



**INFLUENCIA DE RESTRICCIONES HÍDRICAS
POSCOSECHA EN EL CRECIMIENTO VEGETATIVO Y
REPRODUCTIVO EN PLANTACIONES JÓVENES DE
CEREZO (*Prunus avium* L.)**

LIDIA PODESTÁ

MAGISTER SCIENTIAE EN RIEGO Y DRENAJE

UNIVERSIDAD NACIONAL DE CUYO

Facultad de Ciencias Agrarias

NOVIEMBRE 2007

COMITÉ ASESOR

Director: Ph. D. Enrique E. Sánchez

Co-Directora: Ing. Agr. M. Sc. Rosana C. Vallone

Asesor: Ing. Agr. M. Sc. José A. Morábito

COMITÉ EVALUADOR

Ing. Agr. M. Sc. Víctor Lipinski

Ph. D. Jorge Perez Peña

Ing. Agr. M. Sc. Eduardo Tersoglio



Universidad Nacional de Cuyo
Facultad de Ciencias Agrarias
Secretaría de Ciencia, Técnica y Posgrado

-----En **CHACRAS DE CORIA**, en la sede de la **FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS** de la **UNIVERSIDAD NACIONAL DE CUYO**, siendo las **ONCE HORAS TREINTA MINUTOS (11:30)** del día **VEINTISIETE (27)** de Noviembre del año dos mil siete, se reúne el Jurado integrado por los siguientes profesionales: **Dr. Jorge Esteban PEREZ PEÑA** (ESTACIÓN EXPERIMENTAL AGROPECUARIA MENDOZA – I.N.T.A.), **M.Sc. Eduardo Domingo TERSOGLIO** (ESTACIÓN EXPERIMENTAL AGROPECUARIA MENDOZA – I.N.T.A.) y **M.Sc. Víctor Mario LIPINSKI** (ESTACIÓN EXPERIMENTAL AGROPECUARIA LA CONSULTA – I.N.T.A.), quien es designado presidente del Jurado encargado de evaluar el trabajo de tesis y la exposición oral y pública que sobre el tema: **"INFLUENCIA DE RESTRICCIONES HÍDRICAS POSCOSECHA EN EL CRECIMIENTO VEGETATIVO Y REPRODUCTIVO EN PLANTACIONES JÓVENES DE CEREZO (*Prunus avium* L.)"**, desarrolló la **Ing. Agr. Lidia Norma PODESTÁ**, D.N.I. N° 16.294.894, para acceder al grado académico de **MAGISTER SCIENTIAE EN RIEGO Y DRENAJE**. Asiste también el Director de Tesis, **Ph. D. Enrique SÁNCHEZ** (ESTACIÓN EXPERIMENTAL AGROPECUARIA ALTO VALLE – I.N.T.A.), quien tendrá voz pero no voto (Punto V.4.2, ANEXO I, del Reglamento de Carreras de Especialización, Maestría y Doctorado, Modalidad Estructurada, aprobado por Ord. 49/03-C.S.).-----

-----Luego de haber analizado los antecedentes y escuchado la exposición de la **Ing. PODESTÁ**, el Jurado, por unanimidad, concluye lo siguiente: Que tanto la versión escrita como la exposición oral merecen la aprobación por parte de este Jurado.-----

-----El contenido del manuscrito enfocado desde el punto de vista del análisis crítico de los conocimientos sobre el tema, pone de manifiesto una revisión bibliográfica completa y una presentación y discusión de los resultados adecuados mereciendo nuestra opinión de **ALTAMENTE FAVORABLE**.-----

-----La **Ing. PODESTÁ** realizó una excelente exposición, con un correcto uso de medios audiovisuales, lo cual resaltó la importancia del trabajo experimental, el análisis de los resultados y las conclusiones a que se arribaron.-----

-----Es de destacar que la expositora resaltó los conceptos más relevantes dentro del cúmulo de la información reunida, en un tiempo adecuado.-----

-----Sobre la base de lo anteriormente expuesto, este Jurado dictamina que la tesista merece la calificación de **"SOBRESALIENTE"**.-----

-----Siendo las **DOCE HORAS QUINCE MINUTOS (12:15)** se da por terminado el acto, firmando para constancia los miembros integrantes del Jurado, juntamente con el Director de Tesis.-----

Dr. Jorge PÉREZ PEÑA

M.Sc. Eduardo Domingo TERSOGLIO

M.Sc. Víctor LIPINSKI

Ph. D. Enrique SÁNCHEZ

AGRADECIMIENTOS

A mi director Enrique Sánchez, y a mi co-directora Rosana Vallone por su guía y apoyo en la planificación, ejecución y análisis de mi trabajo.

A Pepe Morábito por su disposición y sus generosas contribuciones sobre el manejo del agua.

A la Facultad de Ciencias Agrarias y a su Secretaría de Posgrado. También a la Secretaría de Ciencia, Técnica y Posgrado de la Universidad Nacional de Cuyo, que financió el proyecto de investigación.

A la empresa Salentein Fruit B.V. por su aporte para la instalación y realización del ensayo, y a su personal Gustavo Soto, Diego Morales y especialmente a Juan Araya, Vanina Montenegro, Hugo Videla y Julio Quiroga por su inestimable colaboración en el manejo del riego y en las mediciones de campo. También a Dante Cataldo y Fabián Macenco, del galpón de empaque de la empresa, por permitirme realizar las mediciones de calidad de frutos en su laboratorio de calidad.

A Carlos Puertas de INTA Junín que me acompañó y me ayudó en las mediciones de campo, y a INTA EEA Junín que me prestó desinteresadamente su cámara de Scholander.

A Esteban Fiori, Guillermo Castro y Federico Reina por su ayuda en la instalación y calibración de equipos de medición de humedad.

A Concepción Arjona por su confianza y generosidad.

A Miguel Ojer por su invaluable sentido crítico en la planificación y ejecución de mi investigación.

A los alumnos Fernando Zanatta, Gonzalo Menéndez, Mariana Savietto, Facundo Dueñas y Belén Bobadilla y al personal de la Cátedra de Fruticultura de la Facultad de Ciencias Agrarias Antonio González y Luis Velocce, por su valiosa colaboración en las mediciones de campo y laboratorio.

A INTA EEA Mendoza, especialmente al personal de las áreas Suelo y Riego y Viticultura por su generosa ayuda en los análisis de laboratorio.

A mi familia, por su infinita contención y asistencia permanente.

A todos mi sincero agradecimiento.

RESUMEN

En cerezo plantas con excesivo vigor son poco precoces, a menudo poco productivas y de difícil manejo en el cultivo. El exceso de vigor puede ser controlado con el uso de estrategias de riego deficitario controlado (RDC).

Para contribuir a la racionalización del uso del recurso hídrico, controlar el crecimiento vegetativo vigoroso y estimular la producción precoz en plantaciones jóvenes de cerezo, se estableció un ensayo de RDC en un monte frutal comercial de la variedad Bing regado por goteo en la localidad de Agua Amarga, Mendoza, Argentina. Se evaluó la respuesta a distintos regímenes de riego poscosecha sobre parámetros de crecimiento vegetativo (crecimiento de brotes y tronco, área y peso seco foliar), reproductivo (densidad de floración, rendimiento y calidad de frutos) y estado nutricional (nutrimentos foliares y reservas de carbohidratos no estructurales). Los tratamientos de riego poscosecha fueron: riego a demanda plena (T1= Etc 100 %) y RDC reponiendo el 75 % (T2= Etc 75 %) y 50 % (T3= Etc 50 %) respecto de T1. Se midió el estado hídrico de la planta a través del potencial agua del tallo a mediodía y del suelo con sonda de capacitancia y gravimetría.

En T3 disminuyó la longitud de brotes, número y longitud de entrenudos, número de hojas, área foliar y peso seco foliar, y área de tronco. En T2 disminuyó la longitud de brotes y de entrenudos.

En T3 la intensidad del déficit hídrico impuesta aumentó la calidad de los ramilletes y la producción de yemas de flor, flores y frutos en el ciclo vegetativo siguiente. La calidad y madurez de frutos no fue afectada por los tratamientos de RDC, aunque en T3 aumentó levemente la proporción de frutos dobles.

Luego del primer año de RDC en las plantas del T3 hubo una disminución significativa, aunque leve, del contenido de K y P foliares y de almidón en raíces. El potencial hídrico del tallo a mediodía resultó un buen indicador del estado hídrico de las plantas.

En cerezos un ajuste preciso del nivel de restricción hídrica poscosecha puede ser una estrategia de manejo para controlar el vigor y estimular la producción precoz. Al mismo tiempo se ahorran importantes cantidades de agua.

Palabras clave: déficit hídrico, *Prunus*, cerezos, vigor, crecimiento, floración, reservas

ABSTRACT

Vigorous cherry tree orchards are less precocious and productive, and difficult to manage. Regulated deficit irrigation (RDI) can be used as a strategy to control excessive vigor.

In order to evaluate water use efficiency, vegetative growth, and precocity of bloom and production, a postharvest regulated deficit irrigation experiment was conducted in a commercial sweet cherry orchard cv. Bing, located in Agua Amarga, Mendoza, Argentina, with young and vigorous trees under drip irrigation. Postharvest RDI treatments were: replacement of 100% ET_c (T1= ET_c 100 %); replacement of 75% of T1 (T2= ET_c 75 %) and replacement of 50% of T1 (T3= ET_c 50 %). Plant water status was measured by midday stem water potential and soil water content by capacitance and gravimetric techniques. The effects of the different RDI strategies were evaluated on vegetative growth (shoot length and trunk cross-sectional area, leaf area and dry weight), reproductive growth (bloom density, yields and fruit quality) and nutrient status (leaf nutrition and nonstructural carbohydrates).

In T3 shoot length, number and length of internodes, and, number, area, and dry weight of leaves significantly decreased. In T2 shoot and internode growth decreased, but the other variables were less affected.

In addition, T3 significantly increased the number of floral buds per spur and the number of flowers per bud. As a consequence, the density of flower-buds, flowers and fruits were significantly higher the following year. In general fruit quality and maturity were not modified by RDI treatments, although the amount of double fruits increased slightly in T3.

After one year of RDI in T3 there was a significant decrease in root starch and leaf K and P content. Midday stem water potential resulted a good indicator of plant water status. We conclude that a carefully managed postharvest RDI can be used to control vigor and promote early production in cherry trees, saving significant amounts of water at the same time.

Key words: deficit irrigation, *Prunus*, cherries, vigor, vegetative growth, bloom, nonstructural carbohydrates

ÍNDICE

1. INTRODUCCIÓN	1
2. ANTECEDENTES BIBLIOGRÁFICOS	7
2.1. Antecedentes de producción, superficie y comercio	7
2.1.1. Situación Mundial	7
2.1.2. Situación Nacional	9
2.2. Cultivo del cerezo	10
2.3. Control de vigor	11
2.4. Riego en cerezos	13
2.4.1. Requerimientos hídricos	14
2.4.2. Programación del riego	14
2.4.3. Control del riego	15
2.4.3.1. Control en el suelo	15
2.4.3.2. Control en la planta	15
2.4.4. Respuesta de diferentes frutales a RDC	17
2.5. Efectos del RDC en cerezos	20
2.5.1. Crecimiento y desarrollo en cerezo	20
2.5.2. RDC- Efectos sobre el vigor	21
2.5.3. RDC- Efectos sobre la inducción floral	22
2.5.4. RDC- Efectos sobre la formación de pistilos dobles	23
2.5.5. RDC- Efecto sobre cáncer bacterial (<i>Pseudomonas syringae</i>) y <i>Phytophthora</i> spp.	23
2.5.6. RDC- Efecto sobre el 'cracking' de los frutos	23
2.5.7. RDC- Efectos sobre el estado nutricional y acumulación de reservas	24
3. MATERIALES Y MÉTODOS	26
3.1. Sitio y cultivo	26
3.2. Tratamientos	27
3.3. Diseño experimental	27
3.4. Riego	28
3.4.1. Uniformidad del riego	28
3.4.2. Calidad del agua de riego	29
3.4.3. Cálculo de las necesidades de riego	29
3.4.4. Instalación y control del riego para riegos deficitarios	31
3.5. Otros estudios previos al establecimiento del ensayo	32
3.5.1. Evaluación de la homogeneidad del monte frutal	32
3.5.2. Estudio del perfil del suelo y de la distribución de raíces	35
3.5.3. Determinación de la capacidad de campo (Wc)	35

3.5.4.	Obtención de las curvas de capacidad hídrica y estimación del punto de marchitamiento permanente (Wm).....	36
3.5.5.	Análisis físico químico del suelo	36
3.6.	Datos meteorológicos.....	37
3.7.	Control de la humedad en el suelo.....	38
3.8.	Medición de potencial hídrico del tallo a mediodía.....	38
3.9.	Registros fenológicos	39
3.10.	Crecimiento vegetativo	39
3.10.1.	Mediciones realizadas en ramas: longitud de brotes, número y longitud de entrenudos, número de hojas, área foliar y peso seco foliar.....	39
3.10.2.	Mediciones realizadas en toda la planta: crecimiento del área de tronco y crecimiento total de brotes	40
3.11.	Estado nutricional.....	40
3.11.1.	Macro y micronutrientos foliares	40
3.11.2.	Reservas de carbohidratos no estructurales (CNE)	41
3.12.	Retorno de floración: ramilletes, yemas de flor y flores	41
3.12.1.	Mediciones realizadas en ramas: cantidad y calidad de ramilletes, cantidad de yemas de flor, de flores por yema, y de flores.....	41
3.12.2.	Mediciones realizadas en toda la planta	42
3.13.	Cantidad de frutos (cuaje) y crecimiento de frutos en el ciclo vegetativo siguiente	42
3.14.	Rendimiento y calidad de frutos en el ciclo vegetativo siguiente.....	43
3.15.	Análisis estadístico.....	44
4.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	45
4.1.	Ciclo del cultivo y tratamientos	45
4.2.	Manejo del agua.....	45
4.3.	Caracterización de la humedad en el suelo.....	49
4.3.1.	Método gravimétrico	49
4.3.2.	Sensores de humedad de suelo	52
4.4.	Caracterización del estado hídrico de la planta	54
4.5.	Registros fenológicos	57
4.6.	Crecimiento vegetativo	58
4.6.1.	Mediciones en ramas	58
4.6.2.	Mediciones en toda la planta	65
4.7.	Estado nutricional.....	67
4.7.1.	Macro y micronutrientos foliares	67
4.7.2.	Reservas de carbohidratos no estructurales (CNE)	68
4.8.	Retorno de floración: ramilletes, yemas de flor y flores	71

4.9. Cantidad de frutos y crecimiento de frutos en el ciclo vegetativo siguiente	75
4.10. Rendimientos y eficiencia de rendimientos.....	78
4.11. Calidad de frutos en el ciclo vegetativo siguiente	81
5. CONCLUSIONES	84
6. BIBLIOGRAFÍA.....	86
7. ANEXO	97

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Evaluación de la uniformidad del equipo de riego utilizado en el cuartel donde se realizó el ensayo.....	29
Tabla 2. Escala de calificación de las plantas en función la estructura de la parte aérea.....	33
Tabla 3. Caracterización de las plantas seleccionadas donde se realizó el ensayo.....	34
Tabla 4. Distribución de las raíces de cerezo en el perfil del suelo donde se realizó el ensayo.....	35
Tabla 5. Caracterización físico química inicial del suelo bajo ensayo en la profundidad 1,20 m.....	37
Tabla 6. Categorías comerciales de cereza en función del calibre de frutos.....	43
Tabla 7. Agua total (lámina de riego y precipitaciones efectivas) recibida en los tratamientos de riego.....	48
Tabla 8. Humedad gravimétrica promedio de los tratamiento de riego para distintas profundidades de suelo y para el total del perfil.....	50
Tabla 9. Succión matriz a 40 cm de profundidad del tratamiento testigo durante la imposición de los tratamientos de riego.....	52
Tabla 10. Succión matriz promedio estimada de los tratamientos para distintas profundidades de suelo y para el total del perfil.....	52
Tabla 11. Potencial hídrico xilemático a mediodía de plantas de cerezo 'Bing'. Promedio del período de imposición de los tratamientos de riego.....	56
Tabla 12. Fechas de ocurrencia de los estados fenológicos de cerezos 'Bing' en los tratamientos durante el año 2006, luego del primer año de experiencia y previo a la segunda temporada de ensayo.....	57
Tabla 13. Longitud de brotes de cerezo 'Bing' de los tratamientos de riego al finalizar el ciclo de cultivo.....	60
Tabla 14. Área foliar y peso seco foliar unitarios, y peso específico foliar de cerezo 'Bing' producidos durante la imposición de los tratamientos de riego.....	64
Tabla 15. Incremento del área de sección transversal de tronco de cerezo 'Bing' producido durante el ciclo de cultivo en el que se realizó el ensayo.....	66
Tabla 16. Crecimiento longitudinal de brotes por planta de cerezo 'Bing' de los tratamientos de riego al finalizar el ciclo de cultivo.....	66
Tabla 17. Concentración de macro y micronutrientos foliares de cerezo 'Bing' de los tratamientos de riego.....	67
Tabla 18. Densidad de ramilletes de cerezo 'Bing' luego de los tratamientos de riego	72
Tabla 19. Flores por yema de flor de cerezo 'Bing' luego de los tratamientos de riego	73
Tabla 20. Ramilletes totales y ramilletes con 2 o más yemas de flor por planta de cerezo 'Bing' luego de los tratamiento de riego	73

Tabla 21. Porcentaje de frutos cuajados de cerezo 'Bing' luego de los tratamientos de riego.....	76
Tabla 22. Parámetros de calidad en frutos de calibre 24,1 a 26 mm (denominación comercial Extra Large) y 26,1 a 28 mm (denominación comercial Jumbo) de cerezo 'Bing' luego de los tratamientos de riego.....	81
Tabla 23. Defectos en los frutos de cerezo 'Bing' luego de los tratamientos de riego.....	82
Tabla 24. Promedio de temperaturas máximas mensuales en Agua Amarga, Tunuyán, en las estaciones de primavera y verano de 2005.....	83
Tabla 25. Modelo de planilla de cálculo de necesidades de agua y tiempos de riego.....	99

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Principales productores mundiales de cerezas. Año 2005.....	7
Figura 2. Superficie mundial cultivada con cerezos	8
Figura 3. Superficie nacional cultivada con cerezos	9
Figura 4. Mendoza, zonas productoras de cerezas.....	10
Figura 5. Esquema de distribución de variedades en el cuartel donde se ubicó el ensayo	27
Figura 6. Diagrama del diseño y distribución de parcelas, y detalle de la unidad experimental	28
Figura 7. Ecuación de FAO Penman Monteith para el cálculo de evapotranspiración	30
Figura 8. Coeficientes de cultivo estimados para cerezo	30
Figura 9. Detalle de conexiones realizadas en las parcelas de riego deficitario.....	32
Figura 10. Distribución de plantas según diámetro de tronco	33
Figura 11. Distribución de plantas según escala de calidad. Ubicación del ensayo en el monte frutal y ubicación de las variedades polinizadoras en el sector del ensayo.....	34
Figura 12. Esquema del ciclo de cultivo y de la duración de los tratamientos	45
Figura 13. Evapotranspiración semanal de referencia y del cultivo, precipitación efectiva semanal y lámina de riego aplicada por semana en el tratamiento testigo	46
Figura 14. Evapotranspiración de referencia y del cultivo acumuladas, precipitación efectiva y lámina de riego acumuladas en el tratamiento testigo.....	47
Figura 15. Lámina acumulada (riego + precipitación efectiva) en los tratamientos de riego.....	48
Figura 16. Humedad gravimétrica a 20, 40 y 60 cm de profundidad durante la imposición de los tratamientos de riego.....	51
Figura 17. Contenido de humedad del suelo en las capas de 0 a 70 cm de profundidad en T1, T2 y T3 medido con sonda de capacitancia durante la imposición de los tratamientos de riego.....	53
Figura 18. Variación estacional del potencial tallo a mediodía de cerezos 'Bing' durante la imposición de los tratamientos de riego.....	54
Figura 19. Perfiles de crecimiento longitudinal de brotes de cerezo 'Bing' de los tratamientos de riego.....	58
Figura 20. Perfiles de la tasa de crecimiento longitudinal de brotes de cerezo 'Bing' de los tratamientos de riego.....	59
Figura 21. Longitud de brotes de crecimiento normal, número de entrenudos y longitud de entrenudos de cerezos 'Bing' producidos a partir de la imposición de los tratamientos de riego.....	61

Figura 22. Número de hojas, área foliar y peso seco foliar de cerezos 'Bing' producidos a partir de la imposición de los tratamientos de riego.....	63
Figura 23. Perfiles de crecimiento de área de sección transversal de tronco de cerezo 'Bing' de los tratamientos de riego.....	65
Figura 24. Concentración de carbohidratos no estructurales invernales en raíces de cerezo 'Bing' luego de los tratamientos de riego.....	69
Figura 25. Eficiencia de producción de ramilletes, de yemas de flor y de flores de cerezo 'Bing' luego de los tratamientos de riego.....	71
Figura 26. Densidad de ramilletes para cada calidad (establecida en función de su número de yemas de flor) de cerezo 'Bing' luego de los tratamientos de riego..	72
Figura 27. Eficiencia de producción de frutos de cerezo 'Bing' luego de los tratamientos de riego.....	76
Figura 28. Perfiles del crecimiento y de la tasa de crecimiento ecuatorial contrasutural de frutos de cerezo 'Bing' luego de los tratamientos de riego.....	77
Figura 29. Rendimientos y eficiencia productiva de cerezo 'Bing' en cada recolección y en el total cosechado luego de los tratamientos de riego.....	79
Figura 30. Porcentaje de frutos por categorías comerciales de calibre en cosecha de cerezo 'Bing' luego de los tratamientos de riego.....	80
Figura 31. Evaluación de la uniformidad del riego.....	97
Figura 32. Determinación de la capacidad de campo del suelo donde se localizó el ensayo.....	97
Figura 33. Curvas de capacidad hídrica. Determinación del punto de marchitamiento permanente.....	98

1. INTRODUCCIÓN

La producción mundial de cereza dulce (*Prunus avium* L.) es de aproximadamente 1,8 millones de toneladas y el 86 % de la producción mundial proviene del hemisferio norte (World Sweet Cherry Review 2006). En el hemisferio sur, las producciones de Chile y Argentina presentan un constante aumento y desde hace algunos años, esos países exportan hacia Europa con ocasión de las Fiestas de Fin de Año.

En Argentina en la última década se han desarrollado nuevas zonas de producción de cerezas y la superficie cultivada con esta especie ha tenido un crecimiento sostenido, alcanzando en la actualidad 2.200 ha (INDEC 2004). Mendoza es la provincia con la mayor superficie plantada, y aporta el 80 % del volumen total del país proveniente de dos oasis productivos: el Valle de Uco, (Tupungato, Tunuyán, y San Carlos) y el Norte, (Las Heras, Luján y Maipú). El aumento de la superficie cultivada ha permitido ampliar el calendario de oferta, incrementar los volúmenes de producción y mejorar la competitividad de nuestro país en el mercado de exportación. A partir de 1994 las exportaciones a los países europeos crecieron en forma vertiginosa y se desarrolló una clara política de apertura de nuevos mercados, que permitió en el 2001/2002 incursionar en los mercados del sudeste asiático.

La posibilidad de comercializar cerezas en el mercado interno y externo, la escasa conservación que tiene el producto, los excelentes precios logrados en contraestación y las mejores variedades y portainjertos disponibles actualmente, han producido un resurgimiento del interés por este frutal en nuestro país. Hoy el sector enfrenta un nuevo desafío: a los éxitos logrados en el área de la comercialización debe unir la reconversión del sector productivo incorporando un manejo tecnológico del cultivo que permita maximizar su rentabilidad.

Para lograr niveles adecuados de rentabilidad en la producción de cerezas deben cumplirse tres premisas básicas: precocidad en la entrada en fructificación, regularidad de la producción y producción de frutos de excelente calidad (Claverie et al. 1999).

Las plantaciones tradicionales se caracterizan por un largo período improductivo y producciones bajas e inestables, con árboles grandes que dificultan el manejo, y con un retorno de la inversión bastante tardío. En el cerezo el período de crecimiento y desarrollo de los frutos es muy corto, comparado con el período de

crecimiento vegetativo y luego de la cosecha las plantas siguen vegetando hasta el otoño, durante un período que en Mendoza se extiende por alrededor de 150 días. Esta característica hace que el cerezo sea una especie en la cual es particularmente importante controlar el crecimiento vegetativo del árbol. Plantas con excesivo vigor son poco precoces (la entrada en producción lenta retrasa el retorno de la inversión), poco productivas y de difícil manejo en el cultivo, especialmente durante la poda y cosecha.

La necesidad de aumentar la precocidad, los rendimientos y la calidad de frutos para satisfacer los mercados exigentes llevó a la incorporación de nuevas tecnologías de cultivo (portainjertos, variedades, densidad de plantación, sistemas de conducción y poda, riego tecnificado) desarrollados en otras zonas productoras del mundo (Edin y Garcin 1994; Kappel y Lichou 1994; Edin et al. 1997; Meland 1998; Claverie et al. 1999; Facteau y Cahn 2000). Así en la última década se han introducido en nuestro país nuevas variedades de rápida entrada en fructificación, con frutos de gran tamaño y algunas autofértiles, que aseguran una producción regular (Edin et al. 1997; Kappel et al. 1998; Ojer et al. 2001). En nuestro país Bing aún es la variedad más cultivada (CORFO 2003). Constituye más del 70% de la oferta exportable argentina y es aceptada en los mercados de la Unión Europea por las excelentes cualidades de sus frutos, aunque es poco precoz, de producciones inestables, y de frutos de calibre medio. En USA se han seleccionado clones de Bing, uno de los cuales, el OB 260 (Washington State University 2004), se ha difundido por la alta calidad de sus frutos y un buen nivel de productividad.

También para estimular una producción precoz se ha evaluado numerosos sistemas de conducción (e.g., eje central, tatura, vaso español, eje múltiple; Edin et al. 1997), y se ha introducido portainjertos que controlan el vigor (e.g., SL 64, F12/1, Colt y las series de Gisela, Weiroot y MaxMa entre otros; Kappel y Lichou 1994; Webster y Schmidt 1996; Edin et al. 1997; Claverie et al. 1999). El objetivo principal es la reducción de tamaño de las plantas, para disminuir los gastos de poda y cosecha; la inducción precoz de fructificación abundante y la adaptación a distintas condiciones de suelo que permita la extensión del área de cultivo. Sin embargo, en muchas variedades, las altas productividades y/o la combinación con portainjertos enanizantes o semienanizantes ocasionan una carga excesiva de frutos que compromete su calidad, afectando el calibre, retrasando la maduración (Lauri y Claverie 2001; Podestá et al. 2006), y obligando a efectuar un manejo cuidadoso de regulación de la carga frutal por medio de la poda y/o el raleo de frutos para mantener el calibre (Ojer et al. 2004; Podestá et al. 2006).

Entre los portainjertos introducidos en nuestra región el MaxMa 14 ha tenido cierta difusión. Es muy productivo, de buen anclaje, y presenta buena compatibilidad con diferentes variedades y vigor moderado (60 a 70 % con respecto a *Prunus avium* L.), aunque se comporta como vigoroso los primeros años (Edin et al. 1997). Las combinaciones de Bing/MaxMa 14, presentan marcada acrotonía y endardamiento lento (Claverie et al. 1999). Para estas condiciones es necesario incorporar prácticas de manejo del monte frutal que permitan controlar vigor y adelantar la entrada en producción.

En las nuevas plantaciones también se ha introducido métodos de riego localizados presurizados (goteo o microaspersión) que tienen mayores eficiencias y mayores posibilidades de control que los métodos de riego gravitacional (surcos, melgas) tradicionalmente usados. Estos métodos de riego presurizado han permitido el cultivo en zonas con baja capacidad de retención de agua y/o con pendientes pronunciadas. Hay poca información local con respecto al uso de riegos presurizados en frutales que evalúe el estado hídrico de la planta, crecimiento y producción (Riveros 2003) y, en general, hay escasa información en el país de evaluación del riego localizado en cerezos (Requena 2001).

Una estrategia posible de control de crecimiento es el uso del riego deficitario controlado (RDC), la cual consiste en imponer períodos de déficit hídrico estacional que resulten en algún beneficio económico (Behboudian et al. 1994). En frutales el RDC ha sido utilizado principalmente para el control del crecimiento vegetativo vigoroso en plantaciones densas. Aplicado durante el período de crecimiento lento del fruto y mientras el crecimiento de brotes es rápido, controló el vigor manteniendo, y a veces aumentando los rendimientos (Mitchell et al. 1984; Chalmers et al. 1986; Li et al. 1989; Mitchell et al. 1986, 1989; Johnson et al. 1992; Behboudian et al. 1994; Caspari et al. 1994; Ebel et al. 1995). También después de cosecha redujo el vigor en variedades de maduración temprana (Larson et al. 1988; Johnson et al. 1992).

Algunos trabajos de riego han tomado sólo en cuenta la humedad del suelo como herramienta de control de humedad y de manejo del agua (Veihmeyer y Hendrickson 1950, 1955; Slatyer 1957). Sin embargo se ha señalado que es mejor el uso de variables fisiológicas ya que la planta misma es la mejor indicadora de sus requerimientos hídricos (Haise y Hagan 1967; Van Zyl y Weber 1981 citando a Kramer 1962). El conocimiento de la humedad del suelo y de variables climáticas es un importante complemento para entender el estado hídrico de la planta. La

medición del estado hídrico de la planta permite además hacer repetibles o comparables los resultados (Mattheus et al. 1987).

Cuando el vigor es excesivo en zonas áridas, como ocurre generalmente en plantaciones jóvenes y en climas con largas estaciones de crecimiento, el RDC puede proveer una estrategia adicional de manejo, sobre todo durante los primeros años de la plantación para reducir el crecimiento vegetativo excesivo. En Francia en plantaciones jóvenes y vigorosas de cerezo Edin et al. (1997) han señalado que déficits hídricos moderados a partir del tercer año en verano han disminuido el crecimiento vegetativo, y han favorecido la entrada en producción por un aumento en el número de flores y frutos. En plantaciones en plena producción de frutales de carozo de maduración temprana se ha sugerido que una reducción del aporte de agua durante poscosecha sería útil para el ahorro de agua y podría proveer un método de control del crecimiento vegetativo excesivo (Larson et al. 1988; Johnson et al. 1992).

Sin embargo en cerezo y también en otros frutales se ha mencionado que el RDC poscosecha puede afectar la inducción y diferenciación floral. Un estrés poscosecha disminuyó la diferenciación floral en damascos (*Prunus armeniaca* L.; Uriu 1964), o la aumentó en duraznero (*Prunus persica* (L.) Batsch (Larson et al. 1988; Johnson et al. 1992), cerezos (Proebsting et al. 1981; Edin et al. 1997), citrus (Moreshet et al. 1983) y perales (*Pyrus communis* L.) (Mitchell et al. 1984). Se ha atribuido estas respuestas diferentes a condiciones climáticas, pero sobre todo al nivel de estrés aplicado, así un estrés moderado aumentaría la densidad de floración y uno severo la disminuiría comprometiendo la producción del año siguiente (Johnson et al. 1992). También se ha señalado que el RDC en cerezos aumentó el porcentaje de frutos dobles (Beppu y Kataoka 1999) y podría reducir la acumulación de reservas de carbohidratos y comprometer los rendimientos y calidad de frutos la temporada siguiente (Keller y Loescher 1989). Para obtener éxito con las estrategias de déficit de riego deficitario controlado es fundamental un profundo conocimiento de las necesidades del cultivo, ya que la respuesta de los diferentes cultivos al déficit varía considerablemente.

Por otro lado en el contexto de aumentar la productividad del agua de riego, hay un creciente interés en el uso de RDC en diferentes cultivos, que permita un ahorro importante de agua con bajo impacto en la calidad y cantidad de las producciones. Existe en la actualidad una preocupación recurrente de la investigación en el campo de los recursos hídricos en la preservación de la calidad de los mismos. El crecimiento demográfico, una calidad de vida cada día más

exigente y el avance de la acción antrópica generada por el desarrollo inciden negativamente sobre la naturaleza y sus recursos. En las zonas áridas y semiáridas, la vida y la economía toda, giran en torno a la disponibilidad de agua en cantidad suficiente y en calidad adecuada. En los oasis regadíos de Mendoza la agricultura es la mayor demandante del recurso agua y compite actualmente con el consumo humano, el industrial y el energético (Morábito et al. 2006), por lo cual el recurso hídrico estará cada vez menos disponible para la agricultura. Es imperante racionalizar el uso de un recurso cada vez más escaso, y también minimizar los impactos negativos de una práctica de riego ineficiente sobre el medio ambiente, y en este sentido el RDC es una herramienta útil capaz de generar importantes ahorros de agua.

Desde el año 1995, investigaciones locales han evaluado regímenes de riego deficitarios principalmente en vitivinicultura, con el propósito tanto de racionalizar el riego como de mejorar la calidad de los vinos y evaluar respuestas fisiológicas en correspondencia con la tendencia mundial (Vallone 1998; Perez Peña 2000; Kaiser 2003).

Los objetivos de esta investigación fueron:

Generales:

- Estudiar el efecto de restricciones hídricas poscosecha sobre el crecimiento vegetativo y reproductivo de plantas jóvenes de cerezo cv. Bing injertado sobre MaxMa 14.
- Contribuir a la racionalización del recurso hídrico

Específicos:

- Evaluar el efecto de restricciones hídricas poscosecha sobre crecimiento vegetativo: crecimiento de brotes y tronco, área y peso seco foliar
- Evaluar el efecto de restricciones hídricas poscosecha sobre crecimiento reproductivo: densidad de floración, rendimiento y calidad de frutos
- Evaluar el efecto de restricciones hídricas poscosecha sobre estado nutricional: macro y micronutrientes foliares y reservas de carbohidratos no estructurales
- Evaluar la aplicabilidad del potencial hídrico del tallo a mediodía como indicador del estrés hídrico

Hipótesis

En plantaciones jóvenes de cerezo un estrés hídrico moderado en poscosecha disminuye el crecimiento vegetativo y favorece la fructificación precoz, sin comprometer la acumulación de reservas, y la producción y calidad de la temporada siguiente, y además genera importantes ahorros de agua.

2. ANTECEDENTES BIBLIOGRÁFICOS

2.1. Antecedentes de producción, superficie y comercio

2.1.1. Situación Mundial

La producción mundial de cerezas dulces (*Prunus avium* L.) y ácidas o guindas (*Prunus cerasus* L.) es de aproximadamente 2,8 millones de toneladas. Se estima que el 65 % de esta producción es de cerezas dulces.

Aproximadamente el 86 % de la producción mundial proviene del hemisferio norte y 70 % de esta misma pertenece exclusivamente a Europa (Figura 1). Los países productores más importantes de hoy son Turquía, Estados Unidos de América, Irán, Alemania, Italia, Rusia y España. En el hemisferio sur, las producciones de Chile y Argentina muestran un constante aumento, y desde hace algunos años, esos países exportan hacia Europa desde principio de noviembre hasta principio de febrero. En Nueva Zelanda, las plantaciones manifiestan también un sensible aumento y esto, a pesar de las difíciles condiciones climáticas de la región (Claverie 2001).

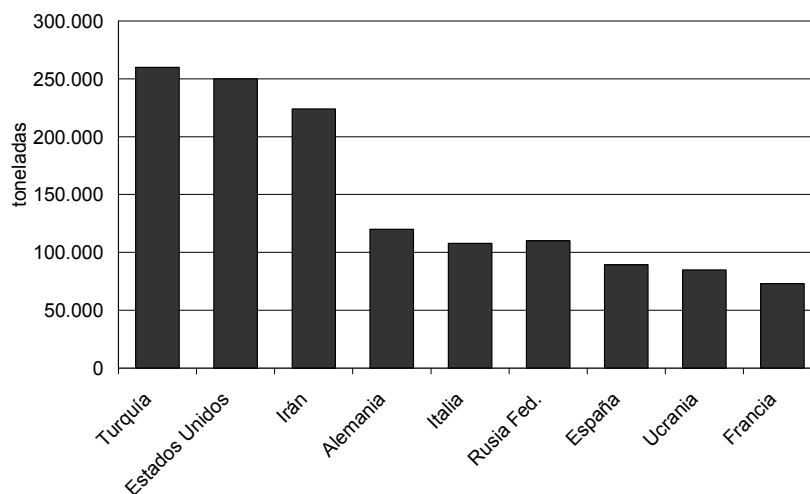


Figura 1. Principales productores mundiales de cerezas. Año 2005. Fuente: World Sweet Cherry Review 2006

En el período 1985-1987 al año 2005 la superficie mundial de cereza dulce aumentó de 288.500 ha a 401.100 ha, lo cual representa un incremento de aproximadamente el 39 % (Figura 2).

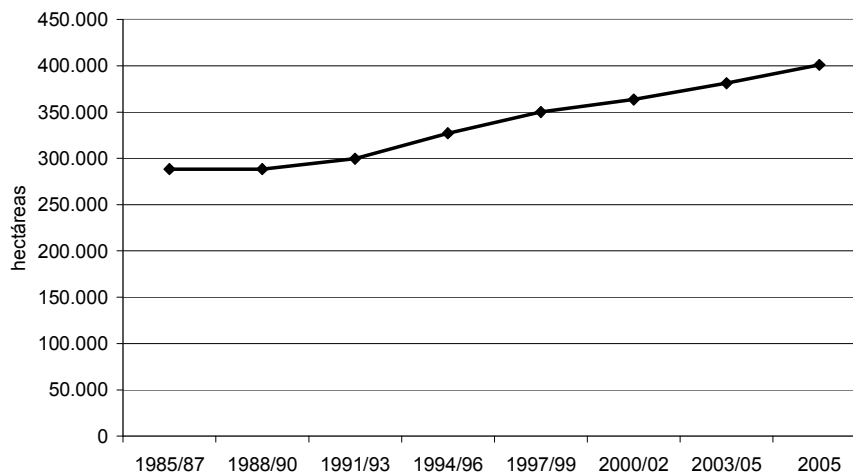


Figura 2. Superficie mundial cultivada con cerezos. Año 2005. Fuente: World Sweet Cherry Review 2006

La superficie cultivada con cerezos está creciendo aceleradamente en diversos países entre los que se destacan Irán, Turquía, Chile, China, Líbano y Portugal. La dispersión geográfica de estos países sugiere que el interés por incrementar las plantaciones y la producción de cereza es un fenómeno global.

En los últimos 10 años ha resurgido un interés en todo el mundo en la producción de cerezas dulces y se ha considerado que una causa de este interés se debe en parte a una superproducción y consecuente caída de la comercialización de manzanas (*Malus domestica* Mill.). Muchos productores de manzana han encontrado en el cerezo una interesante oportunidad de diversificación y han transferido técnicas de manejo en alta densidad usadas en manzanas a sus nuevas plantaciones de cerezas (Robinson 2005).

El comercio de cerezas frescas ha crecido más rápidamente que la producción en las últimas dos décadas. Las exportaciones del trienio 2000-2002 fueron un 80 % superiores a las del período '85-'87 y el valor de las exportaciones creció más rápidamente en el mismo período en términos de dólares estadounidenses. Esto sugiere que existe una alta demanda de cerezas frescas en el mercado internacional (Villareal et al. 2006). Los principales países importadores son: Alemania, Inglaterra, Japón y Austria.

2.1.2. Situación Nacional

En Argentina en la última década se han desarrollado nuevas zonas de producción de cerezas y la superficie cultivada con esta especie ha tenido un crecimiento sostenido, alcanzando en la actualidad las 2.200 ha (INDEC 2004; Figura 3). Mendoza es la provincia con la mayor superficie plantada, 1275 ha, le siguen en orden de importancia los valles de la Norpatagonia (provincias de Río Negro y Neuquén) con una superficie aproximada de 470 ha y los valles de la región Patagonia Sur (Chubut y Santa Cruz) con 325 ha (INDEC 2004).

El crecimiento de la superficie cultivada y la incorporación de nuevas zonas de producción ha permitido incrementar los volúmenes de producción y ampliar el calendario de oferta, lo cual mejora la competitividad de nuestro país en el mercado de exportación.

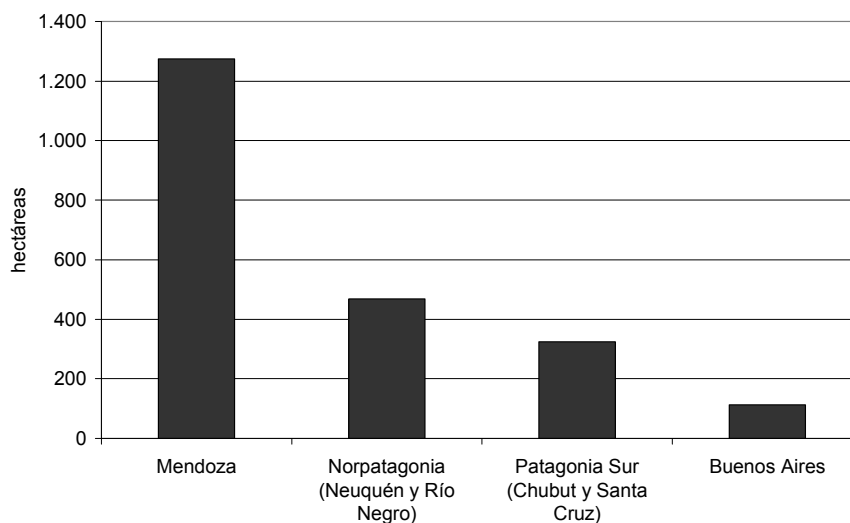


Figura 3. Superficie nacional cultivada con cerezos. Año 2002. Fuente: INDEC 2004

Mendoza es la principal zona productora del país y aporta el 80 % del volumen total, provenientes de dos oasis productivos: el Valle de Uco, (Tupungato, Tunuyán, y San Carlos) y el Norte, (Las Heras, Luján y Maipú) (Figura 4).

El principal destino internacional de la producción nacional de cerezas son los países europeos, principalmente Reino Unido, Holanda, Francia y España. También se han realizado exportaciones al sudeste asiático, concretamente Hong Kong y Tailandia (Villarreal et al. 2006). Los precios internacionales son atractivos para los productores argentinos debido a que se puede proveer fruta fresca al hemisferio norte durante noviembre y diciembre y en los países del hemisferio sur se está

extendiendo la superficie de cerezos a zonas que permitan cosechar desde octubre a febrero (Lemus y Valenzuela 2005). En el mercado nacional las cerezas están entre los frutos frescos de mayor precio (más de U\$S 2 por kg).

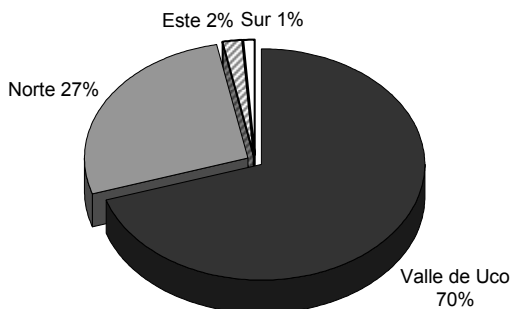


Figura 4. Mendoza, zonas productoras de cerezas. Fuente: Instituto de Desarrollo Rural 2005

La posibilidad de comercializar cerezas en el mercado interno y externo, la escasa conservación que tiene el producto, los excelentes precios logrados en contraestación y las mejores variedades y portainjertos disponibles actualmente, han producido un resurgimiento de este frutal en nuestro país.

Hoy el sector enfrenta un nuevo desafío: a los éxitos logrados en el área de la comercialización debe unir la reconversión del sector productivo incorporando un manejo tecnológico del cultivo que permita maximizar su rentabilidad.

2.2. Cultivo del cerezo

Para lograr niveles adecuados de rentabilidad en la producción de cerezas deben cumplirse tres premisas básicas: precocidad en la entrada en fructificación, regularidad de la producción y producción de frutos de excelente calidad (Claverie et al. 1999).

Las plantaciones tradicionales se han caracterizado por un largo período improductivo, y producciones bajas e inestables, con árboles de gran tamaño que dificultan la cosecha y el manejo, y con un retorno de la inversión bastante tardío. Esta situación se ha repetido en distintas zonas productoras del mundo con distancias de plantación de 5-6 m x 6-8 m (200 a 330 árboles por hectárea), con portainjertos francos (*P. avium*), y con grandes insumos de tiempo y labores

culturales (Balmer y Blanke 2005; Lauri 2005; Long et al. 2005). Se ha señalado que después de unos pocos años los árboles se vuelven improductivos a causa del sombreado, que reduce la diferenciación floral (Long et al. 2005).

2.3. Control de vigor

La necesidad de aumentar la densidad de las plantaciones obligó a la reducción del tamaño del árbol, indispensable para los sistemas de manejo intensivo. Las plantas de menor porte permiten cosechar desde el piso o desde escaleras pequeñas, las labores de cosecha son más económicas y se reduce el riesgo de accidentes, las pulverizaciones son más eficientes y es más económica la instalación de tela contra el granizo, los pájaros o la lluvia que causa el agrietamiento de los frutos (Balkhoven-Baart y Groot 2005; Hrotkó 2005). Se ha señalado que los árboles más pequeños también facilitan la distribución de luz dentro de la canopia, lo que produce frutos de mejor color y sabor (Hrotkó 2005).

Para desarrollar sistemas en alta densidad en distintas zonas productivas del mundo se ha evaluado diferentes sistemas de conducción, como el eje central desarrollado en Alemania (Zahn 1996), vaso español en España (Negueroles Pérez 2005), o tatura en Australia (Chalmers et al. 1978). Sin embargo el mayor éxito con el uso de sistemas de conducción para estimular precocidad se ha conseguido a partir de la obtención de portainjertos enanizantes y semienanizantes y de nuevas variedades (Kappel 2002). Muchos investigadores han demostrado el valor del uso de portainjertos enanizantes o semienanizantes para desarrollar plantaciones en alta densidad con árboles más pequeños, más precoces y más productivos y que deben ser manejados más intensamente (Perry et al. 1996; Andersen et al. 1999; Lang 2000; Lang y Ophardt 2000; Lang 2001; Balmer 2001; Robinson et al. 2004).

En Argentina a partir de 2000 los buenos precios y la apertura de nuevos mercados de exportación generaron cambios tecnológicos en las nuevas plantaciones. La necesidad de aumentar la precocidad, los rendimientos y la calidad de frutos para satisfacer los mercados exigentes llevó a la incorporación de nuevas tecnologías de cultivo en las plantaciones de cerezo (portainjertos, variedades, densidad de plantación, sistemas de conducción y poda, riego tecnificado) desarrollados en otras zonas productoras del mundo (Edin y Garcin 1994; Kappel y Lichou 1994; Edin et al. 1997; Meland 1998; Claverie et al. 1999; Facteau y Cahn 2000).

Así en la última década se han introducido en nuestro país nuevas variedades de rápida entrada en fructificación, con frutos de gran tamaño y algunas autofértiles, que aseguran una producción regular. Las nuevas variedades tempranas y tardías han extendido significativamente la estación de cosecha de cerezas. Muchas de estas nuevas variedades presentan mayores calibres, mayor resistencia al 'cracking' o agrietamiento por lluvias y mayor firmeza. Cuando los productores adoptan estas variedades desean alcanzar altas producciones lo más rápidamente posible. Como la cereza es un fruto de alto precio, la producción precoz ayudaría a recuperar rápidamente la inversión de plantar un nuevo monte frutal (Weber 1998).

En nuestro país la variedad Bing es la más cultivada. Constituye más del 70% de la oferta exportable argentina y es aceptada en los mercados de la Unión Europea, de Estados Unidos y del sudeste asiático por las excelentes cualidades de sus frutos, principalmente por su firmeza y pulpa crocante. Sin embargo es poco precoz y de producciones inestables. En USA se han seleccionado clones de 'Bing', uno de los cuales, el OB 260 (Washington State University 2004) se ha difundido por la alta calidad de sus frutos y un buen nivel de productividad.

También para estimular una entrada precoz en producción se han difundido portainjertos que controlan el vigor. El objetivo principal es la reducción de tamaño de las variedades injertadas, para disminuir los gastos de poda y cosecha, la inducción de una fructificación rápida y abundante y la adaptación a distintas condiciones de suelo que permita la extensión del área de cultivo. Sin embargo, en muchas variedades, las altas productividades y/o la combinación con portainjertos enanizantes o semienanizantes ocasiona una carga excesiva de frutos que compromete su calidad, afectando el calibre y retrasando la maduración; y que obliga a un manejo cuidadoso de regulación de la carga frutal por medio de la poda y/o el raleo de frutos para mantener el calibre (Claverie 2001; Podestá et al. 2006). Se ha indicado que con exceso de carga frutal los árboles se han vuelto demasiado débiles y susceptibles a daños por frío, y se ha atribuido esta situación a una limitación de la acumulación de reservas de carbohidratos o reservas nitrogenadas (Andersen et al. 1999; Lang y Ophardt 2000; Lang y Perry 2002). El problema del calibre pequeño de los frutos con portainjertos enanizantes ha causado que muchos productores de cerezas en varias partes del mundo hayan desistido de su uso y en cambio hayan desarrollado sistemas de media densidad con portainjertos semienanizantes o vigorosos (Robinson 2005). En estas situaciones se deben utilizar estrategias para contrarrestar la falta de precocidad durante los primeros años y el excesivo vigor cuando el árbol es maduro (Robinson 2005).

Entre los portainjertos introducidos en nuestra región el MaxMa 14 (*P. avium* x *P. mahaleb*) ha tenido cierta difusión. Es muy productivo, de buen anclaje, y presenta buena compatibilidad con diferentes variedades (Edin et al. 1997) y vigor moderado (60 a 70 % de un *Prunus avium*), aunque se comporta como vigoroso los primeros años. Se ha señalado que este portainjerto y en general los genotipos híbridos de *P. Mazzard* x *P. Mahaleb* (MaxMa) han presentado cierta resistencia a cancro bacteriano, causado por *Pseudomonas syringae* pv. *syringae* (Roche y Azarenko 2005). Las combinaciones de Bing/MaxMa 14, presentan marcada acrotonía y endardamiento lento (Claverie et al. 1999), lo que obliga a incorporar prácticas de manejo del monte frutal que permitan controlar vigor y adelantar la entrada en producción. Para el control del vigor también se han evaluado inhibidores de crecimiento como paclobutrazol, ethephon o prohexadiona-Ca (Facteau y Rowe 1979; Looney y McKellar 1987; Elfving et al. 2003).

2.4. Riego en cerezos

El riego es un factor de manejo de gran incidencia en el crecimiento y fructificación del árbol. El riego adecuado y regular es necesario para un crecimiento uniforme de los árboles, para un intercambio óptimo de gases para la fotosíntesis, para una buena absorción de nutrientes desde el suelo, y para una óptima expansión de la pulpa de los frutos durante la elongación celular (Lang 2005). En cerezo el tamaño de los frutos es uno de los principales atributos, que determina su precio en los mercados. Ambos, la carga frutal y el estatus de agua afectan significativamente el tamaño del fruto, y la optimización de esos dos factores es esencial para maximizar los beneficios (Naor 2000). El riego se usa para aplicar a las plantas una cantidad de agua tal que asegure una correcta disponibilidad de asimilados y un óptimo potencial de turgencia para el crecimiento (Naor 2000). Se han hecho algunos progresos en la comprensión del proceso de transporte de agua a través del continuo suelo-planta-atmósfera que incluyen el rol de factores externos e internos en el control de la tasa de transpiración y conductancia de la canopia (Naor 2000).

En nuestro país en las nuevas plantaciones de cerezo se ha introducido métodos de riego localizados presurizados (goteo o microaspersión) que permiten el cultivo en zonas con suelos con baja capacidad de retención de agua o con pendientes pronunciadas. Existe escasa información en el país de evaluación del

riego localizado en cerezos (Requena 2001), y no hay información local sobre esta temática.

2.4.1. Requerimientos hídricos

El cerezo, frutal de hoja caduca, presenta una evolución de sus requerimientos hídricos a lo largo de la temporada de crecimiento. Éstos son bajos al iniciar la temporada y aumentan a medida que aumenta la demanda evapotranspirativa de la atmósfera y el área foliar del cultivo, luego vuelven a disminuir hacia fines de la estación (Allen et al. 1998; Requena 2001; Ferreyra y Sellés 2005). En primavera se superponen crecimiento de frutos, de brotes y expansión de hojas, lo cual produce un aumento de demanda hídrica en la planta.

2.4.2. Programación del riego

Los requerimientos hídricos del cultivo para un momento dado se pueden calcular a través del producto de la evapotranspiración de un cultivo de referencia (una pradera de gramíneas de 10 cm de altura y sin restricciones hídricas) que refleja el efecto del clima sobre la demanda de agua y K_c (coeficiente de cultivo) del cerezo para un período determinado. Se ha indicado que K_c resume el estado de desarrollo del cultivo y las características de la especie frente a las pérdidas de agua, como altura, área foliar, resistencia estomática foliar y características aerodinámicas del cultivo (Allen et al. 1998). Los documentos de riego y drenaje de FAO 24 (Doorembos y Pruitt 1977) y 56 (Allen et al. 1998) proveen datos detallados de K_c de diferentes cultivos para distintos estados fenológicos y diferentes condiciones climáticas.

La programación del riego localizado se realiza a través de la estimación de las necesidades hídricas de la planta para lo cual se considera la evapotranspiración potencial (E_t), el K_c del período correspondiente y la eficiencia del método de riego.

Varios métodos han sido desarrollados y evaluados para estimar la E_t en diferentes climas (Doorembos y Pruitt 1977). La ecuación Penman-Monteith es el método recomendado por los expertos de FAO para determinar la evapotranspiración del cultivo de referencia (Smith 1991).

2.4.3. Control del riego

El balance que se realiza a través de un registro de evapotranspiración no asegura que el balance hídrico se esté cumpliendo en la realidad por lo tanto se debe controlar la programación del riego.

2.4.3.1. Control en el suelo.

Se han desarrollado importantes avances tecnológicos en el control del estatus de agua en el suelo (Naor 2000). Entre las técnicas de monitoreo del agua del suelo una reciente es la técnica de Reflectometría en el Dominio de la Frecuencia (Frequency Domain Reflectometry), FDR o técnica de capacitancia. Se basa en la medición de la constante dieléctrica para determinar el contenido de agua del suelo, midiendo el tiempo de carga de un condensador que utiliza el suelo como medio dieléctrico (Wacker 2002). Los instrumentos que utilizan esta técnica combinan precisión y prontitud en la entrega de datos. Es necesario obtener previamente las ecuaciones de calibración para el perfil del suelo.

A pesar de los avances en el control de riego aún es imposible predecir con exactitud los requerimientos de agua en condiciones de cultivo, a causa de que las canopias no tienen estructuras uniformes, y de las eficiencias de riego que dificultan la determinación de la proporción de agua que permanece en la zona de raíces (Naor 2000).

2.4.3.2. Control en la planta

Se ha considerado que el uso de indicadores del estado hídrico en la planta es muy útil ya que provee una indicación de cómo la planta integra la variable humedad de suelo disponible en toda la zona de raíces y las condiciones de demanda evaporativa en el momento de la medición (Naor 2000). Van Zyl y Weber (1981) citando a Kramer (1962) señalan que es mejor el uso de parámetros fisiológicos en la determinación de oportunidad de riego en los cultivos, ya que la planta misma es la mejor indicadora de sus requerimientos hídricos. La medición del estado hídrico de la planta permite hacer repetibles o comparables los resultados (Mattheus et al. 1987). El principal problema de la medición del estatus de agua en la planta es que es más variable en una escala diurna que el estatus de agua en el suelo (Naor 2000).

Se han propuesto numerosos indicadores fisiológicos para la programación del riego, por ejemplo las variaciones en el diámetro de tronco y cambios en el diámetro de los frutos, y la tasa de crecimiento de los frutos (Tromp 1984). También

se han desarrollado muchos métodos para la medición directa o indirecta del potencial agua de las plantas (Turner 1981).

En durazneros el **potencial agua de la hoja preamanecer** se ha correlacionado con el contenido de agua disponible en el suelo después del equilibrio de potenciales del suelo y planta al final de la noche (Xiloyanis et al. 1980). Se ha indicado que la medición de preamanecer indica el grado de recuperación del potencial agua durante la noche más que el potencial agua experimentado bajo condiciones de máxima demanda de agua a mediodía, y en muchos casos ha sido cuestionado como indicador de estrés porque no ha estado relacionado claramente a síntomas de estrés hídrico en la planta (Sinclair y Ludlow 1985, citado por Mc Cutchan y Shackel 1992).

El **potencial de la hoja a mediodía** ha demostrado ser un sensible indicador del estatus de agua en vid (Naor et al. 1993) e insensible en duraznero (Garnier y Berger 1985) y ciruelas (Mc Cutchan y Schackel 1992). Se ha indicado que en hojas de gramíneas bien expuestas al sol el potencial agua a mediodía fue muy variable, sobre todo en condiciones ambientales de alta evapotranspiración (Meyer y Green 1980).

El **potencial hídrico xilemático o potencial tallo** (ψ_t) corresponde a la tensión con que se encuentra el agua en el xilema de la planta. Es el potencial medido en el pecíolo de una hoja que ha sido impedida de transpirar porque se ha encerrado en una bolsa plástica oscura, y ha demostrado ser un indicador sensible de estado hídrico de la planta a lo largo de todo el día (Garnier y Berger 1985; Mc Cutchan y Schackel 1992). El ψ_t cambia a lo largo del día, pero hay dos momentos, en preamanecer y a mediodía, en los cuales las lecturas son bastante estables (Naor 2000). A través del uso de mediodía de ψ_t se ha encontrado una clara relación entre potencial agua y una serie de respuestas fisiológicas, como crecimiento de fruto y fotosíntesis de la hoja, en varias especies frutales (Mc Cutchan y Shackel 1992; Shackel et al. 1997; Shackel et al. 2000). Ha sido utilizado como indicador para el control de riego en distintas especies frutales. En almendro (*Prunus amygdalus* (L.) Batsch) el ψ_t reflejó claramente diferencias en regímenes de riego y su promedio después de dos años de crecimiento, se relacionó estrechamente con el crecimiento en el mismo período, medido como área de sección transversal de tronco (Shackel et al. 1997). En peral se observó una relación lineal entre tamaño de fruto y el ψ_t a mediodía (Shackel et al. 2000). En ciruelas

europas en condiciones de campo Mc Cutchan y Shackel (1992) han encontrado una estrecha relación entre el ψ_t a mediodía e indicadores fisiológicos de estrés.

No existen muchas evidencias experimentales de valores de potenciales hídricos xilemáticos en cerezos. Proebsting et al. (1981) reportan valores de potencial hídrico foliar (hojas que transpiran) para plantas bien regadas a mediodía del orden de -1,4 MPa. En Chile se menciona en plantas bien regadas de cerezo valores de potencial hídrico xilemático que varían entre 0,89 y 0,94 MPa según la cultivar (Ferreyra y Sellés 2005).

2.4.4. Respuesta de diferentes frutales a RDC

En las estrategias de riego deficitario controlado, las plantas son expuestas a ciertos niveles de estrés hídrico durante un período particular de crecimiento o bien a lo largo de toda la estación de crecimiento, para obtener algún beneficio económico (Goodwin y Boland 2002). En árboles frutales el RDC se ha desarrollado principalmente para el control de vigor en plantaciones en alta densidad con el fin de optimizar la fructificación, el tamaño y la calidad de los frutos con un manejo económico (Goodwin y Boland 2002). Muchos estudios han demostrado que el RDC aplicado en el período de crecimiento rápido de los brotes y mientras el crecimiento de los frutos es lento, controló el vigor excesivo, manteniendo, y a veces aumentando los rendimientos. Esto incluye estudios en duraznero (Li et al. 1989; Johnson et al. 1992), peral europeo (*Pyrus communis* L.) (Mitchell et al. 1984; Chalmers et al. 1986; Mitchell et al. 1986, 1989), peral asiático (*Pyrus serotina* Rehd.) (Behboudian et al. 1994; Caspari et al. 1994) y manzano (Ebel et al. 1995).

En el caso de especies y variedades de maduración temprana que tienen crecimientos vigorosos después de la época de cosecha, el RDC durante la poscosecha también ha sido una herramienta útil para el control de crecimiento vegetativo excesivo (Larson et al. 1988; Johnson et al. 1992).

La reducción de las tasas de crecimiento de brotes y frutos, y también de otros parámetros fisiológicos como conductancia estomática de las hojas y fotosíntesis, son respuestas bien conocidas de las plantas a condiciones de limitación de agua (Bradford y Hsiao 1982). Se ha indicado que el transporte de agua es un proceso pasivo y las plantas pueden tomar agua del suelo sólo cuando su potencial agua es menor que el de éste, por lo tanto una reducción en la disponibilidad de agua del suelo en la zona radical llevará finalmente a una reducción de potencial agua de la planta entera. Como las células de las plantas

tienen paredes rígidas, una pequeña disminución del potencial agua será acompañada por una gran disminución en la turgencia celular, que puede conducir, directa o indirectamente, a muchas respuestas fisiológicas. El proceso más afectado por déficit hídrico es el crecimiento celular y un estrés más severo conduce a inhibición de la división celular, inhibición de la síntesis de pared celular y proteínas, acumulación de solutos, cierre estomático e inhibición de la fotosíntesis (Taiz y Zeiger 1998).

En manzanos Ebel et al. (1993, 1995) para controlar el crecimiento vegetativo y ahorrar agua evaluaron el efecto de déficit hídrico controlado realizado temprano en la temporada y mantenido hasta formación de la yema terminal en los brotes y señalaron que el principal problema fue que redujo el crecimiento de frutos. La fruta presentó menor tamaño, mayor contenido de sólidos solubles y menor acidez titulable. La poscosecha también fue afectada y se retrasó la degradación de almidón (Ebel et al. 1993). En manzanos se ha indicado que una estrategia de RDC con reducción del volumen de suelo humedecido podría ser útil en zonas áridas para promover una partición de metabolitos que favorezca la fructificación (Ebel et al. 1995).

En durazneros de industria una restricción hídrica moderada antes de la etapa III de crecimiento de los frutos redujo el crecimiento vegetativo en plantaciones en alta densidad sin disminuir el tamaño final de los frutos o el rendimiento, en cambio un estrés severo disminuyó los rendimientos (Mitchell y Chalmers 1982).

En damascos se ha evaluado estrategias de riego en zonas áridas del sureste de España, en Murcia, para ahorro de agua con riego completo (Etc=100) durante períodos críticos (etapa III de crecimiento de fruto y 2 semanas después de cosecha) y riego deficitario (Etc=40) el resto del ciclo (Ruiz Sánchez et al. 2000); bajo estas condiciones el RDC no afectó la calidad de los frutos aunque controló el crecimiento vegetativo, y se ha atribuido esto a que en esta especie existe una clara separación entre los períodos de crecimiento de brotes y frutos, con un rápido crecimiento del fruto en la etapa III cuando los brotes ya han completado su crecimiento (Ruiz Sánchez et al. 2000). También en damascos cv. Sundrop se determinó que el crecimiento de brotes es más sensible al déficit hídrico durante el estado I de crecimiento de fruto y se propuso el RDC en esta etapa como estrategia para controlar crecimiento sin afectar calidad de frutos (Arzani et al. 2000).

En ciruela europea, que se destina principalmente al desecado, se ha asociado el estrés hídrico moderado con aumento de la calidad de frutos (Mc

Cutchan y Shackel 1992). Niveles moderados de estrés aplicados a ciruelas europeas durante el estado II de crecimiento de frutos aumentaron el retorno de floración, la carga frutal y el rendimiento total en materia seca (Lampinen et al. 1995).

Localmente se ha investigado el efecto del estrés hídrico en duraznero y se comprobó que regando 40 y 70 % de Etc durante todo el cultivo, disminuyó el tamaño de los frutos y sólo 20 % de la fruta tuvo calidad exportable (Riveros 2003).

También se ha informado que situaciones de estrés severo y prolongado en frutales de carozo, han afectado la actividad fotosintética y el crecimiento de brotes (Mitchell y Chalmers 1982; Mitchell et al. 1984; Larson et al. 1988; Johnson et al. 1992; Beppu et al. 2002); disminuido los carbohidratos de reserva y el crecimiento de raíces (Keller y Loescher 1989; Johnson et al. 1992); la inducción y diferenciación floral (Proebsting et al. 1981; Behboudian et al. 1998) y los rendimientos (Mitchell et al. 1984; Johnson et al. 1992), y hasta se ha indicado defoliación prematura (Ebel et al. 2001).

Para manejar estrategias de RDC se ha recomendado un prolijo control de la humedad del suelo y del estado hídrico de la planta. Se ha señalado, en ciruelas (Lampinen et al. 1995) y en otros árboles frutales (Shackel et al. 1997), que la misma cantidad de agua de riego aplicada, particularmente en riegos deficitarios, puede resultar en distintos niveles de estrés en los árboles, dependiendo de la profundidad de suelo y de factores adicionales relacionados a la salud de la raíz. El ψ_t al mediodía ha sido mencionado como un indicador sensible de estrés hídrico y recomendado para el manejo de estrategias de RDC en diversas especies frutales (Mc Cutchan y Shackel 1992; Shackel et al. 1997; Naor 1998). Se ha citado que el ψ_t disminuye linealmente a medida que aumenta el déficit de presión de vapor (Mc Cutchan y Shackel 1992) y esto se debe tener en cuenta para la interpretación de los valores de ψ_t (Naor 2000). Para ciruela europea Mc Cutchan y Shackel (1992) propusieron una línea base de referencia de riego completo de ψ_t a mediodía calculada para cualquier valor de déficit de presión de vapor a mediodía (VPD). Se concluyó que esta línea base es aplicable a distintos suelos y regímenes de riego (Shackel et al. 1997).

Las aplicaciones de RDC aumentan la eficiencia en el uso del agua (EUA). Mitchell y Chalmers (1982) encontraron que la EUA expresada como rendimiento por unidad de irrigación aumentó de 4.9 a 8.0 kg.m⁻³ en duraznos de industria con RDC con un rendimiento promedio de 48 ton.ha⁻¹. En peras cv Williams' Mitchell et

al. (1989) señalaron aumentos de EUA de 12.5 a 22 kg.m⁻³ con rendimientos promedio de 90 ton.ha⁻¹. El aumento de EUA se debe fundamentalmente a reducciones en la transpiración, que pueden llegar al 50 %, atribuibles a un cierre parcial de estomas (Boland et al. 1993). A pesar de la reducción de la transpiración, las medidas crecientes en potencial osmótico indican que la acumulación de peso seco del fruto no es perjudicada (Jerie et al. 1989). Esto se ha considerado un mecanismo de adaptación al estrés hídrico (Mitchell et al. 1984).

El momento y el nivel de estrés hídrico son críticos para tener éxito con una estrategia de RDC (Goodwin y Boland 2002) y depende del objetivo perseguido. En ciruela europea por ejemplo interesa tener una alta relación peso seco/ peso fresco y el RDC debe contribuir a este objetivo. En frutas que se consumen frescas, por otro lado, el tamaño del fruto fresco es fundamental, por lo tanto la estrategia de riego debe ser mantener altos valores de ψ_t a mediodía, y no imponer déficit de riego durante el período de crecimiento de los frutos (Shackel et al. 2000).

2.5. Efectos del RDC en cerezos

2.5.1. Crecimiento y desarrollo en cerezo

Durante el ciclo de desarrollo del cerezo se suceden distintas fases fenológicas, cada una con particularidades desde el punto de vista del crecimiento de los distintos órganos. El cerezo es un frutal de carozo en el cual el período de crecimiento y desarrollo de los frutos es muy corto, comparado con el período de crecimiento vegetativo. En Mendoza el período desde floración a cosecha es de alrededor de 80 días (Ojer et al. 2007). Luego de la cosecha (en noviembre o diciembre para Mendoza, según la cultivar) las plantas siguen vegetando hasta el otoño, por un período de alrededor de 150 días. Esta característica hace que el cerezo sea una especie en la cual es particularmente importante controlar el excesivo crecimiento del árbol. Plantas con excesivo vigor son poco precoces, poco productivas y de difícil manejo en el cultivo, especialmente durante la poda y cosecha (Balmer y Blanke 2005; Lauri 2005; Long et al. 2005).

Por otro lado el desarrollo del fruto en esta especie consiste en el desarrollo de tres partes principales: el mesocarpio o pulpa, el endocarpo o carozo, y el embrión y partes de la semilla asociadas. El crecimiento acumulado medido como tamaño del fruto o peso fresco se ha descrito como una doble sigmoide con tres etapas (Tukey 1981; Flore y Layne 1999):

- etapa I: de crecimiento exponencial se caracteriza por una activa división y crecimiento celular en el mesocarpio y un aumento grande del diámetro del fruto,
- etapa II: se lignifica el endocarpio y se desarrolla el embrión y tejidos asociados a la semilla. No aumenta significativamente el tamaño del fruto,
- etapa III: el fruto retoma un crecimiento exponencial, debido a un proceso de elongación de células del mesocarpio y se produce la maduración del fruto. En esta etapa el fruto puede crecer entre un 40 y 60 %.

La duración de cada fase depende de la cultivar y la localidad.

Los cambios en el tamaño del fruto son causados por división y alargamiento celular en diferentes proporciones y en distintos momentos. DeJong y Goudarian (1989) han medido la tasa de acumulación de materia seca en duraznero durante el desarrollo del fruto, y han propuesto que hay sólo dos fases de crecimiento cualquiera sea la variedad de durazno. Similares resultados se han encontrado para guindas (Kappes 1985).

En el cerezo la cosecha es temprana en la temporada, antes de la época más calurosa del verano. El crecimiento del fruto es coincidente con un rápido crecimiento vegetativo, por lo cual es deseable mantener un estado hídrico de la planta adecuado y estable durante todo el período en que el fruto se encuentra en el árbol, para que el tamaño del fruto sea máximo. Se ha indicado que en cerezos el calibre de los frutos es uno de los parámetros más importantes de calidad, y es determinante del precio de venta (Podestá et al. 2006).

Esta particularidad determina la importancia de evaluar estrategias de riego deficitario para controlar el vigor de los árboles.

2.5.2. RDC- Efectos sobre el vigor

En plantaciones jóvenes y vigorosas de cerezo Edin et al. (1997) han señalado que déficits hídricos moderados a partir del tercer año en verano han disminuido el crecimiento vegetativo, y han favorecido la entrada en producción, por un aumento en el número de flores y frutos. En plantaciones en plena producción hay referencias que señalan en durazneros de maduración temprana que el 75 % del total de la evapotranspiración anual se produjo después de cosecha (Johnson et al. 1992). En cerezos una reducción del aporte de agua durante este período sería útil para el ahorro de agua y podría proveer un método de control del crecimiento

vegetativo excesivo. Así en España, en plantaciones conducidas en vasito español, se ha señalado la posibilidad de controlar la altura del árbol con poda de verano y riego deficitario controlado, a través de una reducción progresiva del riego después de cosecha hasta fines de verano para equilibrar crecimiento y productividad en árboles maduros (Negueroles Pérez 2005). En Australia en cambio, Green (2005) ha considerado que el uso de RDC para controlar crecimiento, puede ser riesgoso, sobre todo en zonas calurosas, en las que se debería regar aún en invierno.

En nuestro país, en el Alto Valle de Río Negro (valles de la Norpatagonia) se ha señalado que un déficit hídrico severo (menor al 30 % de la Etc) en árboles maduros de la cv. Newstar no afectó el rendimiento y tamaño del fruto en la siguiente temporada (Requena et al. 2005).

Se ha mencionado que en cerezo los brotes detienen su crecimiento cuando el potencial xilemático a mediodía alcanza $-1,5$ a $-1,7$ MPa (Shackel et al. 1997).

Sin embargo deben considerarse otros efectos potenciales que puede producir un estrés hídrico y que deben ser evaluados para distintos niveles de estrés y diferentes condiciones climáticas.

2.5.3. RDC- Efectos sobre la inducción floral

La preparación para la futura cosecha comienza el año anterior, a medida que los meristemas laterales del crecimiento de la estación previa (y también de crecimientos de años anteriores) reciben las señales químicas para inducir desarrollo reproductivo. En cerezos se ha mencionado que la inducción floral ocurre generalmente en noviembre y diciembre y es seguido por la diferenciación de los primeros órganos florales que se produce en pleno verano (Guimond et al. 1998) y durante todo el otoño hasta la ocurrencia de endodormancia. Durante este tiempo de diferenciación se define el número de yemas de flor por dardo y el número de flores por yema (Lang 2005). Los procesos fisiológicos como fotosíntesis, asimilación de nutrientes, y partición de carbono y nitrógeno, así como también los factores que impactan en estos procesos, como las relaciones hídricas y carga frutal previa y existente, pueden tener influencia en la cantidad, y quizá en la calidad, de los meristemas florales en desarrollo (Lang 2005). Por lo tanto un estrés severo poscosecha podría afectar la diferenciación de yemas a florales y comprometer la producción del año siguiente (Lang 2005).

Hay poca información cuantitativa sobre efectos del RDC en la diferenciación floral. En frutales de carozo en general se ha mencionado que un estrés poscosecha disminuyó la diferenciación floral en damascos (Uriu 1964), o aumentó

la diferenciación floral en duraznero (Johnson et al. 1992), cerezos (Proebsting et al. 1981; Edin et al. 1997), citrus (Moreshet et al. 1983) y perales (Mitchell et al. 1984). Se ha atribuido estas respuestas diferentes a condiciones climáticas, pero sobre todo al nivel de estrés aplicado, así un estrés moderado aumentaría el retorno de floración y uno severo la disminuiría (Johnson et al. 1992).

Sin embargo no se ha encontrado antecedentes bibliográficos que permitan definir la magnitud de máximo estrés poscosecha al que se puede llegar en plantaciones de cerezo sin afectar procesos de inducción floral.

2.5.4. RDC- Efectos sobre la formación de pistilos dobles

En cerezos se ha señalado que las altas temperaturas pueden inducir la formación de pistilos dobles en el momento de diferenciación floral. Experiencias en Japón en la cv. Satohnishiki en cámaras controladas a 25, 30 y 35°C de temperatura diaria durante los meses de julio, agosto y setiembre (enero, febrero y marzo en el hemisferio sur) han demostrado que mientras mayor es la temperatura menor es la progresión de diferenciación floral. A 25°C todas las flores presentaron pistilos simples, mientras que por encima de 30 °C el porcentaje de pistilos dobles aumentó progresivamente (Beppu y Kataoka 1999). En condiciones de cultivo no se ha encontrado mayor porcentaje de pistilos dobles con tratamientos de déficit hídrico en cerezo, y se ha sugerido que el estrés hídrico no estaría directamente relacionado con la formación de dobles (Beppu y Kataoka 1999). En ciruelas japonesas también se ha reportado que la formación de pistilos dobles no aumentó por el estrés hídrico en verano (Johnson et al. 1994). Sin embargo el efecto del estrés podría ser indirecto, ya que provocaría un aumento de la temperatura en la canopia por una disminución de la transpiración.

2.5.5. RDC- Efecto sobre cáncer bacterial (*Pseudomonas syringae*) y *Phytophthora* spp.

Se ha mencionado que plantas que alternan entre déficit y excesos de humedad son débiles y susceptibles a estas enfermedades, si está presente el inóculo. Ensayos en plantas jóvenes de cerezo han demostrado que la duración del período de inundación tiene claro efecto sobre la sensibilidad a *Phytophthora* (Wilcox y Mircetich 1985).

2.5.6. RDC- Efecto sobre el 'cracking' de los frutos

También se ha señalado efectos del RDC sobre la sensibilidad de los frutos al 'cracking' o agrietamiento y se ha vinculado este efecto a aplicaciones irregulares

de agua previo a la cosecha (Sekse 1995). Este autor señaló que cuando árboles de cerezo sufrieron déficit hídrico durante el período de crecimiento de frutos seguido de un riego abundante previo a la cosecha, los frutos de esos árboles presentaron más fracturas cuticulares, y aumentó el cracking y el deterioro poscosecha.

2.5.7. RDC- Efectos sobre el estado nutricional y acumulación de reservas

En cerezo la acumulación de reservas ocurre principalmente luego de la cosecha (Kappes y Flore 1986; Keller y Loescher 1989). Lang (2005) ha señalado que en cerezos las reservas de carbono y nitrógeno aumentan en raíces, tronco y sitios de reserva de los brotes, y esto ocurre en coincidencia con el período de inducción y diferenciación floral.

Se ha citado que los carbohidratos no estructurales (CNE) cambian cuantitativamente y cualitativamente con el tipo de tejido y con la estación, y en cerezo prevalecen principalmente almidón, sorbitol, sacarosa, fructosa glucosa y rafinosa (Keller y Loescher 1989). Keller y Loescher (1989) reportaron que en plantas de 10 años de la cv. Bing el total de CNE se acumuló a una alta tasa después de la cosecha de frutos y fue mayor en el momento de abscisión de hojas, esto ocurrió en todos los tejidos perennes excepto en los ramilletes. El material de reserva más común fue el almidón, sacarosa el carbohidrato soluble predominante durante la dormancia, y el sorbitol el carbohidrato soluble predominante durante el crecimiento activo de primavera (Keller y Loescher 1989).

Los carbohidratos de reserva son necesarios para sostener el crecimiento en períodos de estrés y durante la dormancia, y son muy importantes durante el crecimiento inicial en primavera (Flore y Layne 1999). En algunas plantas perennes se ha considerado que las reservas acumuladas son importantes para el crecimiento inicial de primavera, y se las ha considerado especialmente importantes en el cerezo (Lang 2005). En esta especie el desarrollo de flores comienza antes que el de las hojas y de la canopia. La división celular de los frutos ocurre cuando el área foliar presente o efectiva no existe o es muy pequeña (Roper et al. 1988). Además, el período de desarrollo de frutos es muy corto (60 a 90 días) y coincide con el crecimiento de la canopia y de las raíces (Atkinson y Wilson 1980; Flore y Layne 1999). Por esta razón el número de puntos de demanda al principio de la estación de crecimiento puede ser extremadamente grande, representando una tremenda demanda de reservas antes de la brotación. Esta dependencia de los

estados reproductivos tempranos de las reservas puede afectar críticamente el tamaño final y los rendimientos (Keller y Loescher 1989).

El volumen del mesocarpo del fruto se correlaciona con el número y tamaño de células y parece que el tamaño del fruto maduro depende por lo menos parcialmente de la división celular que ocurre antes e inmediatamente después de anthesis (Keller y Loescher 1989). Las evidencias para sugerir esto en cerezas se basan en que el color, concentración de sólidos solubles y peso de los frutos en cosecha han sido correlacionadas positivamente con el diámetro del ovario inmediatamente después de anthesis (Patten et al. 1986).

Como la acumulación de CNE ocurre fundamentalmente después de cosecha (Kappes y Flore 1986; Keller y Loescher 1989), la salud del árbol, la actividad fotosintética y la asimilación de nitrógeno luego de la cosecha del año anterior son factores muy importantes que pueden afectar la floración, el cuaje de frutos, y la división celular de los frutos (junto con el crecimiento vegetativo de primavera) del año en curso. Cualquier factor que limite la fotosíntesis, por ejemplo estrés hídrico severo en poscosecha, podría restringir las reservas de CNE, y afectar críticamente los rendimientos y la calidad de cerezas (Roper et al. 1988; Keller y Loescher 1989; Beppu et al. 2002).

Las reservas nitrogenadas también juegan un rol muy importante en el crecimiento vegetativo a principio de temporada (Guak et al. 2005). La aplicación tardía, en otoño, de urea en frutales ha demostrado ser efectiva en la acumulación de reservas nitrogenadas (Sánchez et al. 1991; Johnson et al. 2001). En vid y en otras especies frutales se ha indicado que el nivel de arginina en raíces es un buen estimador del contenido del nitrógeno almacenado en la planta, y su concentración puede usarse como indicador de reservas nutricionales (Ruiz 2000).

Algunos autores han sugerido que los efectos distintos del estrés hídrico sobre el crecimiento y el nivel de floración y reservas se deben fundamentalmente a la intensidad del déficit y al momento de su realización (Johnson et al. 1992; Johnson y Handley 2000) y recomiendan un ajuste preciso del nivel de restricción hídrica.

3. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Sitio y cultivo

El ensayo se realizó en las temporadas 2005 y 2006 en un monte comercial de cerezos cultivar Bing clon OB 260 de 3 años, perteneciente a la empresa Salentein Fruit B.V., ubicado en la localidad de Agua Amarga, departamento de Tunuyán, provincia de Mendoza, Argentina; Latitud 33° 30' 58" S, Longitud 69° 12' 27" O, Altura 970 m.s.n.m.

El clima es templado. La precipitación media anual en la zona es de 430 mm, y las lluvias se concentran principalmente durante primavera-verano, la temperatura media anual es de 14,1°C, siendo la temperatura media del mes más cálido (enero) 22,3°C y la del mes más frío (julio) 5,6°C (medias calculadas con los datos de registro de Estación Meteorológica de Agua Amarga, años 1999 a 2005).

El suelo es un Torrifluvent típico, térmico, mixto, calcáreo de textura arenosa y subsuelo pedregoso.

La plantación se realizó en invierno de 2002, con plantas a ojo dormido. Las plantas están injertadas sobre portainjerto MaxMa 14, plantadas a 4,5 m entre hileras por 3 m entre plantas y conducidas en eje central. Las cultivares polinizadoras son Lapins, Van, Newstar, Giorgia y están distribuidas en hileras completas (Figura 5). El monte frutal presentaba alto vigor.

El método de riego de la plantación es goteo, con dos laterales por hilera y emisores de 1,55 Lh⁻¹ de caudal, distanciados 80 cm.

Las labores culturales fueron las normalmente realizadas por la empresa respecto a poda de raleo, fertirrigación, control de plagas y enfermedades y manejo de malezas. Las malezas se controlan con herbicidas en la hilera de plantación y se mantiene la flora nativa interfilar rala, con segados frecuentes.

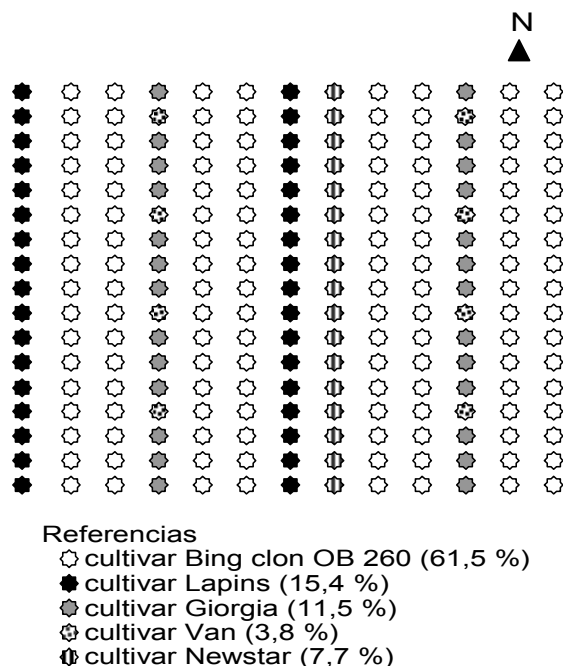


Figura 5. Esquema de distribución de variedades en el cuadrante donde se ubicó el ensayo

3.2. Tratamientos

Los tratamientos de riego aplicados en poscosecha fueron tres:

- T1 riego a demanda plena, reponiendo el 100 % de la evapotranspiración de cultivo
- T2 riego deficitario reponiendo el 75 % de la evapotranspiración de cultivo, respecto de T1
- T3 riego deficitario reponiendo el 50 % de la evapotranspiración de cultivo, respecto de T1

3.3. Diseño experimental

El diseño experimental fue de bloques completamente al azar con tres tratamientos y cinco repeticiones. El factor de bloqueo fue la cultivar polinizadora.

La unidad experimental estuvo constituida por 12 plantas: 4 plantas en 3 hileras adyacentes, de modo que quedaron dos plantas centrales como unidad observacional (donde se realizaron las mediciones) y 10 unidades de bordura (Figura 6).

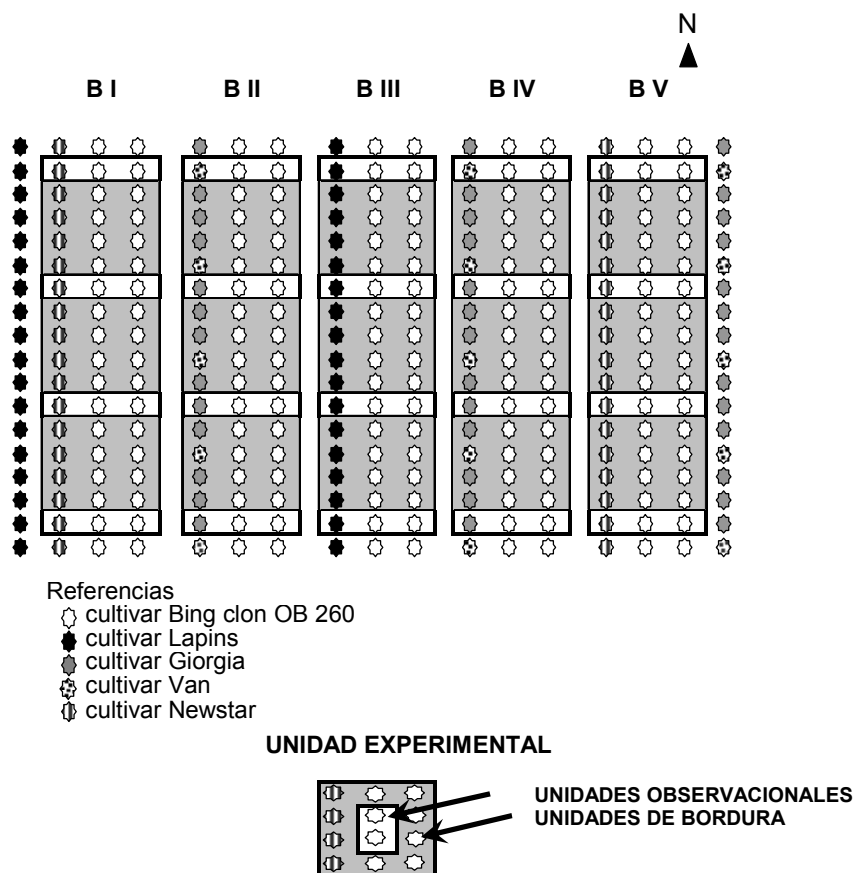


Figura 6. Diagrama del diseño y distribución de parcelas, y detalle de la unidad experimental

3.4. Riego

3.4.1. Uniformidad del riego

Antes de comenzar los riegos de la estación de crecimiento se evaluó la uniformidad de descarga de los goteros de la plantación mediante el cálculo del coeficiente de uniformidad (CU) (Merriam y Keller 1978), y la presión de trabajo.

En cuatro plantas de cuatro hileras ubicadas en cabeza, 1/3, 2/3 y pie de riego se sortearon aleatoriamente dos goteros y se midió el volumen de agua erogado durante 2 minutos. Se calculó el caudal de cada emisor y el CU, que es el cociente entre la media de descarga de los emisores del 25 % inferior de las descargas con respecto a la media de descarga de todos los goteros. Con manómetro se midió la presión al final de los laterales de riego correspondientes a cabeza, 1/3, 2/3 y pie de riego respectivamente.

El CU fue del 91 % (Tabla 1) con un CV de 7,2 %. El caudal medio medido por gotero fue de $1,55 \text{ L h}^{-1}$, menor que el caudal medio por gotero indicado por el fabricante que era de $1,75 \text{ L h}^{-1}$. Los datos de caudales erogados por cada emisor y su ubicación en el cuartel donde se ubicó el ensayo se presentan en el anexo.

Para sistemas de riego localizados de alta frecuencia la bibliografía cita la conveniencia de utilizar el coeficiente desarrollado por Merriam y Keller (1978), y Pizarro (1996) recomienda un rango de valores de CU entre 85-90 % o mayores, en el caso de emisores espaciados a menos de 2,5 m, pendiente del terreno menor al 2 % y clima árido. El coeficiente de uniformidad para la parcela analizada se encontró por encima del rango mencionado, lo cual indica que la variación en el riego entre las parcelas es pequeña. Asimismo la presión de trabajo se consideró apropiada para el sistema de riego utilizado (Tabla 1).

Tabla 1. Evaluación de la uniformidad del equipo de riego utilizado en el cuartel donde se realizó el ensayo

Caudal medio medido por gotero	$1,55 \text{ L.h}^{-1}$
Caudal de emisores 25 % inferior	$1,40 \text{ L.h}^{-1}$
CU (Merriam Keller)	0,9109
Presión en el pie del lateral	$1,75 \text{ kg.cm}^{-2}$

3.4.2. Calidad del agua de riego

Se determinó la conductividad eléctrica (CE) de una muestra de agua de riego y se calificó la salinidad del agua de riego según el criterio de FAO (Ayers y Westcot 1987). La CE fue de $470 \mu\text{S/cm}$ a 25°C , que corresponde a un grado de salinidad 1, calificado como 'sin problemas de salinidad' (menor a $700 \mu\text{S/cm}$ a 25°C),.

3.4.3. Cálculo de las necesidades de riego

Desde brotación y hasta la época de cosecha todas las plantas recibieron una lámina de riego equivalente al total de la evapotranspiración del cultivo de referencia estimada por la ecuación de Penman-Monteith (Figura 7) y los Kc de cultivo estimados para cerezo a partir de FAO 56 para la situación de viento ligero con malezas, y modificados por las características agroambientales locales y la consideración de un factor de sombreado estacional (Pizarro 1996; Allen et al. 1998) (Figura 8).

$$ET_o = \frac{0,408 \Delta (R_n - G) + \gamma \frac{900}{T + 273} u_2 (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma (1 + 0,34 u_2)}$$

Referencias

ET_o evapotranspiración de referencia (mm.día⁻¹)

R_n radiación neta en la superficie del cultivo (MJ.m⁻².día⁻¹)

G flujo de calor del suelo (MJ.m⁻².día⁻¹)

T temperatura del aire a 2 m de altura (°C)

u_2 velocidad del viento a 2 m de altura (m.seg.⁻¹)

e_s presión de vapor de saturación (kPa)

e_a presión de vapor actual (kPa)

$e_s - e_a$ déficit de presión de vapor (kPa)

Δ pendiente de la curva de presión de vapor y temperatura (kPa.°C⁻¹)

γ constante psicrométrica (kPa.°C⁻¹)

Figura 7. Ecuación de FAO Penman Monteith para el cálculo de evapotranspiración

día-mes	15-May	15-Jun	15-Jul	15-Ago	15-Sep	15-Oct	15-Nov	15-Dic	15-Ene	15-Feb	15-Mar	15-Abr
Kc	0,4	0,4	0,4	0,4	0,45	0,55	0,75	1	1,1	1,1	1,1	0,85

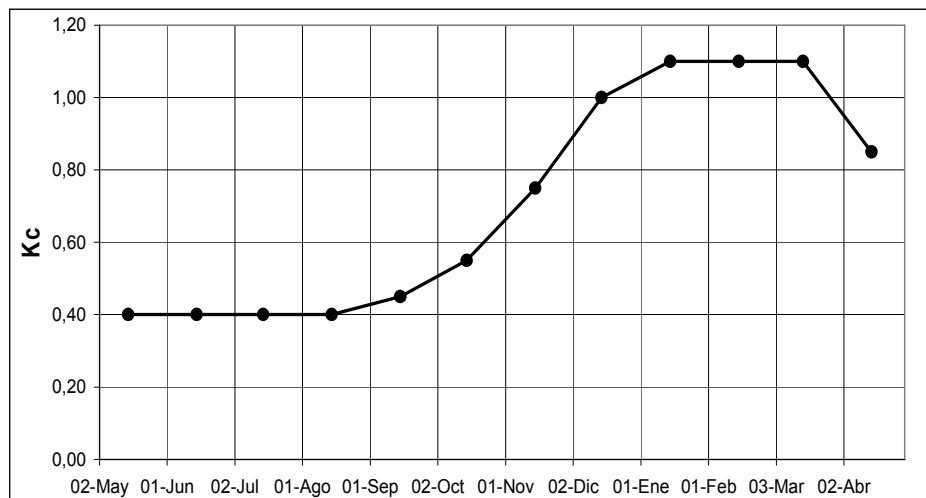


Figura 8. Coeficientes de cultivo estimados para cerezo

La precipitación efectiva (precipitación útil para las plantas), casi despreciable en zonas áridas, se calculó por medio de una ecuación recomendada para climas áridos (Chambouleyron 2005).

Se confeccionó una planilla de cálculo de necesidades de riego diarias siguiendo la metodología del balance desarrollada por Pizarro (1996) para riego por goteo. Para el cálculo de necesidades netas de riego se consideró la diferencia entre evapotranspiración y precipitación efectiva, modificado por el producto de coeficientes de localización, que considera el sombreado estacional (k_l) y de corrección por variaciones climáticas y advección (k_{rl}). Para el cálculo de necesidades totales de riego se consideró además un coeficiente (K) que resulte mayor entre la eficiencia de riego o el requerimiento de lixiviación, y un coeficiente de uniformidad (CU) del método de riego.

A partir de las necesidades totales de riego, y considerando el número total de plantas y número y caudal medio de goteros de la subunidad de riego, se calculó diariamente el tiempo de aplicación de agua para los tres tratamientos. El intervalo de riego se modificó a lo largo del ciclo de cultivo considerando la capacidad de almacenaje del suelo, la demanda hídrica de las plantas en cada etapa del ciclo de cultivo y la conveniencia de mantener el testigo con un contenido hídrico de suelo cercano a capacidad de campo, y fue dos días hasta el 15 de noviembre, un día desde el 15 de noviembre hasta el 15 de marzo, y nuevamente dos días a partir del 15 de marzo y hasta caída de hojas. En el anexo se presenta un modelo de planilla de cálculo utilizado, con el detalle de ecuaciones.

Una vez terminada la estación de crecimiento se calculó el agua total recibida, por riego y por precipitación en cada tratamiento.

3.4.4. Instalación y control del riego para riegos deficitarios

Para el manejo del riego en los tratamientos de riego deficitario se instaló un sistema de derivación en forma de 'by pass' con mangueras ciegas y llaves en los laterales de riego que permitió interrumpir el riego sin interferir con la operación normal de la plantación. La apertura y cierre de llaves se manejó en forma manual, y se estableció una secuencia de apertura y cierre para asegurar que los tiempos de riego de cada repetición fueran los mismos (Figura 9). En todas las parcelas del ensayo los laterales del goteo se fijaron al suelo con anclas de alambre para impedir el desplazamiento de mangueras, producido por dilatación de los materiales con el aumento de la temperatura.

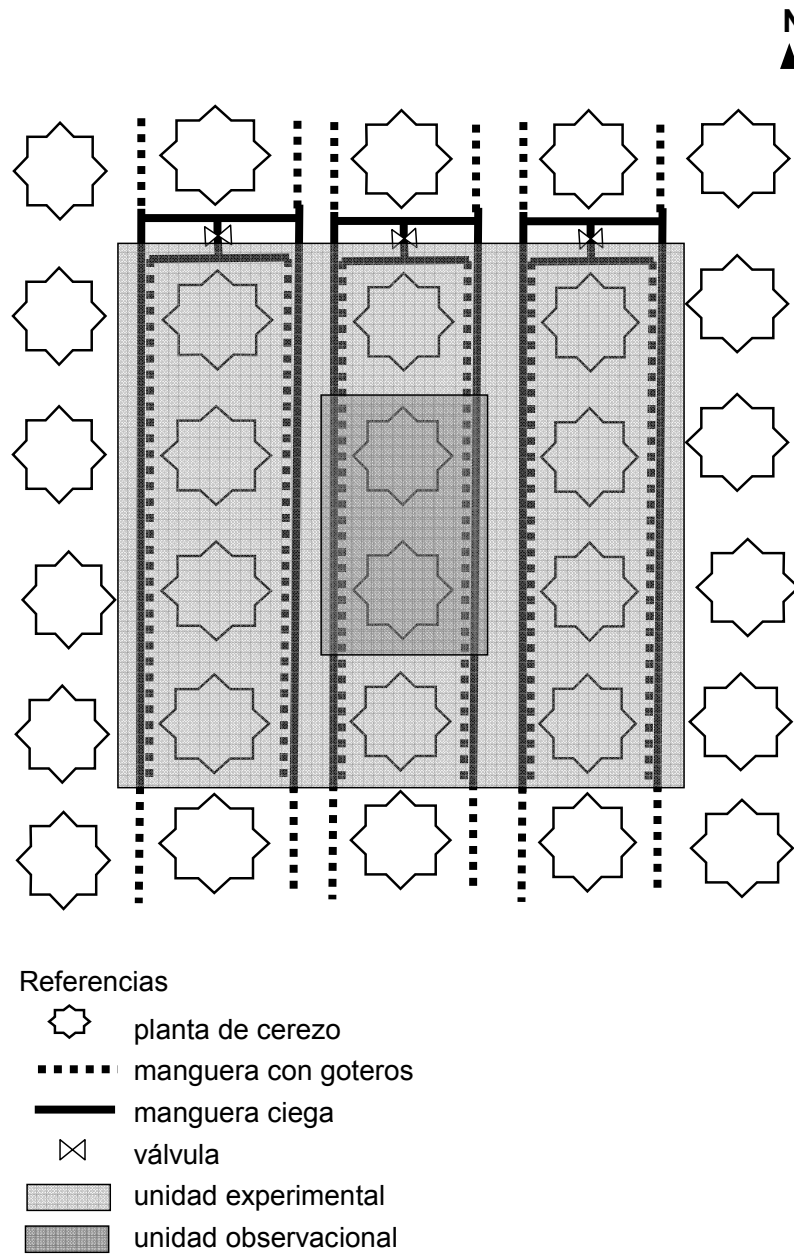


Figura 9. Detalle de conexiones realizadas en las parcelas de riego deficitario

3.5. Otros estudios previos al establecimiento del ensayo

3.5.1. Evaluación de la homogeneidad del monte frutal

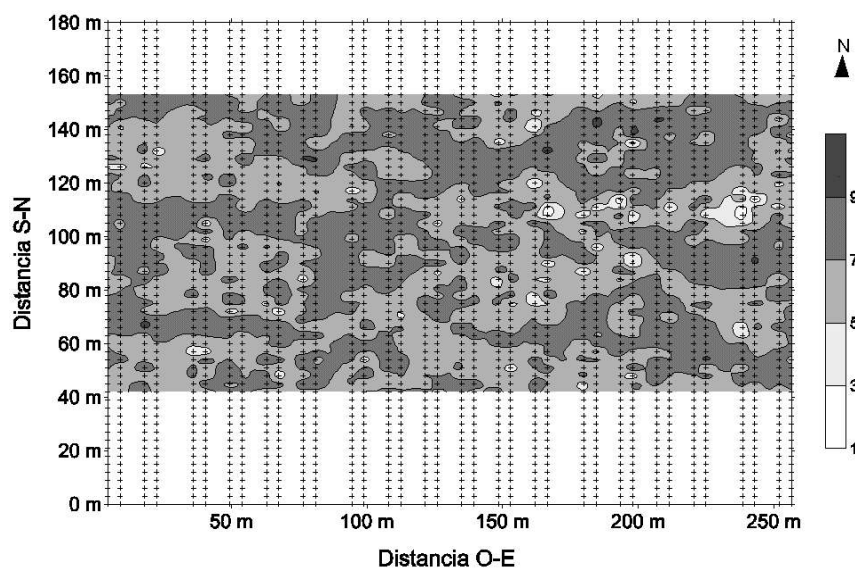
Con el objeto de seleccionar un sector de vigor homogéneo en el monte frutal se realizó un relevamiento del vigor de los árboles del cuartel. Como indicadores de vigor se consideró el perímetro de tronco a 30 cm del nivel del suelo y una

calificación visual de calidad de planta en función de la cantidad y distribución de ramas primarias a lo largo del eje central (Tabla 2).

Tabla 2. Escala de calificación de las plantas en función la estructura de la parte aérea

Calidad de planta	Características
0	Replantes, sin ramas primarias
1	Ramas insuficientes y/o plantas bajas
2	Ramas primarias escasas en algún sector del eje
3	Buena estructura, ramas suficientes a lo largo de todo el eje

Se elaboró un plano de distribución de plantas según diámetro de tronco (Figura 10) y según calidad de planta (Figura 11) utilizando el software ArcView (versión 3.1; Environmental System Research Institute Inc. 2006) y se seleccionó un sector uniforme y de alto vigor cercano a la línea terciaria de riego para la ubicación del ensayo (Figura 11). A las plantas seleccionadas se les midió además altura, número de ramas primarias, y longitud de madera potencialmente productiva (madera de 1 y 2 años), esto último para facilitar las posteriores evaluaciones de respuesta de la floración y precocidad (Tabla 3).



Referencias:
Escala: diámetro en cm

Figura 10. Distribución de plantas según diámetro de tronco (cm)

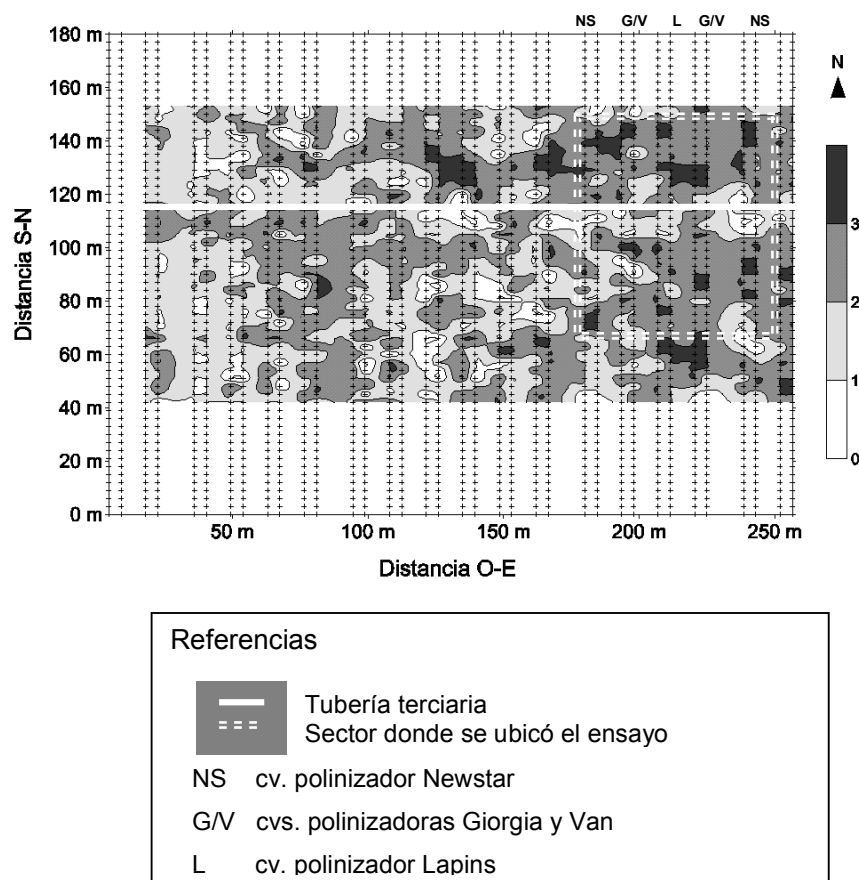


Figura 11. Distribución de plantas según escala de calidad. Ubicación del ensayo en el monte frutal y ubicación de las variedades polinizadoras en el sector del ensayo

Tabla 3. Caracterización de las plantas seleccionadas donde se realizó el ensayo

	promedio	Coefficiente de variación (%)
Calidad	3	
Diámetro de tronco (cm)	8,1	6,2
Altura de planta (m)	3,9	3,7
Número de ramas primarias	16	18,8
Longitud de madera potencialmente productiva (m)	31	14,0

Las plantas de las parcelas seleccionadas presentaron una estructura formada completa, y alto vigor. El portainjerto MaxMa 14 (*P. avium* x *P. mahaleb*), es considerado un portainjerto semi enanizante, que permite llevar a densidades medias las plantaciones (Balmer y Blanke 2005). Se ha mencionado que reduce hasta un 40 % el crecimiento de los árboles en comparación con el Mazzard (Balmer y Blanke 2005), aunque se comporta como vigoroso los primeros años.

Esta última característica se confirmó con los resultados obtenidos en estas mediciones.

3.5.2. Estudio del perfil del suelo y de la distribución de raíces

En invierno de 2005, se hicieron dos calicatas en “L” para la descripción morfológica del perfil del suelo, con una profundidad de 1,20 m. Se apreció la textura en forma organoléptica, se determinó densidad aparente a través del método del cilindro, se descalzó el sistema radical y se analizó el patrón de distribución de raíces, clasificándolas en raíces finas y de extensión < 2 mm de diámetro, y raíces permanentes (2-4 mm) (Stevens et al. 1995). Se estimó el volumen de exploración radical.

El subsuelo pedregoso apareció a profundidad variable a partir de los 60 cm de profundidad. Se encontraron raíces finas y de extensión < 2 mm hasta los 55 cm de profundidad y permanentes (2-4 mm) hasta los 100 cm y el volumen de exploración radical estimado fue de 2,47 m³ (Tabla 4).

Tabla 4. Distribución de las raíces de cerezo en el perfil del suelo donde se realizó el ensayo

Tipo de raíces	Extensión (cm)		
	En la línea de plantación (a cada lado del tronco)	En el interfilas (a cada lado del tronco)	En profundidad (desde la superficie del suelo)
Raíces finas (< 2 mm)	150	60	55
Raíces permanentes (2 - 4 mm)	150	60	100

3.5.3. Determinación de la capacidad de campo (Wc)

Para la obtención del límite superior del agua disponible del suelo, se siguió la metodología sugerida por Grassi (1998). Dentro de la plantación se prepararon dos bateas de 2 m x 2 m, bien niveladas y sin vegetación, delimitadas por un borde de tierra de 20 cm de altura, a las cuales se les aplicó un volumen excesivo de agua en relación a la profundidad de suelo (1 m). Una vez completada la infiltración del agua, se cubrieron las bateas con una lámina de plástico negro para evitar la evaporación. Con intervalos de tiempo de 6 hs se extrajeron muestras de tierra correspondientes a los dos estratos en que se dividió el perfil (0- 50 cm y 50-100 cm) y se determinó el contenido de agua por el método gravimétrico. Se realizó una

curva de contenido de agua en función del tiempo, que permitió determinar el valor que representa la máxima capacidad de retención de agua en condiciones de libre drenaje (capacidad de campo), y el tiempo después del riego en el cual la misma se alcanza.

La capacidad de campo promedio fue 12,8 g%g (n=2), y se alcanzó luego de transcurridas 16 hs. a partir de humedad de saturación. En el anexo se encuentra la curva de capacidad de campo.

3.5.4. Obtención de las curvas de capacidad hídrica y estimación del punto de marchitamiento permanente (Wm)

En laboratorio se realizaron las curvas de capacidad hídrica a partir de muestras disturbadas extraídas a una profundidad de 50 cm utilizando el método de la membrana de presión (Richards 1948). A partir de ellas se estimó el punto de marchitamiento permanente (Wm), que fue de 3,2 g%g. En el anexo se presentan las curvas de capacidad hídrica.

La capacidad de almacenaje de agua del perfil del suelo en la zona útil de exploración radical es muy baja, (78,6 mm). Esta situación facilitó el control y establecimiento de los déficits hídricos. Además obligó a realizar un ajuste preciso de la demanda hídrica del cultivo, y de la frecuencia de riego, para disminuir la variación de la humedad del suelo en el tratamiento testigo.

3.5.5. Análisis físico químico del suelo

En cada calicata se extrajeron muestras compuestas de suelo a dos profundidades (0-50 cm y 50-100 cm) que fueron remitidas al laboratorio para evaluar las características físicas y químicas del perfil. Las muestras fueron secadas al aire, molidas y tamizadas por abertura de 2 mm. Se realizaron los siguientes análisis físico-químicos: volumen de sedimentación para apreciación de la textura (Nijenshon y Pillasi 1962), conductividad eléctrica del extracto de saturación, pH de pasta saturada, sodio, calcio y magnesio del extracto por espectrofotometría de absorción atómica, relación de adsorción de sodio (RAS), nitrógeno total (Método de Kjeldahl), fósforo disponible (extracción carbónica relación 1:10, técnica Arizona, y determinación espectrofotométrica Osmond y K intercambiable (con acetato de amonio 1 N, pH 7), materia orgánica oxidable (Walkley y Black).

Hasta 1,20 m de profundidad el suelo presentó valores normales de conductividad eléctrica del extracto de saturación, pH en pasta y RAS por lo cual se lo consideró no salino, no sódico. El volumen de sedimentación dio valores de 76-80 cm³ % g, que corresponde a un suelo de textura arenosa a franco arenosa de muy buena permeabilidad. La densidad aparente promedio fue 1,373 g.cm⁻³ (Tabla 5).

Tabla 5. Caracterización físico química inicial del suelo bajo ensayo en la profundidad 1,20 m.

	Perfil 1	Perfil 2
Vol. de Sedimentación (cm ³ %g)	76	80
Calificación Textural	Arenoso	Franco arenoso
Subsuelo	Pedregoso	Pedregoso
Densidad aparente (g.cm ⁻³)	1,373	1,373
CEes (μS.cm ⁻¹)	685	427
pH pasta	7,9	7,9
RAS	1,0	1,0
N Total (mg.kg ⁻¹)	356	343
P – H ₂ CO ₃ 1:10 (mg.kg ⁻¹)	5,6	6,5
K int Ac-NH ₄ pH 7 (mg.kg ⁻¹)	243	213
Mat.Orgánica (Walkley&Black) (g%g)	0,59	0,65

En los análisis de fertilidad los contenidos de nitrógeno y materia orgánica fueron bajos, según criterios de interpretación locales (Nijensohn et al. 1971), en cambio el suelo estaba bien provisto de fósforo y potasio (Tabla 5). Igualmente en el monte frutal, en primavera y antes de la imposición de los tratamientos de riego, se realizó fertirrigación con NPK, ya que el monte es joven y está en activo crecimiento estructural.

3.6. Datos meteorológicos

Se utilizaron los datos provenientes de una estación meteorológica automática telemétrica (Metos Compact ET, Pessl Instruments, Austria), conectada a la Red de Estaciones Meteorológicas de la Dirección de Agricultura y Contingencias Climáticas. La estación está ubicada dentro de la misma propiedad y a una distancia de 1400 m del lugar del ensayo, con sensores de temperatura del aire (°C), humedad relativa (%), radiación global (Wm⁻²), precipitación (mm), velocidad y dirección del viento (m.seg⁻¹) y tiempo de mojado foliar (min.), con una frecuencia de registro de 1 minuto. La estación realiza automáticamente el cálculo

de la evapotranspiración potencial según el modelo de Penman-Monteith (modificación FAO) (Smith 1991).

3.7. Control de la humedad en el suelo

La humedad se determinó por método gravimétrico en muestras de suelo extraídas con barreno a tres profundidades: 0-20 cm, 20-40 cm y 40-60 cm, situadas sobre la línea de plantación y a 80 cm de distancia del tronco. Los muestreos se realizaron a partir del 10 de noviembre y cada 15 días hasta mediados de abril. En cada fecha se tomaron dos repeticiones por tratamiento.

Asimismo, en nueve estaciones fijas de monitoreo (3 por tratamiento) se instalaron tubos de acceso de PVC de 5 cm de diámetro enterrados hasta 80 cm de profundidad, sobre la línea de plantación y a 80 cm de distancia del tronco de los árboles de la unidad observacional. Los tubos sirvieron de acceso a la sonda de capacitancia tipo FDR (Frequency Domain Reflectometry, modelo Diviner 2000, Sentek, Argentina). Las mediciones se hicieron semanalmente y cada 10 cm de profundidad. La calibración del equipo se realizó durante el período de receso vegetativo.

En la misma estación de monitoreo se instalaron bloques de matriz granular (modelo Watermark, Irrrometer, Argentina) a 40 cm de profundidad, con el objeto de medir succión matriz (kPa) del suelo con frecuencia semanal con medidor digital.

Las evaluaciones de humedad de suelo por cualquiera de los métodos empleados, se realizaron en la situación de mínima humedad de suelo previo al riego.

3.8. Medición de potencial hídrico del tallo a mediodía

Se determinó el potencial hídrico xilemático (ψ_t) a mediodía (Scholander et al. 1965) a partir del 28 de octubre y hasta mediados de abril, semanalmente con cámara de presión (modelo Bio Control, Buenos Aires, Argentina), utilizando nitrógeno como gas. La medición fue realizada sobre dos hojas de cada planta de la unidad observacional.

Se seleccionaron hojas totalmente expandidas, sanas, situadas en brindillas de crecimiento medio, sombreadas, en la parte baja y en el sector interno de los árboles. Para evitar la transpiración de la hoja y permitir que se equilibre el potencial agua de la hoja con el del xilema del pecíolo, y este con el tallo, siguiendo

la técnica descrita por Shackel (2003), se introdujo la hoja a medir en una bolsa plástica recubierta con papel de aluminio que fue cerrada con un clip plástico por lo menos una hora antes de realizar la medición. Alrededor de las 13 horas con un bisturí se separó la hoja de la brindilla, hoja y envoltorio se introdujeron en la cámara, y se aumentó la presión de nitrógeno hasta que se humedeció la superficie de corte del pecíolo. La lectura de presión en ese momento corresponde al valor de ψ_t a mediodía.

Las mediciones de ψ_t a mediodía se realizaron en la situación de mínimo estado hídrico de las plantas antes del riego, en coincidencia con las determinaciones de humedad del suelo.

3.9. Registros fenológicos

Antes de imponer los tratamientos se registró la fecha de inicio de brotación (3/10/05). Luego del primer año de imposición de los tratamientos y durante el 2006 en cada tratamiento se registró fechas de caída de hojas y a partir de la estación de crecimiento siguiente: inicio, plenitud y fin de floración, inicio de brotación y maduración de frutos.

Después de cosecha los tratamientos de déficit hídrico se repitieron un segundo año, con el fin de evaluar, más allá del alcance de esta tesis, el efecto de déficits hídricos repetidos por varias temporadas en plantaciones frutales.

3.10. Crecimiento vegetativo

3.10.1. Mediciones realizadas en ramas: longitud de brotes, número y longitud de entrenudos, número de hojas, área foliar y peso seco foliar

En cada planta de la unidad observacional se identificaron 4 brotes en el extremo de las ramas primarias y orientados hacia los 4 puntos cardinales y 2 brotes sobre el eje central (brotes de crecimiento vigoroso o 'chupones'), sobre los que se realizaron las mediciones.

Se midió semanalmente la longitud de esos brotes, comenzando 16 días después de inicio de brotación (19/10/05) y hasta el comienzo de coloración otoñal de las hojas (7/4/06). En la fecha de imposición de los tratamientos de riego deficitario en cada brote se marcó con pintura el ápice vegetativo, para identificar el crecimiento producido a partir de la imposición de los mismos. Al final de la estación de crecimiento se estableció la longitud total de brotes y la longitud a partir de la

fecha de imposición de la restricción hídrica. Se calculó la velocidad de crecimiento semanal antes y después de la fecha de imposición de los riegos deficitarios.

En las ramas de crecimiento normal una vez que se detuvo el crecimiento (16/3/06) y en la porción del crecimiento vegetativo producido a partir de la imposición de los tratamientos se contó el número de entrenudos, y se estableció la longitud promedio de entrenudos. Se contó el número de hojas, se extrajeron las hojas y se midió el área foliar con un medidor de área foliar (modelo Li-3000, Li-Cor Inc., Lincoln, Nebraska, USA) con accesorio banda transparente Modelo Li-3050 A Li-Cor Inc. También se midió el peso seco foliar, para lo cual las muestras de hojas se colocaron en bandejas de aluminio, se secaron en estufa con corriente de aire forzado a 65°C durante 72 hs y se pesaron con balanza electrónica con sensibilidad 0,1 g.

Se calculó el área, el peso seco y el peso específico foliar promedio por hoja.

3.10.2. Mediciones realizadas en toda la planta: crecimiento del área de tronco y crecimiento total de brotes

En cada unidad observacional se midió el perímetro de tronco a 30 cm desde el nivel del suelo. Las mediciones se realizaron antes de comenzar el ciclo vegetativo (28/7/05), en la fecha en que comenzó la imposición de riegos deficitarios (23/11/05), luego de caída de hojas (15/5/06) y al comienzo de brotación en la siguiente estación vegetativa (15/9/06). Se calculó el área de sección transversal del tronco a 30 cm de altura desde la superficie del suelo.

En cada repetición y en una planta de cada unidad observacional se midió en el invierno el crecimiento longitudinal de todos los brotes producido durante el ciclo de cultivo.

3.11. Estado nutricional

3.11.1. Macro y micronutrientes foliares

En cada unidad experimental a los 129 días desde brotación se extrajeron 32 hojas de brotes del crecimiento anual, ubicadas en ramas de la parte media de la copa y orientadas hacia los cuatro puntos cardinales, las que se colocaron en bolsas de papel y fueron inmediatamente remitidas al laboratorio donde fueron acondicionadas para su posterior análisis. Se determinaron: N (Kjeldahl) y a partir del extracto clorhídrico de las cenizas, P (determinación espectrofotométrica del

complejo nitrovanado molibídico), K, Ca, Mg, Na y microelementos, Fe, Cu, Mn y Zn, por espectrofotometría de absorción atómica.

3.11.2. Reservas de carbohidratos no estructurales (CNE)

En cada unidad experimental en el período de receso vegetativo (22/8/06) se extrajeron muestras de raíz (8 trozos de aproximadamente 10 cm de longitud y de diámetro menor a 1 cm). Las muestras se lavaron con agua destilada para eliminar restos de material de suelo, se colocaron en bandejas de aluminio y se llevaron a estufa con aire forzado a 60 °C durante más de 72 hs. Luego se trozaron en porciones de 1 cm aproximadamente, se molieron hasta pasar por un tamiz de 1 mm y se embolsaron hasta su posterior análisis.

Las muestras se analizaron por triplicado tomando entre 50 y 60 mg de polvo de raíz que fueron colocadas en microtubos tipo eppendorf de 2 ml. Se agregó 1,5 ml de buffer fosfato 0,1 M (pH 7,5) y se colocó en agitador rotativo durante 15 minutos a temperatura ambiente. Luego se centrifugó 10 minutos a 10.000 RPM, y se separó el sobrenadante (que fue utilizado para determinar carbohidratos solubles) del pellet (que fue utilizado para determinar almidón). Los carbohidratos solubles se determinaron por el método de antrona sulfúrico siguiendo el protocolo utilizado por Yemm y Willis (1954), y la absorbancia se midió en espectrofotómetro a 607 nm. Los resultados fueron expresados en mg.g^{-1} de peso seco, usando una curva de calibración estandar de glucosa realizada previamente. El pellet fue resuspendido en dimetil sulfóxido acidificado y el almidón disuelto se mezcló con iodo iodurado acidificado siguiendo el protocolo utilizado por Saladin et al. (2003). La absorbancia se midió en espectrofotómetro a 600 nm. Los resultados fueron expresados en mg.g^{-1} de peso seco, usando una curva de calibración de almidón realizada previamente.

3.12. Retorno de floración: ramilletes, yemas de flor y flores

3.12.1. Mediciones realizadas en ramas: cantidad y calidad de ramilletes, cantidad de yemas de flor, de flores por yema, y de flores

En cada planta de la unidad observacional se identificaron 4 ramas primarias orientadas hacia los 4 puntos cardinales. Se midió el perímetro de la base de cada rama primaria (madera de 3 años de edad) y las longitudes de cada rama primaria y

de las secundarias formadas sobre ella (madera de 2 años de edad). Se calculó el área de sección transversal de rama (ASTR).

En invierno (receso vegetativo) en cada rama primaria se contó el total de ramilletes producidos sobre la madera de 3 y 2 años y se calculó la eficiencia de producción de ramilletes en función del ASTR (número de ramilletes.cm⁻² de ASTR) y en función de la longitud de cada rama (número de ramilletes.m⁻¹).

También se evaluó la calidad de los ramilletes según el número de yemas de flor (ramilletes con 0, 1, 2, 3, 4, 5 y 6 yemas de flor). Se calculó la eficiencia de producción de ramilletes de cada calidad (número de ramilletes de cada calidad .cm⁻² de ASTR).

La cantidad de yemas de flor se estimó en cada rama a partir de la suma del número de ramilletes de cada calidad ponderado por el número de yemas de flor de cada calidad de ramillete. Se calculó la eficiencia de producción de yemas de flor (número de yemas de flor.cm⁻² de ASTR).

En la época de prefloración, en el estado fenológico de yema hinchada, se recolectaron 50 yemas de flor por unidad experimental. Se cortaron transversalmente con bisturí y se contó el número de flores en su interior. En cada tratamiento se calculó el promedio de número de flores.yema⁻¹.

La cantidad de flores en cada tratamiento se calculó para cada rama a partir del producto de los valores de cantidad de yemas de flor por el promedio de flores.yema⁻¹. Se expresó en términos de eficiencia de producción de flores, o retorno de floración (número de flores.cm⁻² de ASTR).

3.12.2.Mediciones realizadas en toda la planta

En invierno y en una planta de cada unidad observacional se contó el número total de ramilletes y el número de ramilletes que superaron una calidad mínima, considerando ramilletes de calidad mínima a aquellos con 2 ó más yemas de flor.

3.13. Cantidad de frutos (cuaje) y crecimiento de frutos en el ciclo vegetativo siguiente

Luego del período de floración, transcurrida la polinización de flores y luego de la primera caída natural de flores, en cada rama en que se había evaluado retorno de floración, se contó el número de frutos. Se determinó el porcentaje de cuaje y la eficiencia de fructificación (número de frutos.cm⁻² de ASTR).

Una vez estabilizada la carga frutal, en cada planta de la unidad observacional se identificaron 8 frutos en ramilletes formados sobre madera de 2 años de ramas orientadas hacia los 4 puntos cardinales. Se midió semanalmente el diámetro ecuatorial contrasutural, comenzando 15 días después de plena floración (13/10/06) y hasta la fecha de cosecha (27/10/06). El diámetro ecuatorial contrasutural en la cv Bing es el diámetro mayor en la cereza madura y es el que se considera para la clasificación comercial de frutos según su calibre. Se calculó la tasa de crecimiento semanal de los frutos (mm.semana^{-1}).

3.14. Rendimiento y calidad de frutos en el ciclo vegetativo siguiente

La cosecha de fruta se realizó en dos recolecciones (27/11/06 y 5/12/06). Se utilizó como índice de cosecha el color de piel, por comparación con el código de colores del Centre Technique Interprofessionel des Fruits et Légumes (CTIFL); el color de cosecha seleccionado fue el 4.

En cada recolección y en cada planta de la unidad observacional se pesó el total de la producción. Para cada recolección y para el total cosechado se calculó el rendimiento promedio por planta y la eficiencia de producción: rendimiento total por área de sección transversal de tronco (kg.cm^{-2} de ASTT).

Sobre una muestra de $100 \text{ frutos.planta}^{-1}$ se realizó la distribución porcentual de los frutos de acuerdo a las categorías de calibre que se utilizan en la comercialización de cerezas frescas (Tabla 6).

Tabla 6. Categorías comerciales de cereza en función del calibre de frutos

Calibre (mm)	≤ 22	$>22 \text{ y } \leq 24$	$>24 \text{ y } \leq 26$	$>26 \text{ y } \leq 28$	> 28
Denominación comercial	Medium (M)	Large (L)	Extra-large (XL)	Jumbo (J)	Premium (P)

Para las evaluaciones de calidad se tomaron muestras de 30 frutos de las categorías de calibre predominantes y se determinó individualmente peso, firmeza y contenido de sólidos solubles (CSS), y en submuestras de 10 frutos acidez titulable (AT). La firmeza se midió por presiometría con Durofel 25 del CTIFL, el porcentaje de sólidos solubles se midió con un refractómetro de temperatura compensada ATAGO ATC1 y la AT se determinó en forma volumétrica por titulación con NaOH 0,1 N y potenciómetro hasta $\text{pH}=8,2$. Se calculó la relación CSS/AT.

Sobre una muestra de 100 frutos en cada pasada se evaluó visualmente defectos: frutos dobles, frutos con 'cracking' natural y frutos con machucones. Se determinó el porcentaje de cada defecto.

3.15. Análisis estadístico

Los datos fueron analizados mediante análisis de la varianza y prueba de comparaciones LSD de Fisher ($p \leq 0,05$), para las variables de distribución normal.

Los datos provenientes de conteos: número de entrenudos, de hojas, de ramilletes.ASTR⁻¹, de yemas de flor.ASTR⁻¹, de flores.ASTR⁻¹, de frutos.ASTR⁻¹, fueron transformados a su raíz cuadrada, los de área foliar y peso seco foliar a su logaritmo natural, y los de porcentaje (cuaje y defectos) a su arco seno para el análisis estadístico de la varianza.

Para los datos de crecimiento (datos longitudinales): longitud de brotes, área de tronco y diámetro de frutos, se realizó análisis de la varianza multivariado para medidas repetidas usando las medias de cada perfil de crecimiento y prueba de comparaciones de vectores medios de Hotelling ($p \leq 0,05$).

Se utilizó el software estadístico InfoStat (versión 2004; Grupo InfoStat 2004).

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Ciclo del cultivo y tratamientos

En la Figura 12 se presenta un esquema del ciclo del cultivo desde brotación hasta caída de hojas, y desde brotación hasta cosecha del año posterior a los tratamientos. También se indican las fechas de inicio y fin de los tratamientos.

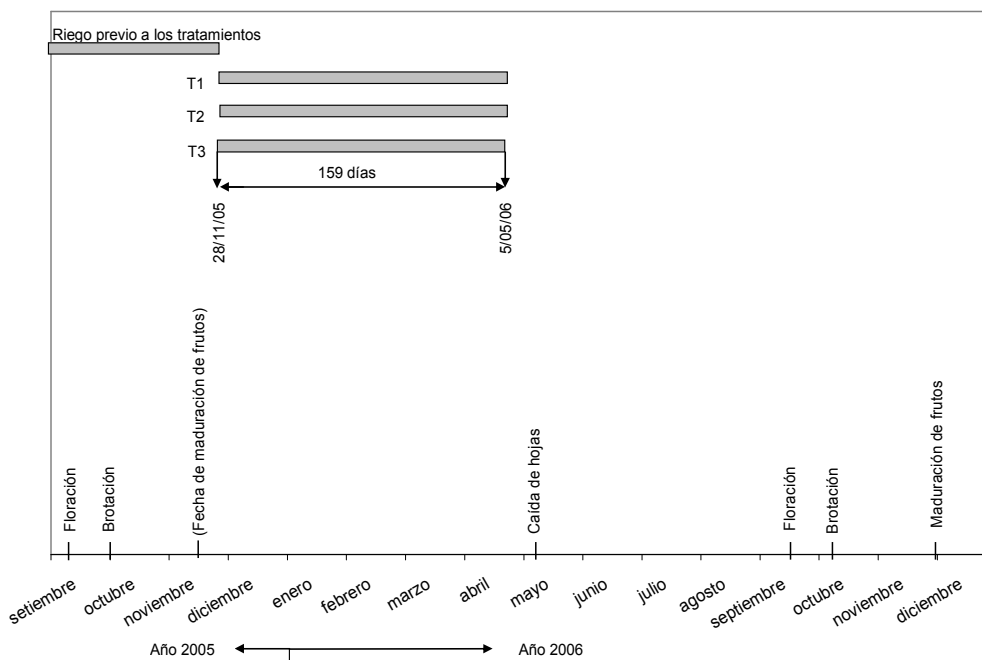


Figura 12. Esquema del ciclo de cultivo y de la duración de los tratamientos

4.2. Manejo del agua

La curva de Etc para la plantación de cerezos se indica en la Figura 13. La diferencia entre la curva de Eto, tomada de los datos de la estación meteorológica, y Etc se debe al valor de coeficiente de cultivo considerado para cerezo (K_c) (Figura 8). Así, los valores de Etc superan a los de Eto a partir de la cuarta semana de diciembre y hasta la última semana del mes de marzo, que es cuando K_c para cerezo es mayor a la unidad (Figura 13).

Al comenzar la cuarta semana de noviembre, en el momento de iniciar los tratamientos de restricción se produjo un pico de aumento de Etc (Figura 13) debido

a dos jornadas consecutivas con viento Zonda, en las cuales la estación meteorológica registró valores de Eto de 10,1mm y 7,9 mm respectivamente, y de temperaturas máximas superiores a 33°C y humedades relativas del 10 %. En esta oportunidad se dio un riego largo para satisfacer la demanda hídrica, que corresponde a la barra que sobresale en noviembre.

A partir de mediados de noviembre, la Etc aumentó en coincidencia con el crecimiento de brotes, y las lluvias fueron casi ausentes (Figura 13). Para mantener el tratamiento testigo cercano a capacidad de campo a partir del 20 de noviembre el intervalo de riego fue diario, situación que se mantuvo hasta el mes de marzo.

La máxima Etc se registró en el mes de enero y el promedio de evapotranspiración diaria para ese mes fue de 6,7 mm diarios.

Las precipitaciones totales durante todo el ciclo de cultivo fueron escasas (141 mm) y sólo fueron efectivas algunas precipitaciones de mayor intensidad que se produjeron concentradas en el mes de febrero, y en menor cantidad en setiembre, marzo y abril (Figura 13). Si bien se ha mencionado que la lluvia puede suplir parte del requerimiento hídrico de los cultivos, normalmente en zonas áridas es casi despreciable.

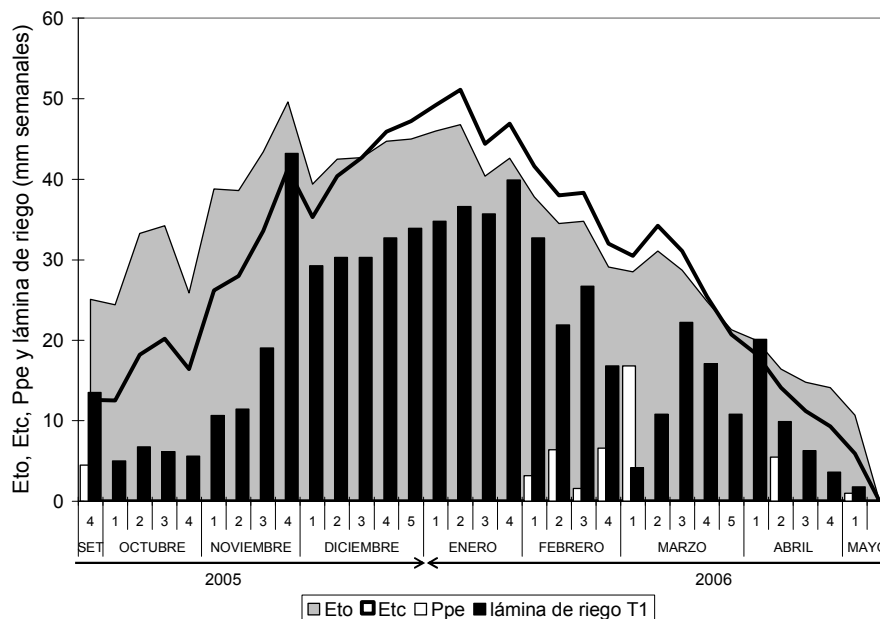


Figura 13. Evapotranspiración semanal de referencia (Eto) y del cultivo (Etc), precipitación efectiva semanal (Ppe) y lámina de riego aplicada por semana en el tratamiento testigo

La Eto acumulada entre brotación y cosecha fue de 1.050 mm. Para el mismo período la Etc acumulada fue de 963 mm y la suma de precipitación efectiva + riego

acumulado en el testigo fue de 675 mm (Figura 14). La diferencia entre estas dos últimas curvas se debe a que para los cálculos de cantidades de agua en el riego por goteo se consideraron coeficientes (coeficiente de localización) que tienen en cuenta el grado de cobertura o porcentaje de sombreado de la plantación, que a su vez se relacionan con la superficie foliar expuesta a la radiación solar, y son claves para estimar el requerimiento de agua durante el desarrollo del cultivo. La investigación muestra que el riego localizado, incluyendo el goteo, puede disminuir la evaporación significativamente y ahorrar agua en plantaciones jóvenes, ahorro que se hace casi nulo cuando las plantas son adultas (Feres et al. 1981). El factor de la planta que más afecta la evapotranspiración es el total de superficie foliar que intercepta la radiación. El volumen de la canopia, la densidad de plantación y el estado de desarrollo son todos aspectos que influyen sobre el uso del agua por parte de los cultivos (Feres et al. 1981; Pizarro 1996). En este ensayo las labores culturales, como ortopedia de ramas también modificaron la demanda hídrica, al afectar directamente el coeficiente de sombreadamiento.

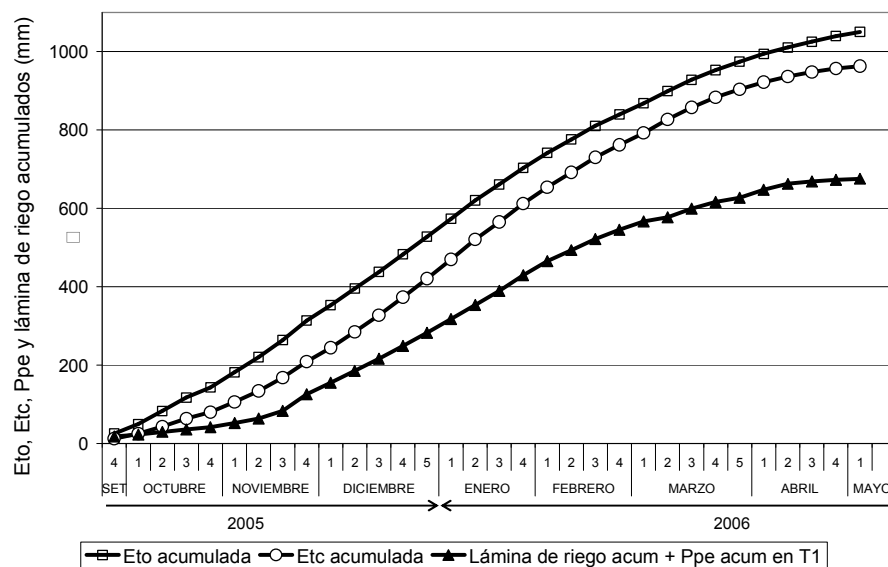


Figura 14. Evapotranspiración de referencia (Eto) y del cultivo (Etc) acumuladas, precipitación efectiva (Ppe) y lámina de riego acumuladas en el tratamiento testigo

Los tratamientos de restricción hídrica en el período de poscosecha fueron impuestos a partir del 26 de noviembre de 2005 y se extendieron hasta inicio de caída de hojas, el 5 de mayo de 2006. La fecha de inicio de restricción poscosecha fue estimada, ya que la plantación se encontraba en su tercer año de cultivo, y aún

no había fructificado. Hasta la fecha de inicio de restricción hídrica todas las parcelas recibieron los mismos volúmenes de agua, y el total fue 117 mm aproximadamente, sumadas lámina de riego y precipitación, correspondiendo 112 mm a riego y 5 mm a precipitación efectiva (Tabla 7). La lámina de agua (riego más precipitación efectiva) acumulada recibida en cada tratamiento de riego fue de 675 mm, 546 y 417 mm para T1, T2 y T3 respectivamente (Figura 15 y Tabla 7)

Tabla 7. Agua total (lámina de riego y precipitación efectiva) recibida en los tratamientos de riego

Tratamiento	Cantidad de agua recibida (mm)				
	Antes de la imposición de los tratamientos		A partir de la imposición de los tratamientos		Total del ciclo
	Riego	Precipitación efectiva	Riego	Precipitación efectiva	
T1	112	5	517	41	675
T2	112	5	388	41	546
T3	112	5	259	41	417

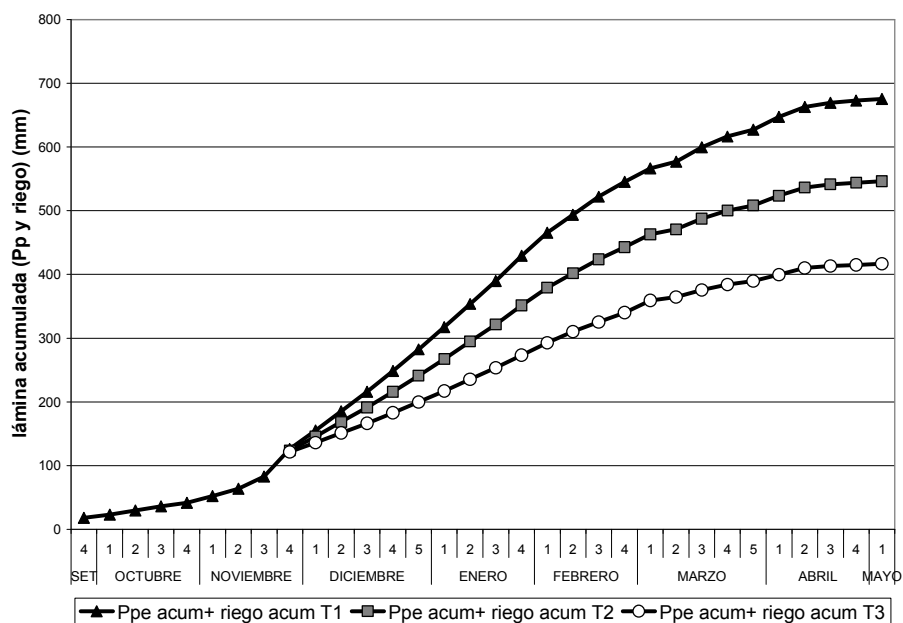


Figura 15. Lámina acumulada (riego + precipitación efectiva) en los tratamientos de riego

Si se compara en forma relativa los tratamientos y se considera el riego del tratamiento testigo (T1) como el 100 %, los tratamientos T2 y T3 recibieron el de 79

% y 59 % del riego respectivamente, lo que corresponde a un ahorro de 143 hs y 287 horas de riego en T2 y T3 respectivamente.

Si se considera el total de agua recibida (riego y precipitación efectiva), los tratamientos T2 y T3 recibieron el 81 % y 62 % del agua total del testigo.

Las cantidades de agua aplicadas durante este ciclo de cultivo en el tratamiento testigo son semejantes a las citadas en otras regiones de nuestro país aunque para una plantación en plena producción. Requena (2001), en el Alto Valle de Río Negro, en una parcela de cerezos de 7 años de las cvs. Bing y Rainier sobre portainjerto *Prunus mahaleb*, plantadas a 5 m x 1 m, y conducida en sistema 'Tatura', con plantas de 3 m de altura, y con riego por goteo, ha mencionado valores de uso consuntivo de agua de 636 mm. En relación a esto Terblanche (1981) trabajando con uva de mesa ha señalado que muchas veces plantas de mayor desarrollo foliar pueden necesitar menor cantidad de agua debido a mayores condiciones de sombreadamiento y humedad que pueden existir en plantas de mayor desarrollo vegetativo. Además diferentes sistemas de conducción, dificultan la comparación debido a diferentes sombreadamientos.

En plantaciones de cerezos Lapins/Gisella 5, distanciadas a 4 x 4,5 m Nielsen et al. (2005) han señalado para el tercer año del cultivo volúmenes de agua aplicados de 12.137 y 2.532 litros por planta para riegos de microaspersión y goteo respectivamente. En esta investigación los volúmenes de riego aplicados fueron de 8.137 L.pl⁻¹ en el tratamiento testigo. Se debe considerar que la plantación tenía mayor densidad de plantas que la mencionada en el ensayo de Nielsen et al. (2005), y un portainjerto de mayor desarrollo radical, como es el MaxMa 14.

4.3. Caracterización de la humedad en el suelo

4.3.1. Método gravimétrico

La humedad gravimétrica promedio para cada profundidad y para el total del perfil durante los 159 días de restricción hídrica presentó diferencias entre los tres tratamientos (Tabla 8).

Tabla 8. Humedad gravimétrica promedio de los tratamientos de riego para distintas profundidades de suelo y para el total del perfil

Profundidad	Humedad gravimétrica promedio (g%g)			
	0-20 cm ^z	20-40 cm ^z	40-60 cm ^z	0-60 cm ^z
Tratamiento				
T1	11,5 a ^y	12,0 a	11,6 a	11,7 a
T2	9,3 b	9,3 b	9,7 b	9,4 b
T3	7,0 c	6,8 c	6,6 c	6,8 c

^zPromedio de mediciones de 9 fechas

^ySeparación de medias en columnas según Prueba LSD de Fisher ($P \leq 0,05$)

El análisis de los datos por profundidades (Figura 16 a, b y c) indica que en los tres tratamientos todo el perfil fue explorado para el abastecimiento. El porcentaje de agua disponible remanente promedio durante el período de restricción y en la profundidad de 0-60 cm fue 88,5%, 64,6%, y 37,5% para T1, T2 y T3 respectivamente, como resultado de los regímenes de riego planteados en la metodología.

El contenido de humedad del tratamiento testigo (T1) se mantuvo siempre cercano a capacidad de campo como se pretendía, previo ajuste de la frecuencia de riego a aplicaciones diarias en los meses de alta evapotranspiración (Tabla 8)

El contenido de humedad de T3 se diferenció del testigo desde la primera fecha de medición, que se realizó apenas una semana después de iniciados los tratamientos, en las tres profundidades, indicando una rápida respuesta al déficit hídrico acorde a la baja capacidad de almacenaje del perfil, con repercusión en el estado hídrico de la planta como más abajo se detalla. En algunas fechas de medición, el contenido de humedad del T3 fue extremadamente bajo, cercano a la capacidad de marchitamiento permanente. (Figuras 16 a, b y c).

Los contenidos de humedad gravimétrica en suelos pedregosos son de relativa utilidad y deben complementarse con mediciones del estado hídrico en la planta. También es difícil la selección del lugar a barrenar cada vez, lo que lleva a variaciones considerables. Así lo señalan Warrick y Nielsen (1980), quienes han indicado que las mediciones de agua del suelo exhiben una sustancial variabilidad espacial, atribuida a una irregular distribución de raíces, que dificulta la elección de la zona donde monitorear el estatus de agua; y a una gran variación espacial de parámetros hidráulicos del suelo, especialmente en montes con riego por goteo, que hacen imprecisa la estimación del agua disponible y limitan la interpretación de

resultados basados en humedad de suelo. Otra limitación del control de humedad en el suelo es que las mediciones no están directamente vinculadas al estrés en la planta y por lo tanto a los síntomas en la planta, que son los que en definitiva afectan el crecimiento y la productividad (Mc Cutchan y Shackel 1992).

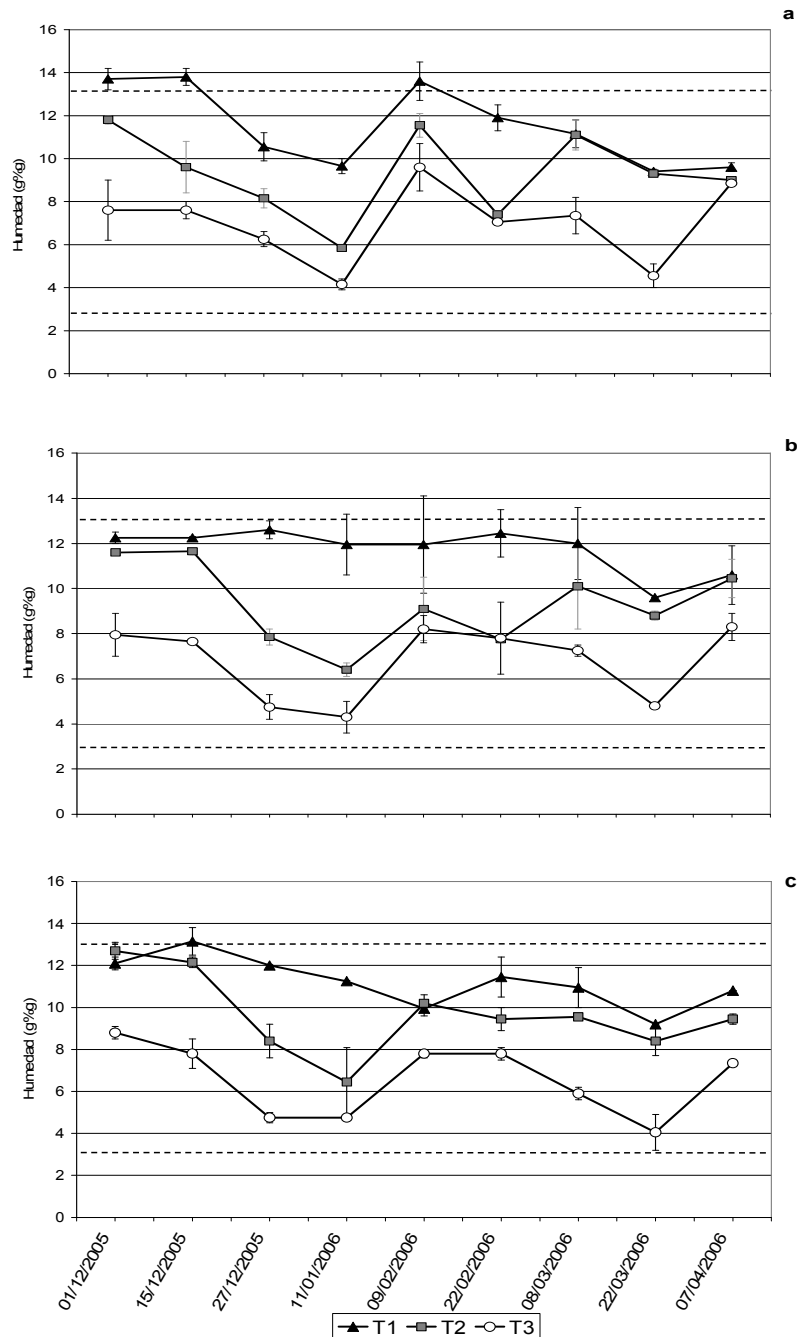


Figura 16. Humedad gravimétrica a 20 cm (a), 40 cm (b) y 60 cm (c) de profundidad durante la imposición de los tratamientos de riego. Los símbolos representan la media de 2 mediciones en cada profundidad. Barras verticales indican error estandar de las medias, barras no visibles están dentro del área del símbolo.

4.3.2. Sensores de humedad de suelo

El subsuelo pedregoso dificultó la instalación correcta de la sonda de capacitancia y su calibración. La ecuación de calibración para todo el perfil fue:

Humedad gravimétrica (g%g) = 15,3 . Frecuencia normalizada^{1,19} ($r^2 = 0,61^{**}$, n=30).

Se realizaron mediciones en 19 fechas desde el inicio de los tratamientos, y a pesar de que el ajuste de la curva de calibración fue bajo, en la Figura 17 se presenta la variación estacional del contenido de humedad gravimétrica medido con sonda de capacitancia.

Los sensores de bloque de matriz granular no dieron resultados satisfactorios. Los sensores se comportaron mejor en el tratamiento más húmedo T1 (Tabla 9), en cambio en los tratamientos de restricción hídrica el aire alrededor del sensor alteró su funcionamiento y las lecturas fueron descartadas (datos no presentados).

Tabla 9. Succión matriz a 40 cm de profundidad del tratamiento testigo durante la imposición de los tratamientos de riego.

Succión Matriz (kPa)									
2005						2006			
Fecha	24/11 ^z	2/12	7/12	15/12	21/12	27/12	4/1	11/1	22/2
	13	15	19	27	31	42	42	56	27

^zMedia de 3 mediciones

A modo de referencia y para rescatar la información de valores de succión matriz, a través de las curvas de capacidad hídrica (Figura 33) y de la humedad gravimétrica promedio para distintas profundidades de suelo y para el total del perfil (Tabla 8), se estimaron los valores de succión matriz (Tabla 10).

Tabla 10. Succión matriz promedio estimada de los tratamientos de riego para distintas profundidades de suelo y para el total del perfil

Succión matriz promedio (kPa)				
Profundidad	0-20 cm ^z	20-40 cm ^z	40-60 cm ^z	0-60 cm ^z
Tratamiento				
T1	19	18	19	18
T2	30	30	24	30
T3	170	180	230	180

^zPromedio de estimación de 9 fechas

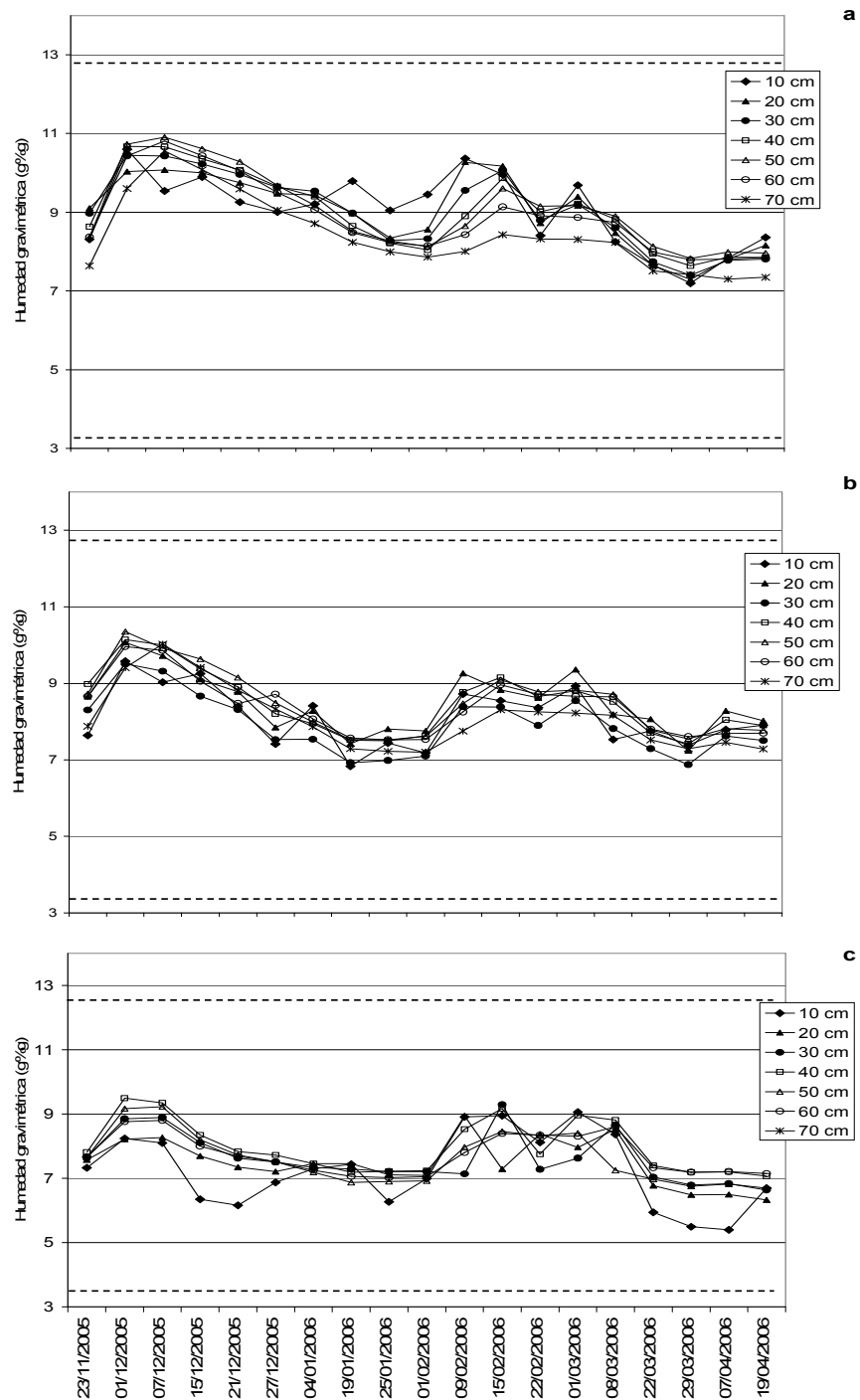


Figura 17. Contenido de humedad del suelo en las capas de 0 a 70 cm de profundidad en T1 (a), T2 (b) y T3 (c) medido con sonda de capacitancia durante la imposición de los tratamientos de riego. Los símbolos representan la media de 3 mediciones en cada profundidad.

4.4. Caracterización del estado hídrico de la planta

Durante el período de imposición de los tratamientos el estado hídrico de las plantas medido a través de ψ_t a lo largo de la estación presentó diferencias estadísticamente significativas entre los tres tratamientos (Figura 18). En el tratamiento de mayor restricción hídrica (T3) el ψ_t fue menor que el de T1 a partir de la primera semana desde la restricción del riego, en el tratamiento de menor restricción (T2) esto ocurrió recién dos semanas después del inicio de los riegos deficitarios y hasta la última medición. La baja capacidad de almacenaje de agua del perfil del suelo en la zona útil de exploración radical (78,6 mm), facilitó el establecimiento rápido y el mantenimiento de los déficits hídricos.

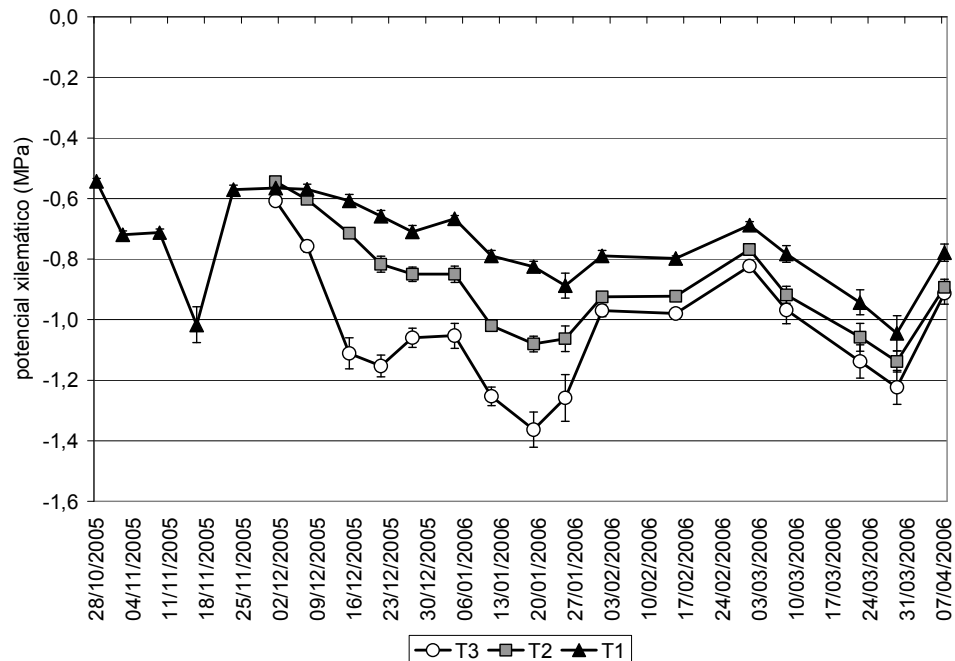


Figura 18. Variación estacional del potencial tallo a mediodía de cerezos 'Bing' durante la imposición de los tratamientos de riego. Los símbolos representan la media de 10 mediciones. Barras verticales indican error estandar de las medias, barras no visibles están dentro del área del símbolo.

En todos los tratamientos ψ_t disminuyó a medida que aumentaron las temperaturas durante el verano, incluso en el tratamiento testigo (Figura 18). La intensidad del estrés fue mayor en los meses de diciembre y enero, en correspondencia con una demanda atmosférica alta. Otros trabajos también han constatado que aún en el tratamiento control bien regado habría un desbalance entre demanda y oferta de agua en épocas de alta temperatura en verano (Shackel et al. 1997; Riveros 2003). Shackel et al. (1997) consideraron las condiciones

ambientales de temperatura y humedad con las que desarrollaron tablas de valores esperados de potencial o valores de línea base para ciruelo europeo y almendro, en las que los menores valores de potencial tallo corresponden a condiciones de alta temperatura y baja humedad. El ψ_t disminuye linealmente a medida que aumenta el déficit de presión de vapor (Mc Cutchan y Shackel 1992).

En este ensayo en cerezos los valores de ψ_t con riego completo (T1) en pleno verano variaron entre -0,6 y -0,88 MPa (Figura 18), semejantes a los mencionados en California con riego completo y en pleno verano para ciruelos y almendros (-0,6 a -1,0 MPa) (Fulton et al. 2001), y para durazneros (-0,8 MPa) (DeJong 1998). Localmente en duraznero cv. Elegant Lady con riego completo se han obtenido valores de ψ_t a mediodía de -0,55 a -0,8 MPa (Riveros 2003).

El T3, de mayor estrés, en pleno verano alcanzó valores de -1,36 MPa. Si bien en algunas parcelas llegó a valores -1,53 MPa, no se observaron síntomas como amarillamiento o caída de hojas. En cerezos, Dochev et al. (2001) han señalado disturbios en el balance de agua de las plantas con -1,25 MPa de ψ_t a mediodía y síntomas de estrés severo a partir de -1,4 MPa; y Shackel et al. (1997) encontraron detención del crecimiento de brotes cuando el ψ_t se ubicó por debajo de -1,5 MPa. En manzanos, semejantes niveles de estrés, -1,5 MPa, en suelos de escasa profundidad produjeron defoliación prematura (Ebel et al. 2001).

El ψ_t presentó una gran sensibilidad a cambios de nivel de riego. Similares resultados han sido señalados en manzanos (Naor et al. 1995), nectarines (Naor 1998) y ciruelas europeas (Mc Cutchan y Shackel 1992). En ciruelas Mc Cutchan y Shackel (1992) señalaron que el ψ_t a mediodía fue más sensible a los niveles de estrés hídrico que el potencial hoja, y permitió detectar pequeñas diferencias en los niveles de riego. Aunque el ψ_t cambió a lo largo del día, a mediodía las lecturas fueron bastante estables (Naor 2000).

Durante el período de restricción en los tres tratamientos se obtuvieron valores muy bajos de ψ_t en mediciones realizadas a fines del mes de marzo (Figura 18), una vez terminado el verano. Ellas pueden explicarse por un aumento de temperaturas medias diarias y por el cambio en el intervalo de riego que se realizó en ese momento del ciclo, como se puntualizara en materiales y métodos. Debido al incremento de la demanda hídrica y la disminución de la frecuencia de reposición (2 días) se produjo déficit hídrico temporario en todos los tratamientos al final del ciclo de cultivo. Aún así en el mes de marzo el ψ_t presentó diferencias estadísticas

significativas entre tratamientos, lo que indica que hubo diferencias en la intensidad del déficit.

Previo a los tratamientos de riego se observa una fecha en que los valores de potencial hídrico en plantas bien regadas fueron muy bajos, inferiores a $-1,0$ MPa (Figura 18). Corresponde a dos jornadas consecutivas con viento Zonda, que se produjeron al comenzar la cuarta semana de noviembre. Las condiciones de estrés hídrico no son solamente causadas por factores relacionados con el riego o la oferta hídrica, eventos como vientos cálidos y secos pueden causar situaciones de estrés hídrico.

El ψ_t promedio de las plantas durante todo el período de restricción fue $0,12$ MPa menor en T2 y $0,25$ MPa menor en T3 respectivamente que en el tratamiento testigo (T1) (Tabla 11). Las mediciones realizadas en pleno período de crecimiento de brotes presentan diferencias mayores, de hasta $0,5$ MPa, obteniéndose potenciales más negativos en el tratamiento más estresado (Figura 18).

Tabla 11. Potencial hídrico xilemático a mediodía de plantas de cerezo 'Bing'. Promedio del período de imposición de los tratamientos de riego

Tratamiento	Potencial hídrico xilemático al mediodía (MPa) ^z
T1	$-0,76$ a ^y
T2	$-0,88$ b
T3	$-1,01$ c

^zPromedio de mediciones de 17 fechas

^ySeparación de medias según Prueba LSD de Fisher ($P \leq 0,05$)

Existen escasas evidencias experimentales de potenciales hídricos en cerezos. Proebsting et al. (1981) reportan valores de potencial foliar para plantas bien regadas (con reposición del 100 % de ETc) al mediodía del orden de $-1,4$ MPa. En ensayos realizados en Chile los valores de ψ_t en condiciones de riego completo variaron entre $-0,89$ y $-0,94$ MPa en las cv. Lapins, Summit y Celeste (Ferreyra y Sellés 2005), menores al potencial hídrico promedio del testigo en este ensayo.

Los resultados confirman que el ψ_t es un buen indicador del estado hídrico del sistema suelo-planta, tal como ha sido reportado por otros investigadores (Mc Cutchan y Shackel 1992; Naor et al. 1995). El mínimo ψ_t que se alcanza a mediodía caracteriza bien el máximo déficit hídrico de la planta porque considera la máxima demanda evaporativa del día junto con la humedad del suelo (Ebel et al. 2001).

4.5. Registros fenológicos

En el año 2006, luego del primer año de imposición de los tratamientos de riego, la senescencia de las hojas y la fecha de abscisión de hojas no fueron afectadas por los tratamientos de déficit hídrico poscosecha (Tabla 12).

Tabla 12. Fechas de ocurrencia de los estados fenológicos de cerezos 'Bing' en los tratamientos durante el año 2006, luego del primer año de experiencia y previo a la segunda temporada de ensayo

Estado Fenológico	Subestado fenológico	Fecha (media para cada tratamiento)		
		T1	T2	T3
Caída de Hojas	Inicio	5/05	5/05	5/05
Floración	Inicio	22/09	22/09	20/09
	Plenitud	28/09	28/09	24/09
	Fin	4/10	4/10	1/10
Brotación	Inicio	5/10	5/10	2/10
Maduración de frutos	Inicio	24/12	24/12	24/12

En otros ensayos en frutales se ha indicado que el déficit hídrico produjo defoliación prematura. En manzanos 'Delicious' Ebel et al. (2001) encontraron que en situaciones de estrés severo y en suelos de escasa profundidad se produjo defoliación prematura en pleno verano, aunque en ese ensayo los niveles de estrés alcanzaron valores de ψ_t a mediodía inferiores a -3 MPa, mucho menores a los ψ_t medidos en este ensayo. En aquella situación de déficit severo la defoliación se completó en un período de 2 a 3 semanas, y la senescencia y abscisión de hojas fue acrópeta. En un ensayo de cuatro temporadas sucesivas de RDC poscosecha en durazneros de maduración temprana Johnson et al. (1992) indicaron que en el tratamiento seco, en el que se interrumpió el riego desde fin de cosecha (diciembre) hasta coloración otoñal de hojas (abril), aunque se detectó cierre estomático casi completo el primer año, los árboles no mostraron otros síntomas de estrés severo como defoliación o muerte de ramas.

En el ciclo de cultivo posterior al de la imposición de los tratamientos (2006) se registró un adelanto de la floración y brotación de las plantas del tratamiento de mayor restricción (Tabla 12), que podría aumentar el riesgo de daños por helada en primavera.

4.6. Crecimiento vegetativo

4.6.1. Mediciones en ramas

En el tratamiento testigo (T1) el período de crecimiento de brotes durante el ciclo del cultivo fue de 120 días, y la elongación se detuvo a principios de febrero, tanto en brotes normales como vigorosos (o 'chupones'), cuando se formó la yema terminal en cada brote (Figura 19).

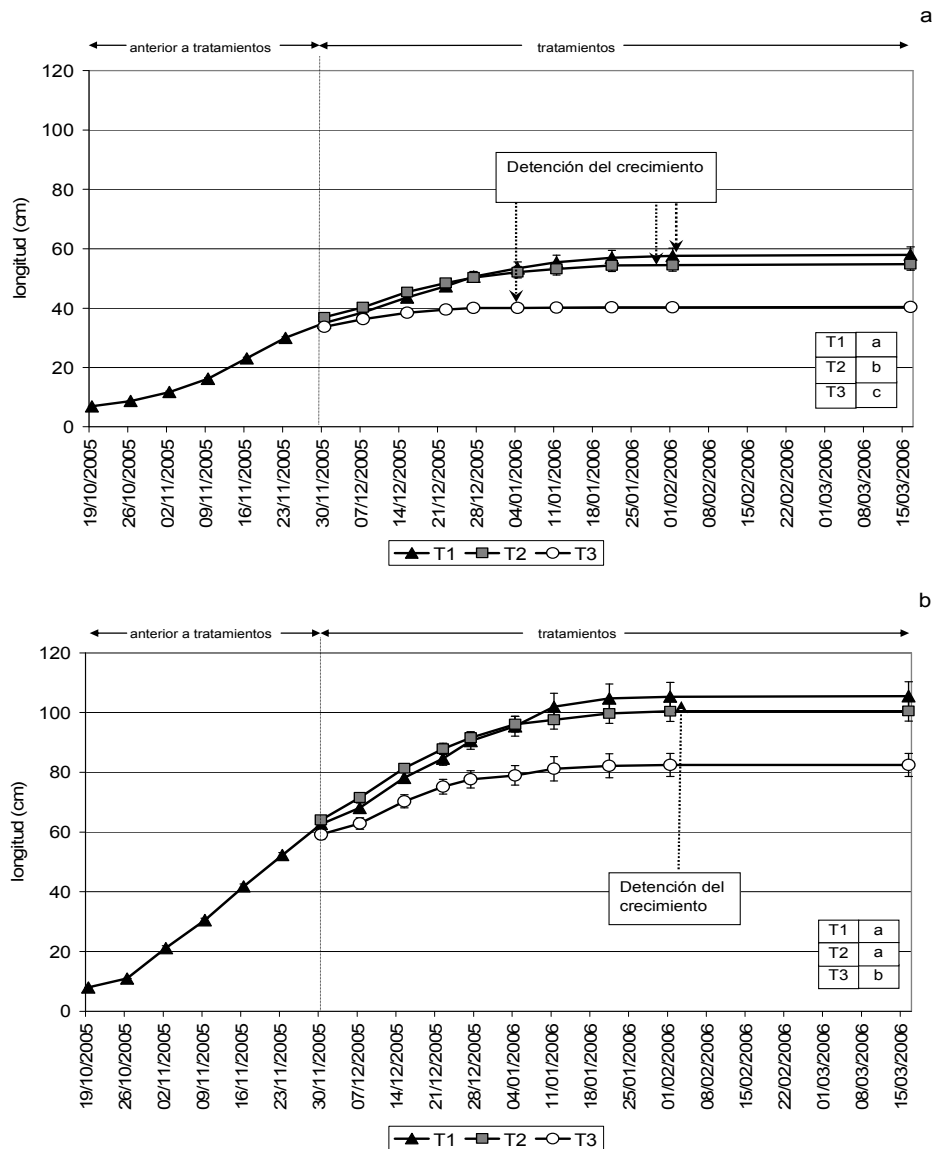


Figura 19. Perfiles de crecimiento longitudinal de brotes de cerezo 'Bing' de los tratamientos de riego a) brotes normales, b) brotes vigorosos ('chupones'). Los símbolos representan la media de 40 brotes (a) y 20 brotes (b). Barras verticales indican error estandar de las medias, barras no visibles están dentro del área del símbolo. Separación de perfiles de crecimiento según Prueba de Hotelling ($P \leq 0,05$)

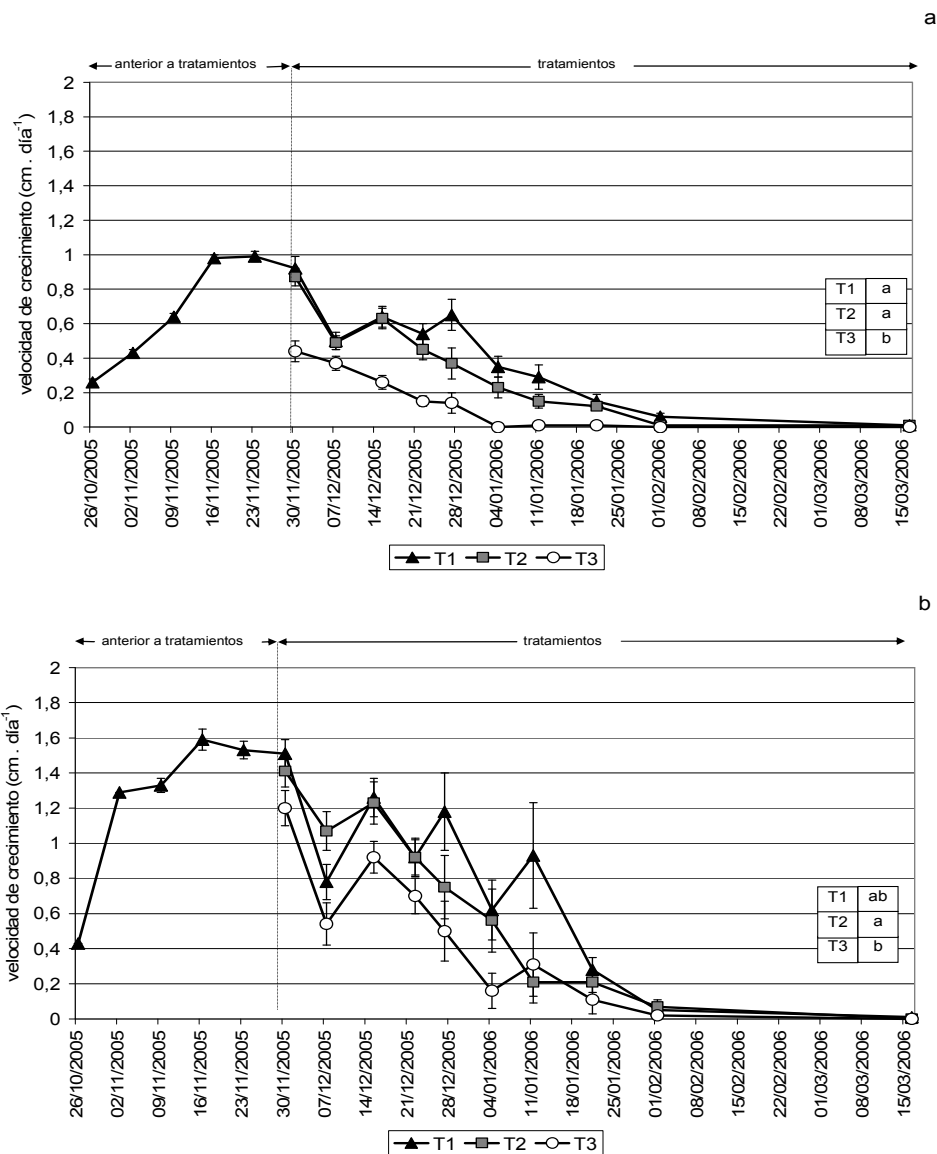


Figura 20. Perfiles de la tasa de crecimiento longitudinal de brotes de cerezo 'Bing' de los tratamientos de riego a) brotes normales, b) brotes vigorosos ('chupones'). Los símbolos representan la media de 40 brotes (a) y 20 brotes (b). Barras verticales indican error estandar de las medias, barras no visibles están dentro del área del símbolo. Separación de perfiles de crecimiento según Prueba de Hotelling ($P \leq 0,05$)

En los primeros 60 días los brotes crecieron 2/3 de su crecimiento total, a causa de una alta velocidad de crecimiento inicial, que alcanzó valores máximos a mediados del mes de noviembre (16 de noviembre), antes de la imposición de los tratamientos de restricción hídrica ($1 \text{ cm} \cdot \text{día}^{-1}$ en brotes normales y $1,6 \text{ cm} \cdot \text{día}^{-1}$ en brotes de crecimiento vigoroso; Figura 20). A partir de fines de diciembre los brotes de crecimiento normal crecieron lentamente hasta detenerse el 1 de febrero. Los

brotos vigorosos, en cambio, mantuvieron una alta tasa de crecimiento hasta mediados de enero (11 de enero), luego el crecimiento fue lento (Figura 20).

Elfving y Visser (2005) en una plantación de 3 años de cerezo 'Bing'/Mazzard aún sin producción obtuvieron un perfil de crecimiento similar al del tratamiento testigo en este ensayo, con un máximo crecimiento de brotes desde mediados de noviembre hasta mediados de diciembre. En árboles maduros también se ha señalado que la mayor tasa de crecimiento ocurrió en noviembre (Manríquez et al. 2005).

Ambos tratamientos de déficit hídrico disminuyeron el crecimiento de brotes normales, en cambio el crecimiento de brotes vigorosos ('chupones') sólo fue controlado por la mayor restricción hídrica (T3). En T3 la tasa de crecimiento de brotes, normales y vigorosos, disminuyó abruptamente desde la primera semana a partir de la imposición de los tratamientos (30 de noviembre) y los brotes normales detuvieron su crecimiento 40 días después de iniciada la restricción hídrica (4 de enero; Figuras 19 y 20). Con una restricción hídrica menor (T2), en cambio, la tasa de crecimiento de ramas normales disminuyó recién un mes después de imponer los tratamientos (Figuras 19 y 20). La escasa capacidad de almacenaje de agua del perfil del suelo facilitó el establecimiento rápido de los déficits hídricos. En todos los casos el crecimiento de los brotes fue importante en la temporada, y se puede explicar porque se trató de un monte de 3 años, vigoroso, que aún no había fructificado. Erf y Proctor (1987) en plantas de manzano encontraron importantes diferencias en el crecimiento de brotes entre plantas con y sin frutos.

Al finalizar el ciclo de cultivo en ambos tratamientos de restricción hídrica los brotes de crecimiento normal presentaron menor longitud que los del testigo (Tabla 13). En T3 también fue menor el crecimiento de brotes vigorosos.

Tabla 13. Longitud de brotes de cerezo 'Bing' de los tratamientos de riego al finalizar el ciclo de cultivo

Tratamiento	Longitud final de brotes (cm)	
	Brotos de crecimiento normal ^z	Brotos de crecimiento vigoroso ^y
T1	59,7 a ^x	105,5 a
T2	52,6 b	100,5 a
T3	40,4 c	82,5 b

^zMedia de 40 brotes

^yMedia de 20 brotes

^xSeparación de medias en columnas según Prueba LSD de Fisher ($P \leq 0,05$)

El análisis del crecimiento de brotes, número de entrenudos y longitud promedio de entrenudos producidos sólo a partir de la fecha de imposición de los tratamientos de déficit y en ramas de crecimiento normal mostró que el crecimiento longitudinal de brotes promedio fue significativamente menor en ambos tratamientos de riego deficitario (Figura 21). Pero en el tratamiento de menor restricción (T2) se debió sólo a una disminución significativa de la longitud de entrenudos; en cambio en el tratamiento T3 también fue menor el número de entrenudos, y esto se puede explicar por la detención anticipada del crecimiento de brotes en este tratamiento (Figuras 19 y 21) .

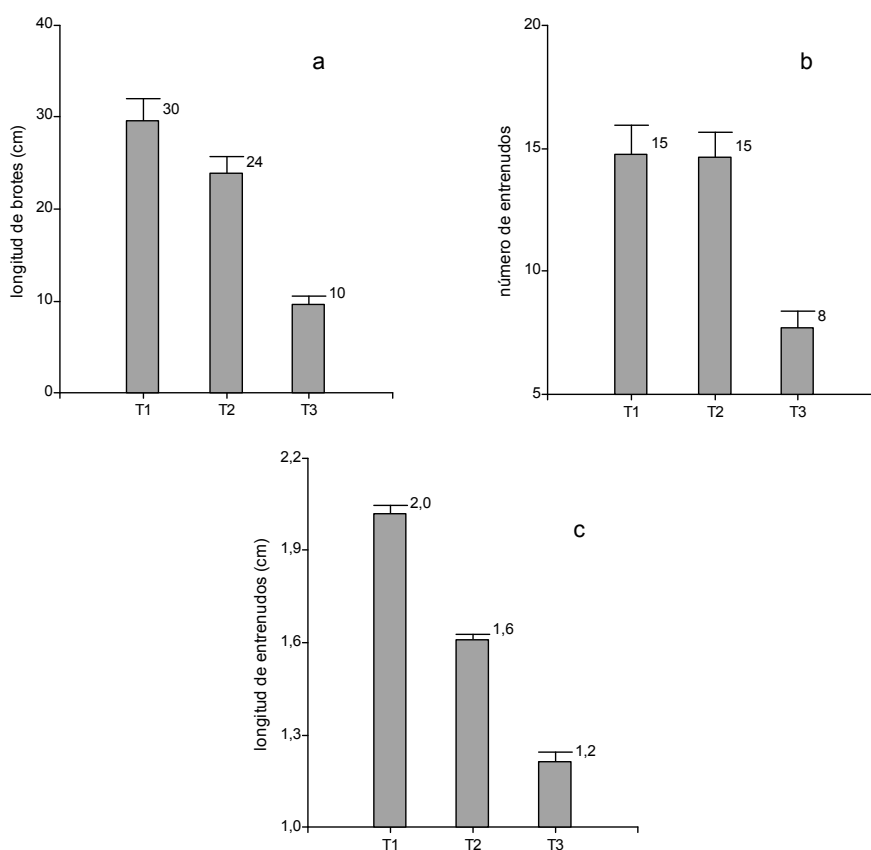


Figura 21. Longitud de brotes de crecimiento normal (a), número de entrenudos (b) y longitud de entrenudos (c) de cerezos 'Bing' producidos a partir de la imposición de los tratamientos de riego. Las barras representan la media de 40 brotes. Barras verticales indican error estandar de las medias.

La reducción de la tasa de crecimiento de brotes y también de otros parámetros fisiológicos como conductancia estomática y desarrollo de la canopia (crecimiento de brotes y expansión foliar) son prontas respuestas al estrés hídrico, que ocurren antes del cierre estomático y de la reducción de la fotosíntesis

(Bradford y Hsiao 1982). Se ha indicado que estas estrategias de regulación de las pérdidas de agua de las plantas aparentemente serían más pronunciadas en especies leñosas que en plantas herbáceas (Camacho et al. 1974).

Flore y Layne (1999) en *Prunus* señalaron que los órganos vegetativos más afectados por un déficit hídrico fueron el crecimiento de las hojas, longitud de brotes, emergencia foliar y diámetro de tronco en ese orden. En ensayos de RDC poscosecha en variedades de maduración temprana de duraznero también se ha señalado una clara disminución del crecimiento de brotes (Johnson et al. 1992), aunque también hay antecedentes en los que la longitud de brotes no fue afectada (Larson et al. 1988) y los autores concluyeron que se debió a que la mayor parte del crecimiento de brotes había ocurrido en la primavera antes de la fecha de cosecha. Aún así hubo una tendencia en el tratamiento menos regado a disminuir el diámetro de los brotes y una marcada reducción del crecimiento radial de tronco, que indica un efecto inhibitorio del estrés hídrico sobre el crecimiento secundario (engrosamiento) de ambos, brotes y tronco.

Se sabe que el estrés hídrico afecta la partición de materia seca entre órganos que compiten, y depende de la estación, del clima, y de la fuerza como destino de los distintos órganos (Flore y Layne 1999). Para controlar el crecimiento vegetativo el momento de restricción es crítico, siendo más efectiva la restricción cuando mayor sea la tasa de crecimiento de brotes (Veihmeyer 1975). En esta investigación los tratamientos de riego deficitario comenzaron en primavera en un período de alto desarrollo vegetativo, y en plantas sin frutos. La baja capacidad de retención hídrica del suelo y el método de riego por goteo, que mantiene las raíces confinadas en un volumen de suelo reducido, facilitaron un rápido establecimiento de los déficits hídricos apenas iniciados los tratamientos y en un período de alta tasa de crecimiento de brotes. Sin embargo teniendo en cuenta la ocurrencia de máxima velocidad de crecimiento (Figura 20 a y b), el déficit podría iniciarse a partir de mediados de noviembre para control de crecimiento en plantaciones jóvenes. En plantas en producción, en cambio, para evitar comprometer el calibre de los frutos el déficit hídrico se podría imponer rápidamente luego de completada la maduración y recolección de frutos, que en esta plantación ocurre a fines de noviembre. Riegos localizados y suelos con baja capacidad de almacenaje de agua son claves para la imposición rápida de un déficit. El momento de déficit es obviamente importante, pero también la duración y el grado de estrés son factores determinantes (Johnson y Handley 2000).

El número de hojas, como el área foliar y el peso seco foliar producidos en ramas de crecimiento normal a partir de la imposición de los tratamientos fueron significativamente menores en el tratamiento de mayor restricción con respecto a los otros tratamientos (Figura 22). En T2 se observa una tendencia (aunque no significativa), a una disminución de estas variables con respecto al testigo.

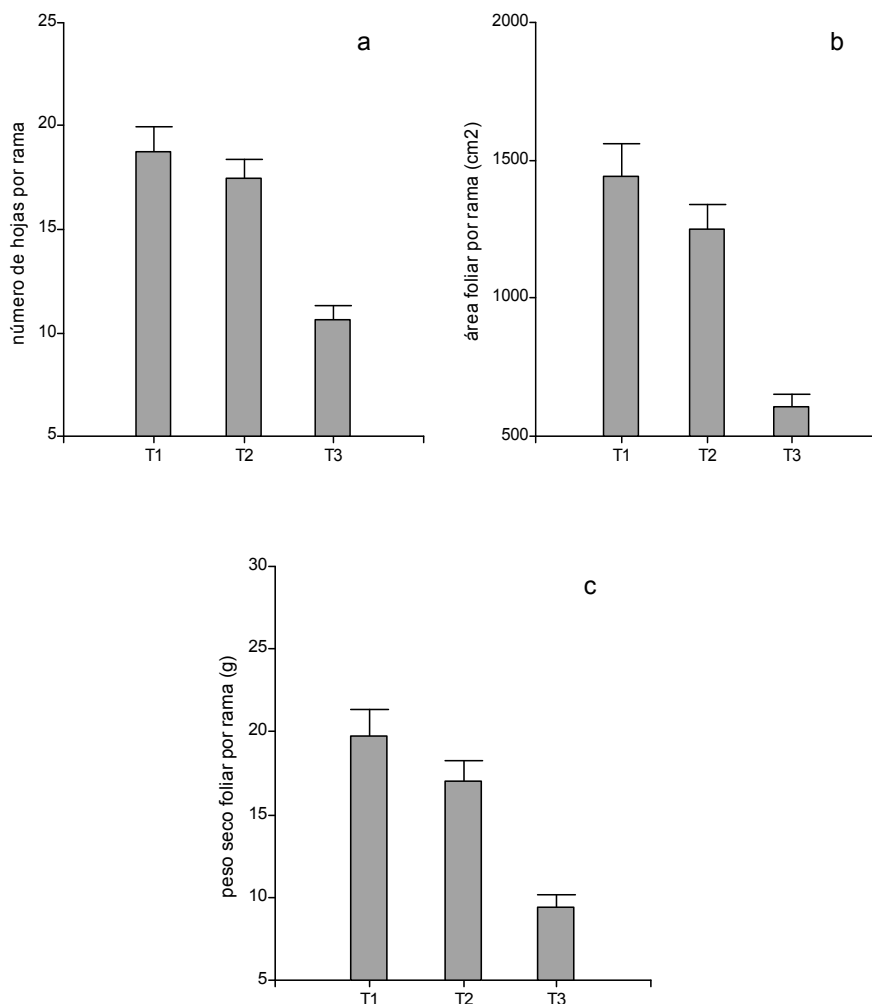


Figura 22. Número de hojas (a), área foliar (b) y peso seco foliar (c) de cerezos 'Bing' producidos a partir de la imposición de los tratamientos de riego. Las barras representan la media de 40 brotes. Barras verticales indican error estándar de las medias

Las hojas de los dos tratamientos de déficit hídrico, presentaron distinta morfología con respecto a las del tratamiento testigo: menor tamaño, menor ancho y con ondulaciones del limbo foliar. El área foliar y peso seco promedio de una hoja fueron menores que los del testigo (Tabla 14); y a mayor nivel de déficit correspondió menor tamaño y peso seco foliares. Así, en T2 el área y el peso seco

de una hoja disminuyeron 7% y 9 % respectivamente; y en T3 disminuyeron 26 % y 16 % respectivamente con respecto a las hojas del testigo.

Tabla 14. Área foliar y peso seco foliar unitarios, y peso específico foliar de cerezo 'Bing' producidos durante la imposición de los tratamientos de riego

Tratamiento	Área de una hoja (cm ² .hoja ⁻¹) ^z	Peso seco de una hoja (mg.hoja ⁻¹) ^z	Peso específico foliar (mg.cm ⁻²) ^z
T1	74,5 a ^y	1030 a	13,6 b
T2	69,0 b	940 b	13,9 b
T3	55,2 c	860 c	15,7 a

^zMedia de 40 brotes

^ySeparación de medias en columnas según Prueba LSD de Fisher (P≤0,05)

La disminución del área foliar ha sido considerada como una respuesta de adaptación al estrés. Boland et al. (1993) señalaron mecanismos de reducción de las pérdidas de agua a través del cierre de estomas y la reducción del área foliar en situaciones de RDC por períodos largos en duraznos de industria cv. Golden Queen. Knark y Demirtas (2002) estudiaron en cerezos los cambios morfológicos y fisiológicos que se producen como respuesta al estrés y señalaron que el mayor efecto inhibitorio del déficit en el crecimiento se observó en el área foliar, seguido por el crecimiento de brotes y diámetro de tronco. El crecimiento de las hojas se ha señalado como muy sensible a la inhibición por estrés hídrico, más que el crecimiento de las raíces (Hsiao 2000). Bajo estrés hídrico se ha citado un aumento de ácido abscísico en hojas y raíces, y un aumento del transporte de este ácido desde las raíces hacia las hojas que afectaría el crecimiento de la pared celular (Hsiao 1973). El crecimiento de las hojas de una planta define el tamaño de su canopia para captar la luz y llevar a cabo la fotosíntesis. Si el déficit ocurre cuando la canopia no se ha desarrollado completamente para interceptar toda la radiación fotosintéticamente activa, podría producir una disminución de fotosíntesis por unidad de área aunque el déficit sea leve (Hsiao 1973).

El peso específico de las hojas en el tratamiento de mayor déficit (T3) fue significativamente mayor que en el testigo (Tabla 14). El incremento de peso específico foliar con tratamientos de riego deficitario ha sido reportado para varias especies (Wilson et al. 1987; Johnson et al. 1992). En plantas sin déficit hídrico se ha mencionado valores de peso específico foliar de duraznero de 5,2 mg.cm⁻² (Johnson et al. 1992) y de manzano de 11,5 mg.cm⁻² (Erf y Proctor 1987), menores al obtenido en esta investigación en cerezo, que fue 13,6 mg.cm⁻². En este ensayo el peso específico de la hoja en T3 aumentó 15 % con respecto al testigo, y en

alguna medida podría reducir la pérdida de peso foliar total causada por la menor longitud de brotes, número de hojas y área foliar.

4.6.2. Mediciones en toda la planta

El incremento de la variable área de sección de tronco a 30 cm del suelo medido luego de los tratamientos de déficit y antes de la brotación del ciclo siguiente puso en evidencia el efecto de la restricción hídrica impuesta a lo largo de toda la temporada. En el tratamiento de mayor restricción (T3) el crecimiento del área de tronco fue significativamente menor que el del testigo (Figura 23 y Tabla 15). La disminución de los incrementos de área de sección transversal de tronco ha sido utilizada como un indicador claro de disminución de vigor en cerezos (Edin et al. 1997; Elfving y Visser 2005; Manríquez et al. 2005; Nielsen et al. 2005).

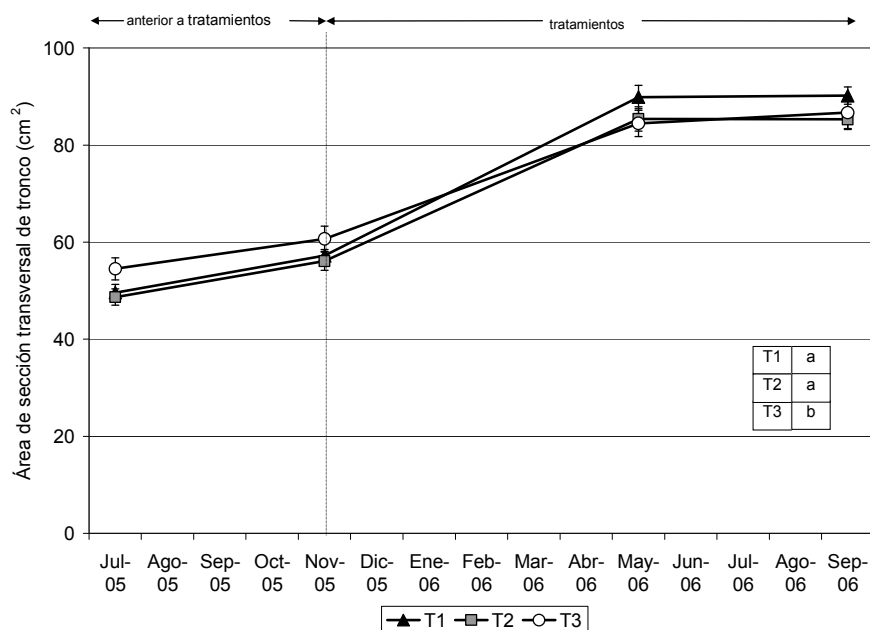


Figura 23. Perfiles de crecimiento de área de sección transversal de tronco de cerezo 'Bing' de los tratamientos de riego. Los símbolos representan la media de 10 árboles. Barras verticales indican error estándar de las medias, barras no visibles están dentro del área del símbolo. Separación de perfiles de crecimiento según Prueba de Hotelling ($P \leq 0,05$)

Hay numerosas evidencias de disminución de crecimiento de troncos con aplicaciones de RDC en otras especies. En durazneros de maduración temprana con RDC poscosecha Larson et al. (1988) determinaron que el crecimiento radial luego de una temporada de déficit fue del 71 % respecto al testigo.

Tabla 15. Incremento del área de sección transversal de tronco (ASTT) de cerezo 'Bing' producido durante el ciclo de cultivo en el que se realizó el ensayo

Tratamiento	Incremento del ASTT durante el ciclo de cultivo (cm ²) ^z	% con respecto al testigo
T1	40,3 a ^y	100
T2	36,7 a	91
T3	30,0 b	74

^zMedia del ASTT de 10 árboles medida a 30 cm del suelo

^ySeparación de medias según Prueba LSD de Fisher (P≤0,05)

En este ensayo sólo el déficit de mayor intensidad disminuyó significativamente el crecimiento del área de tronco, aunque ambos tratamientos deficitarios disminuyeron el crecimiento de brotes. En coincidencia con estos resultados Flore y Layne (1999) en *Prunus* señalaron que entre los órganos vegetativos los más afectados por un déficit hídrico fueron en orden decreciente el crecimiento de las hojas, longitud de brotes, emergencia foliar y diámetro de tronco. Sin embargo en evaluaciones de varios años de respuestas de durazneros tempranos al déficit hídrico, se ha indicado un efecto mayor sobre el crecimiento diametral de tronco que sobre la longitud de brotes, atribuido esto a que el crecimiento vegetativo se completó en diciembre (DeJong et al. 1987) pero el crecimiento radial continuó a través de toda la estación (Garnier y Berger 1986).

La suma acumulada del crecimiento de todos los brotes producidos en la planta durante el ciclo de cultivo, que incluye brotes de crecimiento normal y vigoroso, indica que la longitud de brotes en T3 disminuyó 28 % con respecto a T1 y confirma la efectividad de la restricción hídrica en el control de crecimiento vegetativo. En T2 se observó sólo una tendencia a una reducción del 8 % del crecimiento total de brotes (Tabla 16).

Tabla 16. Crecimiento longitudinal de brotes por planta de cerezo 'Bing' de los tratamientos de riego al finalizar el ciclo de cultivo

Tratamiento	Crecimiento ^z acumulado (m)	% con respecto al testigo
T1	60,1 a ^y	100
T2	55,1 a	92
T3	43,3 b	72

^zMedia del crecimiento total de 5 árboles

^ySeparación de medias según Prueba LSD de Fisher (P≤0,05)

4.7. Estado nutricional

4.7.1. Macro y micronutrientos foliares

Los valores de los macro y micronutrientos en el tratamiento testigo se consideraron normales de acuerdo a los estándares indicados para cerezo (Johnson y Uriu 1989; Sánchez 1999), y similares a los indicados para 'Bing'/MaxMa 14 por Nielsen y Kappel (1996) (Tabla 17).

En cerezos se ha indicado que un adelanto de senescencia y abscisión de hojas afectó la recuperación de N desde las hojas hacia los tejidos leñosos, incluyendo yemas de flor y brotes (Guak et al. 2005). En este ensayo los tratamientos de riego deficitario no adelantaron la senescencia y abscisión de hojas y tampoco se registró diferencias en nitrógeno foliar.

El contenido de fósforo disminuyó significativamente en el tratamiento de mayor déficit hídrico (T3) con respecto al testigo, y en el tratamiento de menor déficit (T2) no se diferenció estadísticamente del testigo, aunque se observó una tendencia a una disminución del fósforo foliar.

Tabla 17. Concentración de macro y micronutrientos foliares de cerezo 'Bing' de los tratamientos de riego

Tratamiento	T1	T2	T3
Macronutrientos (% de materia seca)			
Nitrógeno ^z	2,60 a ^y	2,64 a	2,82 a
Fósforo ^z	0,21 a	0,18 ab	0,17 b
Potasio ^z	2,82 a	2,75 a	2,34 b
Calcio ^z	1,48 a	1,46 a	1,48 a
Magnesio ^z	0,27 a	0,27 a	0,27 a
Micronutrientos (mg.kg ⁻¹ de materia seca)			
Hierro ^z	120,20 a	112,40 a	116,20 a
Zinc ^z	21,80 a	26,20 a	21,40 a
Manganeso ^z	37,80 a	33,60 a	41,00 a

^zMedia de 5 muestras de 32 hojas

^ySeparación de medias en filas según Prueba LSD de Fisher (P≤0,05)

El contenido de potasio foliar también disminuyó significativamente en el tratamiento de mayor restricción hídrica, aunque igualmente se mantuvo en un rango adecuado. Otros autores también han señalado en cerezos con riego por goteo y restricción hídrica una disminución del K foliar y se ha atribuido a una restricción en el desarrollo de las raíces (Nielsen et al. 2005). En general se ha

observado para muchos frutales un crecimiento bimodal de las raíces, con un crecimiento importante en primavera y uno en otoño (Flore y Layne 1999). Sin embargo, estudios recientes en cerezos indicaron que las raíces crecen a lo largo de todo el verano (Atkinson y Wilson 1980) y hay un solo período de crecimiento que se extiende desde apertura de yemas hasta formación de yema terminal. En este ensayo la imposición de déficit hídrico durante todo el verano pudo haber restringido el volumen radical.

Entre los micronutrientes el contenido de cobre presentó diferencias significativas entre tratamientos, que podría atribuirse a contaminación de la muestra foliar en la determinación de este micronutriente (datos no presentados).

Los contenidos de macro y micronutrientes foliares se consideran adecuados para el crecimiento de cerezos en los tres tratamientos. Se ha señalado que el sistema radical de los árboles frutales tiene una gran capacidad de absorción de nutrientes, y por eso, aunque la extracción de nutrientes puede ser modificada por la distribución de raíces sus efectos aparecen sólo cuando el árbol está bajo estrés o cuando la demanda es particularmente alta. Atkinson y Wilson (1980) mencionaron que en estudios con segmentos de raíces de cerezos en soluciones nutritivas tanto las raíces jóvenes y blancas como las raíces leñosas fueron capaces de absorber agua, potasio, fósforo y calcio (Atkinson y Wilson 1979) e indicaron que en las especies frutales todas las raíces, incluidas las que tienen crecimiento secundario, parecerían cumplir funciones de absorción. El buen contacto que tienen estas raíces más viejas con el suelo y la presencia por largos períodos de tiempo, puede ayudar a un sistema radical limitado a suministrar nutrientes a una tasa alta (Atkinson y Wilson 1980).

4.7.2. Reservas de carbohidratos no estructurales (CNE)

La concentración de almidón en raíces en el invierno fue mayor que la de carbohidratos solubles en todos los tratamientos de riego (Figura 24).

Los resultados obtenidos indican que el almidón es material de reserva más abundante que los carbohidratos solubles en las raíces durante el receso invernal, en coincidencia con lo señalado por Keller y Loescher (1989), quienes estudiaron la variación del contenido de CNE en cerezos en diferentes órganos de reserva y a lo largo del año y señalaron que en las raíces la mayor acumulación de CNE ocurrió después de la cosecha, y el almidón estuvo presente en mayores concentraciones que los CNE solubles. Estudios microscópicos en material fresco han revelado que

el almidón se localizó principalmente en el parénquima xilemático de las raíces (Keller y Loescher 1989).

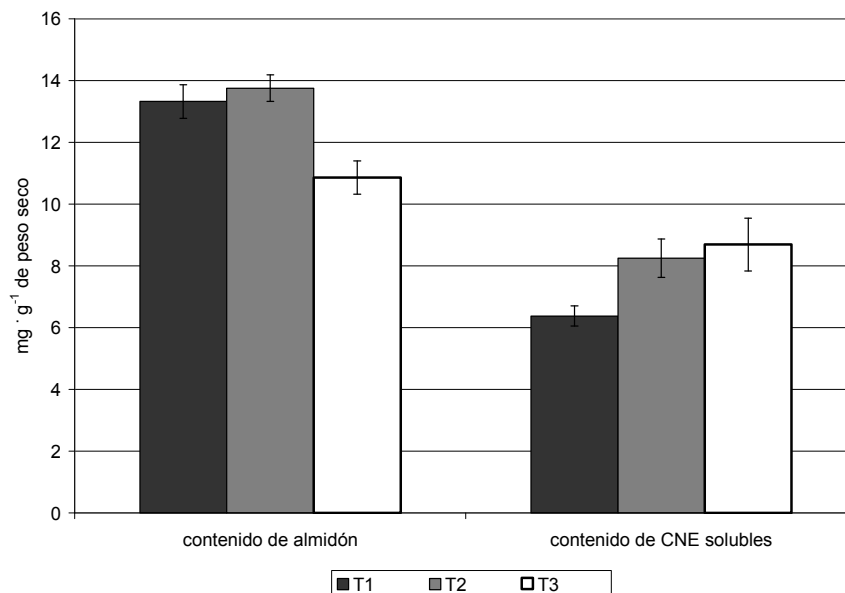


Figura 24. Concentración de carbohidratos no estructurales invernales en raíces de cerezo 'Bing' luego de los tratamientos de riego. Las barras representan la media de 10 muestras de raíz. Barras verticales indican error estándar de las medias.

Los contenidos de almidón en raíces fueron menores a los encontrados por Keller y Loescher (1989) en plantas de cerezo en plena producción, lo cual podría relacionarse con un menor desarrollo vegetativo de las plantas de este ensayo, a causa de su edad, con la fecha de extracción de la muestra, y también con el método de extracción en almidón. En experiencias locales en sarmientos de vid se encontró que realizando extracciones sucesivas sobre una muestra, las cantidades de almidón acumuladas aumentaron en forma proporcional a la cantidad de la primera extracción, por lo que los contenidos de almidón podrían ser sólo comparativos (Roberto Borgo 2007, comunicación personal).

En el tratamiento de mayor restricción hídrica (T3) el contenido de almidón en raíces fue 18,5 % menor que en el testigo y en cambio aumentó la concentración de carbohidratos solubles con respecto a T1 (Figura 24). La disminución de las reservas de almidón en raíces a causa de déficit hídrico también ha sido señalada en duraznero (Arndt et al. 2000) y damasco (Nawar y Ezz 1993). Por el contrario, Dichio et al. (2006) en ensayos de RDC prolongado en duraznero, señalaron que un déficit hídrico moderado no disminuyó, e incluso aumentó el contenido de almidón

en raíces. En este ensayo la restricción hídrica se mantuvo por un largo período, 5 meses. La importante disminución del área foliar a causa de la restricción hídrica (Figura 22 y Tabla 14) podría haber limitado la fotosíntesis en T3 y restringir la acumulación de almidón.

En cuanto al efecto de la restricción hídrica sobre los carbohidratos solubles se ha señalado respuestas diversas en raíces, de aumento o disminución, atribuidas al diferente comportamiento de cada carbohidrato soluble, al período de déficit y a la intensidad del mismo. En raíces de duraznero (Arndt et al. 2000), y damasco (Nawar y Ezz 1993) se ha indicado que aumentó el contenido de sorbitol, glucosa y fructosa. En raíces de cerezo Centritto (2004) señaló un aumento significativo de la concentración de sorbitol, señalado como la principal sustancia de transporte en muchas especies de la familia de las Rosáceas, a la cual pertenece el cerezo. Se ha indicado que en situaciones de déficit hídrico en duraznero se transloca sorbitol desde las hojas maduras, a distintos destinos, como ápices (Lo Bianco et al. 2000) y frutos en desarrollo (Grossman y DeJong 1995), y esta respuesta al estrés se ha vinculado a un mecanismo de ajuste osmótico (Lo Bianco et al. 2000). De modo similar, parecería que la acumulación de sorbitol tendría un rol preponderante en las relaciones hídricas en cerezo ya que Centritto (2004) encontró relación inversa entre concentración de sorbitol en raíces y contenido de agua del suelo.

En este ensayo, los resultados muestran que la restricción hídrica aumentó la acumulación de carbohidratos solubles; pero no fue posible analizar el comportamiento de cada carbohidrato. Sería necesario profundizar estos estudios en investigaciones futuras.

Los carbohidratos de reserva en cerezo son especialmente importantes durante el crecimiento inicial de flores, frutos y hojas en primavera (Flore y Layne 1999), hasta que haya suficiente área fotosintética presente para la provisión de fotosintatos (Keller y Loescher 1989). Flore y Layne (1999) señalaron en guindos que la floración y el crecimiento de brotes se produjeron a expensas de las reservas hasta 17 días después de brotación. Además en esta especie el desarrollo de los frutos coincide con el crecimiento de la canopia y de las raíces. La demanda de reservas antes de la brotación es enorme, y cualquier factor que limite la actividad fotosintética, por ejemplo el estrés hídrico, la deficiencia de nutrientes, plagas, podría restringir las reservas de carbohidratos. En este ensayo la restricción hídrica durante una temporada disminuyó levemente las reservas en raíces. Pero en situaciones de RDC en años sucesivos debería evaluarse el contenido de CNE, ya

que una disminución importante de las reservas invernales podría comprometer la sustentabilidad del manejo de riego deficitario en esta especie.

4.8. Retorno de floración: ramilletes, yemas de flor y flores

La densidad de ramilletes no fue afectada por los tratamientos de restricción hídrica (Figura 25 y Tabla 18). La densidad promedio de ramilletes, que se expresa generalmente en función del área de sección transversal de las ramas (ASTR) también se ha expresado en función de la longitud de madera productiva (Tabla 18). Esta última expresión ha sido utilizada en plantaciones en las que se realiza poda severa, que hace inapropiado el uso de ASTR (Johnson et al. 1992).

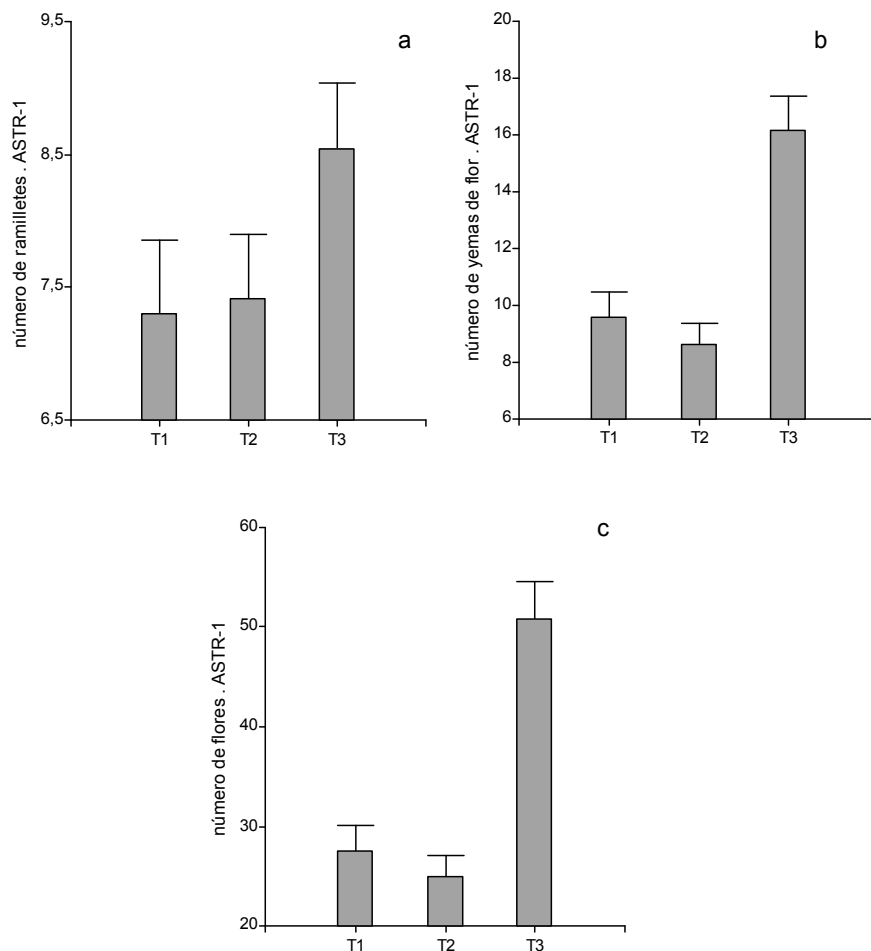


Figura 25. Eficiencia de producción de ramilletes (a), de yemas de flor (b) y de flores (c) de cerezos 'Bing' luego de los tratamientos de riego. Las barras representan la media de 40 ramas. Barras verticales indican error estándar de las medias

Tabla 18. Densidad de ramilletes de cerezo 'Bing' luego de los tratamientos de riego

Tratamiento	Número de ramilletes.ASTR ^{-1z}	Número de ramilletes .m ^{-1z}
T1	7,3 a ^y	27,2 a
T2	7,4 a	26,4 a
T3	8,5 a	27,4 a

^zMedia de 40 ramas

^ySeparación de medias en columnas según Prueba LSD de Fisher (P≤0,05)

En cambio la densidad de yemas de flor y la densidad de flores aumentaron significativamente en el tratamiento de mayor restricción hídrica (Figura 25). El incremento de densidad de yemas de flor, medido sobre la base de área de sección transversal de rama en T3 fue muy importante, del 50 % con respecto a T1, y el incremento de flores calculado fue de 85 %.

El análisis de calidad de ramilletes muestra que la restricción hídrica tuvo influencia sobre la cantidad de yemas que se diferenciaron a yemas de flor. En efecto en el tratamiento de mayor restricción hídrica (T3) el número de ramilletes de menor calidad (sin yemas de flor) disminuyó significativamente, en cambio aumentó la densidad de ramilletes con 1, 2, 3, 4, 5 yemas de flor con respecto al testigo, y la de ramilletes con 3, 4 y 5 yemas de flor con respecto a T2; además se produjeron ramilletes con 6 yemas de flor, que no se encontraron en el tratamiento testigo (T1) o fueron muy escasos (T2) (Figura 26).

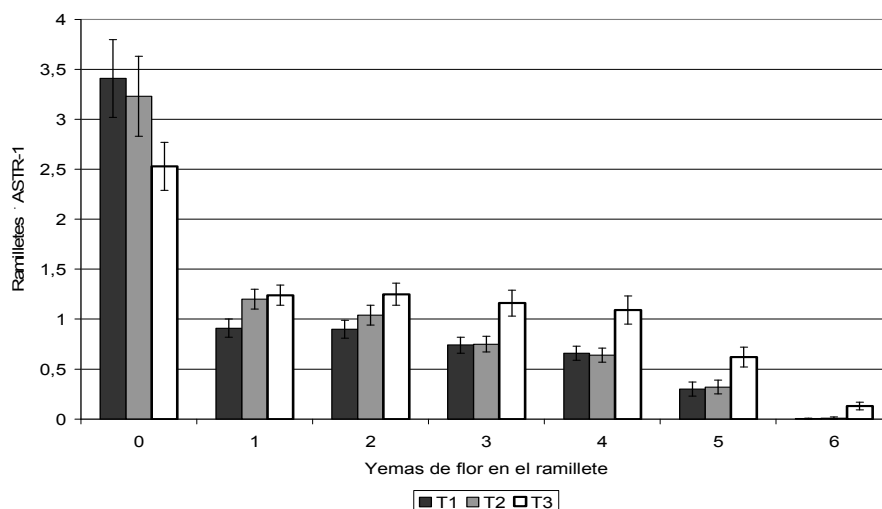


Figura 26. Densidad de ramilletes para cada calidad (establecida en función de su número de yemas de flor) de cerezo 'Bing' luego de los tratamientos de riego. Las barras representan la media de 40 ramas. Barras verticales indican error estándar de las medias.

El promedio del número de flores por cada yema de flor fue significativamente mayor en el tratamiento de mayor restricción y en cambio no fue afectado por el tratamiento de menor restricción hídrica (Tabla 19).

Tabla 19. Flores por yema de flor de cerezo 'Bing' luego de los tratamientos de riego

Tratamiento	Flores/ yema de flor ^z
T1	2,87 b ^y
T2	2,89 b
T3	3,15 a

^zMedia de 50 yemas de flor

^ySeparación de medias según Prueba LSD de Fisher ($P \leq 0,05$)

Las evaluaciones realizadas en toda la planta confirman que el número de ramilletes no fue afectado por los tratamientos de restricción, pero en cambio la mayor restricción hídrica aumentó significativamente su calidad (Tabla 20).

Tabla 20. Ramilletes totales y ramilletes con 2 o más yemas de flor por planta de cerezo 'Bing' luego de los tratamiento de riego

Tratamiento	Número de ramilletes.planta ^{-1z}	Número de ramilletes con 2 ó más yemas de flor.planta ^{-1z}
T1	810 a ^y	291 b
T2	780 a	276 b
T3	811 a	400 a

^zMedia del total de 5 árboles

^ySeparación de medias según Prueba LSD de Fisher ($P \leq 0,05$)

La falta de respuesta de la restricción hídrica sobre la densidad de ramilletes podría relacionarse con el hábito de fructificación de esta especie. El cerezo produce ramilletes de flor principalmente en madera de dos o más años. En madera de un año puede haber yemas de flor en la base del brote (Meland 1998). La restricción hídrica fue impuesta en poscosecha solamente en un ciclo de cultivo. Aunque disminuyó significativamente el crecimiento longitudinal de brotes y la longitud de entrenudos, la restricción hídrica de un ciclo de cultivo no afectó la longitud de madera productiva constituida por ramas de 2 y 3 años de edad. En situaciones de déficit hídrico en poscosecha, impuesto en temporadas sucesivas, en cambio, podría ocurrir un aumento del número de ramilletes, a causa de una reducción de la longitud de entrenudos en la madera de cada crecimiento anual.

El aumento de densidad de yemas de flor en el tratamiento de mayor restricción hídrica se explica por un aumento en la calidad de los ramilletes en este tratamiento (Figura 26), y el aumento de densidad de flores se explica por el aumento de calidad de ramilletes pero también por un mayor promedio de flores por yema de flor.

Los resultados confirman que el déficit hídrico favoreció la producción de flores en cerezo. Resultados similares han sido señalados en otras especies frutales, como peral (Mitchell et al. 1984 y 1986; Chalmers et al. 1986), manzano (Ebel et al. 1993 y 1995), duraznero (Chalmers et al. 1981; Mitchell y Chalmers 1982; Larson et al. 1988) y ciruelo (Lampinen et al. 1995). Otros estudios en cambio, han mostrado una inhibición de la producción de flores a causa del estrés hídrico en duraznero (Proebsting et al. 1981), almendro (Feres et al. 1981) y manzano (Behboudian et al. 1998). Estas discrepancias podrían atribuirse a diferencias entre especies y condiciones climáticas a las que cada especie está adaptada, pero también a la duración y severidad del estrés, con un estrés moderado que aumente la floración y un estrés severo que la disminuya. Así por ejemplo en situaciones de déficit extremo en cerezos, duraznero, y ciruelos Proebsting et al. (1981) señalaron que aunque los árboles sobrevivieron con 15 % de Etc no hubo diferenciación de yemas de flor en la estación siguiente. Otro factor puede ser el momento del estrés, con un estado de floración más sensitivo al estrés que otro.

En cerezos la inducción floral comienza generalmente en noviembre-diciembre, y es seguida por la diferenciación de los primeros órganos florales que se produce en pleno verano (Guimond et al. 1998) y durante todo el otoño hasta la ocurrencia de endodormancia. Durante la diferenciación se define el número de yemas de flor por ramillete y el número de flores por yema. Existe evidencia de que hay una fuerte relación inversa entre vigor e iniciación floral, y en condiciones de alto vigor el desarrollo de yemas vegetativas tendría prioridad sobre el de yemas reproductivas (Flore y Layne 1999).

En esta investigación en cerezos los tratamientos de riego deficitario comenzaron en primavera y el déficit hídrico fue impuesto rápidamente a partir del inicio de los tratamientos. La iniciación floral habría ocurrido en plantas bajo déficit hídrico, en las que el vigor fue reducido. Los procesos fisiológicos como fotosíntesis, asimilación de nutrientes, y partición de carbono y nitrógeno, que pueden ser afectados por las relaciones hídricas podrían haber influido en la cantidad, y en la calidad de los meristemas florales en desarrollo. El aumento de floración en tratamientos de restricción hídrica podría deberse a diferencias en el

contenido de carbohidratos, en el nivel de nutrientes, en el nivel hormonal, o a una combinación de factores, como ha sido indicado por Larson et al. (1988).

El balance hormonal y de asimilados de las plantas puede ser completamente afectado por el déficit hídrico (Hsiao 1973), incluyendo los niveles de citocininas (Bradford y Hsiao 1982) y giberelinas (Hsiao 1973), que están implicadas en la iniciación floral de árboles frutales. Se ha demostrado que el estrés hídrico aumenta la relación raíces/brotes de las especies frutales (Cripps 1971) posiblemente afecte los niveles de hormonas producidas en las raíces, como las citocininas. También se ha demostrado que poliaminas específicas se acumulan en respuesta al estrés (Flores et al. 1985 citado por Johnson et al. 1992) y varias poliaminas han sido vinculadas al aumento en los niveles de iniciación floral en manzana (Edwards 1986) y peral (Crisosto et al. 1988). Una mayor investigación sobre los efectos del estrés hídrico en frutales podría enfocarse sobre la producción de hormonas de las raíces o las poliaminas.

También se ha señalado que una restricción hídrica podría aumentar indirectamente la diferenciación floral a través de control del crecimiento vegetativo porque disminuiría el sombreado de la parte baja y del interior de la copa, y mejoraría la distribución de luz en el árbol (Johnson y Handley 2000).

Los resultados sugieren que diferentes órganos, tejidos y procesos fisiológicos (como iniciación floral) pueden responder con más o menos sensibilidad al potencial hídrico de las plantas o a lo mejor tienen umbrales que pueden ser manipulados precisamente a través de la regulación del déficit hídrico.

4.9. Cantidad de frutos y crecimiento de frutos en el ciclo vegetativo siguiente

La eficiencia de producción de frutos en el ciclo vegetativo siguiente aumentó significativamente en el tratamiento de mayor restricción (T3) con respecto a las de los tratamientos testigo (T1) y restricción hídrica menor (T2) (Figura 27). Sin embargo el porcentaje de frutos cuajados (cantidad de frutos en relación a la cantidad de flores) no presentó diferencias estadísticamente significativas entre tratamientos. El promedio varió entre 15,7 y 17,7 % (Tabla 21), y presentó un coeficiente de variación grande entre los datos, que superó el 80 % en todos los tratamientos (datos no presentados) y que demuestra la desuniformidad del proceso de polinización.

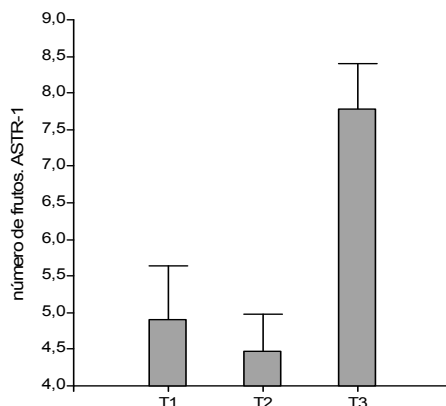


Figura 27. Eficiencia de producción de frutos de cerezos 'Bing' luego de los tratamientos de riego. Las barras representan la media de 40 ramas. Barras verticales indican error estándar de las medias

Tabla 21. Porcentaje de frutos cuajados de cerezo 'Bing' luego de los tratamientos de riego

Tratamiento	Frutos cuajados (%) ^z
T1	15,7 a ^y
T2	17,6 a
T3	17,7 a

^zMedia de 40 ramas

^ySeparación de medias en columnas según Prueba LSD de Fisher ($P \leq 0,05$)

El bajo porcentaje de frutos cuajados se debió a condiciones climáticas desfavorables para la polinización, vinculadas probablemente a insuficiente acumulación de unidades de frío invernales y daño por heladas, que afectaron la carga frutal de las plantas de cerezo en toda la región y no a los tratamientos de riego. La polinización es un factor indispensable de regularización de la producción, y en plantaciones de cerezo es una etapa del cultivo particularmente delicada (Edin et al. 1997).

En esta investigación la eficiencia de producción de frutos, fue 58 % mayor en el tratamiento T3 con respecto a T1, y se debió a una mayor densidad de flores y no a un mayor porcentaje de frutos cuajados, y también a una menor área de sección de tronco, consecuencia de la reducción de vigor. Los resultados muestran que la restricción hídrica disminuyó el crecimiento vegetativo y en cambio favoreció el reproductivo en cerezos. En otras investigaciones de RDC en duraznero de maduración temprana también aumentó la densidad de frutos con tratamientos de RDC poscosecha (Larson et al. 1988; Johnson et al. 1992). Johnson et al. (1992) también encontraron que el patrón de aumento de densidad de frutos fue similar al de incremento de densidad de flores, y no hubo aumento de porcentaje de cuaje.

El crecimiento de frutos en el ciclo vegetativo siguiente no fue afectado por los tratamientos de riego. El perfil de crecimiento presentó una forma doble sigmoide, con una fase I de crecimiento moderado hasta el 25 de octubre, una fase II de crecimiento lento de 14 días, hasta el 8 de noviembre, y una fase III de crecimiento muy rápido hasta cosecha (Figura 28 a). En la tercera fase la tasa de crecimiento fue muy alta y alcanzó valores máximos de $1,3 \text{ mm}\cdot\text{día}^{-1}$ (Figura 28 b).

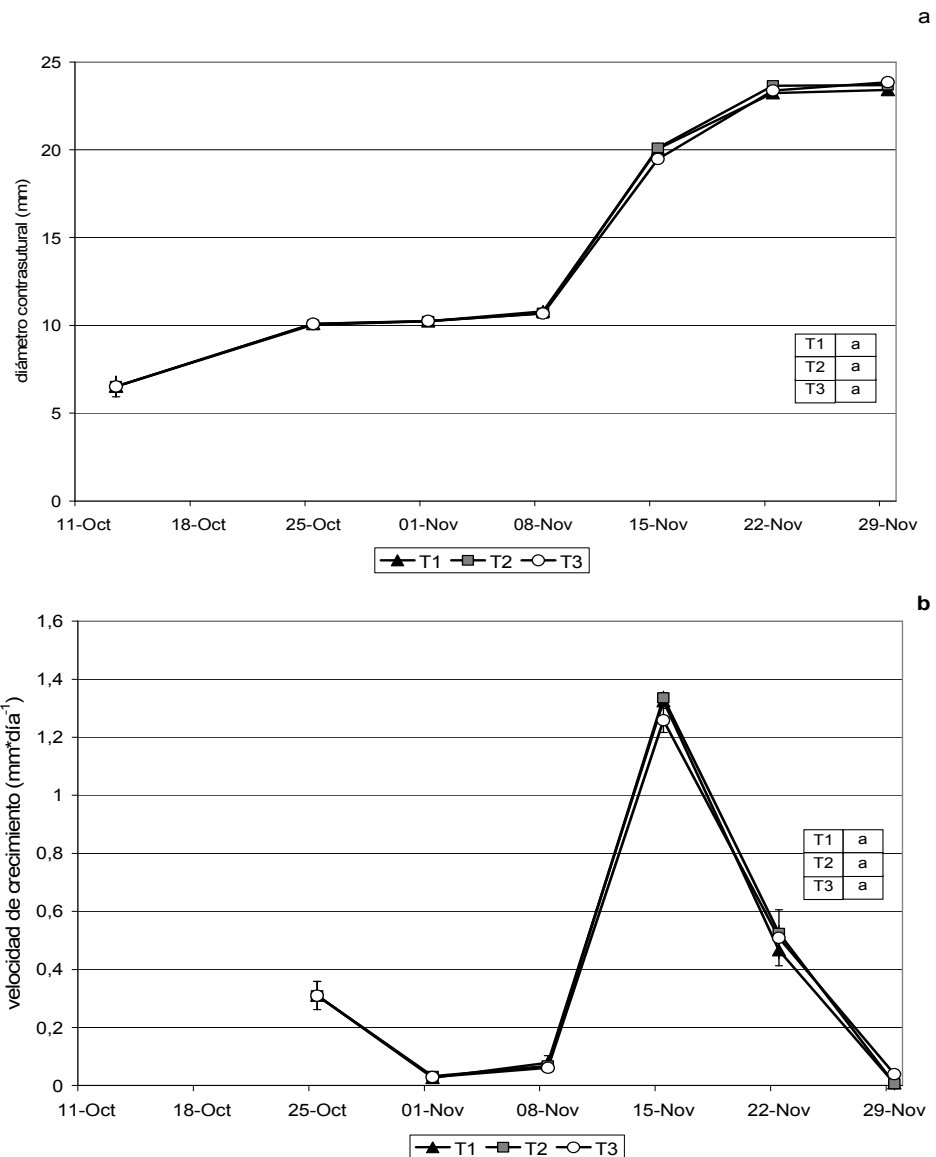


Figura 28. Perfiles del crecimiento (a) y de la tasa de crecimiento (b) ecuatorial contrasutural de frutos de cerezo 'Bing' luego de los tratamientos de riego. Los símbolos representan la media de 80 frutos. Barras verticales indican error estandar de las medias, barras no visibles están dentro del área del símbolo. Separación de perfiles de crecimiento según Prueba de Hotelling ($P \leq 0,05$)

Flore y Layne (1999) indicaron que la duración de cada fase depende de la cultivar y la localidad y que en la fase III el peso del fruto puede crecer entre un 40 a 60 %. En este ensayo la medición de tamaño se realizó a través del diámetro contrasutural, y podría presentar una tasa de incremento distinta a la del peso del fruto. En cerezas 'Bing' el diámetro ecuatorial contrasutural es el diámetro mayor en la cereza madura (Podestá et al. 2001) y es el que se considera para la clasificación comercial de frutos según su calibre.

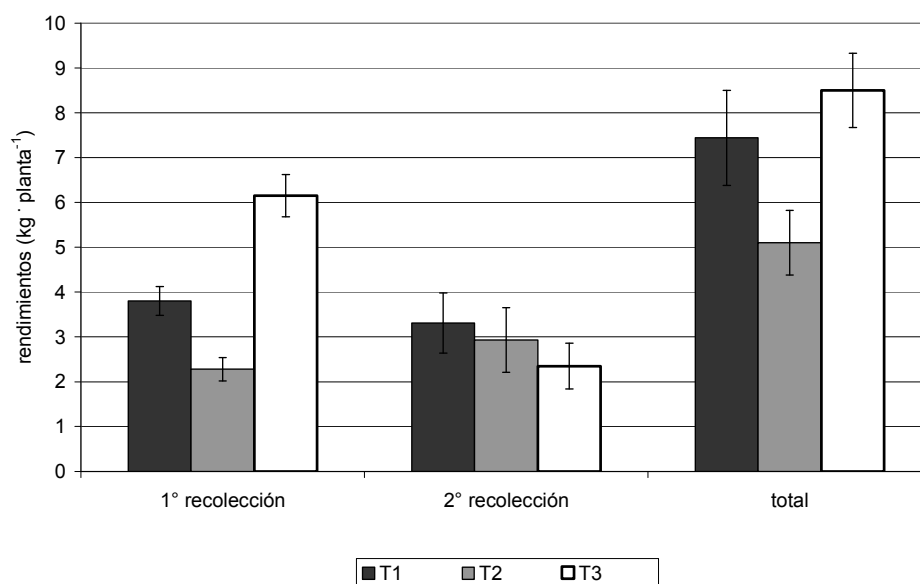
El período de mayor velocidad de crecimiento de frutos coincidió con el período de mayor velocidad de crecimiento de brotes, tanto los brotes de crecimiento normal como brotes vigorosos (Figuras 20 y 28 b), lo cual sugiere una posible competencia entre órganos que están creciendo. En árboles maduros de cerezos 'Bing' Manríquez et al. (2005) también encontraron que la mayor parte del crecimiento de brotes ocurrió antes de cosecha de los frutos. Estos resultados sugieren que las estrategias de riego deficitario para controlar crecimiento vegetativo en plantas de cerezo en producción deberían ser cuidadosamente implementadas, debido a la escasa separación entre períodos de crecimiento de brotes y frutos; lo contrario ocurre en otras especies frutales, como damasco, peral o manzano (Mitchell et al. 1984; Goldhamer 1989; Ebel et al. 1993).

4.10. Rendimientos y eficiencia de rendimientos

A pesar del aumento de la densidad de flores en el tratamiento de mayor restricción hídrica (T3) el rendimiento por planta en el ciclo vegetativo siguiente no aumentó significativamente con respecto a T1, aunque sí se observó una tendencia a un aumento del rendimiento en T3; en cambio fue significativamente menor en el tratamiento de menor restricción hídrica (T2) (Figura 29 a). Aunque la tendencia de aumento de productividad fue consistente en T3 (Figura 29 a) hubo una gran variabilidad de rendimientos, vinculada en parte a la edad de la plantación, pero sobretodo a la heterogeneidad de carga frutal entre plantas y entre ramas de cada planta, causada por un bajo e irregular cuaje de frutos.

La eficiencia productiva o eficiencia de los rendimientos, fue significativamente mayor en el tratamiento de mayor restricción hídrica (T3) con respecto a T1 y T2. (Figura 29 b).

a



b

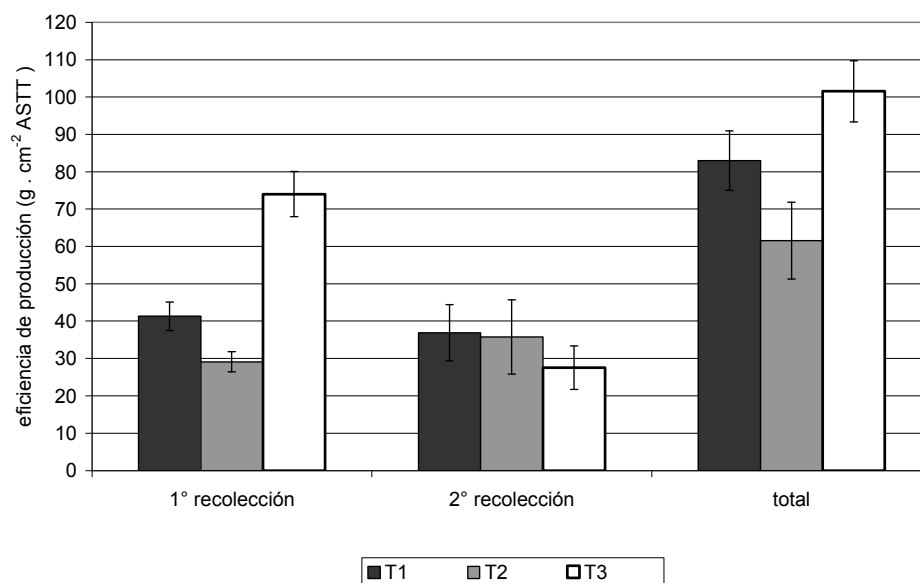


Figura 29. Rendimientos (a) y eficiencia productiva (b) de cerezo 'Bing' en cada recolección y en el total cosechado luego de los tratamientos de riego. Las barras representan la media de 10 árboles. Barras verticales indican error estándar de las medias.

En la primera recolección la cantidad de fruta cosechada fue mayor en el tratamiento de mayor restricción (T3), en la segunda recolección la cantidad de fruta cosechada no presentó diferencias estadísticamente significativas entre los tres tratamientos de riego (Figura 29 a y b).

Los tratamientos de restricción hídrica no afectaron el calibre de los frutos (Figura 30) de los tratamientos, más del 50 % de los frutos presentaron calibre 24,1 a 26 mm y entre un 25 y 30 % de frutos presentaron calibre 26,1 a 28 mm.

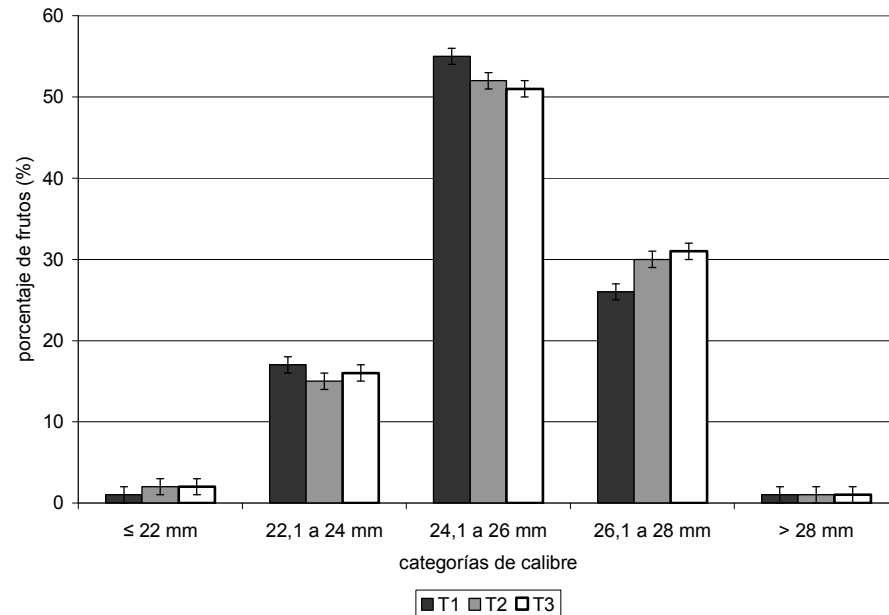


Figura 30. Porcentaje de frutos por categorías comerciales de calibre en cosecha de cerezo 'Bing' luego de los tratamientos de riego. Las barras representan la media de 20 muestras de 100 frutos. Barras verticales indican error estándar de las medias.

El riego deficitario favoreció el crecimiento reproductivo a través de un aumento de flores y frutos. Otros autores también han señalado un aumento de productividad con aplicaciones de déficit hídrico porque promovió la partición de metabolitos a favor de la fructificación sobre el crecimiento vegetativo (Johnson et al. 1992; Ebel et al. 1995).

La mayor cantidad de frutos en el tratamiento de mayor restricción no retrasó su recolección, basada en el color de piel y calibre, como evidencian los rendimientos obtenidos en primera y segunda recolección. Larson et al. (1988) en cambio señalaron en duraznos un retraso en la maduración de la fruta el año posterior al de tratamientos de déficit poscosecha y lo atribuyó a diferencias en el contenido de carbohidratos o del nivel de nutrientes o de hormonas.

4.11. Calidad de frutos en el ciclo vegetativo siguiente

La calidad de frutos se evaluó para las categorías de calibre 24,1 a 26 mm y 26,1 a 28 mm, denominadas comercialmente 'extralarge' y 'jumbo', que fueron las predominantes en los tres tratamientos de riego.

Los tratamientos de restricción hídrica no afectaron significativamente el peso de los frutos, el contenido de sólidos solubles, la acidez, ni la relación sólidos/acidez en ninguna de las dos categorías de calibre (Tabla 22). En T2 la firmeza de frutos fue mayor en ambas categorías comerciales de calibre (Tablas 22), lo cual podría explicarse por una menor carga frutal en el tratamiento T2 (Figura 29), consecuencia de una tendencia a una menor densidad de yemas de flor y de flores (Figura 27 b y c) y con un cuaje de frutos muy irregular. En cerezas 'Bing' existen abundantes evidencias de aumento de firmeza de los frutos con una menor carga de frutos en el árbol (Spayd et al. 1986; Podestá et al. 2004).

Tabla 22. Parámetros de calidad en frutos de calibre 24,1 a 26 mm (denominación comercial Extra Large) y 26,1 a 28 mm (denominación comercial Jumbo) de cerezo 'Bing' luego de los tratamientos de riego.

Calibre (mm)	Tratamiento	Peso (g) ^z	Firmeza ^z	CSS (%) ^z	AT (% ác. málico) ^y	CSS/AT ^y
24,1 a 26 (XL)	T1	7,3 a ^x	76,4 b	21,8 a	1,1 a	20,5 a
	T2	7,2 a	79,3 a	22,2 a	1,0 a	21,4 a
	T3	7,3 a	75,4 b	21,6 a	1,0 a	20,7 a
26,1 a 28 (J)	T1	8,6 a	74,9 b	21,2 a	1,1 a	19,9 a
	T2	8,7 a	77,5 a	21,6 a	1,1 a	19,8 a
	T3	8,7 a	75,6 b	21,3 a	1,1 a	18,8 a

^zMedia de 300 frutos

^yMedia de 30 submuestras de 10 frutos

^xPara cada calibre separación de medias en columnas según Prueba LSD de Fisher (P≤0,05)

En todos los tratamientos los frutos fueron considerados de alta calidad para exportación (Tabla 22). Si bien se ha considerado que el peso ideal de la cereza en la actualidad es de 11 a 12 g (Kappel et al.1998), valores entre 7 y 8 g aún pueden considerarse comercialmente aceptables en la cv. Bing. En cuanto a la cualidad gustativa, se ha mencionado en cerezas una gran aceptación por parte de los

consumidores cuando el CSS superó el 16 % (Crisosto et al. 2003). En esta investigación, en todos los tratamientos el CSS fue mayor del 21 %.

En el análisis de defectos en el tratamiento de mayor restricción hídrica (T3) la proporción de frutos dobles triplicó a la del testigo, aunque la magnitud de frutos dobles no fue significativa desde el punto de vista económico; y también aumentó la sensibilidad al machucón (Tabla 23). El porcentaje de frutos con sutura hundida no fue significativamente afectado y sólo se observó una tendencia a un aumento de en T3. El 'cracking' natural o agrietamiento de los frutos no presentó diferencias estadísticamente significativas entre tratamientos (Tabla 23).

Tabla 23. Defectos en los frutos de cerezo 'Bing' luego de los tratamientos de riego

Tratamiento	Frutos dobles (%) ^z	Sutura hundida (%) ^z	'Cracking' (%) ^z	Machucón (%) ^z
T1	0,8 b	9 ab	6 a	7 b
T2	1,1 ab	5 b	4 a	9 b
T3	2,7 a	12 a	4 a	11 a

^zMedia de 20 muestras de 100 frutos

^ySeparación de medias en columnas según Prueba LSD de Fisher ($P \leq 0,05$)

El aumento de frutos dobles en T3 podría atribuirse a un aumento de la temperatura en la canopia durante el verano anterior (Tabla 23). En estrategias de RDC se ha sugerido que el estrés no estaría directamente envuelto en la formación de frutos dobles y en cambio las temperaturas por encima de 30°C serían críticas en la formación de pistilos dobles en cerezo (Beppu y Kataoka 1999, Beppu et al. 2002). En duraznero de maduración temprana con RDC poscosecha en California el aumento de frutos dobles en el tratamiento de mayor estrés fue señalado como el principal inconveniente del déficit en verano (Johnson et al. 1992).

En este experimento las temperaturas máximas del verano previo fueron muy altas, especialmente durante los meses de noviembre, diciembre, enero y febrero (Tabla 24), y la reducción de la conductancia estomática y la transpiración en tratamientos de déficit pudo aumentar la temperatura de la canopia que afectaría la diferenciación de los carpelos dentro de la yema floral, tarde en el verano.

La sutura hundida en los frutos ha sido documentada en 'Bing' (Southwick y Uyemoto 1999), y el desorden ocurriría durante la formación de yemas de flor, siendo mayor cuando las temperaturas son altas (Southwick y Uyemoto 1999).

Tabla 24. Promedio de temperaturas máximas mensuales en Agua Amarga, Tunuyán (Latitud 33° 30' 58" S, Longitud 69° 12' 27" O, Altura 970 m.s.n.m.), en las estaciones de primavera y verano de 2005

Temperatura (°C) ^z					
noviembre	Diciembre	enero	Febrero	Marzo	abril
33,8	34,8	37,7	33	31,9	27

^zPromedios mensuales a partir de datos de Estación Meteorológica instalada en Agua Amarga

En investigaciones posteriores de riego deficitario controlado en cerezo y en otras especies de carozo de maduración temprana, se podría evaluar la posibilidad de aliviar el estrés en verano para disminuir la cantidad de frutos dobles y con sutura hundida, sobre todo en zonas con veranos calurosos.

Luego de un año de investigación los resultados obtenidos señalan que en plantaciones jóvenes un nivel adecuado de restricción hídrica disminuyó el crecimiento vegetativo y favoreció la floración y fructificación precoz sin comprometer la calidad de los frutos. Pero, más allá del alcance de esta tesis, los tratamientos de riego deficitario se han repetido durante un segundo año y se repetirán durante un tercer ciclo. Está ampliamente documentado que en las especies leñosas algunos efectos de déficits hídricos van manifestándose de a poco, según la intensidad del déficit y en la medida en que la planta acusa el estrés anualmente, y puede ocurrir que con déficits repetidos algunos parámetros no cambien y en otros los cambios se relacionen con la intensidad del estrés y el momento en que se producen (Beppu et al. 2002, Mitchell and Chalmers. 1982; Lang and Ophardt 2000).

La aplicación de estrategias de RDC en temporadas sucesivas, permitirá estudiar los efectos en el tiempo y además evaluar la sustentabilidad del manejo de estas estrategias de riego y su incidencia en la rentabilidad del cultivo del cerezo.

5. CONCLUSIONES

Luego del primer año de imposición de riegos deficitarios poscosecha se puede concluir lo siguiente:

1. Ambos tratamientos de RDC produjeron importantes ahorros de agua. La cantidad de agua total recibida fue 675 mm en T1; 546 mm en T2 y 417 mm en T3, lo que significa un ahorro de 19 % (T2) y 38 % (T3) de agua durante todo el ciclo de cultivo con respecto al agua recibida por T1.
2. Las estrategias de RDC poscosecha permitieron controlar el vigor. Los efectos del estrés sobre el crecimiento vegetativo variaron con la intensidad del déficit:
 - El tratamiento T3 de mayor restricción hídrica (con reposición del 50 % de Etc) disminuyó significativamente la longitud de brotes, número y longitud de entrenudos, número de hojas, área foliar y peso seco foliar, y detuvo el crecimiento de brotes normales un mes antes que T1. El crecimiento del área de tronco también fue menor.
 - El tratamiento T2 de menor restricción (con reposición del 75 % de Etc) disminuyó significativamente la longitud de brotes y de entrenudos pero no afectó significativamente el número de entrenudos ni de hojas, área foliar, peso seco foliar, crecimiento del área de tronco diametral del tronco, y sólo se observó una tendencia a una disminución de estas variables con respecto al testigo.
3. En el tratamiento T3 de mayor restricción hídrica fueron menores los contenidos de K y P foliares y de almidón de reserva en raíces. En cambio aumentó la concentración de carbohidratos solubles en raíces con respecto a T1.
4. La intensidad del déficit hídrico impuesta en T3 favoreció el crecimiento reproductivo en el ciclo vegetativo siguiente. Aumentó significativamente la calidad de los ramilletes, y la eficiencia de producción de yemas de flor, flores y frutos, con respecto a los tratamientos T1 y T2.

5. El crecimiento, calibre y otros parámetros de madurez y calidad de frutos en el ciclo vegetativo siguiente no fueron afectados por los tratamientos de riego. En T3 aumentó la proporción de frutos dobles, aunque la magnitud no fue relevante desde el punto de vista económico; y también aumentó la sensibilidad al machucón.
6. Cuando el vigor es excesivo y especialmente en climas con largas estaciones de crecimiento, el RDC puede reducir el crecimiento vegetativo, estimular la producción precoz y contribuir a optimizar el recurso hídrico. Sin embargo en especies leñosas, como cerezo, es conveniente estudiar los efectos de RDC sobre el crecimiento vegetativo, reproductivo y estado nutricional, durante varias temporadas sucesivas y evaluar la sustentabilidad del manejo de estrategias de RDC.
7. Los resultados confirman que en cerezos el potencial hídrico del tallo a mediodía es un buen indicador del estado hídrico de la planta.

Desde el punto de vista práctico y a partir de las conclusiones señaladas se podría sugerir que en cerezos, el RDC puede ser una estrategia adicional de manejo intensivo para reducir el crecimiento vegetativo excesivo y estimular la fructificación. La idea de usar RDC es atractiva por su simplicidad y por la oportunidad de ahorrar agua. Probablemente el énfasis debe ponerse en imponer el déficit temprano en la estación para reducir sustancialmente el crecimiento vegetativo en plantaciones jóvenes. En plantas en producción, para evitar comprometer el calibre de los frutos el RDC se podría imponer rápidamente una vez completada la maduración y recolección de frutos. También es importante la intensidad y duración del déficit.

Riegos localizados y suelos con baja capacidad de almacenaje de agua facilitan la imposición rápida de un déficit.

La medición de potencial hídrico del tallo a mediodía es práctica, fácil de realizar y útil para determinar el estado hídrico de la planta en plantaciones frutales comerciales.

6. BIBLIOGRAFÍA

ALLEN, R.; PEREIRA L.; RAES D.; SMITH M. 1998. Crop evapotranspiration guidelines for computing crop water requirements. FAO, Irrigation and Drainage paper 56. Rome, Italy. 300 p.

ANDERSEN, R.; ROBINSON, T.; LANG, G. 1999. Managing the Gisela cherry rootstocks. *New York Fruit Quarterly* 7(4):19-22.

ARNDT, S.K.; WANEK, W.; CLIFFORD, S.C.; POPP, M. 2000. Contrasting adaptations to drought stress in field-grown *Ziziphus mauritiana* and *Prunus persica* trees: water relations, osmotic adjustment and carbon isotope composition. *Australian Journal of Plant Physiology* 27(11): 985-996.

ARZANI, K.; LAWES, G.S.; WOOD, D. 2000. The water relations of mature 'Sundrop' apricot trees in response to different vigour control techniques. *Acta Hort.* 537:231-239.

ATKINSON, K.; WILSON, S.A. 1979. The root soil interface and its significance for fruit tree root of different ages. En: *The root soil interface* (Ed. By J.L. Hartley and R.S. Russell). London, Academic Press.

ATKINSON, K.; WILSON, S.A. 1980. The growth and distribution of fruit tree roots: some consequences for nutrient uptake. *Acta Hort (ISHS) Symposium on Mineral Nutrition and Fruit Quality of Temperate Zone Fruit Trees* 92:137-150.

AYERS, R.S.; WESTCOT, D.W. 1987. La calidad de agua en la Agricultura. FAO, Riego y Drenaje. Manual N° 29. Roma, Italia. 174 p.

BALKHOVEN – BAART, J.M.T.; GROOT, M.J. 2005. Evaluation of 'Lapins' sweet cherry on dwarfing rootstocks in high density plantings, with or without plastic covers. *Acta Hort.* 667:345-351

BALMER, M. 2001. Sweet cherry tree densities and tree training. *Compact Fruit Tree* 34(3):75-77.

BALMER, M.; BLANKE, M. 2005. Developments in high density cherries in Germany. *Acta Hort.* 667: 273-277.

BEHBOUDIAN, M.H.; LAWES, G.S.; GRIFFITHS, K.M. 1994. The influence of water deficit on water relations, photosynthesis and fruit growth in Asian pear (*Pyrus serotina* Rehd.). *Scientia Horticulturae* 60:89-99.

BEHBOUDIAN, M.H.; DIXON, J.; KALPANA POTHAMSHETTY. 1998. Plant and fruit responses of lysimeter-grown 'Braeburn' apple to deficit irrigation. *Journal of Horticultural Science & Biotechnology* 73(6): 781-785.

BEPPU, K.; KATAOKA, I. 1999. High temperature rather than drought stress is responsible for the occurrence of double pistils in 'Satohnishiki' sweet cherry. *Scientia Horticulturae* 8(2): 125-134

BEPPU, K.; SUEHARA, T.; KATAOKA, I. 2002. High temperature and drought stress suppress the photosynthesis and carbohydrate accumulation in 'Satohnishiki' sweet cherry. *Acta Horticulturae*, 618: 371-377.

BOLAND, A.; MITCHELL, P.D.; JERIE, P.H.; GOODWIN, I. 1993. The effect of regulated deficit irrigation on tree water use and growth of peach. *J. Hort. Sci.* 68 (2) 261-274.

- BRADFORD, K.J.; HSIAO, T.C. 1982. Physiological responses to moderate water stress, p. 236-324. En: O.L. Lange, P.S. Nobel, C.B. Osmond, H. Ziegler (eds.) Physiological plant ecology II. Water relations and carbon assimilation. Encycl. Plant Physiol. Vol. 12b. Springer- Verlag, New York.
- CAMACHO, S.E.; HALL, A.E.; KAUFMANN, M.R. 1974. Efficiency and regulation of some water transport in some woody and herbaceous species. *Plant Physiol.* 54:169-172.
- CASPARI, H.W.; BEHBOUNDIAN, M.H.; CHALMERS, D.J. 1994. Water use, growth, and fruit yield of 'Hosui' Asian pear under deficit irrigation. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 119:383-388.
- CENTRITTO, M. 2004. Photosynthetic limitations and carbon partitioning in cherry in response to water deficit and elevated [CO₂]. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 106:233-242.
- CHALMERS, D.J.; BURGE, G.; JERIE, P.H.; MITCHELL, P.D. 1986. The mechanism of regulation of 'Bartlett' pear fruit and vegetative growth by irrigation withholding and regulated deficit irrigation. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 111:904-907.
- CHALMERS, D.; VAN DEN ENDE, B.; VAN HEEK, L. 1978. Productivity and mechanization of the Tatura trellis orchard. *HortScience* 13:517-521.
- CHALMERS, D.J.; MITCHELL, P.D.; VAN HEEK, L. 1981. Control of peach tree growth and productivity by regulated water supply, tree density, and summer pruning. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 106 (3):307-312.
- CHAMBOULEYRON, J. 2005. Riego y Drenaje. Técnicas para el desarrollo de una agricultura regadía sustentable. Tomo 1. Editorial de la Universidad Nacional de Cuyo, Mendoza. 470 p.
- CLAVERIE, J. 2001. Mejoramiento genético varietal del cerezo (*Prunus avium* L.) en Francia. En: Seminario Internacional de cerezos. 'Actualización comercial, variedades, portainjertos y sistemas de conducción'. Corporación Pomanova, Curicó, Chile p. 58-73.
- CLAVERIE, J.; LAURI, P.È.; LESPINASSE, J.M. 1999. Conduit du cerisier. L'arbre et sa conduit, nouveaux concepts. *Réussir Fruits et Légumes* 177: 41-47.
- CORFO. 2003. Informe sobre mercados. [en línea]. Chubut, Argentina. Corporación de Fomento. [<http://www.chubut.gov.ar/corfo/archives/002187.php>] , [Consulta 30 de marzo 2006]
- CRIPPS, J.E. 1971. The influence of soil moisture on apple root growth and root : shoot ratios. *J. Hort. Sci.* 46:121-130.
- CRISOSTO, C.H.; CRISOSTO, G.M. ; METHENEY, P. 2003. Consumer acceptance of 'Brooks' and 'Bing' cherries is mainly dependent on fruit SSC and visual skin color. *Postharvest Biology and Technology* 28:159-167.
- CRISOSTO, C.H.; SUGAR, D.; LOMBARD, P. 1988. Effect of putrescine sprays at anthesis on 'Comice' pear yield components. *Adv. Hort. Sci* 2: 27-29.
- DEJONG, T.M. 1998. Using organ growth potentials to identify physiological and horticultural limitations to yield. *Proc. Fourth Intern. Peach Symposium Acta Hort.* 465: 293-302.
- DEJONG, T.M.; DOYLE, J.F.; DAY, K.R. 1987. Seasonal patterns of reproductive and vegetative sink activity in early and late maturing peach (*Prunus persica*) cultivars. *Physiol. Plant.* 71:83-88.

- DEJONG, T.M.; GOUDARIAN, J. 1989. Modeling peach fruit growth and carbohydrate requirements: reevaluation of the double-sigmoid pattern. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 114:800-804.
- DICHIO, B.; XILOYANNIS, C.; SOFO, A.; MONTANARO, G. 2006. Effect of post-harvest regulated deficit irrigation on carbohydrate and nitrogen partitioning, yield quality and vegetative growth of peach trees. *Plant and Soil* 290(1): 127-137.
- DOCHEV, D.; DJOUVINOV, V.; GOSPODINOVA, M.; KOLEV, K.; BOXUS, P.; KERIN, V.; ZLATEV, Z.; VICHEV, N.; KIRKOVA, I.; STOIMENOV, G. 2001. Possibilities for water status evaluation of young cherry trees (*Prunus avium* L.) on clonal rootstock GM9 by means of some physiological markers. *Bulgarian Journal of Agricultural Science* 7(2): 207-211.
- DOOREMBOS, J.; PRUIT, W. 1977. Guidelines for predicting crop water requirement. FAO, Irrigation and Drainage. Paper 24. Rome, Italy. 144 p.
- EBEL, R. C.; PROEBSTING, E. L.; EVANS, R.G. 1993. Regulated deficit irrigation may alter apple maturity, quality and storage life. *HortScience* 28:141-143.
- EBEL, R. C.; PROEBSTING, E. L.; EVANS, R.G. 1995. Deficit irrigation to control vegetative growth in apple and monitoring fruit growth to schedule irrigation. *HortScience* 30:1229-1232.
- EBEL, R. C.; PROEBSTING, E. L.; EVANS, R.G. 2001. Apple tree and fruit responses to early termination of irrigation in a semi-arid environment. *HortScience* 36(7): 1197-1201.
- EDIN, M.; GARCIN, A. 1994. Étude de nouveaux systèmes de conduite pour Tabel Edabriz. *Infos-Centre Technique Interprofessionnel des Fruits et Légumes* 101: 41-46.
- EDIN, M.; LICHOU, J.; SAUNIER, R. 1997. Cerise, les variétés et leur conduite. Le cerisier. Centre Technique Interprofessionnel des Fruits et Légumes, Paris. 239 p.
- EDWARDS, G.R. 1986. Ammonia, arginine, polyamines and initiation in apple. *Acta Hort.* 179:63-68.
- ELFVING, D.; LANG G.A.; VISSER, D.B. 2003. Prohexadione-Ca and ethephon reduce shoot growth and increase flowering in young, vigorous sweet cherry trees. *HortScience* 38(2): 293-298.
- ELFVING, D. C.; VISSER, D.B. 2005. Effects of Prohexadione-Calcium and Ethephon on growth and flowering of 'Bing' sweet cherry. *Acta Hort.* 667:439-446.
- ENVIRONMENTAL SYSTEM RESEARCH INSTITUTE. 2006. Programa Arc View 3.1. Geographic Information System and Mapping Software, USA. Licencia INTA Estación Experimental Agropecuaria Mendoza, Argentina.
- ERF, A.; PROCTOR, J. T. A. 1987. Changes in apple leaf water status and vegetative growth as influenced by crop load. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 112(4):617-620.
- FACTEAU, T.J.; ROWE, K.E. 1979. Growth, flowering and fruit set responses of sweet cherries to daminozide and ethephon. *HortScience* 14:234-236.
- FACTEAU, T.J.; CAHN, H. 2000. Cherry rootstock trials in Oregon. *Good Fruit Grower* 51(9): 48-50.
- FERERES, E.; ALDRICH, T.M.; SCHULBACH, H.; MARTINICH, D.A. 1981. Responses of young almond trees to late season drought. *Calif. Agr.* 35 (7-8): 11-12.

- FERREYRA, R; SELLÉS, G. 2005. Manejo del riego en el cultivo de cerezos. En: Apuntes Curso de posgrado Relación agua-suelo-planta atmósfera. Maestría en Riego y Drenaje. Universidad Nacional de Cuyo. Facultad de Ciencias Agrarias, Mendoza, Argentina. p 151-178.
- FLORE, J.A.; LAYNE, D. R. 1999. Photoassimilate production and distribution in cherry. *HortScience* 34(6): 1015-1019.
- FLORES, H.; YOUNG, N.; GALSTON, A.W. 1985. Polyamine metabolism and plant stress. En: J.L. Key and T. Kosuge (eds.) *Cellular and molecular biology of plant stress*. A.R. Liss, New York. p 93-114.
- FULTON, A.; BUCHNER, R.; OLSON, B.; SCHWANKL, L.; GILLES, C.; BERTAGNA, N.; WALTON, J.; SHACKEL, K. 2001. Rapid equilibration of leaf and stem water potential under field conditions in almonds, walnuts and prunes. *Hort Technology* 11(4): 609-615.
- GARNIER, E.; BERGER, A. 1985. Testing water potential in peach trees as an indicator of water stress. *J. Hort. Sci.* 60:47-56.
- GARNIER, E.; BERGER, A. 1986. Effect of water stress on stem diameter changes of peach trees growing in the field. *J. Applied Ecol.* 23: 193-209.
- GOLDHAMER, D.A. 1989. Drought irrigation strategies for deciduous orchards. Univ. of California, Div. Agric and Natural Resources. Publication n° 21453, 15 p.
- GOODWIN, I; BOLAND, A.M. 2002 Scheduling deficit irrigation of fruit trees for optimizing water use efficiency. En: Food and Agriculture Organization of the United Nations eds. *Deficit Irrigation Practices*. Paper N° 22. Press Rome p. 67-78.
- GRASSI, C.J. 1998. Fundamentos del riego. Serie Riego y Drenaje RD-38. Ed. CIDIAT, Mérida, Venezuela, 392 p.
- GREEN, K. 2005. High density cherry systems in Australia. *Acta Hort.* 667:319-324.
- GROSSMAN, Y.; DEJONG, T. 1995. Maximum fruit growth potential following resource limitation during peach growth. *Annals of Botany* 75(6): 561-567.
- GUAK, S.; BEULAH, M.; NIELSEN, D., QUAMME, H.A.; LOONEY, N.E. 2005. Effects of urea and plant bioregulators (Ethepon and Promalin) on tissue nitrogen levels, cold hardiness, and cropping of sweet cherry trees. *Acta Hort.* 667:453-460.
- GUIMOND, C.M.; ANDREWS, P.K.; LANG, G.A. 1998. Scanning electron microscopy of floral initiation in sweet cherry. *J. Amer. Soc. Hort. Sci* 123: 509-512.
- HAISE, H.R.; HAGAN, R.M. 1967. Soil, plant and evaporative measurements as criteria for scheduling irrigation. En: *Irrigation for Agricultural lands*. American Society of Agronomy N° 11.
- HROTKÓ, K. 2005. Developments in high density cherry production in Hungary. *Acta Hort.* 667:279-293.
- HSIAO, T.C. 1973. Plant responses to water stress. *An. Rev. Plant Physiol.* 24:512-570.
- HSIAO, T.C. 2000. Leaf and root growth in relation to water status. *HortScience* 35(6): 1051-1058.
- INDEC. 2004. Censo Nacional Agropecuario 2002. Resultados para el total del país por provincia [en línea]. Buenos Aires, Argentina, Instituto Nacional de Estadísticas y Censos de la República Argentina. [http://www.indec.mecon.gov.ar/agropecuario/cuadros/c14_tot.xls], [Consulta: 30 de marzo 2006]

- INFOSTAT. 2004. InfoStat, version 2004. Grupo InfoStat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina.
- INSTITUTO DE DESARROLLO RURAL. 2005. Censo Provincial de Productores de Cereza. Resultados finales [en línea] Mendoza, Argentina. [http://www.idr.org.ar/htm/programas/pro_fru/censos/censo_cereza.pdf].
- JERIE, P.H.; MITCHELL, P.D.; GOODWIN, I. 1989. Growth of William Bon Chretien pear fruit under regulated deficit irrigation. *Acta Hort.* 240:271-274.
- JOHNSON, R.S.; HANDLEY, D.F. 2000. Using water stress to control vegetative growth and productivity of temperate fruit trees. *HortScience* 35(6): 1048-1050.
- JOHNSON, R.S.; HANDLEY, D.F.; DAY, K.R. 1994. Postharvest water stress of an early maturing plum. *J. Hort. Sci.* 69: 1035-1041.
- JOHNSON, R.S.; HANDLEY, D.F.; DE JONG, T.M. 1992. Long-term response of early maturing peach trees to postharvest water deficits. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 117(6):881-886.
- JOHNSON, R.S.; ROSECRANCE, R.; WEINBAUM, S.; ANDRIS, H.; WANG, J. 2001. Can we approach complete dependence on foliar-applied urea nitrogen in an early-maturing peach? *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 126:364-370.
- JOHNSON, R.S.; URIU, K. 1989. Mineral Nutrition. En: La Rue, J.H. and Johnson R.S. eds. *Peaches, Plums and Nectarines*. Coop. Extension University of California. P.68-81.
- KAISER, R.M. 2003. Estrés hídrico en variedades criollas y europeas de vid *Vitis vinifera* (L.): Efectos en la fisiología. Maestría en Viticultura y Enología. Universidad Nacional de Cuyo, Facultad de Ciencias Agrarias. Mendoza, Argentina. 77 p.
- KAPPEL, F. 2002. Managing the self-fertile 'Lapins' and 'Sweetheart' sweet cherries in high density systems. *Compact Fruit Tree* 35(4):113-114.
- KAPPEL, F.; FISCHER-FLEMING, B.; HOGUE, E. 1998. Fruit characteristic and sensory attributes of an ideal sweet cherry. *HortScience* 31(3): 443- 446.
- KAPPEL, F.; LICHOU, J. 1994. Flowering and fruiting of 'Burlat' sweet cherry on size-controlling rootstock. *Hort. Science* 29(6): 611-612.
- KAPPES, E.M. 1985. Carbohydrate production, balance and translocation in leaves, shoots and fruits of 'Montmorency' sour cherry, Ph.D. dissertation, Michigan State University, East Lansing.
- KAPPES, E.M.; FLORE, J.A. 1986. Carbohydrate balance models for 'Montmorency' sour cherry leaves, shoots and fruits during development. *Acta Hort.* 184: 123-127.
- KELLER, J.D.; LOESCHER, W.H. 1989. Nonstructural carbohydrate partitioning in perennial parts of sweet cherry. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 114:969-975.
- KRNAK, H; DEMIRTAS, M.N. 2002. Determination of physiologic and morphologic changes in sweet cherry seedlings under water stress. *Ziraat Fakultesi Dergisi, Ataturk Universitesi.* 33(3): 265-270.
- KRAMER, P.J. 1962. Water stress and plant growth. *Agron. J.* 55:32-35.
- LAMPINEN, B.; SHACKEL, K.; SOUTHWICK, S.; OLSON, W. 2001. *Irrigation Science.* 20:47-54.
- LAMPINEN, B.D.; SHACKEL, K.A.; SOUTHWICK, S.M.; OLSON, B.; YEAGER, J.T.; GOLDHAMER, D. 1995. Sensitivity of yield and fruit quality of French Prune to water deprivation at different fruit growth stages. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 120: 139-147.

- LANG, G.A. 2000. Precocious, dwarfing, and productive-how will new cherry rootstocks impact the sweet cherry industry? HortTechnology 10:719-725.
- LANG, G.A. 2001. Critical concepts for sweet cherry training systems. Compact Fruit Tree 34(3):70-75.
- LANG, G.A. 2005. Underlying principles of high density sweet cherry production. Acta Hort. 667:325-335.
- LANG, G.; OPHARDT, D. 2000. Intensive crop regulation strategies in sweet cherries. Acta Hort. 514:227-234.
- LANG, G.; PERRY, R. 2002. High density sweet cherry management: Point-counterpoint. Compact Fruit Tree 35(4):115-117.
- LARSON, K.D., DEJONG, T.M.; JOHNSON, R.S. 1988. Physiological and growth responses of mature peach trees to postharvest water stress. J. Amer. Soc. Hort. Sci. 113(3):296-300.
- LAURI, P.È.; CLAVERIE, J. 2001. Principes et pratiques de l'extincion. Réussir fruits et légumes 199, 42-45.
- LAURI, P.È. 2005. Developments in high density cherries in France: integration of tree architecture and manipulation. Acta Hort. 667:285-290.
- LEMUS, G.; VALENZUELA, J. 2005. Survey of the Chilean Sweet Cherry Industry. Acta Hort. 667:379-387.
- LI, S.H.; HUGUET, J.G.; SCHOCH, P.G.; ORLANDO P. 1989. Response of peach tree growth and cropping to soil water deficit at various phenological stages of fruit development. J. Hort. Sci. 64 (5):541-552.
- LO BIANCO, R.; RIEGER, M.; SUNG, S.J. 2000. Effect of drought on sorbitol and sucrose metabolism in sinks and sources of peach. Physiologia Plantarum 108 (1):71-78.
- LONG, L.E.; FACTEAU, T.; NUÑEZ-ELISEA, R.; CAHN, H. 2005. Developments in high density cherries in the USA. Acta Hort. 667:303-309.
- LOONEY, N.E.; MC KELLAR, J.E. 1987. Effect of foliar and soil applied paclobutrazol on vegetative growth and fruit quality of sweet cherries. J. Amer. Soc. Hort. Sci. 112:71-76.
- MANRIQUEZ, D.; DEFILIPPI, B.; RETAMALES, J. 2005. Prohexadione-calcium, a gibberrellin biosynthesis inhibitor, can reduce vegetative growth in 'Bing' sweet cherry trees. Acta Hort. 667:447-451.
- MATTHEUS, M.A.; ANDERSON, M.M.; SCHULTZ, R. 1987. Phenologic and growth responses to early and late season water deficits in Cabernet franc. Vitis 26: 147-160.
- MC CUTCHAN, H.; SHACKEL, K.A. 1992. Stem-water potential as a sensitive indicator of water stress in prune trees (*Prunus domestica* L.) cv. French. J. Am. Soc. Hort. Sci. 117:607-11.
- MELAND, M. 1998. Yield and fruit quality of 'Van' sweet cherry in four high density production systems over seven years. Acta Hort. 468: 425-432.
- MERRIAM, J.L.; KELLER, J. 1978. Farm irrigation systems evaluation. A guide for management, 3rd edition. Agricultural and Irrigation Engineering Department, Utah State University. Logan, USA. 235 p.
- MEYER, W.S; GREEN, G.C.1980. Water use by wheat and plant indicators of available soil water. Agron. J. 72:53-257

- MITCHELL, P.D.; CHALMERS, D.J. 1982. The effect of reduced water supply on peach tree growth and yields. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 197:853-856.
- MITCHELL, P.D.; CHALMERS, D.J.; JERIE, P.H.; BURGE, G. 1986. The use of initial withholding of irrigation and tree spacing to enhance the effect of regulated deficit irrigation on pear trees. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 111:858-861.
- MITCHELL, P.D.; JERIE, P.H.; CHALMERS, D.J. 1984. The effects of regulated water deficits on pear tree growth, flowering, fruit growth and yield. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 109(5):604-606.
- MITCHELL, P.D.; VAN DEN ENDE, B.; JERIE, P.H.; CHALMERS, D.J. 1989. Response of 'Bartlett' pear to withholding irrigation, regulated deficit irrigation and tree spacing. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 114:15-19.
- MORÁBITO, J; SALATINO, S.; MEDINA, R.; ZIMMERMANN, M; FILIPPINI, M.F.; BERMEJILLO, A.; CAMPOS, S.; DEDIOL, C.; GENOVESE, D; PIZZUOLO, P.; MASTRANTONIO, L. 2006. Evaluación de la calidad del agua en el área regadía del río Mendoza. En: Resúmenes III Jornadas de Actualización en Riego y Fertirriego. Mendoza, Argentina. p. 24.
- MORESHET, S.; COHEN, Y.; FUCHS, M. 1983. Response of mature 'Shamouti' orange trees to irrigation of different soil volumes at similar levels of available water. *Irr. Sci* 3:223-236.
- NAOR A.; KLEIN I.; DORON I. 1995. Stem water potencial and apple size. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 120(4):577-582.
- NAOR, A. 1998. Relationships between leaf and stem water potentials and stomatal conductance in tree field-grown woody species. *J. Hort. Sci. Bioch.* 73:431-436.
- NAOR, A. 2000. Midday stem water potential as a plant water stress indicator for irrigation scheduling in fruit trees. *Acta Hort.* 537: 447-454.
- NAOR, A.; BRAVDO, B.; HEPNER, Y. 1993. Effect of post verason irrigation level on Sauvignon blanc yield, juice quality and water relations. *S. Afr. J. Enol. Viticult.* 14:19-25.
- NAWAR, A.; EZZ, T. 1993. Leaf relative water content, growth and carbohydrate metabolism in apricot seedlings grown under different soil moisture levels. *Alexandria Journal of Agricultural Research* 38(1): 337-353.
- NEGUEROLES PÉREZ, J. 2005. Cherry cultivation in Spain. *Acta Hort.* 667:293-301.
- NIELSEN, G. H.; NIELSEN, D.; KAPPEL, F.; TOIVONEN, P. 2005. Nutrient and water management of high density sweet cherry. *Acta Hort.* 667: 337-344.
- NIELSEN, G.; KAPPEL, F. 1996. Bing sweet cherry leaf nutrition is affected by rootstock. *HortScience* 31: 1169-1172.
- NIJENSHON, L; PILLASI, H. 1962. Correlación entre contenido de agua a pF0, volumen de sedimentación y porcentaje de arcilla. Resúmenes de Trabajos y Comunicaciones, 2° Reunión Argentina y 1° Congreso Latinoamericano de la Ciencia del Suelo, Mendoza, Argentina.
- NIJENSOHN, L.; OLMOS, F.S.; AVELLANEDA, M.A. 1971. Guía de Trabajos Prácticos de Edafología, Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Nacional de Cuyo.
- OJER, M.; CLAVERIE, J.; ARJONA, C.; MENEGUS, G. 2001. Evaluación de los rendimientos totales y exportables en las variedades de cerezo: Giorgia, New Star, Bing clon OB 260, Sunburst, Lapins y Ferrovia. En: Actas XVIII Jornadas de

Investigación. Universidad Nacional de Cuyo, Mendoza, Argentina. Sección I N° 133: 113-114.

OJER, M.; PODESTÁ, L.; ARJONA, C.; MAYORGA, S.; CLAVERIE, J. 2004. Regulación de la carga frutal en cerezos (*Prunus avium*) cv. Bing a través del raleo temprano de frutos. Efectos sobre el calibre de los frutos y los rendimientos. En: Actas XXVII Congreso Argentino de Horticultura. San Luis, Argentina. .Resumen FI 19.

OJER, M.; PODESTÁ, L.; ARJONA, C.; LLERA, J.; CLAVERIE, J. 2007. Evaluación del comportamiento agronómico de nuevas variedades y portainjertos de cerezo. Universidad Nacional de Cuyo, Secretaría de Ciencia y Técnica. Proyectos bianuales 2005-2007. Informe Final 30 p.

PATTEN, K.D.; PATTERSON, M.E.; PROEBSTING, E.L. 1986. Factors accounting for the within-tree variation of fruit quality in sweet cherries. J. Amer. Soc. Hort. Sci. 111:356-360.

PEREZ PEÑA, J.E. 2000. Restricciones hídricas durante el desarrollo de la baya y su influencia en el crecimiento vegetativo, reproductivo, rendimiento y calidad enológica de la uva variedad Cabernet Sauvignon. Tesis de Maestría en Riego y Drenaje. Universidad Nacional de Cuyo, Facultad de Ciencias Agrarias. Mendoza, Argentina. 94 p.

PERRY, R.; LANG, G.; ANDERSEN, R.; ANDERSON, L.; AZARENKO, A.; FACTEAU, T.; FERREE, D.; GAUS, A.; KAPPEL, F.; MORRINSON, F.; ROM, C.; ROPER, T.; SOUTHWICH, S.; TEHRANI, G. y WALSH, C. 1996. Performance of the NC-140 cherry rootstock trials in North America. Compact Fruit Tree 29:37-56.

PIZARRO, F. 1996. Riegos localizados de alta frecuencia. Goteo, microaspersión y exudación. 3° Edición. Ediciones Mundi Prensa. Madrid. 513 p.

PODESTÁ, L.; ARJONA, C.; OJER, M.; MAYORGA, S.; CLAVERIE, J. 2004. Efecto del raleo temprano de frutos en cerezo (*Prunus avium*) cv. Bing sobre la calidad de frutos en cosecha. Actas XXVII Congreso Argentino de Horticultura. 2004, San Luis, Argentina. Resumen FI 10.

PODESTÁ, L.; OJER, M.; CLAVERIE, J.; ARJONA, C. 2006. Regulación de la carga frutal en cerezos (*Prunus avium* L.) cv. Lapins. Horticultura Argentina 25(58): 33-38.

PODESTÁ L.; RODRÍGUEZ, E.; GIL, F.; ARJONA, C. 2001. Efecto del ácido Giberélico y del calcio sobre el tamaño, agrietamiento y otros parámetros de calidad de frutos de cerezos (*Prunus avium* L.) cv Bing. Investigación Agraria. Producción y Protección Vegetales 16(1):37-48.

PROEBSTING, E.L., JR.; MIDDLETON, J.E.; MAHAN, M.O. 1981. Performance of bearing cherry and prune trees under very low irrigation rates. J. Amer. Soc. Hort. Sci. 16:243-246.

REQUENA, A. 2001. Riego por goteo en cerezos. Rompecabezas tecnológico 30:33-35.

REQUENA, A.M.; RAFFO, D.; CANDAN, A.P. 2005. Influencia del riego de poscosecha en cerezo cv. New Star sobre el rendimiento y calidad de fruta. En: Resúmenes XXVIII Congreso Argentino de Horticultura. Gral Roca, Río Negro, Argentina. p 99.

RICHARDS, L. 1948. Porous plate apparatus for measuring moisture retention and transmisión by soil. Soil Sci: 66: 105-110.

- RIVEROS, J.O. 2003. Evaluación del potencial hídrico del tallo al mediodía como indicador de la oportunidad de riego en frutales de hoja caduca. Tesis de Maestría en Riego y Drenaje. Universidad Nacional de Cuyo, Facultad de Ciencias Agrarias. Mendoza, Argentina, 77 p.
- ROBINSON, T.L. 2005. Developments in high density sweet cherry pruning and training systems around the world. *Acta Hort.* 667:269-272.
- ROBINSON, T.L.; ANDERSEN, R.L.; HOYING, S.A. 2004. Performance of Gisela cherry rootstocks in the Northeastern United States. *Acta Hort.* 658:231-240.
- ROCHE, M.; AZARENKO, A.N. 2005. An in Vitro bioassay to evaluate sweet cherry response to inoculation with *Pseudomonas syringae pv.syringae*. *Acta Hort* 667:503-507.
- ROPER, T.R.; KELLER, J.D.; LOESCHER, W.H.; ROM, C.R. 1988. Photosynthesis and carbohydrate partitioning in sweet cherry: fruiting effects. *Physiol. Plant* 72:42-47.
- RUIZ, R. 2000. Dinámica nutricional en cinco parrones de diferente productividad del valle central regado de Chile. *Agricultura Técnica* 60 (4): 379-398.
- RUIZ-SANCHEZ, M.C.; TORRECILLAS, A.; PEREZ-PASTOR, A.; DOMINGO, R. 2000. Regulated deficit irrigation in apricot trees. *Acta Hort.* 537:759-766.
- SALADIN, G.; MAGNÉ, C.; CLEMENT, C. 2003. Effect of flumioxazin herbicide on carbon nutrition of *Vitis vinifera* L. *J Agric. Food. Chem.* 51:4017-4022.
- SÁNCHEZ, E.E. 1999. Nutrición mineral de frutales de pepita y carozo. Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria, Rio Negro. 195 p.
- SÁNCHEZ, E.E.; RIGUETTI, T.L.; SUGAR, D.; LOMBARD, P.B. 1991. Recycling of nitrogen in field-grown 'Comice' pears. *J. Hort. Sci.* 66:479-486.
- SCHOLANDER, P.F.; HAMMEL, H.T.; BRADSTREET, D.; HEMMINGSEN, E. 1965. Sap pressure in vascular plants. *Science*, N.Y. 148:339-346.
- SEKSE, L. 1995. Cuticular fracturing in fruit cherry (*Prunus avium* L.) resulting from changing soil water contents. *Journal of Hort. Sci.* 70(4): 631-635.
- SHACKEL, K.; LAMPINEN, S.; SIBBETT, S.; OLSON, W. 2000. The relation of midday stem water potential to the growth and physiology of fruit trees under water limited conditions. *Acta Hort.* 537:425-430.
- SHACKEL, K.; AHMADI H.; BIASI, W.; BUCHNER, R.; GOLDHAMER, D.; GURUSINGHE, S.; HASEY J.; KESTER, D.; KRUEGER, B.; LAMPINEN, B.; MCGOURTY, G.; MICKE, W.; MITCHAM, E.; OLSON, B.; PELLETRAU, K.; PHILIPS, H.; RAMOS, D.; SCHWANKL, L.; SIBBETT, S.; SNYDER, R.; SOUTHWICK, S.; STEVENSON, M.; THORPE, M.; WEINBAUM, S.; YEAGER, J. 1997. Plant water status as an index of irrigation need in deciduous fruit trees. *Hort Technology* 7(1): 23-29.
- SHACKEL, K. 2003. The pressure chamber, a.k.a. "The bomb". [en línea]. California, USA, University of California, [<http://www.fruitsandnuts.ucdavis.edu/crops/pressure-chamber.shtml>],[Consulta: 10 de Julio 2005]
- SINCLAIR, T.; LUDLOW, M. 1985. Who taught plant thermodynamics? The unfulfilled potential of plant water potential. *Austral. J. Plant Physiol* 12:213-217.
- SLATYER, R.O. 1957. Significance of the permanent wilting percentage in studies of plant and soil water relations. *Bot. Rev.* 23: 585-636.

- SMITH, M. 1991. Report on the expert consultation on procedures for revision of FAO Guideliness for prediction of crop water requirement. Land and Water Development Division. UN-FAO. Rome, Italy. 54 p
- SPAYD, S.E.; PROEBSTING, E.L.; HAYRYNEN, L.D. 1986. Influence of crop load and maturity on quality and suceptibility to bruising of 'Bing' sweet cherries. J. Amer. Soc. Hort. Sci. 111. pp. 678-682.
- SOUTHWICK, S.M; UYEMOTO, J. 1999. Cherry crinkle leaf and deep suture disorders. [en línea]. University of California, Division of Agriculture and Natural Resources, Pub. 8007.[<http://anrcatalog.ucdavis.edu/pdf/8007.pdf>],[Consulta, 30 de marzo 2007]
- STEVENS, P.; HARVEY, G.; ASPINALL, D. 1995. Grapevine growth of shoots and linearly correlate with water stress indices based on root-weighted soil matric potencial. Aust. J. of Grape and Wines Res. 1:58-66.
- TAIZ, L.; ZEIGER E. 1998. Plant Physiology. 2nd edition. Sinauer Associates, Inc., Publishers, USA. 792 p.
- TERBLANCHE, J.H. 1981.The latest findings with regard to irrigation and fertilization of table grapes. Deciduous Fruit Grower 31(10): 396-401.
- TROMP. J. 1984. Diurnal fruit shrinkage in apple as affected by leaf water potential and vapour pressure deficit in the air. Scientia Hort. 22:81-87.
- TUKEY, L.D. 1981. Growth and development in tree fruits. En: Tukey, R.B. and Williams, M.U. eds. Tree fruit growth regulators and chemical thinning. Washington State University, Pullman p 1-45.
- TURNER, N.C. 1981. Techniques and experimental approaches for the measurement of plant water status. Plant and Soil 58:339-366.
- URIU, K. 1964. Effect of postharvest soil moisture depletion on subsequent yield of apricots. Proc. Amer. Soc. Hort. Sci 84:93-97.
- VALLONE, R.C. 1998. Influencia del estado hídrico sobre desarrollo, rendimiento y calidad enológica en vid. Tesis de Maestría en Riego y Drenaje. Universidad Nacional de Cuyo, Facultad de Ciencias Agrarias. Mendoza, Argentina. 130 p.
- VAN ZYL, J.L; WEBER, H.W. 1981. The effect of various supplementary irrigation treatments on plant and soil moisture relationships in a vineyard (*Vitis vinifera* var. Chenin Blanc). S. Afr. J. Enol Vitic. 2:83-89.
- VEIHMEYER, F.J. 1975. The growth of fruit trees in response to different soil moisture conditions measured by widths of annual rings and other means. Soil Sci. 119(6):448-460.
- VEIHMEYER, F.J.; HENDRICKSON, A.H. 1950. Soil moisture in relation to plant growth. Ann. Rev. Plant Physiol. 1: 285-304.
- VEIHMEYER, F.J.; HENDRICKSON, A.H. 1955. Does transpiration decrease as the soil mosture decrease?. Trans Amer Goephy Union 36: 425-440
- VILLAREAL, P.; SANTAGNI, A.; ROMAGNOLI, S. 2006. Pautas tecnológicas: cerezo. Estación Experimental Agropecuaria Alto Valle. Centro Regional Patagonia Norte INTA. 138 p.
- WACKER, B. 2002. What is TDR and FDR exactly? [en línea]. [<http://www.sowacs.com/sensors/whatistdrfdr.html>], [Consulta: 25 de agosto 2005]
- WARRICK, A.W.; NIELSEN, D.R. 1980. Spatial variability of soil physical properties in the field. En: D. Hillel (ed.). Applications of soil physics. Academic press, New York. p. 319-344.

- WASHINGTON STATE UNIVERSITY 2004. National Research support project no.5. Catalog of virus-tested fruit tree budwood & seed [en línea]. Prosser. Washington, Irrigated Agriculture Research and Extension Center, [<http://nrsp5.prosser.wsu.edu/CATALOG%20.doc>], [Consulta 30 de marzo 2006].
- WEBER, M.S. 1998. Labor demand and expected return by different tree training forms and planting densities in sweet cherry orchards. *Acta Hort.* 486:419-424.
- WEBSTER, A.D.; SCHMDT, H. 1996. Rootstocks for sweet and sour cherries. En: Webster, A.D. and Looney, N.E. eds. *Cherries - crop physiology, production and uses*. CAB International, Oxon, UK. p 127-163.
- WILCOX, W.F.; MIRCETICH, S.M. 1985. Effects of flooding duration on the development of *Phytophthora* root and crown rots of cherry. *Phytopathology* 75(12): 1451-1455.
- WILSON, R.F.; BURKE, J.J.; QUISENBERRY, J.E. 1987. Plant morphological and biochemical responses to field water deficits. *Plant Physiol.* 84: 251-254.
- WORLD SWEET CHERRY REVIEW. 2006. [en línea]. Pullman, USA, Belrose Inc., [<http://intranet.asoex.cl/Archivos/Bajar.asp?Archivo=World%20Sweet%20Cherry%20Review%202006.pdf>], [Consulta: 18 de mayo 2007].
- XILOYANIS, C.; URIU, K.; MARTIN G.C. 1980. Seasonal and diurnal variations in abscisic acid, water potential, and diffusive resistance in leaves from irrigated and non- irrigated peach trees. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 105:412-415.
- YEMM, E.; WILLIS, A. 1954. The estimation of carbohydrates in plant extracts by anthrone. *Biochemistry* 57:508-514.
- ZAHN, F.G. 1996. Close planting in relation to low orchard height. *Horticultural Science, Budapest* 28 (1-2): 58-66.

7. ANEXO

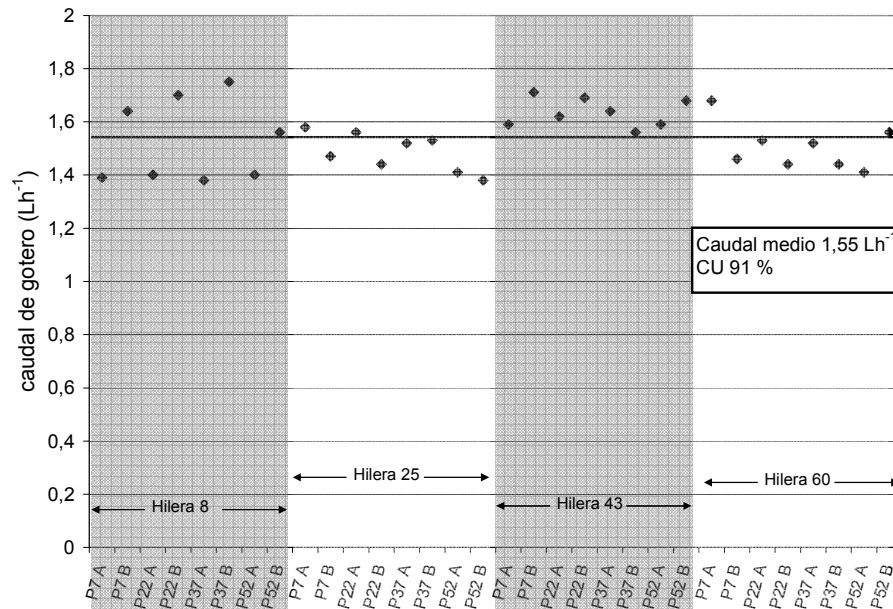


Figura 31. Evaluación de la uniformidad del riego. En la figura los recuadros indican la hilera, en el eje de abscisas la cifra indica número de planta y las letras A y B indican los dos goteros tomados aleatoriamente en cada planta.

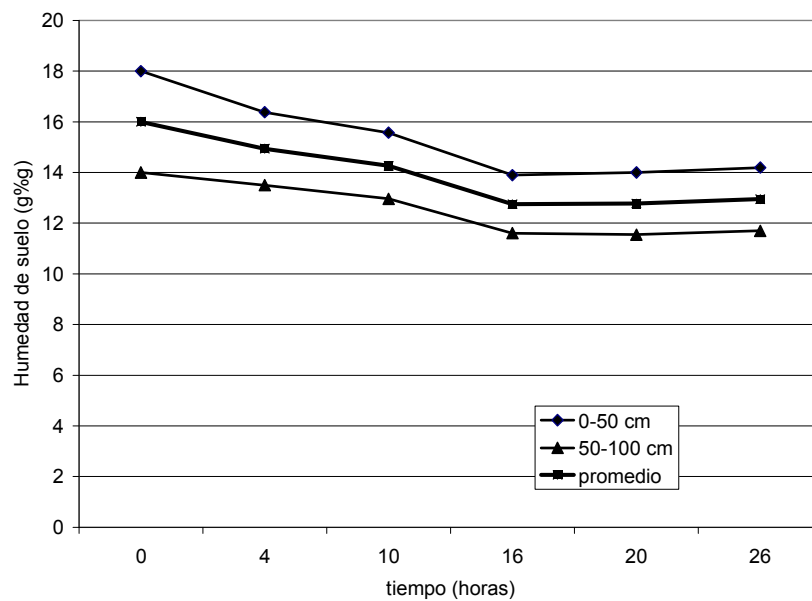


Figura 32. Determinación de la capacidad de campo del suelo donde se localizó el ensayo (n=2)

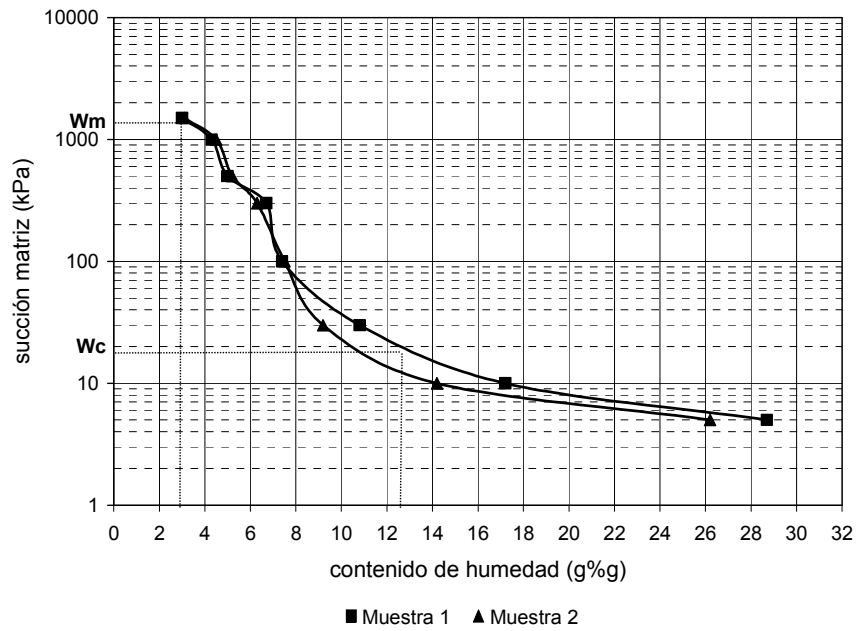


Figura 33. Curvas de capacidad hídrica. Determinación del punto de marchitamiento permanente (n=2)

Tabla 25. Modelo de planilla de cálculo de necesidades de agua y tiempos de riego diarios

Necesidades de riego total - Método de Fernando Pizarro (Pizarro 1996)

Etc = Eto * Kc

N neta = Etc * KI * Krl

N total = N neta / ((1-K) * CU)

KI = Coeficiente de localización

Krl = corrección por condiciones locales (variación climática y advección)

K = coeficiente que depende de la eficiencia de riego y requerimiento de lavado

CU = coeficiente de uniformidad

CULTIVO:	CEREZO					
Área de sombreado (A)	0,76	0,76	0,76	0,76	0,76	0,76
Día de la semana	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	Sábado
Mes	ene	ene	feb	feb	feb	feb
Día del mes	30	31	1	2	3	4
Eto (mm)	6,1	4,7	6,1	4,9	4,5	5,6
Kc	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1
Etc (mm)	6,7	5,2	6,7	5,4	5,0	6,2
precipitación (mm)	0	0	0	0,2	16	0
precipitación efectiva (mm)	0,0	0,0	0,0	0,0	3,2	0,0
N riego (mm)	6,7	5,2	6,7	5,4	1,8	6,2
N riego acumulada (mm)	603,7	608,8	615,6	620,9	622,7	628,9
KI usado	0,88	0,88	0,88	0,88	0,88	0,88
Krl	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9
N neta (mm)	5,3	4,1	5,3	4,3	1,4	4,9
N neta acumulada (mm)	480,3	484,4	489,7	494,0	495,4	500,3
Ef. Aplic.	0,90	0,90	0,90	0,90	0,90	0,90
Cei (dScm ⁻¹)	0,47	0,47	0,47	0,47	0,47	0,47
Cee max (dScm ⁻¹)	7,00	7,00	7,00	7,00	7,00	7,00
Cee min (dScm ⁻¹)	1,80	1,80	1,80	1,80	1,80	1,80
K (Ef.Aplic.)	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10
K (LR)	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05
CU (%)	0,90	0,90	0,90	0,90	0,90	0,90
N total (mm)	6,6	5,1	6,6	5,3	1,7	6,1
N total acumulada (mm)	592,9	598,0	604,6	609,9	611,6	617,7
Vol. (L.planta ⁻¹)	67,6	52,1	67,6	54,3	17,6	62,1
Vol. acumulado (L. planta ⁻¹)	6083,6	6135,7	6203,4	6257,7	6275,3	6337,4
Nº de plantas	4126	4126	4126	4126	4126	4126
Vol. total (L)	279002,99	214969,52	279002,99	224117,16	72765,31	256133,89
Vol. total acumulado (L)	25101080,03	25316049,55	25595052,54	25819169,7	25891935,01	26148068,91
No goteros	30945	30945	30945	30945	30945	30945
q medio (L.h ⁻¹)	1,55	1,55	1,55	1,55	1,55	1,55
Q total (L.h ⁻¹)	47965	47965	47965	47965	47965	47965
Coef. de reducción para T1	1	1	1	1	1	1
Tpo de riego (h) T1	5,82	4,48	5,82	4,67	1,52	5,34
Tpo riego (h y min.) T1	05 h 49 min.	04 h 29 min.	05 h 49 min.	04 h 42 min.	01 h 31 min.	05 h 20 min.
INDICACIÓN RIEGO COMPLETO - T1 = Etc 100	6 h 00 min.	4 h 40 min.	6 h 00 min.	5 h 00 min.	1 h 40 min.	5 h 20 min.
Coef. de reducción para T2	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75
INDICACIÓN RDC - T2 = Etc 75	4 h 30 min.	3 h 30 min.	4 h 30 min.	3 h 45 min.	1 h 15 min.	4 h 00 min.
Coef. de reducción para T3	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5
INDICACIÓN RDC - T3 = Etc 50	3 h 00 min.	2 h 20 min.	3 h 00 min.	2 h 30 min.	0 h 50 min.	2 h 40 min.