

RIEGO DEFICITARIO CONTROLADO EN FRUTALES

Introducción

La necesidad de proporcionar agua a los cultivos para complementar los aportes producidos por la lluvia es un hecho íntimamente ligado a la propia historia y evolución de la humanidad. Así, estudios realizados indican que el riego se utilizó hace al menos 4000 años en Egipto y en China y prácticamente igual en el valle de la Mesopotamia y en la India. Muchas de las culturas del planeta consiguieron un alto grado de desarrollo gracias a sus excelentes conocimientos hidráulicos y de manejo del riego. La historia muestra como el regadío ha sido un factor potente de riqueza y de prosperidad, y también como algunas zonas protagonizaron una significativa decadencia, llegando incluso a la desaparición de regadíos, por salinización del suelo, tan importantes como los de las llanuras de Mesopotamia, quizás como consecuencia de la acción conjunta de una serie de factores: aumento de aridez, manejo inadecuado del riego, falta de apoyo político y otros. Los estudiosos del riego reconocen los problemas que existen para mantener una agricultura de regadío permanente en las regiones áridas, sin embargo están de acuerdo en que los obstáculos no son insuperables y por lo tanto en la necesidad de seguir dedicando esfuerzos para un mejor conocimiento de los recursos y uso racional del agua. Hoy se acepta de manera unánime que la gestión del agua debe llevarse a cabo de manera integrada y global, sin que se pueda prescindir de aspectos ambientales, ecológicos o biológicos.

En España, la demanda de agua calculada es aproximadamente de 32.000 hm³/año y el principal demandante el sector agrícola con sus 3,3 millones de ha en regadío. Este utiliza alrededor del 80% de los recursos hídricos totales (≈ 7750 m³/ha año), por lo que un pequeño ahorro en el conjunto del regadío puede representar un importante volumen para otros sectores.

En la Cuenca Mediterránea y en otras muchas partes del mundo, la escasez e irregularidad de las precipitaciones unido a la alta demanda evaporativa son las causas del desarrollo de fuertes déficits hídricos estacionales. Bajo estas circunstancias y sin el complemento necesario de agua de riego, el cultivo de frutas y hortalizas es raramente rentable, a pesar de la existencia de un clima propicio para la fotosíntesis y producción de los cultivos. De ahí que el agua sea considerado como el principal factor de producción y condicionante del buen aprovechamiento de otros recursos puestos hoy a disposición de la agricultura. Por ello, es obligado emprender acciones tendentes a mejorar la gestión de este recurso de manera integrada, global y de respeto al medioambiente.

La Región de Murcia ubicada en sudeste español se caracteriza por su clima árido – semiárido pero también por sus buenas condiciones microclimáticas para el cultivo de frutas y hortalizas. En estas condiciones es obligatorio utilizar el agua de riego eficientemente. Para ello, además de la necesaria innovación tecnológica de los sistemas de riego es necesario introducir cambios sustanciales en el manejo del riego, a partir del conocimiento de la respuesta de los cultivos al déficit hídrico.

Por otro lado los crecientes costos del agua obligan a su mejor aprovechamiento de modo que permitan al menos en parte reducir los costes de producción. En esta línea, los sistemas de riego localizado, altamente automatizados, han facilitado el logro de altas eficiencias de riego, de ahí que sería deseable una mayor implantación en estas áreas, sin embargo es presumible que el ahorro de agua derivado del cambio de riego sea insuficiente para mantener muchos de los sistemas agrícolas actuales, por lo que será necesario desarrollar prácticas agrícolas que siendo compatibles con el medio natural sean capaces de mantener e incluso incrementar el desarrollo agrario alcanzado.

Riego Deficitario

El riego deficitario es una alternativa propuesta hace tiempo para mejorar la eficiencia del riego y reducir los aportes de agua en zonas con escasa disponibilidad de agua. El término, riego deficitario, se ha usado para definir las prácticas de riego donde sólo una fracción de las necesidades de agua de las plantas y no satisfecha por las lluvias es reemplazada por el riego. El riego deficitario debe repartir uniformemente el déficit de agua durante todo el ciclo para evitar la ocurrencia de estrés severo en el algún momento. En su concepto más amplio consiste en el riego deliberado y sistemático con menos agua de la que necesitan los cultivos para su máxima producción.

La economía del riego deficitario ha sido objeto de numerosos estudios, en los que se ha comprobado que con el riego deficitario se pueden maximizar los ingresos por unidad de agua aplicada. En situaciones donde el factor limitante es el agua y no la superficie regable puede ser una alternativa económicamente viable. La rentabilidad es menos clara en situaciones de precios del cultivo altos respecto a los del agua o cuando el precio del producto es muy variable en función de la calidad (Castel, 1999).

Los beneficios potenciales del riego deficitario derivan de tres factores:

- Aumento en la eficiencia del riego (ahorro de agua)
- Disminución de los costes de riego y de producción.
- Aspectos beneficiosos sobre el cultivo de un déficit moderado en casos específicos, tales como reducción del crecimiento (menores costes de poda)

en frutales, p. ej. Melocotonero y peral), aumento de floración en la campaña siguiente (albaricoquero y melocotonero) o incluso floración desplazada en el tiempo (“forzatura o producción forzada” en variedades reflorescentes de limón, como ‘Femminello’ en Sicilia y ‘Verna’ en Murcia). Otros ejemplos beneficiosos de un estrés hídrico moderado, próximo a la recolección, son un adelanto y mayor uniformidad de la maduración en tomate para industria o en algodón, facilitándose en ambos casos la recolección mecanizada.

Riego Deficitario Controlado

El término de Riego Deficitario Controlado (RDC) es más reciente y presenta un enfoque más fisiológico que el dado anteriormente a los riegos deficitarios en general. Este contempla tanto la fenología del cultivo como su capacidad para resistir situaciones de déficit hídrico. Considera por tanto que el déficit hídrico puede resultar más o menos trascendente en función del momento fenológico en el que ocurre, de su intensidad y duración.

El RDC en la forma comúnmente aplicada en fruticultura consiste en la aplicación de cantidades de agua inferiores a las necesarias (o evapotranspiración máxima del cultivo, ETC) durante períodos determinados del ciclo del cultivo en los cuales la producción y la calidad sean poco (o nada) afectados y aplicar el total de dichas necesidades durante el resto del ciclo y en especial en aquellos en que la producción y/o la calidad son más afectados por la falta de agua, que frecuentemente se denominan períodos críticos. La reducción de los aportes de riego en los períodos menos sensibles al déficit hídrico no implica la supresión del riego.

El término de RDC surge de los trabajos realizados por el equipo del Profesor David J. Chalmers en Australia (1973-1978) sobre la fisiología de melocotoneros con relación al riego y al estrés hídrico. En dichos experimentos identificaron un período en el crecimiento del fruto del melocotón (período de crecimiento lento que coincide con el endurecimiento del hueso), en el que dicho crecimiento es bastante independiente del potencial fotosintético del árbol en esos momentos y además poco sensible al déficit hídrico. Sin embargo, el crecimiento de los brotes vegetativos resultó ser bastante sensible a la falta de agua durante todo el período de crecimiento del fruto. En experimentos posteriores en melocotonero y peral estos investigadores mostraron la posibilidad de usar el estrés hídrico controlado para reducir satisfactoriamente el crecimiento vegetativo sin efectos significativamente negativos sobre el tamaño del fruto ni la producción final, consiguiendo además importantes ahorros de agua (Castel, 1999). Las condiciones experimentales de sus trabajos se caracterizaron por el empleo de variedades de largo período de maduración, alta densidad de plantación y condiciones de suelo y riego que permitían la obtención de sistemas radiculares concentrados.

Características a considerar en la elaboración de estrategias de RDC

Para diseñar y aplicar una estrategia de RDC es fundamental conocer la fenología del cultivo, en especial la delimitación de sus períodos críticos y el grado de coincidencia entre los procesos de crecimiento de los ramos y del fruto. Así mismo habrá que tener en cuenta las características del suelo, del sistema de riego, de la plantación, el clima y su resistencia a la sequía (Figura 1).



Figura 1. Principales factores que condicionan la elaboración de estrategias de RDC (Adaptada de Sánchez-Blanco y Torrecillas, 1995).

Períodos críticos. Estos suelen definirse como aquellos momentos del ciclo de cultivo donde la deficiencia de agua es más perjudicial de cara a la producción y calidad de las cosechas. La programación del riego en los períodos no críticos es un aspecto esencial en RDC. Sin embargo, no es fácil delimitar con precisión el inicio y final de los períodos críticos de cada cultivo, si bien en la mayoría de los frutales las fases de floración, cuajado y rápido crecimiento del fruto suelen ser las más sensibles al déficit hídrico. Además, para el correcto manejo del RDC no basta con conocer los momentos de alta incidencia del estrés hídrico sobre el cultivo y de este modo limitar el déficit hídrico a los períodos de desarrollo menos sensibles, sino que es necesario controlar la intensidad y duración del mismo.

Crecimiento vegetativo y del fruto. Uno de los objetivos del RDC, en algunos cultivos, es evitar un excesivo vigor de la planta que pudiera inducir efectos negativos en la fructificación, por lo que una clara separación entre los procesos

de crecimiento de los ramos y del fruto permitiría incidir con la reducción del riego sobre el primer proceso y no afectar al segundo al reanudar el riego al 100% de las necesidades máximas de agua del cultivo. Una separación bien delimitada entre ambos procesos ha sido observada en melocotonero y peral (Figura 2) y en limonero Fino (Figura 3). El RDC es potencialmente más ventajoso en cultivos arbóreos que en herbáceos, ya que además de darse una mayor separación entre los citados procesos, los carbohidratos almacenados en los órganos de reserva pueden ser movilizados cuando la fotosíntesis se ve limitada.

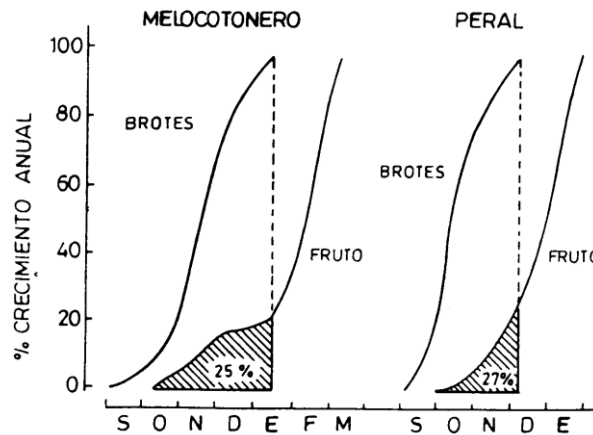


Figura 2. Crecimiento anual de brotes y fruto en melocotón ‘Golden Queen’ y peral ‘Bartlett’ (adaptada de Chalmers, 1990)

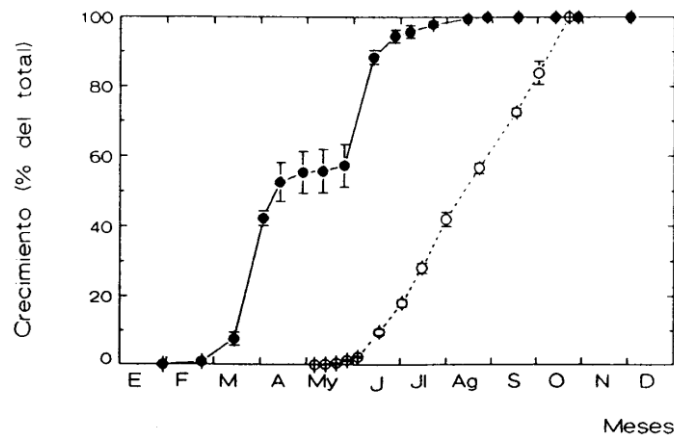


Figura 3. Crecimiento anual de brotes en longitud (●) y del fruto en volumen (○) en limonero Fino. Los valores corresponden a la media \pm ES. (Domingo y Ruiz-Sánchez, 1995)

Otro aspecto ventajoso a considerar es que los frutos de la especie en cuestión sean capaces de experimentar crecimientos compensatorios, tras el período de déficit hídrico, al reanudar el riego a las dosis y frecuencias correspondientes a las necesidades máximas de agua del cultivo. Esta fue una de las primeras ideas en la que se basó el grupo australiano pionero en el estudio del RDC.

Características del suelo y sistema de riego. Para poder aprovechar los aspectos beneficiosos derivados del estrés controlado es deseable poder crear con facilidad tanto la aparición de situaciones de déficit hídrico como la recuperación de estas. Por ello, estas estrategias han dado, generalmente, sus mejores resultados en suelos poco profundos o de baja capacidad de retención hídrica, en climas áridos y bajo condiciones de riego localizado, al permitir este conjunto de características un mejor control del contenido de agua en el suelo. Resulta preferible la aplicación del agua a pequeñas dosis y altas frecuencias, que a mayores dosis e intervalos entre riegos. Reducidos volúmenes de suelo humectado permiten obtener sistemas radiculares concentrados, capaces de agotar el agua del suelo más rápidamente lo que facilita el control de las condiciones de humedad y por lo tanto de alcanzar un cierto grado de déficit hídrico. Cuando se utilizan aguas salinas para el riego, como es habitual en las zonas áridas y semiáridas, el RDC puede tener efectos desfavorables, como señalan algunos autores. En estas condiciones habrá que incrementar las dosis de riego al objeto de controlar la salinidad del suelo, con lo que disminuirán sustancialmente los ahorros de agua esperables.

Clima. Como es evidente las condiciones climáticas pueden condicionar la aplicación de estas estrategias de riego. Dada la necesidad de generar un déficit hídrico son preferibles las zonas de escasa pluviometría, ya que se requiere un tiempo suficiente de déficit hídrico para inducir los efectos beneficiosos del mismo.

Resistencia a la sequía. Otro aspecto importante es la capacidad de los cultivos para adaptarse a situaciones de déficit hídrico, como primer mecanismo de valor adaptativo se podría indicar la habilidad de los cultivos arbóreos para extraer agua de horizontes profundos. El ajuste osmótico es otro de los mecanismos que permite el mantenimiento de la turgencia celular a bajos potenciales hídricos y por lo tanto el mantenimiento de los procesos turgo-dependientes.

Del análisis global de las características anteriormente mencionadas, se podría decir, que el melocotonero (Foto 1) es una planta modelo para ser utilizada en este tipo de estrategias, debido al hecho de poseer un conjunto de características favorables:

- Separación de los procesos de crecimiento vegetativo y del fruto (Figura 2).
- Diferenciación clara de las tres fases del crecimiento del fruto (Figura 4).
- Capacidad del fruto para realizar crecimientos compensatorios tras el déficit hídrico.
- Disponibilidad de combinaciones variedad/patrón adecuadas para altas densidades de plantación, etc.

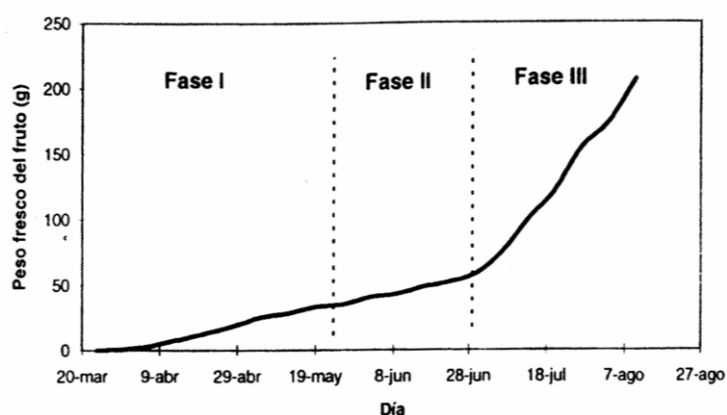


Figura 4. Crecimiento del melocotón 'Sudanel' en peso fresco e identificación de las tres fases de desarrollo (Ruiz-Sánchez y Girona, 1995)



Foto 1. Detalle de la carga productiva de melocotoneros en RDC

Investigaciones sobre RDC.

A continuación se resumen una serie de ensayos de RDC realizados en distintas especies frutales, y se analizan los resultados más relevantes con relación al momento de aplicación y a los ahorros de agua conseguidos con estas estrategias de riego.

Peral

Mitchell *et al.* (1984, 1989) en plantaciones de peral 'Bartlett' demostraron cómo el RDC es capaz de reducir el crecimiento vegetativo y aumentar la producción e incluso el tamaño de los frutos, consiguiendo los de más alto valor comercial. En sus experimentos ensayaron tres tratamientos de riego consistentes en aportes equivalentes al 92 (control), 46 y 23 % de la evaporación en cubeta clase A (E_0), durante la fase de crecimiento vegetativo, que coincide con la inicial de lento crecimiento del fruto, seguidos de riego al 150 % hasta asegurar el humedecimiento completo de la zona radical y continuar al 100 % de E_0 durante la fase de rápido crecimiento. El ahorro de agua se cifró en un 27 y 33 % en cada uno de los tratamientos deficitarios respecto al control. El tratamiento más deficitario produjo, durante los 5 años de ensayo, 65 t ha⁻¹ más de frutos de diámetro superior a 57 mm que el control y un ahorro de agua del orden de 2000 m³, con una eficiencia del uso del agua de 22 kg m⁻³ frente a los 12.5 del control (Mitchell *et al.*, 1989). La alternancia productiva resultó atenuada en el tratamiento más deficitario (Mitchell *et al.*, 1986). Además, señalaron que los mayores rendimientos en RDC se presentaron cuando el crecimiento radical estaba limitado, lo cual se conseguía utilizando altas densidades de plantación.

Melocotonero

Los primeros ensayos de RDC en melocotonero mostraron la posibilidad de utilizar el estrés hídrico controlado para reducir satisfactoriamente el crecimiento vegetativo sin efectos negativos sobre el tamaño del fruto y la producción, con los consiguientes ahorros de agua (Chalmers *et al.*, 1981, 1985). La justificación dada a los mayores calibres encontrados en los frutos de melocotonero bajo RDC que en el tratamiento control, fue la del crecimiento compensatorio experimentado por los frutos al reanudar el riego a dosis normales tras el período de RDC (Huguet *et al.* 1990; Mitchell *et al.*, 1986).

En una plantación de melocotonero ‘Golden Queen’, Mitchell y Chalmers (1982) aplicando el 12.5 % de la E_0 durante el período de RDC (fases I y II del crecimiento del melocotón, Figura 4) consiguieron un ahorro de agua del 34 %, obteniendo una producción y número de frutos de alto calibre superior al control.

Basándose en los resultados anteriores, se realizó un ensayo con las variedades temprana ‘Spring Lady’ y la tardía ‘CalRed’, bajo condiciones edáficas y climáticas claramente distintas: suelos profundos con alta capacidad de retención de agua, pluviometría inferior a 250 mm y veranos muy calurosos (Girona, 1989; Girona *et al.*, 1990; Ruiz-Sánchez y Girona, 1995). Se aplicaron 2 tratamientos, un control regado al 100 % de la ET_c todo el año y otro de RDC, regado al 25 % de la ET_c durante las fases I y II de crecimiento del fruto y período postcosecha y al 100-130 % de la ET_c durante la fase III. La baja tasa de infiltración de agua en el suelo indujo una recarga muy lenta del perfil al reanudar el riego a dosis normales durante la fase III, precisando del orden de 4 semanas para igualar sus contenidos de humedad, en la profundidad radical, a los del control. Este hecho impidió la recuperación de los árboles a la velocidad requerida en esta fase crítica y puede explicar el menor número de frutos de calibre extra obtenidos en RDC. Aunque el ahorro de agua (≈ 40 %) fue considerable y las producciones totales de ambos tratamientos fueron similares, la rentabilidad económica del tratamiento de RDC fue menor, ya que los frutos de tamaño extra se cotizaron al doble que los de tamaño menor.

Girona *et al.* (1995) comprobaron, en una plantación comercial de melocotonero ‘Sudanell’, que la aplicación de RDC durante la fase II de crecimiento del fruto y período postcosecha posibilita ahorros moderados de agua (≈ 8 %) sin efectos sobre la producción.

Almendo

En almendros variedad ‘Marcona’, en Tarragona, Girona y Marsal (1995) aplicaron una estrategia de RDC consistente en aplicar el 100 % de la ET_c hasta que finaliza el crecimiento exterior del fruto, momento en el que se inicia la rápida acumulación de materia seca del grano (abril – 15 de junio), el 20 % ET_c hasta la

recolección (15 de junio – 15 de septiembre) y 100 % ETc durante el período postcosecha (Figura 5). Los resultados obtenidos pusieron de manifiesto una buena adaptación del almendro a la estrategia de RDC planteada, aún cuando la producción media del tratamiento de RDC (1 531 kg grano ha⁻¹) fue ligeramente inferior a la del control (1 982 kg grano ha⁻¹). El ahorro de agua conseguido fue del 61 %, y la eficiencia en el uso del agua en el de RDC (0.66 kg grano m⁻³) superó ampliamente a la del control (0.26 kg grano m⁻³). El factor más afectado fue el peso fresco del grano, no observándose ninguna tendencia en el número de frutos por árbol.

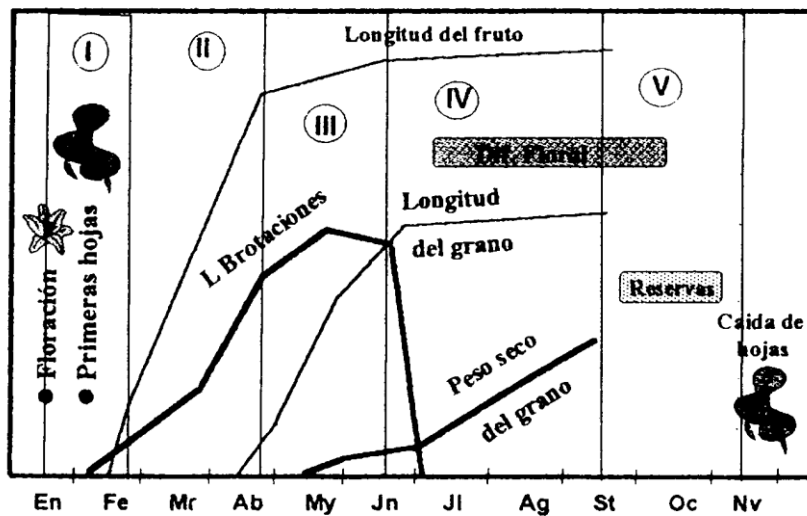


Figura 4. Fases del ciclo anual del almendro

En un ensayo de riego deficitario en almendro, realizado en el Valle de San Joaquín (California), Goldhamer y Shackel (1989) observaron una respuesta productiva similar a la del experimento anterior. La estrategia de RDC consistió en regar al 80 % de la ETc hasta que se completa el tamaño exterior del fruto y finaliza el crecimiento vegetativo (mitad de mayo), seguido de un 60 % hasta que se completa el tamaño de la pepita (mitad de Junio), para continuar durante la fase de aumento de peso seco de la pepita con un 40 % hasta finales de junio y un 60 % hasta la recolección. El ahorro de agua se cifró en el 58 %, obteniéndose producciones similares a las del tratamiento control (100 % ETc). Las diferencias entre ambas estrategias de RDC se basan en que las variedades americanas son de cáscara blanda y conviene regar a mayores dosis en el período comprendido entre el inicio de acumulación rápida de materia seca del grano y la recolección, con el fin de evitar la formación de ‘pelonas’, almendras a las que se les queda adherida la pelarza, dificultando el descascarado y disminuyendo drásticamente su precio de mercado.

En un estudio comparativo de la respuesta del almendro y del avellano a diferentes estrategias de riego, Marsal *et al.* (1997) observaron mayores reducciones en la tasa de asimilación neta de CO₂ en avellano que en almendro,

inducidas por disminuciones del potencial hídrico foliar al alba (Ψ_a). Observaron también una mayor sensibilidad de la tasa fotosintética del avellano a las variaciones de la conductancia estomática (g_s) que la del almendro, especialmente cuando las variaciones corresponden a bajos niveles de g_s . Aunque la producción anual en grano se vio afectada, en ambas especies, por los tratamientos de riego, las estrategias fueron claramente diferentes en los dos cultivos; siendo en avellano el factor más afectado el peso seco del grano, lo que repercutió sobre el rendimiento del cultivo, mientras que en almendro lo fue el número de frutos por árbol, quedando prácticamente invariable el peso seco. Estos autores indicaban que el almendro reúne mejores condiciones de adaptación a estrategias de RDC que el avellano, como consecuencia de su mayor eficiencia fotosintética.

Un aspecto claramente positivo del almendro para ser utilizado en estrategias de RDC es que durante la fase de llenado del grano (fase IV), que coincide con los meses de mayor demanda evaporativa (junio-agosto) y cuando bajo nuestras condiciones mediterráneas el déficit de recursos hídricos se acentúa es el período más adecuado para el ahorro de agua, tal como se recoge en las estrategias ensayadas.



Foto 2. Detalle de la cosecha de limón Fino en ensayos de RDC en Santomera (Murcia)



Foto 3. Almendros 'Colorada' en RDC con agua salina, Fuente Álamo (Murcia)

Cítricos

En cítricos el RDC ha sido estudiado en limonero (Domingo *et al.*, 1996 (Foto 2)) y mandarino (González-Altozano y Castel, 1999, 2000).

En limonero 'Fino' se ensayaron 3 tratamientos de riego, en Santomera (Murcia): un control con riego al 100 % de la ET_c durante toda la temporada y dos deficitarios, uno con riego similar al control durante el período de rápido

crecimiento del fruto (junio-octubre) y al 25 % de la ETc durante el resto de la campaña de riego, y otro en el que se aplicó el 70 % de la ETc durante junio-octubre y similar al control en el resto de la temporada. Aunque los rendimientos totales fueron similares en todos los tratamientos, el ahorro de agua de un 22 % obtenido mediante la reducción del riego durante el período de rápido crecimiento del fruto (fase II del desarrollo del fruto) no parece recomendable desde el punto de vista económico, ya que produjo un retraso en el logro del tamaño comercial del fruto, disminuyendo sensiblemente su precio de mercado. Sin embargo, la reducción del riego durante el resto del año, a excepción del período de rápido crecimiento del fruto, permitió ahorrar un 30 % de agua sin afectar a la producción total y disminuyendo sólo 1 de los 4 años de estudio la producción del primer corte (que coincidió con el año de menor pluviometría); por ello constituye una herramienta prometedora para limonero ‘Fino’ en situaciones de escasa disponibilidad hídrica.

En mandarina ‘Clementina de Nules’ se establecieron tratamientos de RDC en función de la evapotranspiración máxima determinada en un lisímetro de pesada (ET_{lis}), ubicado en la parcela experimental (Moncada, Valencia), plantado con un árbol de desarrollo similar a los circundantes. A partir de 8 tratamientos de riego, González-Altozano y Castel (1999, 2000) estudiaron dos niveles RDC en los tres períodos fenológicos principales del cultivo. Estos investigadores señalaban la primavera como el período más crítico y por tanto menos aconsejable para ahorrar agua en ‘Clementina de Nules’, ya que pequeñas diferencias en el estado hídrico de los árboles respecto al control provocaron una importante reducción de la cosecha debido al aumento de la ‘caída de junio’ con la consecuente disminución del número final de frutos por árbol. Contrariamente, indican como época más adecuada para la aplicación de estrategias de RDC aquélla en la que tiene lugar la fase inicial de crecimiento rápido del fruto (julio), y que según sus resultados se pueden conseguir ahorros de agua entre el 7 y el 14 % sin efectos negativos sobre la cosecha y calidad del fruto.

Olivo

En olivo, Goldhamer (1997) aplicó estrategias de RDC, regando al 100 % de la ETc en los períodos considerados críticos (diferenciación de yemas de flor, floración y crecimiento rápido de brotes y fruto). Junto a un control regado al 100 % se estudiaron 3 tratamientos de RDC: T1 regado al 50 % de la ETc, desde mediados de junio a finales de julio, T2 regado al 50 % de la ETc desde principios de junio a mitad de agosto, y un T3 con una aplicación del 50 % de la ETc desde mediados de mayo a mediados de junio y del 25 % hasta finales de agosto, seguido de dos semanas al 50 %. Las estrategias de RDC supusieron un ahorro del 13, 21 y 40 %, para el T1, T2 y T3, respectivamente y sin diferencias significativas el primer año de aplicación en cuanto al tamaño final del fruto (que presentó un crecimiento compensatorio, tras el período de déficit), la producción y la calidad. Para igual

carga productiva de los árboles, el tamaño y peso del fruto cosechado fue similar entre tratamientos de riego.

De los resultados expuestos se puede concluir que si bien el RDC no constituye en sí mismo la panacea capaz de solucionar el necesario ahorro de agua en muchos de nuestros regadíos, no es menos cierto que los fundamentos científicos y prácticos del mismo, de adecuar las aportaciones y reducciones de agua atendiendo a la fisiología de la planta, constituyen una base sólida para elaborar estrategias de riego que permitan ahorros de agua importantes con el menor impacto posible en la producción así como en el medio ambiente.

Bibliografía

- Castel, J.R. 1999. Riego deficitario controlado. Aplicación a frutales. En: Ahorro y Reutilización de Agua. M17 – II Master en gestión y uso eficiente del agua. Universidad Politécnica de Valencia. p. 6.3-6.15.
- Chalmers, D.J. 1990. Irrigation des arbres fruitiers. Manipulation de la croissance de la plante par la régulation des déficits d'eau et la limitation de la zone d'humidification. Infos-Paris 66 p. 13-20.
- Chalmers, D.J., Mitchell, P.D. y 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: 307-312.
- Chalmers, D.J., Mitchell, P.D. y Jerie, P.H. 1984. The physiology of growth control of peach and pear trees using reduced irrigation. *Acta Hortic.* 146: 143-148.
- Chalmers, D.J., Mitchell, P.D. y Jerie, P.H. 1985. The relations between irrigation, growth and productivity of peach trees. *Acta Hortic.* 173: 283-288.
- Domingo, R. y Ruiz-Sánchez, M.C. 1995. Respuesta de los cítricos al riego deficitario. Limonero. En: Riego Deficitario Controlado. Fundamentos y Aplicaciones. Colección Cuadernos VALUE 1. Mundi Prensa/Unión Europea. p. 121-171.
- Domingo, R., Ruiz-Sánchez, M.C., Sánchez-Blanco, M.J. y Torrecillas, A. 1996. Water relations, growth and yield of Fino lemon trees under regulated deficit irrigation. *Irrig. Sci.* 16: 115-123.
- Girona, J. 1989. Physiological growth and production responses of late maturing peach (*Prunus persica* L. Batsch) to controlled deficit irrigation. M.S. Thesis Univ. California. Davis. 116 pp.
- Girona, J. y Marsal, J. 1995. Estrategias de RDC en almendro. En: Riego Deficitario Controlado. Fundamentos y Aplicaciones. Colección Cuadernos VALUE 1. Mundi Prensa/Unión Europea. p. 98-118.

- Girona, J., Ruiz-Sánchez, M.C., Goldhamer, D.A., Johnson, S. y De Jong, T. 1990. Late maturing peach response to controlled deficit irrigation: Seasonal and diurnal patterns of fruit growth, plant and soil water status, CO₂ uptake and yield 2 years results. *XXIII Int. Hort. Cong.* Firenze, Italy. 1: 284.
- Girona, J., Mata, M., Arbonés, A., Vall-Llebre, A., Carrasco, V. y Marsal, J. 1995. Respuesta del crecimiento vegetativo y productivo en melocotoneros (*Prunus persica* L. Batsch. 'Sudanel') sometidos a diferentes estrategias de riego deficitario controlado. *Actas VI congreso de la SECH.* Barcelona.
- Goldhamer, D.A. 1997. Regulated deficit irrigation of fruit and nut trees. *Int. Water Irrig. Rev.* 17: 14-19.
- Goldhamer, D.A. y Shackel, K. 1989. Irrigation cutoff and drought irrigation strategy effects on almond. *17th Annual Almond Research Conference.* Modesto. 35-37.
- González-Altozano, P. y Castel, J.R. 1999. Regulated deficit irrigation in 'Clementina de Nules' citrus trees. I. Yield and fruit quality effects. *J. Hortic. Sci. & Biotech.* 74(6): 706-713.
- González-Altozano, P. y Castel, J.R. 2000. Regulated deficit irrigation in 'Clementina de Nules' citrus trees. II. Vegetative growth. *J. Hortic. Sci. Biotech.* 75(4): 388-392.
- Huguet, J.G., Li, S.H. y Defrance, H. 1990. Influence de la disponibilité en eau du sol sur la qualité des fruits chez le pêcher *Prunus persica* L. *9^o Colloque sur les Recherches Fruitières.* Avignon. p. 135-144.
- Marsal, J., Girona, J. y Mata, M. 1997. Leaf water relation parameter in almond compared to hazelnut trees during a deficit irrigation period. *J. Am. Soc. Hortic. Sci.* 122: 582-587.
- Mitchell, P.D. y Chalmers, D.J. 1982. The effect of reduced water supply on peach tree growth and yields. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 107: 853-856.
- Mitchell, P.D., Jerie, P.H. y 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: 604-606.
- Mitchell, P.D., Chalmers, D.J., Jerie, P.H. y 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., Van Den Ende, B., Jerie, P.H. y Chalmers, D.J. 1989. Responses of "Bartlett" pears to withholding irrigation, regulated deficit irrigation and tree spacing. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 114: 15-19.
- Ruiz-Sánchez, M.C. y Girona, J. 1995. Investigaciones sobre riego deficitario controlado en melocotonero. En: *Riego Deficitario Controlado. Fundamentos*

y Aplicaciones. Colección Cuadernos VALUE 1. Mundi Prensa/Unión Europea. p. 67-95.

Sánchez-Blanco, M.J. y Torrecillas, A. 1995. Aspectos relacionados con la utilización de estrategias de riego deficitario controlado en cultivos leñosos. En: Riego Deficitario Controlado. Fundamentos y Aplicaciones. Colección Cuadernos VALUE 1. Mundi Prensa/Unión Europea. p. 43-63.