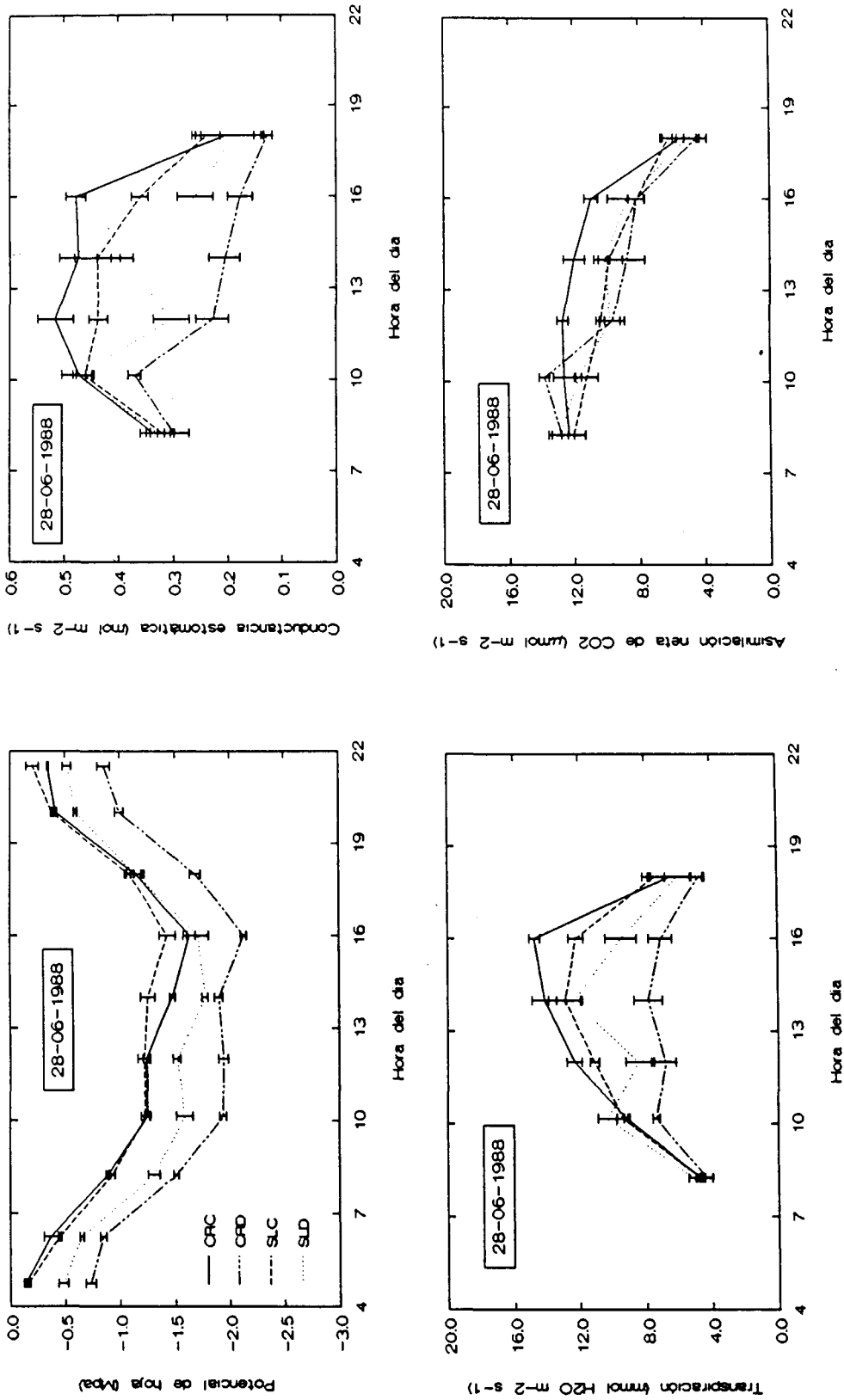


Figura 1.7. Evolución diurna de A) potencial hídrico de hoja, B) conductancia estomática, C) transpiración y D) asimilación neta de CO₂ el día 28 de junio de 1988 (día del año: 180) en respuesta a los tratamientos de riego aplicados (Control [CRC, SLC] y Déficit Controlado de Riego [CRD, SLD]) a dos variedades de melocotonero ("Spring Lady" [SLC, SLD] y "CalRed" [CRC, CRD]). Cada punto representa la media de 6 observaciones ± DS.

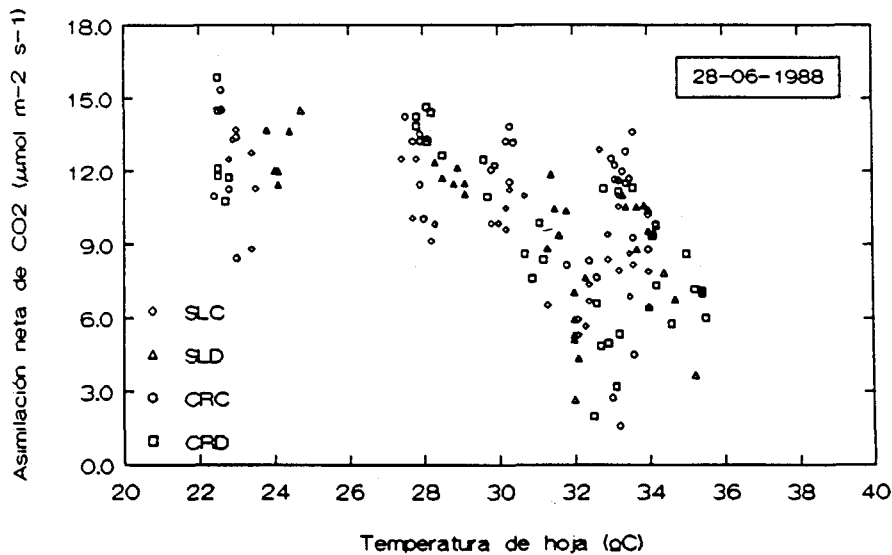
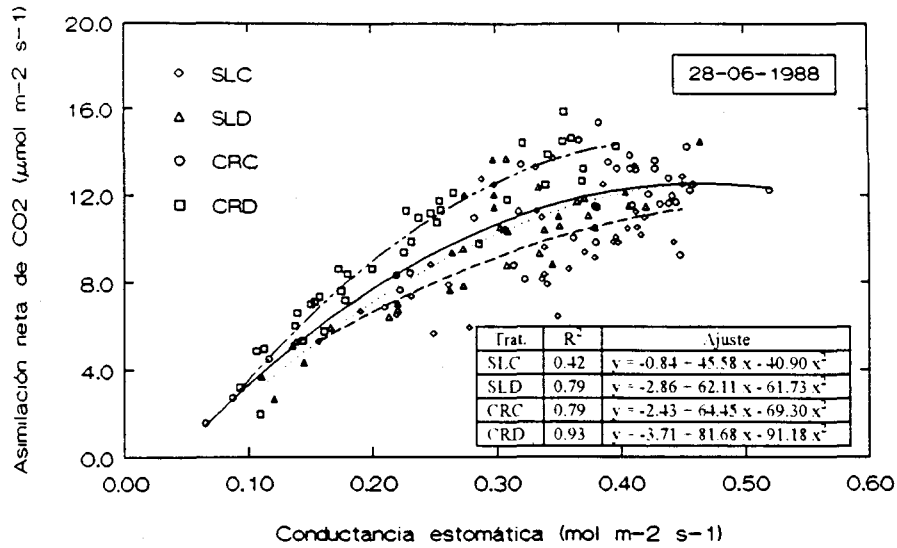


Figura 1.8. Relación entre la asimilación neta de CO₂ y A) la conductancia estomática y B) la temperatura de hoja el día 28 de junio de 1988 (día del año: 180) en respuesta a los tratamientos de riego aplicados (Control [CRC, SLC] y Déficit Controlado de Riego [CRD, SLD]) en dos variedades de melocotonero ("Spring Lady" [SLC, SLD] y "CalRed" [CRC, CRD]). Cada punto representa datos obtenidos simultáneamente en la misma hoja de melocotonero. Para A), la línea continua corresponde a "CalRed" tratamiento Control (CRC), la línea discontinua con puntos intermedios corresponde a "CalRed" tratamiento de Riego Deficitario Controlado (CRD), la línea discontinua corresponde a "Spring Lady" tratamiento Control (SLC) y la línea de puntos corresponde a "Spring Lady" tratamiento de Riego Deficitario Controlado (SLD).

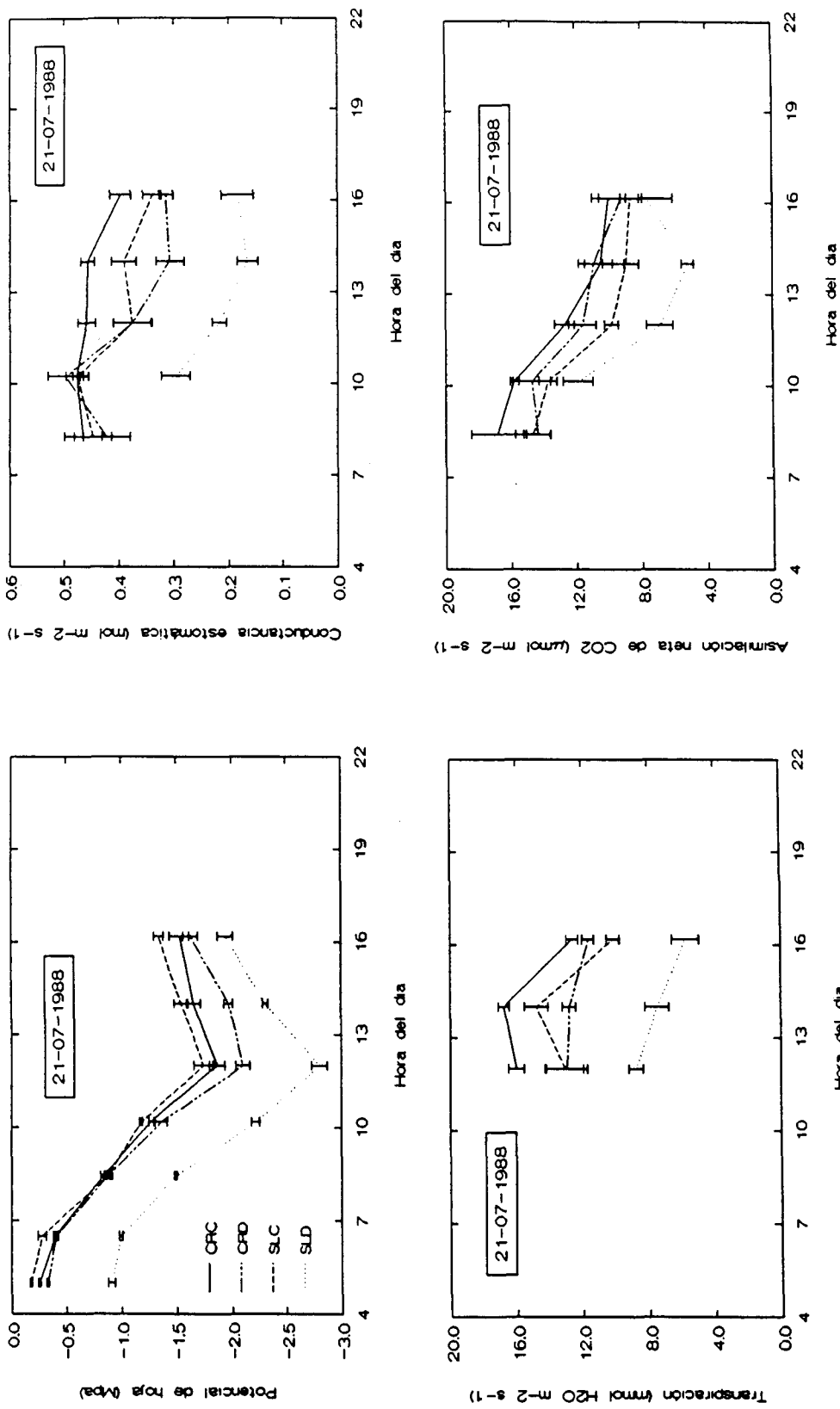


Figura 1.9. Evolución diurna de A) potencial hídrico de hoja, B) conductancia estomática, C) transpiración y D) asimilación neta de CO₂ el día 21 de julio de 1988 (día del año: 203) en respuesta a los tratamientos de riego aplicados (Control [CRC, SLD] y Déficit Controlado de Riego [CRD, SLD]) a dos variedades de melocotonero ("Spring Lady" [SLC, SLD] y "CalRed" [CRC, CRD]). Cada punto representa la media de 6 observaciones ± DS.

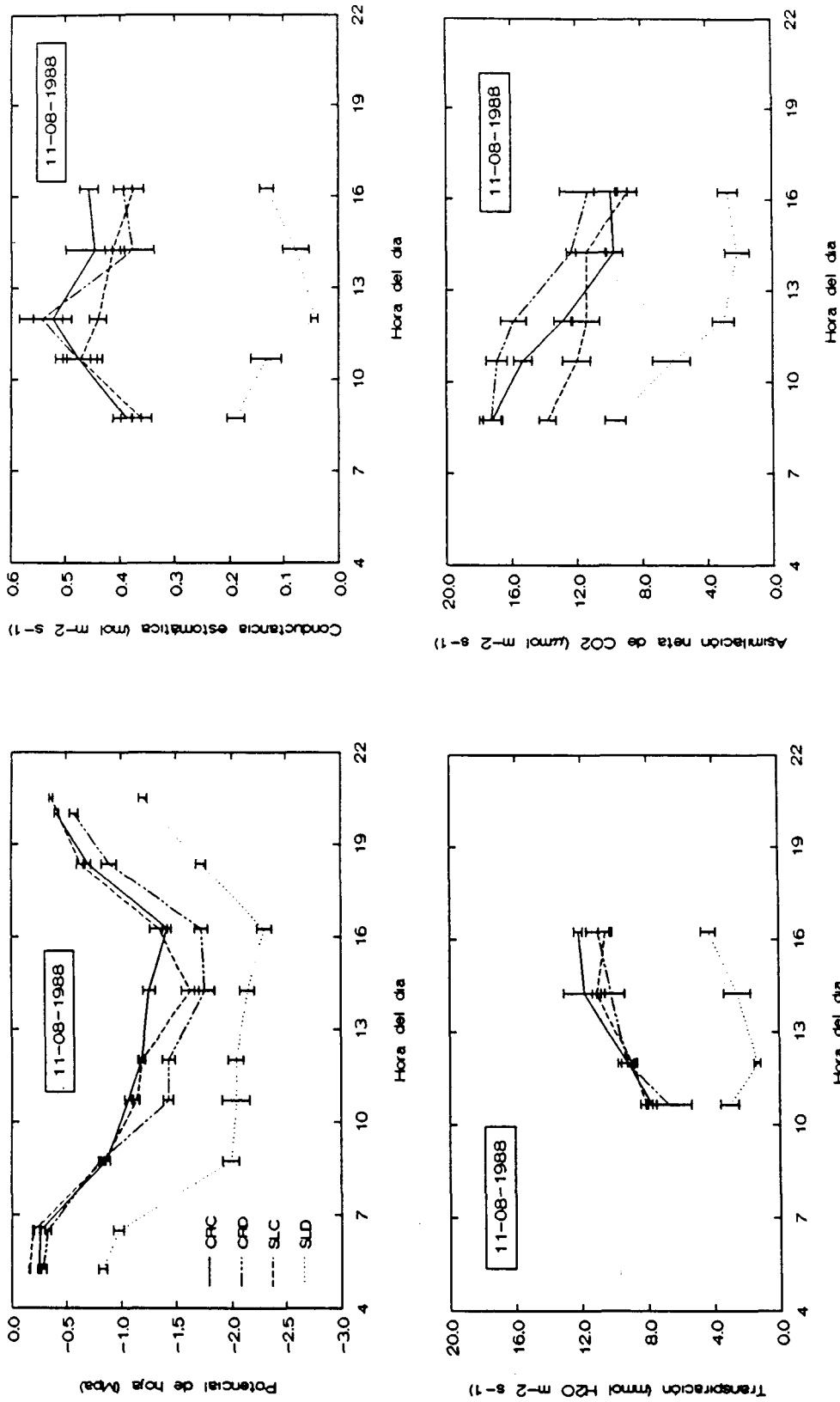


Figura 1.10 Evolución diurna de A) potencial hídrico de hoja, B) conductancia estomática, C) transpiración y D) asimilación neta de CO₂ el día 11 de agosto de 1988 (día del año: 225) en respuesta a los tratamientos de riego aplicados (Control [CRC, SLC] y Déficit Controlado de Riego [CRD, SLD]) a dos variedades de melocotonero ("Spring Lady" [SLC, SLD] y "CalRed" [CRC, CRD]). Cada punto representa la media de 6 observaciones ± DS.

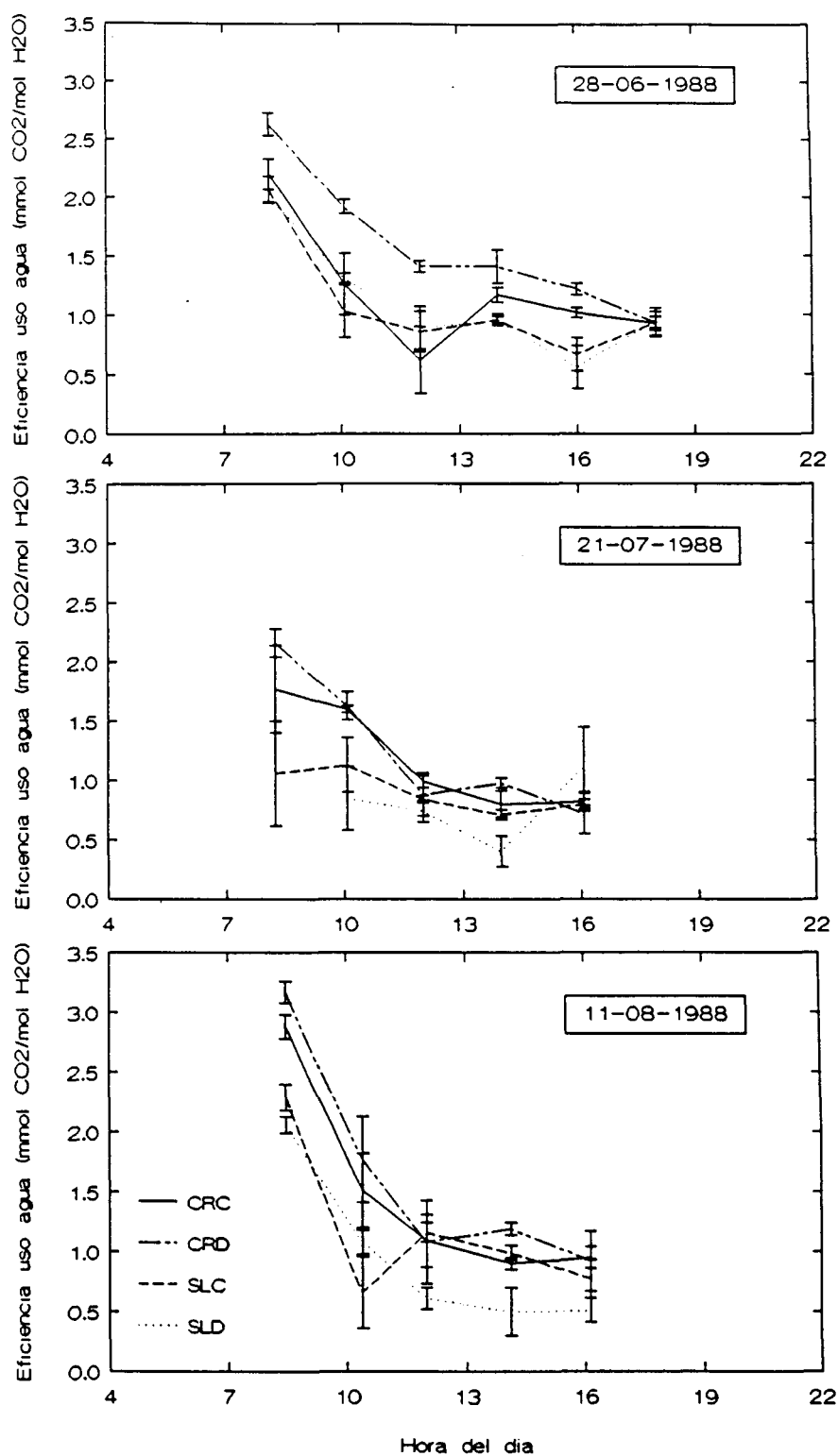


Figura 1.11. Evolución diurna de la eficiencia en el uso del agua para tres días del ciclo anual en respuesta a los tratamientos de riego aplicados (Control [CRC, SLC] y Déficit Controlado de Riego [CRD, SLD]) en dos variedades de melocotonero ("Spring Lady" [SLC, SLD] y "CalRed" [CRC, CRD]). Cada punto representa la media de 6 observaciones \pm DS.

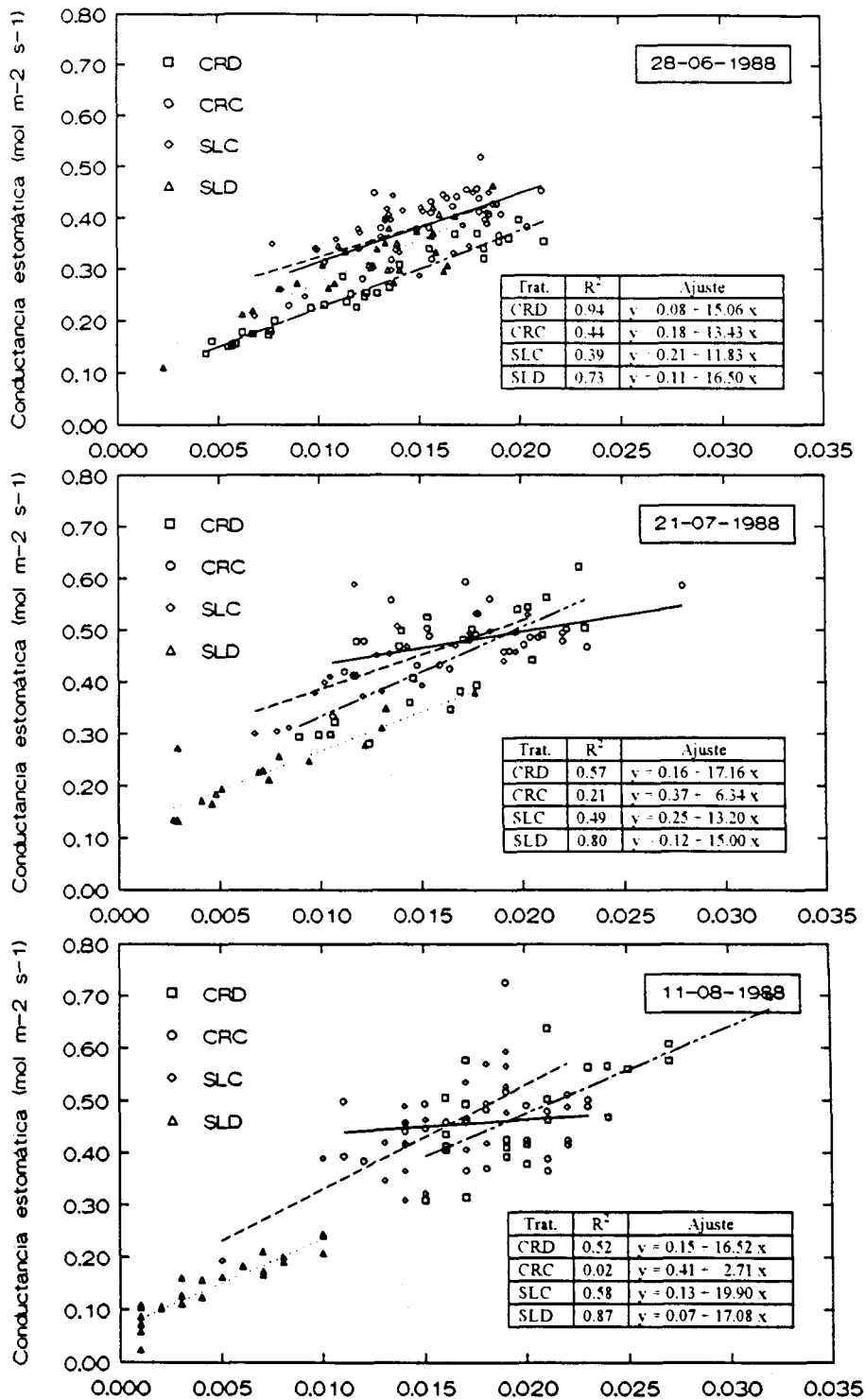


Figura 1.12. Relación entre la conductancia estomática y el Índice de Ball ($A h_g/c_g$) para tres días del ciclo anual en respuesta a los tratamientos de riego aplicados (Control [CRC, SLC] y Déficit Controlado de Riego [CRD, SLD]) en dos variedades de melocotonero ("Spring Lady" [SLC, SLD] y "CalRed" [CRC, CRD]). Cada punto representa datos obtenidos simultáneamente en la misma hoja de melocotonero. La línea continua corresponde a "CalRed" tratamiento Control (CRC), la línea discontinua con puntos intermedios corresponde a "CalRed" tratamiento de Riego Deficitario Controlado (CRD), la línea discontinua corresponde a "Spring Lady" tratamiento Control (SLC) y la línea de puntos corresponde a "Spring Lady" tratamiento de Riego Deficitario Controlado (SLD).

RESPUESTA FISIOLÓGICA Y PRODUCTIVA DEL ESTRÉS HÍDRICO EN DIFERENTES ESPECIES FRUTALES: MELOCOTONERO (*Prunus persica* L Batsch), AVELLANO (*Corylus avellana* L) Y NOGAL (*Juglans regia*).

CAPITULO II

Respuesta de dos variedades de melocotón (*Prunus persica* L Batsch) a un programa de déficit controlado de riego. II. Producción.

CAPITULO II. RESPUESTA DE DOS VARIEDADES DE MELOCOTON (*Prunus Persica* L. Batsch) A UN PROGRAMA DE DEFICIT CONTROLADO DE RIEGO. II. PRODUCCION.

1. INTRODUCCIÓN.

El control del desarrollo vegetativo en plantaciones intensivas es uno de los aspectos más preocupantes de la horticultura moderna, especialmente en cultivos donde no se han conseguido porta-injertos enanizantes. En este sentido los trabajos de *Chalmers et al. (1981)* y los posteriores de *Mitchel et al. (1984, 1989)*, *Larson et al. (1988)*, *Johnson et al. (1992)* y *Caspari et al. (1994)* tienen un doble interés, ya que además de aportar una posibilidad de ahorro de agua para el riego de estos frutales (melocotonero y peral), permiten controlar el crecimiento vegetativo desmesurado al aplicar restricciones hídricas en la fase II del crecimiento del fruto que es el período de máximo crecimiento vegetativo (*DeJong et al., 1987*).

Los resultados de los trabajos de *Chalmers et al. (1981)*, *Johnson et al. (1992)* y *Caspari et al. (1994)*, indican que se puede reducir el aporte de agua a los árboles frutales sin que se disminuya la producción. *Chalmers et al. (1981)* informan que, en Australia, obtuvieron producciones similares, o incluso mayores a las obtenidas en un tratamiento de riego completo, cuando se reducían de forma considerable las cantidades de agua aplicadas a la fase II de crecimiento del fruto (unos 2 meses). *Larson et al. (1988)* encontraron que no había reducción en la producción del año siguiente a un tratamiento de un solo riego en postcosecha en una variedad temprana de melocotón. En ambos trabajos, se aportan datos de reducciones importantes en la cantidades de agua de riego usadas, así como, en los crecimientos vegetativos.

Las producciones más grandes en el tratamiento deficitario durante la fase II de crecimiento de fruto del trabajo de *Chalmers et al. (1981)*, podría ser a consecuencia de algunos cambios en diferentes procesos fisiológicos o de crecimiento. En el Cap. I, se aporta información de como se ve afectado el conjunto del sistema (disponibilidad de agua en el suelo, estado hídrico de la planta y funcionalidad de la hoja) bajo un calendario DCR. En este Capítulo se completa la información con la repuesta del crecimiento del fruto y de la cosecha final frente a un tratamiento de DCR. A pesar de que en algunos trabajos previos se ha observado una respuesta positiva de los frutales a las condiciones de estrategias de

DCR (*Chalmers et al., 1981; Mitchel y Chalmers, 1982*), no se ha documentado, en el caso del melocotonero, como el estrés hídrico afecta al crecimiento y desarrollo del fruto. En peral, existe información de como tratamientos de **DCR** afectan el crecimiento del diámetro del fruto (*Chalmers et al., 1986; Mitchel et al., 1984*), pero no específicamente sobre la evolución del crecimiento del peso fresco y seco del fruto.

Análisis previos del crecimiento del fruto, en el caso del melocotón, indicaban que el crecimiento del peso fresco del fruto no está estrictamente correlacionado con el crecimiento del peso seco (*Chalmers and Van den Ende, 1975; DeJong et al., 1987*). Esto significa que a medida que el fruto crece se van atravesando diferentes fases de relativa hidratación y deshidratación. Así mismo se desconoce si **DCR** afecta básicamente a la hidratación relativa del fruto, al crecimiento del peso seco del mismo, o a ambos.

Este trabajo describe la evolución estacional del diámetro de fruto y de los pesos seco y fresco, de dos variedades de melocotón sometidos a una estrategia de **DCR**, y pretende determinar si la respuesta productiva (cosecha y distribución de tamaños) están relacionados a los efectos de la acumulación del peso seco o de la hidratación relativa del fruto.

2. MATERIAL Y MÉTODOS.

Parcela Experimental. La descripción básica de la parcela experimental puede verse en este mismo apartado del Capítulo I.

La parcela se cultivó siguiendo las prácticas habituales de la zona, incluyendo una franja tratada con herbicida debajo de los árboles y un "mulching" en las calles. Los árboles fueron sometidos a un aclareo manual de frutos durante la cuarta semana de abril, que como se comprobó más tarde no fue uniforme entre tratamientos. La cosecha se realizó el 13 y 17 de mayo en los "Spring-Lady" y los días 15, 18 y 25 de agosto en "CalRed". Durante los años anteriores la parcela se regó de forma uniforme con una dosis de riego que cubría las necesidades totales del cultivo (100% ETc).

Diseño experimental. Según se ha descrito en este apartado en el Capítulo I.

Controles generales. Los datos procedentes de una estación climática automatizada, localizada a 500 m de la parcela experimental, se utilizaron para caracterizar los parámetros

del clima. Esta estación climática forma parte de la red de estaciones climáticas de California CIMIS (California Irrigation Management Information System).

Para evaluar la cantidad de agua aplicada, se utilizaron contadores volumétricos localizados en cada parcela elemental, que eran leídos semanalmente. La diferencia entre el agua aplicada y la teórica se usaba para corregir el calendario de riego de la semana siguiente.

El contenido volumétrico de agua del suelo (Θ_v) se determinó por el método de la sonda de neutrones (Campbell Hydroprobe Model 503) que fue previamente calibrada para el suelo de la parcela experimental. Se instaló un tubo de acceso de 3 m de profundidad en cada parcela experimental, en la franja mojada entre un árbol y el microaspersor. La humedad del suelo se determinó semanalmente a incrementos de 30 cm en el perfil del suelo.

Se hicieron 2 determinaciones del perímetro de tronco (junio 1988 y marzo 1989) para evaluar el efecto que el aporte hídrico diferencial de los tratamientos pudiera tener sobre el crecimiento del árbol (Veihmeyer, 1975).

Controles del crecimiento del fruto. Para el control del crecimiento del fruto se muestrearon, con una periodicidad semanal, 20 frutos por parcela elemental antes del aclareo (240 frutos/semana) y 8 frutos por parcela elemental después del aclareo (98 frutos/semana). Sobre las muestras se determinó el diámetro de cada fruto (DF), el peso fresco (PF) y peso seco (PS), lo que permitía calcular el contenido de los frutos en agua (PA). Los ratios de crecimiento : Crecimiento absoluto ($C=(D_2-D_1)/(t_2-t_1)$) y Crecimiento relativo ($CR=(((D_2-D_1)/D_1)/(t_2-t_1))*100$) (Causton y Venus, 1981). Para cada uno de los diferentes ratios D_1 y D_2 pueden ser substituidos por DF, PF, PS ó PA los días t_1 y t_2 respectivamente.

Control de la cosecha. La cosecha se realizó los días 13 y 17 de mayo para los frutos de la variedad "Spring-Lady" y los días 15, 18 y 25 de agosto para los de la variedad "CalRed". En cada uno de los pases se determinó la cosecha total, el número de frutos por árbol y algunos parámetros de calidad del fruto (distribución de tamaños, color y dureza).

3. RESULTADOS.

Agua de riego aplicada. Las cantidades totales de agua de riego aplicadas a los tratamientos de control (CRC y SLC) fue de 1200 mm, mientras que en los tratamientos

deficitarios se aplicaron 720 mm en "CalRed" (60% del tratamiento de control) y 360 mm en "Spring-Lady" (30% del tratamiento de control).

Contenido volumétrico de agua en el suelo. El contenido volumétrico de agua en el suelo (Θ_v) medio fue claramente diferente para los cuatro tratamientos. La evolución de los perfiles de Θ_v en SLD fueron descendiendo a lo largo de la última parte de la primavera y todo el verano, mientras que en SLC se mantenían relativamente altos y algo superiores a los de CRC. Para CRD los Θ_v siguieron una evolución discontinua debido a los ciclos de riego, donde cabe señalar que al inicio de la fase III de crecimiento del fruto (a partir del 28 de junio, día 180), cuando el aporte de agua era del 100-130% de la ETC, el Θ_v no aumentó de forma considerable hasta pasadas unas semanas. Esta falta de respuesta podría deberse a la baja capacidad de infiltración, debido a la muy alta densidad específica, que el suelo presentaba y a la gran demanda evapotranspirativa de los primeros días de julio (Cap. I).

Crecimiento vegetativo. El crecimiento vegetativo del árbol (medido como crecimiento relativa del perímetro del tronco) fue menor en los árboles sometidos al tratamiento DCR. Esta respuesta se evidenció en ambas variedades (Cap. I).

Producción. La cosecha de los frutos de la variedad "Spring-Lady" puso de manifiesto que no existía ningún efecto debido al tratamiento de riego, aunque la producción media de los árboles del tratamiento SLD fue significativamente mayor de la de los árboles del tratamiento SLC (tabla 2.1). Esta diferencia se debió a que los árboles del tratamiento SLD tenían más frutos y el peso medio de los mismos fue prácticamente el mismo en ambos tratamientos, aunque la distribución de frutos por tamaños se vio afectada de tal forma que en el tratamiento SLD había un porcentaje mayor de frutos en los tamaños menores (fig. 2.1). Este mismo efecto se repitió en cada uno de los dos pases de la cosecha (tabla 2.1).

En el caso de la variedad "CalRed" el calendario de riego afectó la producción de tal forma que los árboles del tratamiento CRD tuvieron una producción significativamente menor de la que se cosechó en los árboles de CRC. En este caso el número de frutos por árbol fue prácticamente idéntico en los dos tratamientos y el peso medio del fruto era, consecuentemente, menor en el tratamiento CRD. Este resultado se puso básicamente de manifiesto en el primer pase de la cosecha (tabla 2.2). En la distribución de frutos por tamaños se observa, desde el primer pase, que en la categoría "Super" (S) existe una

predominancia de frutos del tratamiento **CRC**, mientras que en las categorías 64, 56 y 50 predominan los frutos del tratamiento **CRD** (fig. 2.2).

Tabla 2.1. Resumen de resultados de los parámetros más característicos de la cosecha en la variedad "Spring-Lady".

Cosecha	Concepto	Probabilidad>F (1)	Medias	
			Control (SLC)	Déficit (SLD)
17-05-88 Pase 1	Producción Kg/árbol.	0.2295	3.84	4.64
	Número de frutos/árbol.	0.1042	28	36
	Peso medio del fruto (g).	0.0220	138.7 a ²	128.1 b
23-05-88 Pase 2	Producción Kg/árbol.	0.0223	11.74 b	15.27 a
	Número de frutos/árbol.	0.0217	102 b	136 a
	Peso medio del fruto (g).	0.4599	115.5	112.4
Resumen general	Producción Kg/árbol.	0.0121	15.58 b	19.90 a
	Número de frutos/árbol.	0.0092	129 b	170 a
	Peso medio del fruto (g).	0.3045	121.7	117.4

¹Significación del análisis de la varianza.

²Separación de medias entre tratamientos realizado con el test de Duncan ($\alpha=0.05$).

Las características de color y dureza de los frutos de la variedad "CalRed" no se vieron afectadas de forma general por los diferentes calendarios de riego. No obstante, cabe señalar que en el primer pase los frutos **CRD** eran significativamente más consistentes que los del tratamiento **CRC**. A medida que se sucedieron los diferentes pases de la cosecha, el porcentaje de color de los frutos aumentaba y disminuía la dureza de la cutícula. (tabla 2.3).

Evolución estacional del crecimiento del fruto. Las tendencias entre tratamientos de riego en el peso medio del fruto observadas en la recolección fueron confirmadas por la evolución estacional del diámetro de fruto (fig. 2.3.A) y del peso fresco del fruto (fig. 2.3.B). Así pues en "Spring-Lady" donde el peso medio del fruto no difirió entre los dos calendarios de riego, las curvas de evolución estacional tampoco muestran dichas diferencias en diámetro, peso seco, etc.. De forma análoga estas diferencias aparecieron en la variedad "CalRed"

donde si hubo diferencias significativas en el peso medio del fruto entre los dos tratamientos de riego. La evolución del peso fresco y del diámetro de fruto empezaron a diferenciarse al inicio de la fase III de crecimiento del fruto.

Tabla 2.2. Resumen de resultados de los parámetros más característicos de la cosecha en la variedad "CaRed".

Cosecha	Concepto	Probabilidad>F (1)	Medias	
			Control (CRC)	Déficit (CRD)
15-08-88 Pase 1	Producción Kg/árbol.	0.0084	13.5 a ²	9.9 b
	Número de frutos/árbol.	0.1156	56	46
	Peso medio del fruto (g).	0.0001	247.1 a	224.1 b
18-08-88 Pase 2	Producción Kg/árbol.	0.7842	13.2	12.9
	Número de frutos/árbol.	0.8491	62	63
	Peso medio del fruto (g).	0.0307	214.8 a	206.5 b
25-08-88 Pase 3	Producción Kg/árbol.	0.7069	6.5	6.9
	Número de frutos/árbol.	0.4645	31	36
	Peso medio del fruto (g).	0.4623	197.2	193.8
Resumen general	Producción Kg/árbol.	0.0325	33.2 a	29.7 b
	Número de frutos/árbol.	0.5516	149	144
	Peso medio del fruto (g).	0.0001	224.7 a	208.7 b

¹Significación del análisis de la varianza.

²Separación de medias entre tratamientos realizado con el test de Duncan ($\alpha=0.05$).

Es interesante reseñar que estas diferencias no se observaron en la evolución del peso seco del fruto (fig. 2.3.C), por lo que toda la diferencia se debió a un contenido menor en agua en los frutos del tratamiento **CRD** (fig. 2.3.D).

En el análisis del crecimiento absoluto y del crecimiento relativo del fruto para el diámetro de fruto y peso fresco, seco y de agua del fruto, no se observaron diferencias significativas entre calendarios de riego para una misma variedad (figs. 2.4 y 2.5).

Tabla 2.3. Resumen de los parámetros color y dureza en la cosecha de la variedad "CalRed".

Cosecha	Concepto	Probabilidad>F (1)	Medias	
			Control (CRC)	Déficit (CRD)
15-08-88 Pase 1	Color (%)	0.2734	62.45	60.18
	Dureza	0.0419	.. 14.45 b ²	. 15.43 a
28-08-88 Pase 2	Color (%)	0.2181	60.00	62.13
	Dureza	0.3859	14.85	15.22
25-08-88 Pase 3	Color (%)	0.1087	67.00	69.93
	Dureza	0.1614	13.22	12.97
Resumen general	Color (%)	0.5507	63.15	64.08
	Dureza	0.1199	14.17	14.54

¹Significación del análisis de la varianza.

²Separación de medias entre tratamientos realizado con el test de Duncan ($\alpha=0.05$).

Los procesos de deshidratación y rehidratación a lo largo del crecimiento del fruto no fueron diferentes para los dos tratamientos de riego de la variedad "Spring-Lady". En la variedad "CalRed" el tratamiento **CRD** presentó un contenido hídrico ligeramente inferior al de **CRC**, aunque no se modificaron substancialmente las tendencias hídricas en el ciclo de crecimiento y desarrollo del fruto (fig. 2.6).

4. DISCUSIÓN.

Es interesante observar el que no se observaran casi disminuciones en la tasa neta de fotosíntesis en el tratamiento **CRD** frente al **CRC** (Cap. I) y que los tratamientos de riego tampoco produjeran diferencias en la evolución del **PS** del fruto de la variedad "CalRed" (fig. 2.3.C). Por el contrario sí se detectaron importantes variaciones debidas al tratamiento de riego en **g_s** y **E** (Cap. I) y forma concurrente en la evolución del **PF** y del **PA** de esta variedad (fig. 2.3.B,D). Estos resultados ponen de manifiesto la importancia de la disponibilidad de agua para el crecimiento total del fruto, y el efecto casi nulo que pueden tener sobre la acumulación de materia seca en este cultivo. No obstante, la movilización de las reservas acumuladas por la planta puede ser, en parte, la responsable de que no se traduzca en el fruto las pequeñas variaciones de **A** observadas entre tratamientos. En este

sentido, *Chalmers y van den Ende (1975b)* y *Chalmers et al. (1975)* ponen de manifiesto el efecto de las hojas como reservorio de materia asimilada que puede ser fácilmente transportada al fruto.

Existen referencias de como el crecimiento relativo del fruto durante la fase III está muy condicionado por la disponibilidad de agua de agua en el suelo (*Uriu, 1965; Chalmers y Wilson, 1978*). El bajo contenido de agua en el suelo observado durante la primera mitad de la fase III del crecimiento del fruto es aparentemente la razón que explica las diferencias entre las curvas de crecimiento del **PF** y del **PA** durante esta fase (fig. 2.3.B,D). Los crecimientos relativos de los diferentes parámetros del fruto (**DF**, **PF**, **PS** y **PA**) siguieron tendencias similares a las descritas por *DeJong y Goudriaan (1989)* para otras variedades de melocotonero. El hecho de que no se detectaran diferencias significativas entre tratamientos mediante estos análisis de crecimiento relativo (fig. 2.5) es probablemente debido a lo pequeño de las diferencias observables cuya significación se detecta solo con el análisis de los efectos acumulativos.

Donde sí se observaron mayores diferencias fue en las tendencias de crecimiento absoluto (fig. 2.4) lo que pone de nuevo de manifiesto que la diferenciación entre los tratamientos **CRD** y **CRC** se produjo en la primera mitad de la fase III. La disminución de la producción en **CRD** debido a un menor peso medio de los frutos (tabla 2.2) coincide con estas observaciones iniciales y la posibilidad de que otros factores externos influenciaron sobre estos resultados quedaría muy limitado, ya que el número de frutos por árbol, que sería un posible factor determinante del peso del fruto (*Johnson y Handley, 1989; Schechter et al., 1994 a y b*) fue muy similar para ambos tratamientos (**CRC** y **CRD**), y la distribución de frutos en el árbol parece no ser factor determinante del tamaño final de los mismos (*Marini y Sowers, 1994*).

El contenido de materia seca del fruto (fig. 2.6) siguió una curva sinusoidal con cuatro períodos diferentes, que se repitieron en ambas variedades. Para "CalRed" hubo un primer período descendente (días 85 al 112) que coincide con el momento de rápida división celular que sucede al inicio del crecimiento del fruto (*Ross, 1952; Blake, 1926; Ryugo, 1988*). Durante este período el crecimiento del **PF** era superior al del **PS** y como consecuencia había un descenso en el contenido relativo de materia seca. Durante el segundo período (días 112 al 145) el crecimiento del **PS** fue superior al del **PF** (período ascendente). El final de este período coincide con los últimos estadios de la fase I de crecimiento del fruto, según fue descrito por *Chalmers y van den Ende (1975)*, y con el

cambio de sumidero de carbohidratos no estructurales (del mesocarpio al endocarpio) que se ha observado en la transición de la fase I a la fase II en esta variedad (*Pavel y DeJong, 1993*). El tercer período, que se sitúa entre los días 145 y 180, parece existir una similitud entre el crecimiento del **PF** y del **PS**. El tercer período coincidió con la fase II del crecimiento del fruto. El cuarto y último período fue de nuevo descendiente, donde el crecimiento del **PF** era superior al del **PS** y con una coincidencia total con la fase III del crecimiento del fruto. Resulta de un especial interés el hecho de que se detectaron valores del porcentaje de materia seca en el fruto en el tratamiento **CRD** superiores al **CRC** alrededor del día 134, 2 ó 3 semanas después de que el Θ_v descendiera para el tratamiento **CRD** (Cap. I). Estos resultados sugieren, que en la fase II, el inicio el descenso en la disponibilidad de agua influyó la entrada de agua en el suelo en el tratamiento **CRD** redujo concurrentemente la hidratación. Las mínimas diferencias en el porcentaje de materia seca del fruto observadas entre tratamientos de riego al final del periodo de crecimiento, coinciden con la recuperación del Θ_v para el tratamiento **CRD** en estas fechas.

Este mismo análisis de la evolución del porcentaje de materia seca aplicado a la variedad "Spring-Lady" (fig. 2.6) indica que la duración del tercer período es mínimo (o nulo) y por consiguiente que la fase II del crecimiento del fruto apenas existe (fig. 2.3), lo cual ya había sido observado previamente por otros autores (*DeJong et al., 1987; Lilleland y Newsome, 1934; Tukey, 1936*). No obstante, sí que resulta interesante observar como el período II (rehidratación) es de duración reducida, lo que puede traducirse en un crecimiento celular (número de células) menor que en la variedad "CalRed" y por consiguiente el tamaño potencial del fruto sea, a su vez, menor. Esto podría explicar el porque las variedades tempranas tienen normalmente frutos menores que las tardías (*DeJong et al., 1987*).

Los tratamientos de riego en la variedad "Spring-Lady", no produjeron diferencias en ninguno de los parámetros estudiados, lo que indica el mínimo efecto que la reducción de agua de riego en la fase I supuso sobre esta variedad. Presumiblemente debido a la gran capacidad de almacenamiento de agua de los suelos en los que se realizó el ensayo. Resultados similares han sido observados en otros cultivos por diversos autores (*Johnson et al., 1992*).

Aunque los resultados de producción correspondan únicamente al primer año del ensayo, ya puede verse que el principal problema al aplicar calendarios de **DCR** en las condiciones de la parcela experimental, es la tendencia a producir frutos de menor calibre, aunque con pocas diferencias en la producción total. De todas formas este resultado es muy importante

para los productores de melocotón, ya que el precio varía muchísimo en función de los calibres del fruto, mientras que el coste del agua en California es relativamente bajo. No obstante, en el caso de disponer de volúmenes limitados de agua, el aplicar estrategias de **DCR** puede ser una herramienta importante para incrementar la eficiencia en el uso del agua.

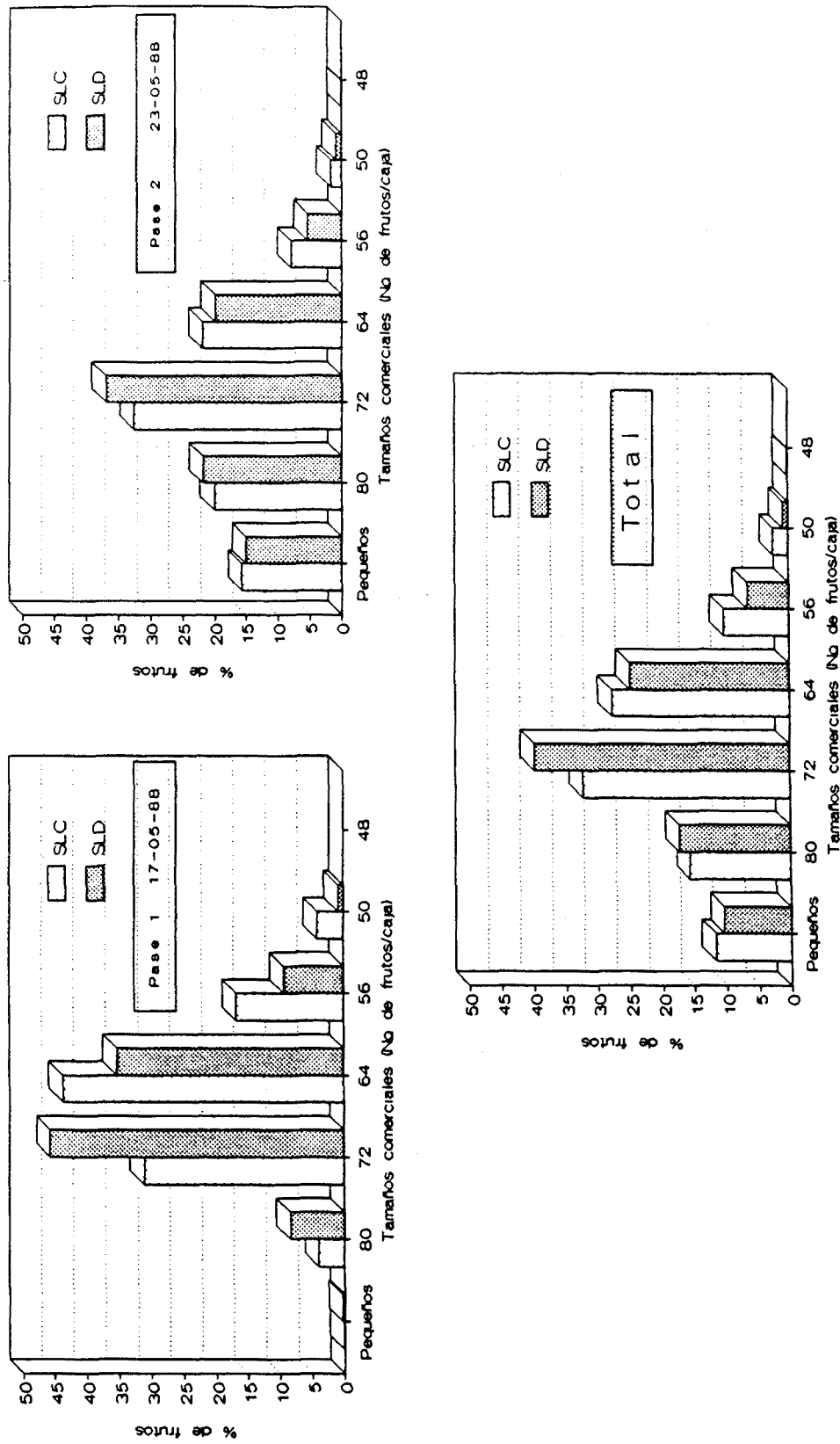


Figura 2.1. Distribución de los tamaños comerciales (nº de frutos/caja) de los dos pases de la cosecha (A,B) y el total (C) de una variedad de melocotón de maduración temprana "Spring Lady" en respuesta a los tratamientos de riego aplicados: Control (SLC) y Deficit Controlado de Riego (SLD). El tamaño comercial "Pequeños" engloba a todos aquellos frutos que son inferiores al tamaño "80".

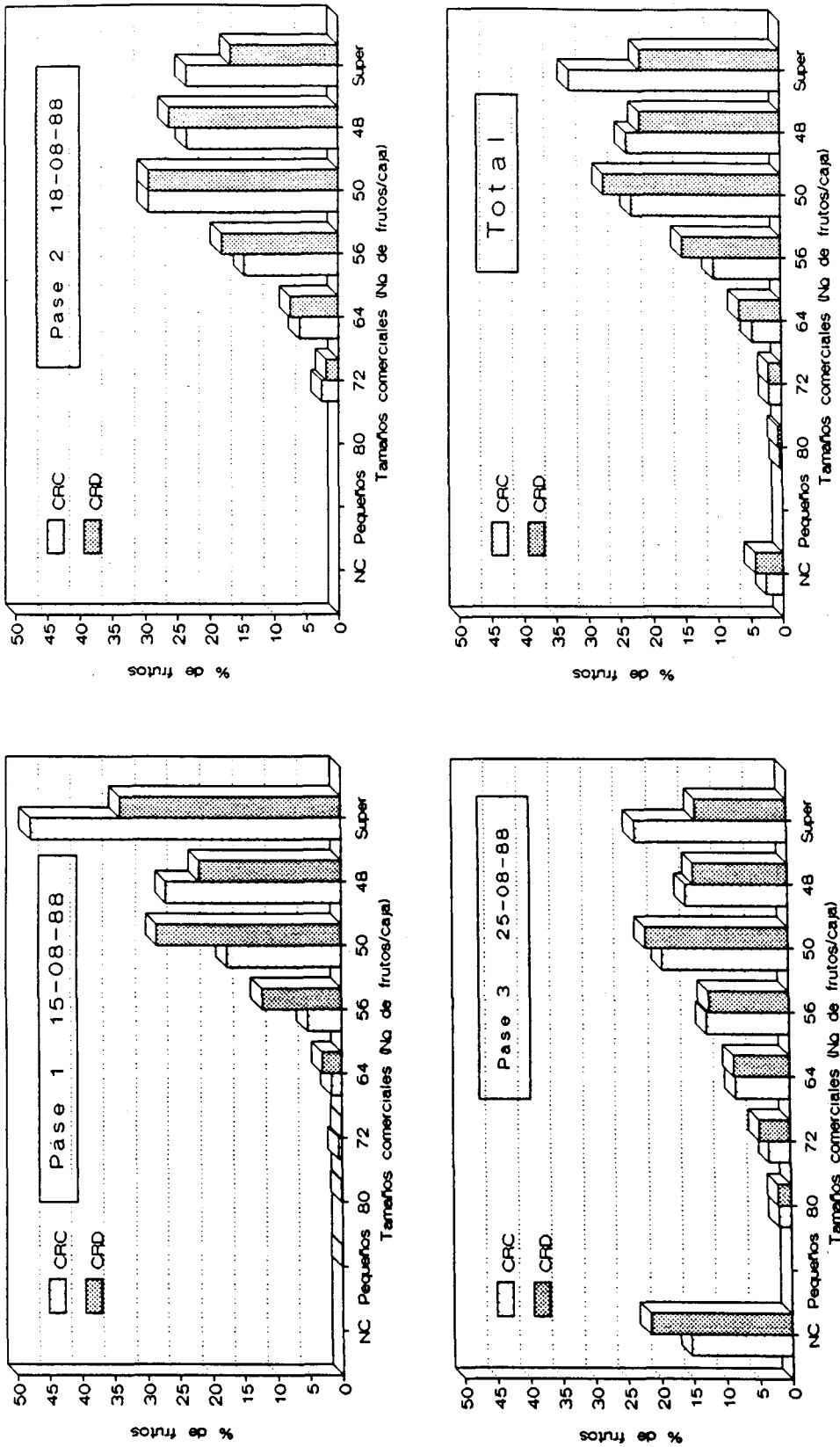


Figura 2.2. Distribución de los tamaños comerciales (n° de frutos/caja) de los tres pases de la cosecha (A,B,C) y el total (D) de una variedad de melocotón de maduración tardía "Cal Red" en respuesta a los tratamientos de riego aplicados: Control (CRC) y Déficit Controlado de Riego (CRD). El tamaño "NC" se refiere a aquellos frutos que no son comerciables (mal estado, con golpes, etc.). El tamaño comercial "Pequeños" engloba a todos aquellos frutos que son inferiores al tamaño "80" pero son comerciables. El tamaño "Super" engloba a aquellos frutos que son superiores al tamaño "48".

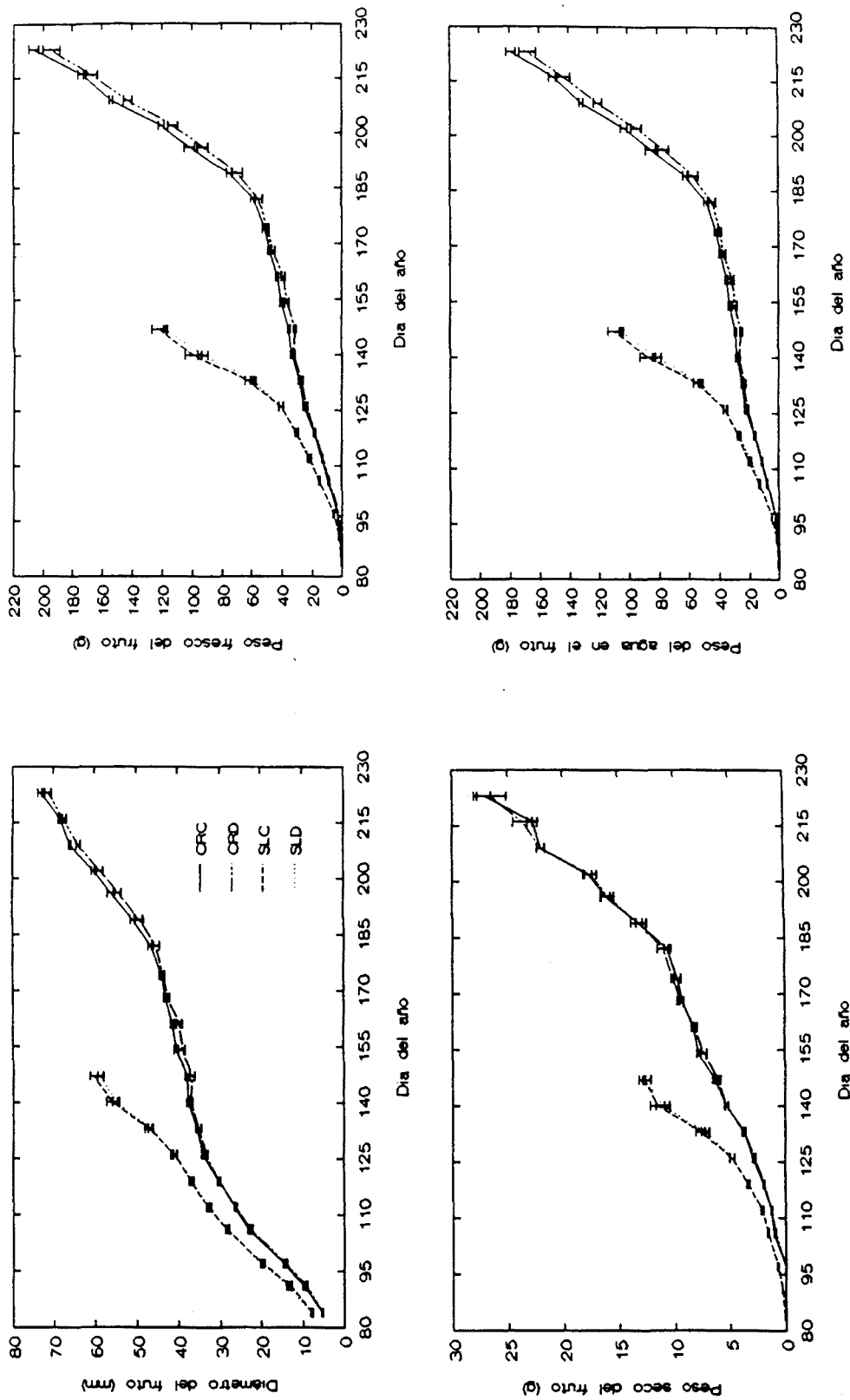


Figura 2.3. Evolución estacional del fruto [A) Diámetro, B) Peso fresco, C) Peso seco y D) Peso del agua] de dos variedades de melocotón ("Spring Lady" [SLC, SLD] y "CalRed" [CRC, CRD]) en respuesta a los tratamientos de riego aplicados (Control [CRC, SLC] y Déficit Controlado de Riego [CRD, SLD]). Cada punto representa la media de 6 repeticiones (8 frutos / repetición) \pm ES.

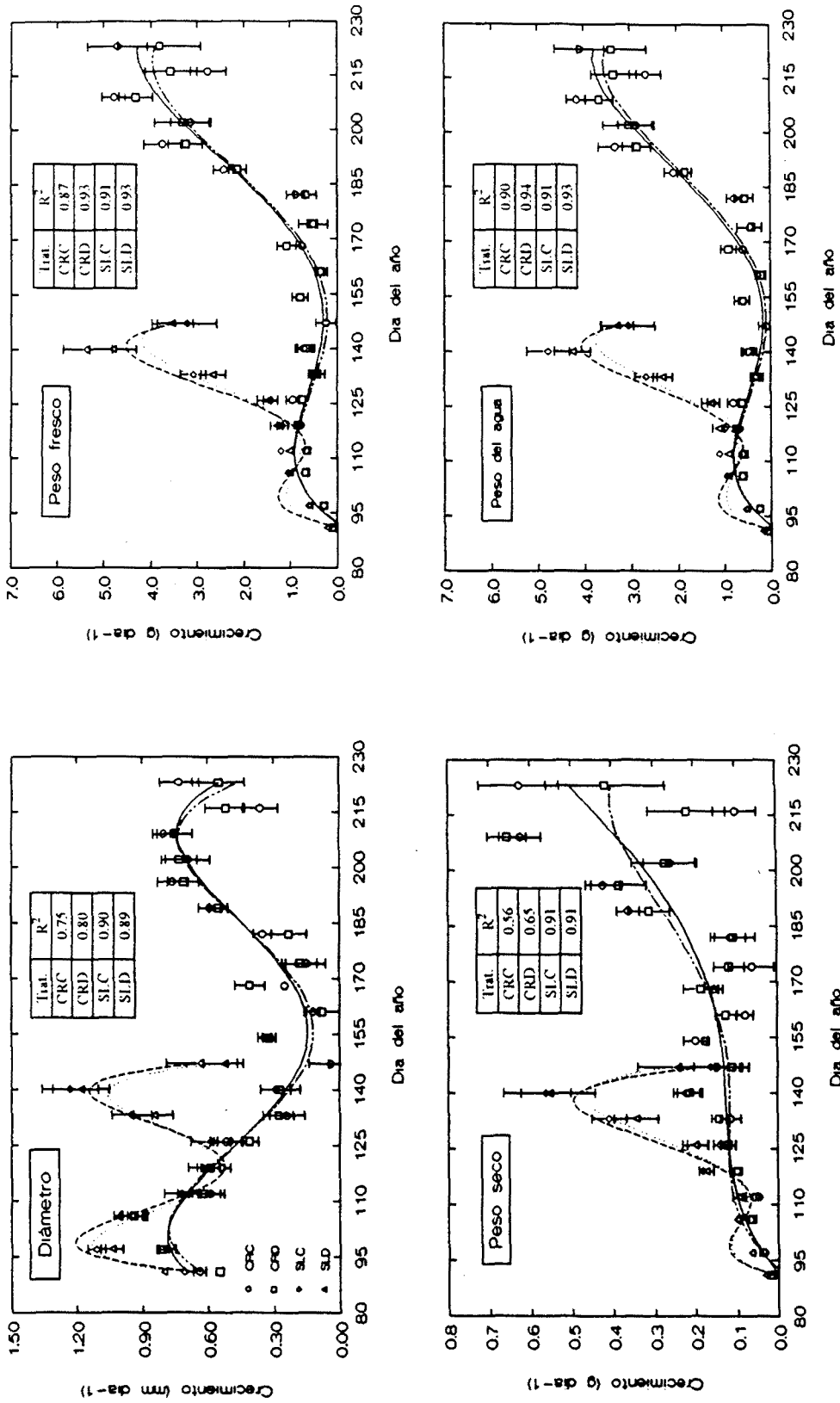


Figura 2.4. Evolución estacional del crecimiento del fruto [A] Diámetro, B) Peso fresco, C) Peso seco y D) Peso del agua] de dos variedades de melocotón ("Spring Lady" [SLC, SLD] y "CalRed" [CRC, CRD]) en respuesta a los tratamientos de riego aplicados (Control [CRC, SLC] y Déficit Controlado de Riego [CRD, SLD]). Cada punto representa la media de 6 repeticiones (8 frutos / repetición) ± ES. La línea continua corresponde a "CalRed" tratamiento Control (CRC), la línea discontinua con puntos intermedios corresponde a "CalRed" tratamiento de Riego Deficitario Controlado (CRD), la línea discontinua corresponde a "Spring Lady" tratamiento Control (SLC) y la línea de puntos corresponde a "Spring Lady" tratamiento de Riego Deficitario Controlado (SLD). Todas las líneas se ajustan a una función polinómica de 4° grado.

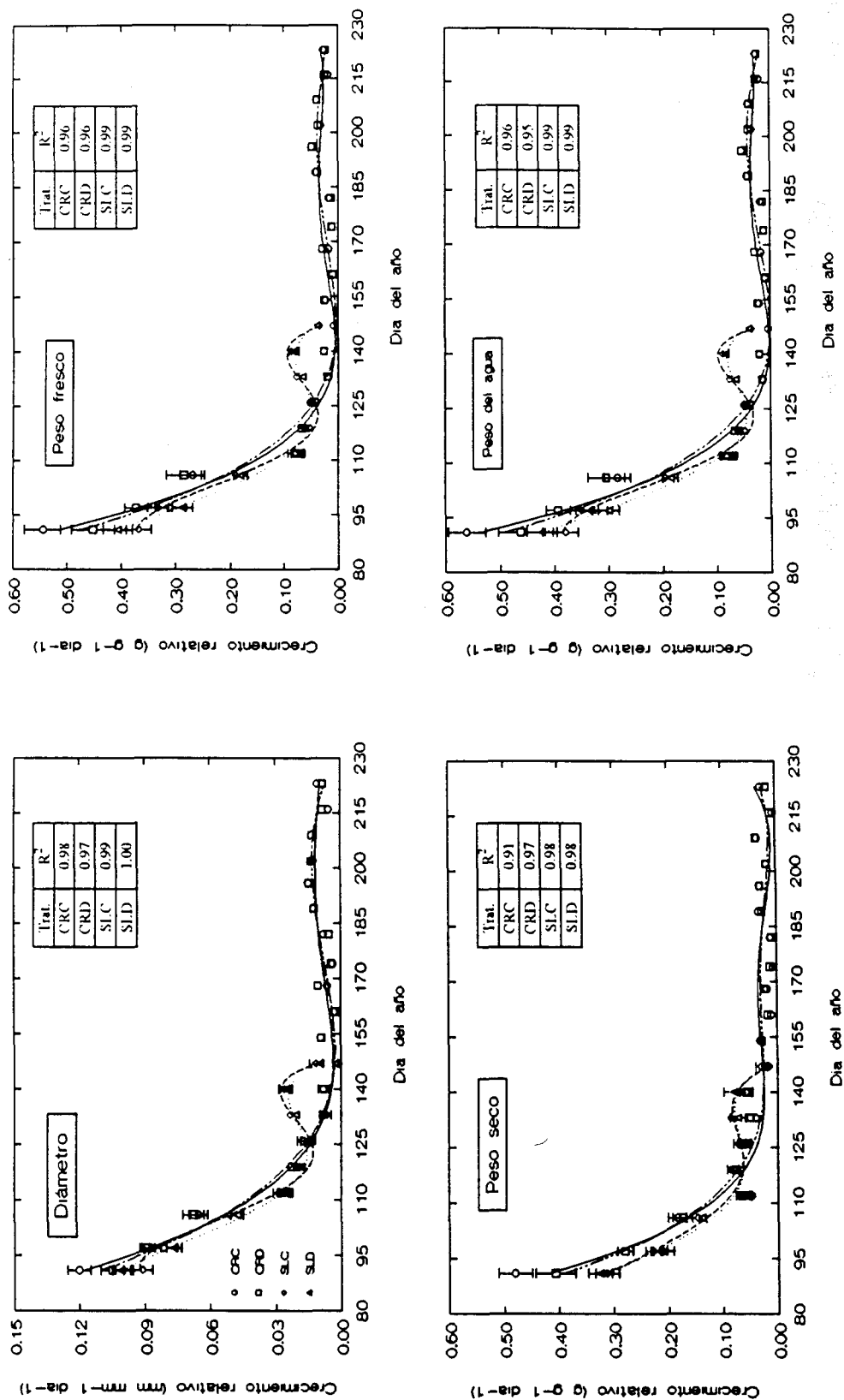


Figura 2.5. Evolución estacional del crecimiento relativo del fruto [A) Diámetro, B) Peso fresco, C) Peso seco y D) Peso del agua] de dos variedades de melocotón ("Spring Lady" [SLC, SLD] y "CalRed" [CRC, CRD]) en respuesta a los tratamientos de riego aplicados (Control [CRC, SLC] y Déficit Controlado de Riego [CRD, SLD]). Cada punto representa la media de 6 repeticiones (8 frutos / repetición) ± ES. La línea continua corresponde a "CalRed" tratamiento Control (CRC), la línea discontinua con puntos intermedios corresponde a "CalRed" tratamiento de Riego Deficitario Controlado (CRD), la línea discontinua corresponde a "Spring Lady" tratamiento Control (SLC) y la línea de puntos corresponde a "Spring Lady" tratamiento de Riego Deficitario Controlado (SLD). Todas las líneas se ajustan a una función polinómica de 4º grado.

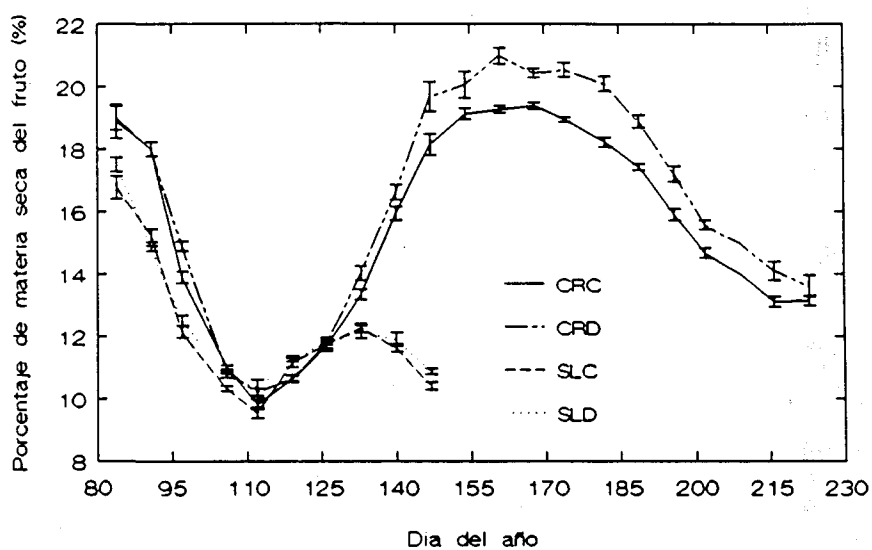


Figura 2.6. Evolución estacional del porcentaje de materia seca del fruto en función de los tratamientos de riego aplicados (Control [CRC, SLC] y Déficit Controlado de Riego [CRD, SLD]) a dos variedades de melocotonero ("Spring Lady" [SLC, SLD] y "CalRed" [CRC, CRD]). Cada punto representa la media de 6 repeticiones (8 frutos/rep.) \pm ES.