



# Análisis Financiero del Riego Deficitario Controlado en Melocotonero variedad Catherine

---

Proyecto Final de Carrera

Cartagena, diciembre de 2014

Autor:

**Juan Fernández Gázquez**

Directores:

**Francisco José Alcón Provencio**

**Emilio Nicolás Nicolás**



## **Agradecimientos**

A Francisco José Alcón Provencio, por darme la oportunidad de realizar mi proyecto final de carrera en su área de conocimiento, por ofrecerme su apoyo, por animarme y motivarme día a día y por formarme profesional y personalmente.

A Emilio Nicolás Nicolás, por su ayuda desinteresada y sus recomendaciones.

A mis compañeros/as de clase Asu, Ana Laura, Brígida, Miguel Ángel, Jose Luis, Aitor, Rafael y Alejandro (Cata) por su nobleza y apoyo.

A mi familia, porque siempre han estado ahí y siempre estarán.

A Elisabet, porque solo ella sabe las horas que me ha aguantado explicándole los progresos del proyecto.

Este proyecto ha sido posible gracias a la financiación de los proyectos: GEAMED (AGL2010-22221-C02-01), CONSOLIDER INGENIO 2010 (MEC CSD2006-0067) y SÉNECA (05665/PI/07).





*A Elisabet, mis padres y hermanas*



## Resumen

La gestión del agua constituye un desafío importante en la actualidad, sobre todo en zonas de escasez hídrica. La agricultura es la actividad que más agua consume, y de ahí la necesidad de diseñar estrategias que hagan un uso más eficiente de este recurso. Una de esas estrategias de ahorro de agua es el riego deficitario controlado (RDC), que consiste en reducir los aportes hídricos en ciertas fases del ciclo de cultivo sin alterar los rendimientos de forma considerable. Pero para que estas estrategias sean adoptadas por los agricultores han de ser técnica y económicamente rentables.

El objetivo principal de este trabajo es evaluar económicamente el uso de RDC en melocotonero. Para alcanzar el objetivo se han utilizado los datos obtenidos en un experimento de campo en el cual se comparan dos tecnologías de apoyo a la programación del riego (cámara de presión y dendrómetros) y tres tratamientos de RDC. Los tratamientos ensayados con la cámara de presión fueron: RDC (con restricción de riego en la fase II del crecimiento del fruto y periodo post-cosecha), con severo potencial hídrico (T1) que satisfizo el 35% de la ETc, RDC con moderado potencial hídrico (T2) que supuso el 40% de la ETc, y control (T3) que satisface las máximas necesidades del cultivo (115% de la ETc). Con la tecnología de dendrómetros los tratamientos fueron: control (T4) que satisface el 100% de la ETc, RDC (T5) que satisfizo el 55% de la ETc y control (T6) donde se aplica el 115% de la ETc con la intención de calibrar los sensores utilizados en la programación del riego en los tratamientos T4 y T5. La evaluación se ha llevado a cabo mediante un análisis de costes y una evaluación financiera.

Los resultados indican que el ahorro de agua en los tratamientos de RDC es hasta del 65% sin mermas significativas de producción o calidad. Además, se han estimado menores costes de producción en los tratamientos RDC, independientemente de la tecnología de apoyo a la programación del riego utilizada. Por ello, al precio actual del agua de riego, los tratamientos con RDC son más rentables.

En la evaluación económica de la inversión en el cultivo se ha obtenido que el margen bruto es mayor en los tratamientos RDC y que la productividad económica del agua (EWP) es muy superior en los tratamientos RDC frente al control. En una simulación a 15 años de la inversión se aprecian resultados similares respecto al control. Del análisis de sensibilidad se extrae que la rentabilidad de la inversión se vería afectada en menor medida si sube el precio del agua en los tratamientos de RDC.



# Índice

Índice .....	ii
Índice de figuras .....	xi
Índice de tablas.....	xiii
Capítulo 1. Introducción .....	1
1.1. Justificación del proyecto .....	3
1.1.1. Escasez de agua en el mundo.....	3
1.1.2. Escasez de agua en España y regiones mediterráneas .....	4
1.1.3. Escasez de agua en la Región de Murcia.....	6
1.1.4. El agua y la agricultura.....	7
1.2. El Riego Deficitario Controlado (RDC).....	8
1.2.1. Fundamentos del RDC .....	10
1.2.2. Antecedentes.....	13
1.3. Objetivos.....	17
Capítulo 2. Metodología y análisis.....	19
2.1. Metodología del trabajo de campo.....	21
2.1.1. Material vegetal.....	21
2.1.2. Labores del cultivo .....	22
2.1.3. Descripción del experimento.....	24
2.1.4. Aparatos de medida .....	25
2.2. Metodología del análisis económico.....	28
2.2.1. Estructura del análisis económico .....	28
2.2.2. Costes fijos.....	28

2.2.3. Costes variables .....	30
2.2.4. Precios.....	34
2.2.5. Análisis de inversiones .....	37
Capítulo 3. Resultados y discusión .....	41
3.1. Resultados del experimento.....	43
3.2. Análisis de costes.....	49
3.3. Evaluación financiera.....	58
Capítulo 4. Conclusiones .....	65
Bibliografía .....	73

## Índice de figuras

Figura 1. Función de productividad de agua de los cultivos (CWP) tolerantes a la sequía (a) y sensibles a la sequía (b). .....	12
Figura 2. Cámara de presión para medida de potencial hídrico de tallo. ....	26
Figura 3. Sensor tipo LVDT instalado en un melocotonero joven. ....	27
Figura 4. Evolución de precios. Melocotón de media estación. Precios corrientes.....	36
Figura 6. Producción de fruta promedio de 4 años en kg/ha. Tecnología: cámara de presión. ....	44
Figura 7. Producción de fruta promedio de 4 años en kg/ha. Tecnología: dendrómetros.....	44
Figura 8. Calidad de la producción. Tecnología: cámara de presión. ....	47
Figura 9. Calidad de la producción. Tecnología: dendrómetros.....	47
Figura 10. Costes de producción en €/kg. Promedio de los cuatro años de ensayo. Tecnología: cámara de presión. ....	54
Figura 11. Costes de producción en €/kg. Promedio de los cuatro años de ensayo. Tecnología: dendrómetros. ....	55
Figura 12. WP. Promedio de los 4 años de ensayo. Tecnología: cámara de presión.....	55
Figura 13. WP. Promedio de los 4 años de ensayo. Tecnología: dendrómetros.....	56
Figura 14. Margen Bruto en €/ha. Tecnología: cámara de presión.....	57
Figura 15. Margen Bruto en €/ha. Tecnología: dendrómetros.....	58
Figura 16. Análisis de sensibilidad del VAN al precio del agua. ....	63



## Índice de tablas

Tabla 1. Coste de los fertilizantes utilizados. ....	31
Tabla 2. Productos fitosanitarios utilizados.....	31
Tabla 3. Estimación del coste energético .....	32
Tabla 4. Costes de trituración de restos de poda.....	32
Tabla 5. Coste de la mano de obra necesaria para la poda. ....	33
Tabla 6. Evolución del consumo de melocotón en los hogares españoles en el periodo 1989-2011 .....	34
Tabla 7. Precio según calidad de fruta durante los años de ensayo. ....	37
Tabla 8. Producción total de fruta en kg/ha. ....	43
Tabla 9. Calidad de la producción durante los 4 años de ensayo.....	46
Tabla 10. Consumo de agua durante los cuatro años de ensayo. ....	48
Tabla 11. Consumo de agua promedio de cada tratamiento. ....	49
Tabla 12. Ingresos y costes de producción. Tecnología: cámara de presión. ....	51
Tabla 13. Ingresos y costes de producción. Tecnología: dendrómetros.....	53
Tabla 14. EWP medida en $\text{€m}^3$ .....	56
Tabla 15. Costes de inversión para una finca de 10 has de melocotonero. ....	58
Tabla 16. Evaluación financiera a 4 años. ....	60
Tabla 17. Evaluación financiera. Simulación a 15 años.....	61



# **Capítulo 1. Introducción**



## **1.1. Justificación del proyecto**

La creciente escasez de agua nos obliga a buscar estrategias para hacer un uso más eficiente de este preciado recurso. Para obtener una alta eficiencia de uso de agua será necesario optimizar la gestión y uso del agua en todas sus vertientes, desde la gestión del agua en la cabecera hasta el usuario final.

Para ello, es también imprescindible optimizar el uso de agua en la agricultura ya que es aquí donde se destina gran parte este recurso. Para lograr este cometido se plantean distintas estrategias de riego que se van a basar en la disminución del consumo de agua. A continuación se comentarán algunos puntos de interés para comprender la necesidad de ahorro de agua.

### **1.1.1. Escasez de agua en el mundo**

La escasez de agua afecta ya a todos los continentes. Cerca de 1.200 millones de personas, casi una quinta parte de la población mundial, vive en áreas de escasez física de agua, mientras que 500 millones se aproximan a esta situación. Otros 1.600 millones, alrededor de un cuarto de la población mundial, se enfrentan a situaciones de escasez económica de agua, donde los países carecen de la infraestructura necesaria para transportar el agua desde ríos y acuíferos.

La escasez de agua constituye uno de los principales desafíos del siglo XXI al que se están enfrentando ya numerosas sociedades de todo el mundo. A lo largo del último siglo, el uso y consumo de agua creció a un ritmo dos veces superior al de la tasa de crecimiento de la población y, aunque no se puede hablar de escasez hídrica a nivel global, va en aumento el número de regiones con niveles crónicos de carencia de agua.

La escasez de agua es un fenómeno no solo natural sino también causado por la acción del ser humano. Hay suficiente agua potable en el planeta para abastecer a los 7.000 millones de personas que lo habitamos, pero ésta se distribuye de forma irregular, en ocasiones se desperdicia, está contaminada y/o se gestiona de forma insostenible.

Por lo tanto, la escasez de agua es un concepto relativo y puede darse bajo cualquier nivel de oferta o demanda de recursos hídricos. La escasez puede ser una construcción social (producto de la opulencia, las expectativas y unas costumbres arraigadas) o consecuencia de la variación en los patrones de la oferta, derivados, por ejemplo, del cambio climático.

- A día de hoy, cerca de **700 millones** de personas procedentes de 43 países diferentes sufren escasez de agua.
- En 2025, **1.800 millones** de personas vivirán en países o regiones con escasez absoluta de agua y dos terceras partes de la población mundial podrían hacerlo en condiciones de déficit hídrico.
- Bajo el contexto actual de cambio climático, en el 2030, casi **la mitad de la población mundial** vivirá en áreas de escasez hídrica, incluidas entre 75 y 250 millones de personas de África. Además, la escasez de agua en áreas áridas o semiáridas provocará el desplazamiento de entre 24 y 700 millones de personas.

### **1.1.2. Escasez de agua en España y regiones mediterráneas**

El agua, desde la antigüedad, fue reconocida como uno de los elementos vitales para la naturaleza, requisito imprescindible para la vida y para cualquier tipo de desarrollo. Hoy en día, el desarrollo sostenible de la región Mediterránea es el principal objetivo y dentro de él se requiere una gestión del agua sostenible, para asegurar y garantizar un acceso igualitario para todos, bajo el reconocimiento de que el "acceso a una cantidad mínima de agua limpia" es un derecho fundamental para garantizar que la asignación del agua y el control fortalece el bienestar económico y social en la región y para asegurar la asignación de agua medio ambientalmente necesaria. El agua fue siempre considerada "valiosa", pero en nuestros días, este escaso recurso natural está bajo una presión particularmente alta como resultado de una combinación de tres factores: (a) rápidos cambios demográficos, con permanentes o estacionales aumentos de población, particularmente en zonas urbanas y costeras, (b) alto consumo de agua para la agricultura de regadío y (c) contaminación del agua y deterioro de los recursos hídricos debido a diversas intervenciones antropológicas. Los cambios climáticos pueden sumarse también a la vulnerabilidad de los sistemas del agua y a su complejidad reforzando el impacto de las presiones indicadas.

A lo largo de la historia el agua ha sido un elemento esencial para el desarrollo económico y social y para la estabilidad de las sociedades mediterráneas. Es un elemento esencial imposible de reemplazar, caro de transportar y almacenar, y difícil de purificar. En la mayoría de los países y regiones del Mediterráneo, el agua es un limitante o, al menos, un factor crítico para el desarrollo y el mantenimiento de los ecosistemas mediterráneos.

Los países con escasez de agua son normalmente definidos como aquellos con menos de 1.000 metros cúbicos de agua dulce disponible por persona y año - cantidad insuficiente para proporcionar comida adecuada o para sostener el desarrollo económico, y una causa potencial de problemas medioambientales severos. Los países entre 1.000 y 1.700 metros cúbicos por persona y año se dice que padecen de "déficit hídrico".

El Mediterráneo oriental pertenece a una de las zonas más áridas del mundo. La media anual de precipitaciones varía considerablemente a lo largo de la región, yendo desde menos de 30 mm en la zona sur de Israel y Jordania y el desierto de Siria en el este, hasta una restringida "alta" pluviosidad en el área del norte del Líbano, donde se registran 1.000 mm anuales. Debido a la aridez de la región, el levante está entre las regiones más pobres del mundo en lo referente a recursos hídricos. La media interna de recursos hídricos renovables se estima aproximadamente en 15.000 millones  $m^3/año$  y la porción per cápita de estos recursos es de 446  $m^3/año$ , que está por debajo de la media internacional de 1.000  $m^3/año$  definida como "línea de pobreza del agua".

En la región norte de África la pluviosidad total y su distribución varían considerablemente en el tiempo y con respecto a la distancia de la costa. La mayor parte de la precipitación anual está concentrada en los meses de invierno y en las zonas norteñas de los países: en Egipto, por ejemplo, la precipitación lluviosa varía entre 0 mm en el desierto y 200 mm en la costa mediterránea con una estimación media anual en conjunto de 18 mm. En Libia la precipitación lluviosa más alta tiene lugar en el noroeste de la región (Jabal, Nafusa y llanura de Gefara) y en la región del noreste (Jabal Akhdar), donde los valores medios anuales de pluviosidad oscilan entre 250-300 mm aproximadamente. En Túnez, la pluviosidad media anual está alrededor de los 594 mm en el norte, 289 mm en el centro y 156 mm en el sur con un pico máximo de 1.500 mm en el extremo norte y un valor mínimo de menos de 100 mm en el extremo sur. En Argelia, la cantidad anual de precipitación en el norte varía entre 300 y 1.000 mm, mientras que en el Sahara y el sur del Atlas Sahariano la cantidad anual de lluvia está por debajo de 100 mm. En Marruecos, la media anual de pluviosidad está alrededor de los 340 mm, variando desde más de 450 mm en el norte a menos de 150 mm en el sudeste.

La parte europea del Mediterráneo norte, con su abundancia de recursos hídricos y su regular recarga mediante una sostenida pluviometría en la mayoría de las partes de la subregión no sufre generalmente escasez de agua. En este sentido, difiere mucho de otras subregiones del Mediterráneo (Norte de África, Medio Este, Islas). Todas las mayores cuencas hidrográficas del Mediterráneo (excepto por el río Nilo) están situadas en esta subregión (Ebro, Ródano, Po, Neretva). La pluviosidad media anual va desde 500 a más de 1.000 mm/año. La evaporación a lo largo de la costa Mediterránea norte

oscila entre 400-600 mm/año. La precipitación media anual varía desde los 100 mm/año a lo largo de la costa española, 400-500 mm/año en la costa del mar de Liguria y 300 mm/año a lo largo del mar Adriático.

### **1.1.3. Escasez de agua en la Región de Murcia**

El territorio de la Región de Murcia (RM) está ubicado dentro de la Cuenca del Segura. Presenta grandes contrastes climáticos, frecuentes sequías e inundaciones, lluvias torrenciales, elevadas temperaturas y heladas catastróficas. De una a otra vertiente montañosa, de las altas tierras a los sectores litorales, y en definitiva de una zona geográfica a otra se observan importantes diferencias climáticas.

La Demarcación del Segura presenta un clima suave y templado, con una evapotranspiración potencial media del orden de 700 mm y una escorrentía media total del orden del 15% de la precipitación media total, siendo la más baja de la península (CHS, 2008).

La precipitación media anual en la demarcación es de unos 400 mm, caracterizada por un régimen de precipitaciones con grandes desequilibrios espacio-temporales y un claro contraste entre las zonas de cabecera: Mundo y Segura hasta su confluencia, y las partes medias y bajas de la cuenca: vegas y zonas costeras.

Todo el territorio de la cuenca presenta grandes contrastes climáticos, frecuentes sequías, lluvias torrenciales y frecuentes inundaciones, elevadas temperaturas y heladas. En las montañas situadas en el noroeste de la cuenca, y sometidas a la acción de los vientos húmedos de las borrascas atlánticas del frente polar, los registros pluviométricos alcanzan sus máximos valores. En estas áreas se llega a superar los 1.000 mm/año de media.

Los valores de menor evapotranspiración potencial (ET<sub>o</sub>) corresponden a las sierras de la cabecera del río Segura, con una media anual inferior a 600 mm. El resto de las sierras del noroeste de la cuenca tienen una ET<sub>o</sub> ligeramente mayor, entre 650 y 750 mm.

Análogamente a como ocurría con las precipitaciones y las temperaturas medias anuales, se puede trazar una línea de dirección noroeste-sudeste, desde las sierras de cabecera hacia la costa. La ET<sub>o</sub> aumenta hasta alcanzar los 950 mm, correspondientes a la ciudad de Murcia y al río Guadalentín en su confluencia con el río Segura, para descender con la aproximación a la costa, donde la ET<sub>o</sub> media anual toma valores inferiores a 850 mm (Mar Menor).

La Cuenca del Segura, y dentro de ella la Región de Murcia, constituye un marco idóneo para el análisis de las áreas hidrológicamente deficitarias, pues presenta los peores indicadores y relaciones del conjunto de las cuencas peninsulares.

En primer lugar destacan la escasa precipitación media anual de 380 mm (325 mm en la RM y con zonas en torno a los 200 mm) y menor capacidad de aprovechamiento natural debido al alto índice de evapotranspiración que reduce la lluvia útil al 15% en la Cuenca y al 10% en la Región en el mejor de los casos. Por otro lado la dotación en recursos subterráneos es limitada, viéndose minorada por un intenso proceso de sobreexplotación que reduce su potencial futuro e incrementa el elevado déficit hídrico acumulado. En segundo lugar, la calidad del recurso es deficiente y tiende a empeorar con efectos importantes en el consumo agrario como descenso de la eficiencia y salinización de suelos.

#### **1.1.4. El agua y la agricultura**

El agua constituye un factor de producción fundamental para la agricultura, especialmente para aquellas regiones donde las precipitaciones son escasas y, además mal repartidas espacial y temporalmente. En países con este tipo de condiciones climáticas el sector agrario es el principal usuario del agua. Por ejemplo, en la cuenca mediterránea, el regadío utiliza entre el 70 y el 90% de los recursos hídricos disponibles.

A nivel mundial la agricultura de regadío supone el 40% de la producción total de alimentos aunque sólo representa el 17% de la superficie total cultivada, mientras que en España la superficie de regadío representa únicamente el 15% de la superficie cultivada con la que se logra el 55% de la producción final agraria.

La principal característica de los sistemas agrarios en el mediterráneo español es la escasez de agua y la intensa competencia que existe por su uso con otros sectores de la economía como servicios, industria y urbano. La agricultura utiliza más del 70% del agua dulce disponible por lo que la necesidad de incrementar la eficiencia del uso del agua ha propiciado la búsqueda de mejores tecnologías en el riego (Abrisqueta et al., 2008). La región de Murcia se distingue por tener el mayor impulso de sistemas de riego de bajo consumo de agua, con un 76 % de 115.000 ha de riego cultivadas bajo riego bajo presión, que convierte a esta comunidad como la más eficiente en la utilización de este recurso a nivel europeo (Mounzer et al., 2008). Esto ha ocurrido, entre otras razones, por el alto precio del agua (hasta 0.6 €/m<sup>3</sup>) para los productores murcianos (Ballesteros, 2005). Por ello, la agricultura española actual se enfoca a maximizar la productividad del agua (Playan y Mateos, 2006).

La horticultura de Murcia es conocida como el surtidor de frutas y hortalizas de alta calidad al resto de Europa, por lo que este sector representa 13 % de la economía regional y es altamente generador de empleos. Sin embargo, el hecho de tener más de 1.000 mm anuales de evapotranspiración potencial (ET<sub>o</sub>), que representa una alta demanda por el recurso hídrico, sobre todo en cultivos perennes como los frutales que presentan alto requerimiento de agua en el periodo de formación de fruto para no reducir el rendimiento, y durante el periodo de postcosecha para no afectar la producción del siguiente año (Torrecillas et al., 2000).

El riego por goteo se sitúa a la cabeza en optimización del agua para riego y asociado a esta técnica que nos permite un gran control sobre el sistema suelo-agua-planta se van a desarrollar diversas estrategias para generar información que permita hacer un uso más eficiente del agua, tales como reducción del riego de manera parcial o total (Martínez et al., 2007), uso de autómatas para el riego a determinados niveles de humedad (Mounzer et al., 2008a), optimización del riego con la utilización de sensores electrónicos del flujo de savia y de las variaciones micrométricas del tronco (Ortuño et al., 2006), y el estudio de la fisiología y el estado energético del agua en la planta (Conejero et al., 2007). En estas investigaciones se ha encontrado ahorros en la aplicación del agua de más de 500 m<sup>3</sup>/ ha·y año, sin afectar variables fisiológicas y energéticas.

## **1.2. El Riego Deficitario Controlado (RDC)**

La necesidad de proporcionar agua a los cultivos es un hecho que aparece ligado a la historia y evolución de la humanidad. Muchas culturas del planeta llegaron a obtener un alto grado de desarrollo gracias a sus conocimientos sobre el manejo del agua con fines agrícolas. Sin embargo, otras culturas han protagonizado una significativa decadencia, y en algunos casos, han llegado a la desaparición como consecuencia del desconocimiento de los riesgos que conlleva el manejo inadecuado del riego. Las primeras civilizaciones se establecieron en Mesopotamia, entre los ríos Tigris y Éufrates. En Egipto el río Nilo fue fundamental para el desarrollo de la agricultura gracias a sus crecidas anuales, los egipcios crearon las primeras infraestructuras (canales y lagunas) para aprovechar de un modo más eficiente el agua. En el otro extremo, se observa como civilizaciones muy avanzadas para su época como fue la maya sucumbieron debido a sequías extremas. Otro ejemplo es la desecación del Mar de Aral. Es uno de los mayores desastres ecológicos de la historia. Entre 1954 y 1960, el gobierno de la antigua URSS, con la intención de cultivar algodón en la región, ordenó la construcción de un canal de 500 km de longitud que tomaría un tercio del agua del río Amu Daria para una enorme extensión de tierra irrigada. La necesidad cada vez mayor de agua, debida a la mala

gestión de su transporte y a la falta de previsión y eficiencia del riego, supuso tomar agua de más ríos que desembocaban en el Mar de Aral.

Por ello, en los años ochenta, el agua que llegaba a puerto era tan sólo un 10% del caudal de 1960 y el Mar de Aral empezó un proceso de desecación. En consecuencia, el Mar de Aral ocupa actualmente la mitad de su superficie original y su volumen se ha visto reducido a una cuarta parte, el 95% de los embalses y humedales cercanos se han convertido en desiertos y más de 50 lagos de los deltas, con una superficie de 60.000 ha, se han secado. Esto ha provocado la decadencia de la mayoría de los asentamientos humanos próximos a este mar.

Aunque los ciclos de sequía son ya tradicionales en la historia de nuestro país, la sequía que vienen padeciendo numerosas regiones desde hace unos años, apenas tiene precedentes en épocas pasadas y sus efectos sobre la agricultura de regadío han sido notables. En la Cuenca del Segura se ha creado una situación de clara inestabilidad dado que las sequías son un fenómeno estacional recurrente. Las consecuencias de la escasez de agua para la agricultura provoca directamente mermas en la producción, pérdidas en la renta de los agricultores, destrucción de puestos de trabajo e impacto ambiental difícil de cuantificar entre otras.

Por todo esto no cabe duda de la necesidad de emprender acciones tendentes a mejorar la gestión del agua. Por un lado existe la opción de aumentar la oferta de agua mediante presas, trasvases, agua desalinizada, agua regenerada, pozos, etc. Y por otro lado también se tiene la opción de optimizar la demanda de agua adoptando nuevas tecnologías de riego o nuevas técnicas de programación del riego como el riego deficitario controlado. Estas últimas opciones no implican problemas sociales ya que dependen únicamente del agricultor e interfieren solo en sus cultivos. Aspecto diferente a la creación de un nuevo pozo o de una nueva planta desalinizadora, donde son muchos los usuarios afectados positiva y negativamente.

La formación continua de los regantes para inducirles a optimizar el uso del agua con un impacto ambiental mínimo es esencial. Por esta razón debe agilizarse el proceso de transferencia tecnológica.

Al hilo de lo expuesto anteriormente, toma una especial relevancia el estudio de estrategias de riego deficitario capaces de reducir el agua aplicada con el mínimo impacto posible sobre la producción.

Existe abundante información sobre la respuesta de distintos cultivos al riego deficitario, si bien con el denominador común de que el déficit de agua reduce los rendimientos. Algunas estrategias de riego deficitario, como la denominada riego

deficitario de alta frecuencia o riego deficitario sostenido, consisten en regar todo el ciclo por debajo de la demanda del cultivo pero utilizando una frecuencia de aportes lo suficientemente alta como para evitar la aparición de situaciones de estrés trascendentales para la producción.

Si bien el riego deficitario de alta frecuencia puede constituir una clara alternativa ante determinadas circunstancias, no es menos cierto que presenta lagunas importantes, como no considerar que el déficit hídrico puede resultar más o menos trascendente en función del momento fenológico. Por esta razón han adquirido una relevancia especial enfoques más fisiológicos del problema, prestando atención tanto a la fenología del cultivo como a su capacidad para resistir situaciones de déficit hídrico.

De esta manera, surge lo que se llama riego deficitario controlado (RDC), basado en la idea de reducir los aportes hídricos en aquellas etapas fenológicas en las que un déficit hídrico controlado no afecta sensiblemente a la producción y calidad de la cosecha y de cubrir la demanda de la planta completamente durante el resto del ciclo de cultivo. (English., 1990).

### **1.2.1. Fundamentos del RDC**

Para la elaboración de estrategias de RDC hay que considerar una serie de factores que pueden comprometer de forma importante la viabilidad de estas estrategias (Sánchez-Blanco M<sup>a</sup>. J y Torrecillas A. 1995). Los factores son los siguientes:

- Periodos críticos de cultivo. Se definen como aquellos momentos fenológicos en los que el desarrollo de un déficit hídrico puede condicionar considerablemente la producción y/o la calidad de la cosecha.
- Crecimiento vegetativo y del fruto. Uno de los objetivos del RDC en algunos cultivos concretos, tales como el melocotonero, es evitar un exceso de vigor en la planta que pueda inducir efectos negativos en la fructificación. Así una clara separación entre los procesos de crecimiento vegetativo y del fruto, puede definir la idoneidad de un cultivo para ser utilizado en RDC. Otro aspecto de interés es el crecimiento compensatorio que experimentan algunos frutos tras reanudar el riego tras un periodo de déficit hídrico.
- Características del suelo y sistema de riego. Es necesario controlar tanto el déficit de agua en el suelo como la recarga de agua. Por esta razón se recomiendan suelos poco profundos con baja capacidad de retención hídrica, igualmente volúmenes reducidos de suelo humectados favorecen sistemas radiculares concentrados que van a facilitar el agotamiento y la recarga del agua

en el suelo de manera rápida y precisa. Lógicamente el sistema de riego apropiado para llevar a cabo estas técnicas es el riego localizado.

- **Clima.** Las condiciones climáticas van a condicionar la aplicación y el desarrollo del RDC, aunque normalmente el RDC se practica en zonas de escasez de agua y por tanto de precipitaciones. En zonas de elevada precipitación habría que controlar como afectan los periodos de lluvia a la estrategia de RDC.
- **Resistencia a la sequía.** La capacidad de adaptación de los cultivos a situaciones de déficit hídrico es otro aspecto relevante. Algunos cultivos arbóreos poseen mecanismos para extraer agua de horizontes profundos, pueden realizar ajuste osmótico e incluso el déficit de agua en el suelo puede provocar en las raíces la emisión de señales químicas hacia las hojas para inducir un cierre estomático mayor y evitar la deshidratación. Otro mecanismo de resistencia a la sequía puede ser la defoliación parcial para disminuir las pérdidas de agua por transpiración. Esta defoliación puede no ser recuperable durante el ciclo de cultivo si es muy severa y, aunque el árbol sobreviviera a ésta, la productividad resultaría afectada.

Unos de los principales objetivos de la utilización de estrategias de RDC es mantener la productividad del agua (WP) para los cultivos a largo plazo en zonas de escasez de agua (Geerts S. y Raes D. 2009).

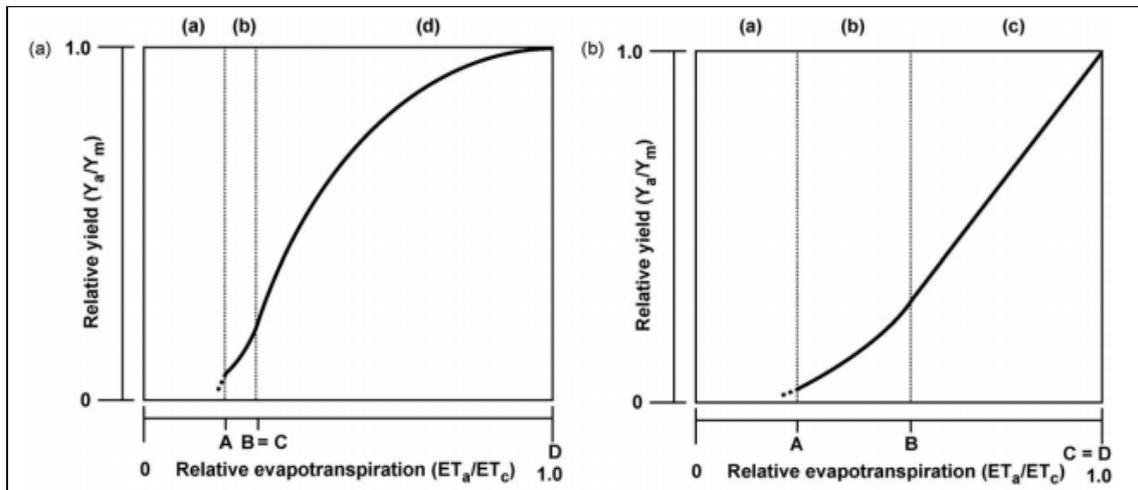
La WP de los cultivos es un método clave para evaluar estrategias. Se mide en kg de producto comercial (Y) por cada m<sup>3</sup> de agua utilizado para su producción, que normalmente equivale a la evapotranspiración el cultivo (ET).

$$WP = Y/ET \quad (1)$$

Los cultivos con WP elevada deberían ser preferibles en zonas con escasez de agua aunque éste no es el único factor. En cultivos de alta energía o alto valor proteico la WP absoluta puede ser baja pero su valor nutricional es mayor, por lo tanto debería considerarse a la hora de evaluar estos temas en regiones propensas a la sequía. También es necesario aclarar si el denominador de la expresión 1 incluye el agua de lluvia o tan solo los aportes derivados del riego, en tal caso los valores de WP serán diferentes.

De esta manera, el efecto del agua de riego sobre el rendimiento del cultivo puede ser analizado a través de la función de productividad del agua de los cultivos (CWP) (Figura 1), donde la evapotranspiración relativa definirá el rendimiento relativo del cultivo.

**Figura 1. Función de productividad de agua de los cultivos (CWP) tolerantes a la sequía (a) y sensibles a la sequía (b).**



$Y_a$ =rendimiento actual.  $Y_m$ =rendimiento potencial.  $ET_a$ =cantidad real de agua evapotranspirada.  $ET_c$ =requerimientos hídricos del cultivo. Fuente: Geerts S. y Raes D. (2009)

Las características de cada una de las secciones de la CWP son:

- Sección A: Si se aplica la una cantidad de agua insuficiente durante el ciclo del cultivo, la cosecha no se desarrollará plenamente, lo que resulta en un rendimiento de baja calidad o incluso una pérdida total de rendimiento (Yazar y Sezen, 2006).
- Sección B: Una vez que se garantiza una cantidad mínima de agua (A) garantizada por la lluvia y/o riego, los rendimientos (y, por tanto, WP) empieza a aumentar con el aumento de los niveles de agua. Esta sección tiene una forma cóncava: ya que al aumentar el suministro de agua siempre resultará en un aumento de WP de A a B.
- Sección C: Con la aplicación adicional de agua, la función de producción puede ser casi lineal, con una pendiente que va desde leve a elevada.
- Sección D: Al igual que muchos de los cultivos, la pendiente de la CWP a menudo disminuye una vez  $ET_a/ET_c$  está cerca de 1. Hacia el límite superior de  $ET_a/ET_c$ , el aumento de rendimiento proporcional por unidad ET, se va nivelando. La sección D puede ser bastante grande, para cultivos como alfalfa, remolacha azucarera (Doorenbos y Kassam, 1979), trigo (Kang et al., 2002; Zhang et al., 2008; Sun et al., 2006) o algodón (Henggeler et al., 2002; Kanber et al, 2006; Detar, 2008), mientras que puede ser casi nula por otros cultivos, como el maíz (Kipkorir et al., 2002; Farre' y Faci, 2006; Payero et al., 2006). En la literatura, en este apartado se describe a menudo utilizando combinaciones de funciones lineales (es decir, un modelo 'palo roto'). Cuando la función

de productividad del agua de los cultivos incluye el exceso de riego y/o la lluvia, tiene una forma de S más pronunciada (Fig. 1), con la creación de una sección adicional:

- Sección E: La aplicación de más agua que la requerida por la ETc no aumenta el rendimiento, ya que el agua se pierde a través del suelo improductivo, evaporación y/o percolación profunda. Si se aplica demasiada agua el rendimiento incluso podría disminuir como resultado de la acumulación de agua o lixiviación de los nutrientes de la zona de la raíz (Sun et al, 2006; Cabello et al., 2009). En esta sección, por lo tanto no se requiere de riego, a menos que la zona de la raíz debe existir una fracción de lavado para reducir la salinidad.

En incremento de la productividad de agua para los cultivos se atribuye a las siguientes cuestiones:

- La pérdida de agua mediante evaporación disminuye
- El efecto negativo de la sequía en determinados estados fenológicos, aquellos que canalizan la producción de biomasa hacia zonas vegetativas o reproductivas, se evita. Esto permite estabilizar o aumentar el número de órganos reproductivos y/o su masa individual (llenado de frutos).
- La productividad del agua para la asimilación de biomasa aumenta debido a la sinergia entre el riego y la fertilización. Esto incluye los casos en los que se reduce el riego si los niveles de fertilizantes y fertilidad natural son bajos.
- Se pueden evitar ciertas condiciones agronómicas negativas como plagas, enfermedades y condiciones anaerobias en la zona radicular debido a la acumulación de agua.

### **1.2.2. Antecedentes**

Los primeros investigadores que trabajaron en este tema, allá por los años 80, fueron Chalmers y Mitchell y sus trabajos realizados en Australia abordando la respuesta de distintos cultivos al RDC.

Ensayos realizados en peral (Mitchell et al., 1984; Mitchell et al., 1989) con tres tratamientos de riego: un control con aportes del 100% de la evaporación de cubeta clase A, durante todo el ciclo de cultivo y dos tratamientos deficitarios con aportes del 23 y 46% durante la fase de crecimiento vegetativo (que coincide con la inicial de lento crecimiento del fruto) seguidos de riego al 100% durante la fase de rápido crecimiento del fruto, mostraron como el crecimiento vegetativo disminuyó proporcionalmente al nivel de déficit hídrico de cada tratamiento aunque, tanto la producción como el tamaño

de los frutos de alto valor comercial, aumentaron en los tratamientos de riego deficitario.

El ahorro de agua se cifró en un 33 y un 27% en cada uno de los tratamientos deficitarios respecto al control. El tratamiento más deficitario produjo, durante los 5 años de ensayo, 65 t/ha más de frutos de diámetro superior a 57 mm que el control y un ahorro de agua del orden de 2.000 m<sup>3</sup>/ha, con una WP de 22 kg/m<sup>3</sup> frente a los 12,5 kg/m<sup>3</sup> del control. La alternancia productiva característica de este cultivo quedó, incluso, atenuada en el tratamiento más deficitario. Estos mismos autores señalan que los mayores rendimientos en RDC se presentaron en aquellos ensayos en los que la densidad de plantación era mayor, sugiriendo que el RDC es más eficiente cuando el crecimiento radicular está limitado.

A partir de aquí se fueron realizando ensayos de RDC en distintos cultivos leñosos:

Los resultados obtenidos por Huguet et al. (1990) y Li et al. (1989) en Francia vienen a confirmar los anteriores resultados señalando la alta sensibilidad al déficit hídrico del melocotón en su última fase de rápido crecimiento. El déficit impuesto en esta fase supuso una reducción de la producción y frutos de menor calibre, aunque éstos presentaron mayores niveles de sólidos solubles, acidez y una mayor duración en su conservación post-recolección.

Goldhamer y Shackel (1989) en ensayos similares de RDC en almendro, consiguieron ahorros de agua del 58% mediante la aplicación de una estrategia de RDC, consistente en regar al 80% de la ETc hasta que se completa el tamaño exterior del fruto (mitad de mayo) y finaliza el crecimiento vegetativo, seguido de un 60% de la ETc hasta que se completa el tamaño de la pepita (mitad de junio), para continuar durante la fase de aumento en peso seco de la pepita con un 40% de la ETc hasta finales de junio y un 60% de la ETc hasta la recolección. Las producciones obtenidas fueron similares a las del tratamiento control y vienen a coincidir con las observaciones de Girona (1992).

En el caso de los cítricos, Domingo (1994) realizó en limonero ensayos tendentes a disminuir las dotaciones de riego, mediante la utilización de estrategias de riego deficitario. Concretamente se comparó en limonero Fino un tratamiento de RDC, mediante la reducción de los aportes hídricos al 25% de la ETc, durante todo el año excepto durante el periodo de rápido crecimiento del limón en el que se aplicó el 100% de la ETc, frente a otros dos tratamientos, un control regado al 100% de la ETc y otro en el que se redujo el riego al 70% de la ETc, durante el mencionado periodo de crecimiento del fruto y que viene a coincidir con la época de menor disponibilidad de agua para riego.

Los tratamientos deficitarios supusieron un ahorro de agua del orden del 30% en el primer caso y del 20% en el último caso. Ninguno de los tratamientos de riego supuso disminución de la producción total durante los cuatro años de ensayo. Sin embargo, la reducción del riego durante la fase de rápido crecimiento del limón, supuso un claro retraso en alcanzar el tamaño comercial, con la consiguiente incidencia en el valor de la producción de esta variedad temprana de limonero. El tratamiento de RDC solo presentó una disminución de frutos cosechados en el primer corte uno de los años de ensayo, por lo que estos resultados pueden constituir la base para obtener estrategias de riego capaces de optimizar el uso del agua en las condiciones ensayadas.

Pérez-Sarmiento et al (2009) estudiaron los efectos del RDC en albaricoqueros (*Prunus armeniaca* L. cv. 'Búlida') de 9 años de edad injertados sobre portainjerto 'Real Fino'. Se establecieron dos tratamientos de riego. Un tratamiento control que se regó para satisfacer plenamente las necesidades de agua del cultivo (100% ETc), un tratamiento RDC, que restringía el agua durante los períodos no críticos de desarrollo del cultivo, reduciendo la cantidad aplicada de agua de riego a: a) 40% de ETc desde la floración hasta el final de la primera fase de crecimiento del fruto; b) el 60% de la ETc durante la segunda etapa de crecimiento del fruto y c) el 50% y el 25% de la ETc durante el último período de post-cosecha (que comienza 60 días después de la cosecha), durante los primeros 30 días y hasta el final de la defoliación del árbol, respectivamente. Los resultados indicaron que el árbol de albaricoquero es una especie adecuada para aplicar RDC gracias a la clara separación entre su crecimiento vegetativo y reproductivo, y por su capacidad para producir crecimientos compensatorios en diámetro de la fruta tras la aplicación RDC. Además, se mejoran algunas características cualitativas, tales como el nivel de sólidos solubles, sabor de fruta y el color de la misma. Estas dos razones, junto con el ahorro de agua de riego de 39%, hacen hincapié en las estrategias de I + D + i como una posible solución en zonas con escasez de agua, al igual que en el sureste de España.

Intrigliolo y Castel (2010) investigaron los efectos del RDC y la carga frutal de ciruela japonesa. Se aplicó la estrategia RDC durante la fase II de crecimiento del fruto y el periodo post-cosecha. Cada tratamiento de riego se aplicó a una carga frutal (descrito como medio) y hasta aproximadamente 40% menos que la práctica comercial (descrito como bajo). La estrategia RDC permitió un 30% de ahorro de agua, el aumento de la WP de los árboles, con un efecto mínimo en el rendimiento del cultivo y el crecimiento de la fruta. Sin embargo, el rendimiento económico, calculado a partir de la distribución de peso del fruto por categorías comerciales, fue más afectado en el tratamiento de RDC. La combinación de la carga frutal media y RDC cambió la distribución masiva de fruta hacia las categorías de bajo valor. En el caso del tratamiento RDC con bajo nivel

de carga frutal los rendimientos económicos fueron similares o incluso superiores al tratamiento control. Además, la combinación de RDC y baja carga frutal hizo que aumentara el contenido de sólidos solubles de la fruta y con ello su calidad.

Geerts y Raes (2009) realizan una recopilación de cultivos en los que se estaba investigando o se había investigado desde el punto de vista técnico la posibilidad de utilizar el riego deficitario para aumentar la WP para los cultivos de zonas de escasez de agua.

Se puede comprobar que existen muchos antecedentes de tipo técnico que ofrecen grandes posibilidades a la hora de afrontar con garantías estrategias de RDC pero estas estrategias han de ser técnica y económicamente rentables para que los agricultores puedan plantearse su utilización.

Muchos autores han obtenido buenos resultados al estudiar la viabilidad o rentabilidad de aplicar estas estrategias de riego a distintas especies frutales. García et al. (2004) obtuvieron un mayor beneficio generado por unidad de capital gastado en el proceso productivo al aplicar RDC en almendro y sugieren que esta estrategia puede resultar apropiada en ambientes semiáridos, debido al importante ahorro de agua y a la mayor rentabilidad económica que se consigue en estas condiciones de riesgo. Romero et al. (2005) van un paso más allá e introducen RDC en almendro mediante riego subterráneo apreciando que esta estrategia es económicamente apropiada en zonas semiáridas con escasez de agua ya que aumenta considerablemente la WP.

Los estudios económicos realizados hasta ahora están limitados a ciertos cultivos, García et al. (2011) comparan la rentabilidad de utilizar RDC o riego parcial de la zona radicular en viñedos concluyendo que para las condiciones edafoclimáticas del sureste español es más rentable el uso de RDC.

Un artículo de Pérez-Pérez et al. (2009) indica que si el precio del agua aumenta a medida que disminuyen los recursos hídricos disponibles, estrategias de RDC en naranjo con porta-injertos 'Citrange Carrizo' serán más rentables que utilizando porta-injertos de mandarino 'Cleopatra'. También apuntan que el ratio Beneficio/Coste es mayor utilizando RDC en el cultivo del naranjo, todo esto en la zona de influencia del sureste de España

Alcón et al. (2009) estudiaron la viabilidad financiera de la implementación de RDC y de riego deficitario sostenido (RDS) durante todo el ciclo en almendro en el sureste de España. Los resultados obtenidos indican que el RDS en su grado más moderado (riego al 75% de ETc y 60% durante toda la etapa de crecimiento) puede ser el tratamiento de riego más rentable en el área de estudio. En este artículo no se compara el riego

convencional frente al RDC, sino que ya se comparan distintas estrategias de riego deficitario. Queda patente la importancia que tiene el estudio de este tipo de estrategias.

### **1.3. Objetivos**

El objetivo principal de este trabajo es evaluar desde el punto de vista económico el uso de estrategias de riego deficitario controlado (RDC) en melocotonero 'Catherine' en base a los datos proporcionados por un experimento de campo.

Para alcanzar este objetivo se parte de un experimento que consistió en comparar tres tratamientos de riego (un control que satisface el 100% de la ETc y dos RDC, uno moderado y otro severo) por cada tecnología de programación del riego. Las tecnologías utilizadas fueron, por un lado, la cámara de presión para medir potencial hídrico de tallo y, por otro lado, los dendrómetros (sensores tipo LVDT) para medir la máxima contracción diaria de tronco. Esta fase experimental ha proporcionado información técnica que se utilizará para elaborar los costes de producción atendiendo a los precios de mercado.

Una vez analizados los costes se realizará una evaluación global de la técnica y las tecnologías utilizando la metodología de análisis de inversiones.

La consecución del objetivo tiene una finalidad académica y empresarial. Por un lado, este trabajo contribuirá con el análisis económico de una especie, todavía no estudiada desde esta perspectiva, y se unirá a las publicaciones existentes aportando información relativa al uso de estrategias de ahorro de agua y su viabilidad económica y financiera en el cultivo del melocotonero 'Catherine'. Desde el punto de vista empresarial, la aplicación de estrategias de RDC en el cultivo del melocotonero es técnicamente viable y posible en la actualidad pero es necesaria información económica que facilite la aceptación de esta estrategia de riego por los usuarios y es en este último término donde reside el mayor interés de este trabajo.



## **Capítulo 2. Metodología y análisis**



## **2.1. Metodología del trabajo de campo**

### **2.1.1. Material vegetal**

La variedad de melocotonero Catherine es la utilizada para la realización del experimento de campo. Las características de esta variedad se exponen a continuación:

Cultivar: Frederica

Sinonimia: Criterina

Obtentor: L.F. Hough, New Jersey

País de procedencia: Estados Unidos

Caracteres morfológicos:

#### Árbol

Porte: abierto, con buena ramificación, producción sobre ramas mixtas de buena calidad y madera vieja. Requerimientos de aclareo inferiores a las de recolección más temprana.

Vigor: alto

Floribundidad: media

Días entre floración y cosecha: 106

Necesidades de horas frío: 300 h

#### Fruto

Color: amarillo con chapa roja por la insolación, sobre el 5-20% de la superficie.

Forma: redondeada, con sutura poco aparente.

Pulpa: semiconsistente y jugosa. Aptitud mixta: consumo en fresco e industria.

Calibre medio en mm: 67,3

Homogeneidad del calibre: alta

Sensibilidad a cracking: no sensible

Sensibilidad a hueso abierto: baja, algunos daños en condiciones favorables

Sensibilidad a enfermedades: poco sensible

Intervalo medio de cosecha: del 1 al 21 de julio

Número de pasadas: 3-4

Sensibilidad a la caída de frutos: poco sensible

Aptitud a las manipulaciones: buena

### Calidad

Sólidos solubles del zumo (°Brix): 11

Acidez del zumo (g/l ácido málico): 7

Relación sólidos solubles/acidez: 1,6

Calidad gustativa: buena-media

### Valoración global

Variedad de referencia de amplia difusión en todas las zonas productoras. Es la más interesante de la época por su alta producción y buen calibre, aunque la calidad es media e inferior a otras de recolección más temprana, como “Romea”. Tiene un buen nivel de rusticidad.

#### **2.1.2. Labores del cultivo**

El cultivo del melocotonero pasa por tres fases a lo largo de su vida que dependerán de las condiciones ambientales y las técnicas de cultivo. La entrada en plena producción del melocotonero de media estación variedad Catherine está en 6 años y su vida útil se sitúa en 15 años, como se desprende de la plantación objeto de estudio y en concordancia con García (2007).

Las labores de cultivo realizadas en melocotonero Catherine a lo largo de su ciclo de cultivo, que corresponden con las requeridas por el melocotonero de media estación en la Región de Murcia, son:

#### Diciembre-enero:

-Tratamiento fitosanitario pre-floración con compuesto fosforado+cobre.

- Inicio de la fertirrigación.

Marzo-Abril

-Tratamiento fitosanitario contra pulgón, oidio y monilia.

-Tratamiento herbicida y/o labor.

Abril-Mayo:

-Aclareo de frutos.

-Tratamiento fitosanitario cribado y pulgón.

Mayo-Junio:

-En RDC, periodo de disminución de aportes hídricos.

-Tratamiento fitosanitario contra araña roja y mosca de la fruta.

-Tratamiento herbicida y/o labor.

Julio:

-Recolección de frutos.

Agosto:

-Tratamiento fitosanitario insecticida contra oídio y cribado

Octubre-Noviembre:

-Fin de la fertirrigación.

-Poda.

-Trituración de restos de poda.

Las fechas previstas para cada labor son estimadas según climatología al igual que los tratamientos fitosanitarios y aplicación de herbicidas y/o labores, también se entiende que no se realizarán todos los tratamientos sin que sean absolutamente necesarios. Los datos se han obtenido a partir de las labores realizadas en la finca donde se ubica el experimento tal y como se desprende de sus cuadernos de cultivo.

### 2.1.3. Descripción del experimento

El ensayo se realizó en el periodo 2008-2011 en una parcela experimental, localizada en el valle de Mula en Murcia, España (37°55'N, 1°25'W, 360 m con respecto al nivel del mar). La parcela esta cultivada con melocotoneros cv Catherine/GF677, de 9 años de edad al comienzo del experimento, cultivados a un marco de plantación de 6 x 4 m y regados con 4 emisores por árbol de 4 L h<sup>-1</sup>. La climatología fue típicamente mediterránea, con evapotranspiración media anual (ET<sub>o</sub> Penman-Monteith) de 1.050 mm y 388 mm de lluvia.

El suelo, de textura franco-arcillosa, con un contenido volumétrico de agua a capacidad de campo de 0.3 mm m<sup>-1</sup> y densidad aparente de 1.3 g cm<sup>-3</sup>, es pobre en materia orgánica, potasio y fósforo y no presenta problemas de salinidad. El agua de riego procedente de pozo mantuvo una conductividad eléctrica media (CE<sub>25°C</sub>) de 0.7 dS m<sup>-1</sup> y muy bajo contenido en cloro y sodio respectivamente, lo que muestra la buena calidad agronómica de la misma.

Se ensayaron 6 tratamientos de riego distribuidos según un diseño experimental de bloques al azar, consistente en 4 repeticiones por tratamiento. Se usaron dos tecnologías distintas para los 6 tratamientos. Así para los tratamientos T1, T2 y T3 se utilizó el potencial hídrico de tallo medido mediante la cámara de presión y para los tratamientos T4, T5 y T6 se usó la máxima contracción diaria (MCD) de tronco medida con dendrómetros. Los tratamientos ensayados fueron: riego deficitario controlado (con restricción de riego en los periodos no críticos, que son la fase II del crecimiento del fruto y periodo post-cosecha), con severo potencial hídrico (T1) que satisfizo el 35% de la ET<sub>c</sub>, riego deficitario controlado con moderado potencial hídrico (T2) que supuso el 40% de la ET<sub>c</sub>, y control (T3) que satisface las máximas necesidades del cultivo (115% de la ET<sub>c</sub>), control (T4) con dendrómetros que satisface el 100% de la ET<sub>c</sub>, riego deficitario controlado (T5) medido con dendrómetros que satisfizo el 55% de la ET<sub>c</sub> y control (T6) donde se aplica más del 115% de la ET<sub>c</sub> con la intención de calibrar los sensores utilizados en la programación del riego en los tratamientos T4 y T5.

El potencial hídrico de tallo a mediodía ( $\Psi_t$ ), se evaluó cada 3 días, utilizando una cámara de presión (Soil Moisture Equip. Corp, model 600), en 8 hojas adultas por tratamiento, de acuerdo a los procedimientos descritos por Turner (1981). La fotosíntesis y conductancia estomática fue medida con medidor portátil de fotosíntesis LICOR 6.400, en hojas soleadas y en un mismo número que  $\Psi_t$ .

Las fluctuaciones continuas del diámetro del tronco (TDF) se midieron con sensores de desplazamiento lineal tipo LVDT (Solartron Metrology, Bognor Regis, UK, model

DF  $\pm 2.5$  mm, precisión  $\pm 10$   $\mu$ m), colocados a 30 cm del suelo, en la cara Norte del tronco (4 sensores por tratamiento), conectados a 2 datalogger con registro de datos cada 30 segundos y almacenamiento medio cada 15 minutos. La máxima contracción diaria (MCD) fue calculada como la diferencia entre el diámetro máximo alcanzado antes del alba y el mínimo a mediodía (Goldhamer y Fereres, 2001) y la tasa de crecimiento diaria (TCD) fue calculada como diferencia entre el máximo de dos días consecutivos.

Además de las medidas de potencial hídrico de tallo, fotosíntesis, conductancia estomática, máxima contracción diaria y tasa de crecimiento diaria se efectuaron medidas como el peso de la poda de cada tratamiento, el crecimiento vegetativo y la producción total tanto en cantidad como en calidad. Todas estas medidas serán de mucha utilidad a la hora de calcular los costes de cada tratamiento.

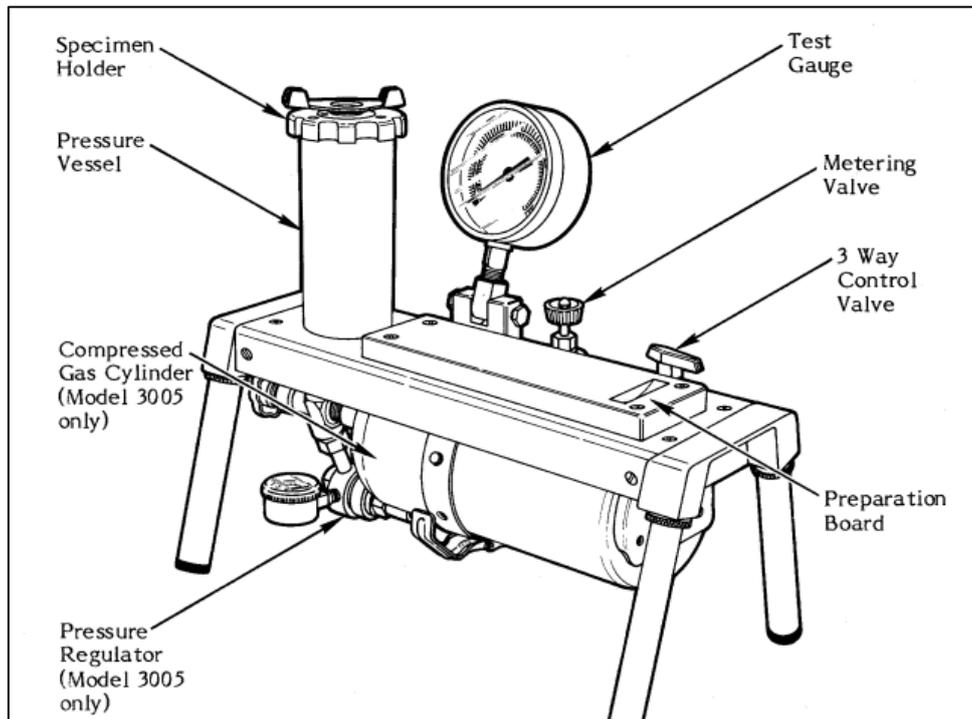
#### **2.1.4. Aparatos de medida**

Para la realización del experimento se ha contado con la ayuda de los siguientes aparatos de medida que se describen a continuación:

##### Cámara de presión

Este es el equipo necesario para medir el potencial hídrico de tallo, se trata de un equipo de la casa comercial Soil Moisture y el modelo PMS 600. Este equipo proporciona un medio de medición de forma rápida y precisa del estado hídrico de la planta. Así, se coloca una hoja se coloca en la cámara de muestra con el extremo del corte que sobresale del soporte. La presión aumenta dentro de la cámara hasta que la presión excede de la tensión dentro del material de la planta, y la savia del xilema comienza a fluir desde el extremo del corte. La tensión se puede leer directamente desde el medidor de presión. El equipo está conectado a una fuente externa, tal como un cilindro de gas comprimido.

**Figura 2. Cámara de presión para medida de potencial hídrico de tallo.**



Precio de la cámara de presión: 3.000 €

Tiempo necesario para la medida: 2 h.

Coste anual de la medida: 250 € Es necesario el empleo de Nitrógeno seco, por lo que se necesitará un contrato anual con distribuidores de gases.

Vida útil de la cámara de presión: 10-15 años.

#### Sensores de desplazamiento lineal tipo LVDT

Los sensores de desplazamiento tipo inductivo, también conocidos como sensores de desplazamiento LVDT (de las siglas en inglés Linear Variable Differential Transformer), basan su funcionamiento en el movimiento de un núcleo dentro del cuerpo del sensor que tiene arrollados los bobinados, de ahí que sea un transformador de núcleo móvil.

Se trata de un sensor sin rozamiento, ya que al ser inductivo, la variación es por campo magnético. Este desplazamiento debidamente calibrado, proporciona una relación entre la inducción y la distancia recorrida.

**Figura 3. Sensor tipo LVDT instalado en un melocotonero joven.**



Precio unitario del sensor: 250 €

Precio porta sensor: 100 €

Vida útil del porta sensor: ilimitada bajo un uso correcto.

Vida útil del sensor: 5 años.

Nº de sensores para programación: 4

Precio de datalogger: 1.000 €

Ordenador para el procesado, recogida, etc de la información: 600 €

Mantenimiento de la instalación en campo (revisión de sensores, etc): 1 h/semana sin contar los desplazamientos.

Programación del riego completamente manual, supone, recogida de la información, análisis e interpretación de la misma. 2 h/semana.

## **2.2. Metodología del análisis económico**

### **2.2.1. Estructura del análisis económico**

La estructura del análisis económico está basada en el desarrollo realizado por Caballero et al. (1992). A partir de este trabajo diversos autores como García et al. (2004) y Alcón et al. (2013) han propuesto adaptaciones a sus trabajos sobre RDC en almendro en el sureste de España y sobre la evaluación económica del uso de aguas regeneradas en cultivos de mandarinos, respectivamente.

El análisis económico se dividirá, por un lado, en costes fijos, y por otro, en costes variables. Posteriormente, se realizará un análisis de precios a lo largo del tiempo; y finalmente se realizará un análisis de inversiones donde se expondrán los parámetros que definen una inversión de este tipo.

### **2.2.2. Costes fijos**

Los costes fijos, constituidos por el conjunto de factores que no se agotan en un solo proceso productivo y pueden ser utilizados en los periodos siguientes, han sido considerados en el estudio

Para poner en marcha cualquier explotación agrícola de frutales será necesario un movimiento de tierras y acondicionamiento del terreno, un material vegetal adecuado, un embalse de regulación para el riego, una instalación de riego, maquinaria en propiedad e impuestos y seguros. Todos estos costes no estarán ligados directamente a la unidad de producción (García, 2007), simplemente serán necesarios para que se den las condiciones necesarias para producir. A esto es a lo que llamaremos costes fijos. Otra forma de definir los costes fijos es teniendo en cuenta todo aquello que exista en la explotación, que suponga un coste, que tenga una vida útil mayor de un año.

En este caso la estimación de costes fijos se ha obtenido mediante el análisis de presupuestos solicitados a empresas suministradoras y todo ello contrastado y corroborado con la bibliografía relacionada como Romero et al. (2006) y Pérez-Pérez et al. (2010). A continuación se explica más detalladamente la estimación de costes fijos.

Embalse: el movimiento de tierras necesario supone la mayor partida presupuestaria para la construcción del embalse. El coste del embalse se ha supuesto totalmente terminado y listo para funcionar. Un embalse tipo para una finca de 10 has tiene un precio estimado de 34.365 € y una vida útil estimada de 25 años. Por lo tanto la

depreciación de este activo es de 1.370 €/año o lo que es lo mismo 137 €/ha y año. Se asume que no tiene valor residual.

Cabezal de riego: la infraestructura que comprende el cabezal de riego incluye la bomba de riego, las tuberías de admisión e impulsión, batería de filtros, equipo de fertirrigación, caseta de mampostería, cuadro de control electrónico, etc. El coste estimado se ha cifrado en 30.210 € para una finca tipo de 10 has y una vida útil estimada de 10 años. Su valor residual es de 3.021 €

Red de riego: la red incluye todas las tuberías que abastecen de agua la finca. Desde la tubería primaria que sale del cabezal hasta los ramales de riego pasando por las tuberías secundarias y terciarias. El coste estimado se sitúa en 10.800 €y su vida útil en 10 años para una finca tipo de 10 has. Su valor residual es de 1.080 €

Movimiento de tierras: este activo incluye el acondicionamiento del terreno, desmontes, terraplenes, zanjas para tuberías, construcción de caminos y vías de acceso, etc. Se estima su coste en 18.000 €/ha y una vida útil a efectos de cálculo de 25 años. Su valor residual es nulo.

Plantación: el coste estimado es de 1.514 €/ha e incluye el material vegetal y su trasplante a la finca con la maquinaria adecuada. Su vida útil es de 15 años. La amortización lineal de este activo se cifra en 90 €/ha y año y podemos contemplar un valor residual debido a la venta de leña procedente de los árboles de 200 €/ha. También se contempla el coste de reposición de árboles enfermos o secos y se cifra en 25 €/ha incluida la maquinaria necesaria para la reposición.

Cámara de presión: el coste de una cámara de presión para la obtención del potencial hídrico de tallo es de 3.000 €para una finca tipo de 10 has. Su vida útil es de 10-15 años dependiendo del mantenimiento y su valor residual se cifra en 300 €

Dendrómetros: el coste de esta tecnología de programación del riego incluye 12 sensores, 12 porta sensores, un datalogger y un ordenador para la recogida de datos. El coste total se cifra en 5800 €para una finca tipo de 10 has. La vida útil de los sensores es de 5 años y la del resto del equipo será variable de función de su mantenimiento. El valor residual del equipo completo es de 580 €

### 2.2.3. Costes variables

Los costes variables son todos aquellos costes asociados al proceso productivo y a la producción anual, es decir, sin asumir estos costes no sería posible producir o llevar a cabo el ciclo productivo.

Costes variables son la mano de obra necesaria en la explotación, el agua consumida, los fertilizantes, los productos fitosanitarios, la energía eléctrica consumida, la maquinaria propia o alquilada necesaria, la mano de obra, etc.

En la bibliografía (García et al. 2004 y Alcón et al. 2013) se adoptan distintas estructuras de costes variables dependiendo del tipo de proyecto del que se trate. En este caso se ha adoptado la estructura de Alcón et al. (2013) entendiendo que es la que mejor se adapta a nuestro proyecto.

Materias primas: agua, energía, fertilizantes, abonos foliares, mejorantes, fitosanitarios y otras materias primas.

Mano de obra necesaria para: riego, poda, tratamientos, aclareo, labores y otras.

Maquinaria necesaria para: tratamientos, recogida de poda, laboreo, asistencia a la recolección y otras.

La toma de datos asociada a estos costes se ha realizado acorde con los datos obtenidos del experimento, estimándose los costes en función de los precios de mercado. El procedimiento de estimación de costes para cada “input” o variable de entrada se detalla a continuación.

#### Materias primas

- Agua. Los datos de consumo de agua se han obtenido en el experimento de campo. Se ha fijado un precio de 0,21 €/m<sup>3</sup> que corresponde con el precio que estima el Servicio de Información Agrometeorológica de Murcia (SIAM) para un agua de pozo de calidad media. Al estar comparando estrategias de RDC, éste será un coste variable dependiendo de la cantidad de agua utilizada.
- Fertilizantes. Se ha utilizado la misma cantidad de fertilizantes para cada tratamiento, por lo tanto no existirán diferencias de costes asociados a este parámetro en cada tratamiento. Se ha estimado un coste de fertilizantes por hectárea y año de 398 €. Los precios de los fertilizantes se han obtenido mediante consulta de los anuarios estadísticos del Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente y son los siguientes:

**Tabla 1. Coste de los fertilizantes utilizados.**

FERTILIZANTE	€/kg ó €/l
Ácido Fosfórico 72% pureza	0,64
Nitrato Potásico	0,9
Nitrato Amónico	0,23
Nitrato Cálcico N:15.5 CaO:27	0,44
Micronutrientes	8,75

Fuente: Elaboración propia en base a anuarios MAGRAMA.

- Productos fitosanitarios. En este apartado se han incluido todos los productos utilizados para combatir plagas y enfermedades del cultivo. Los precios de cada uno de los productos se han obtenido mediante consulta de facturas de los proveedores y presupuestos. El coste total estimado en productos fitosanitarios por hectárea y año es de 381,68 € Este es un coste a efectos de cálculo pero no siempre será cierto ya que va a depender mucho de la existencia y persistencia de las plagas y/o enfermedades del cultivo.

**Tabla 2. Productos fitosanitarios utilizados**

MATERIA ACTIVA	KG./LT.
Glifosato 36%	7,5
Abamectina 1,8%	20,63
Acrinatrín 7,5% p/v	45
Deltametrina 2,5% p/v	26,95
Imidacloprid 20%	37
Ciproconazol 10%	46
Lambda Cihalotrin 10%	79
Compuesto fosforado +cobre	15

- Energía eléctrica. El principal elemento consumidor de energía eléctrica es la bomba de riego. El consumo de ésta va a depender de su potencia y del tiempo de funcionamiento. Así, si regamos por sectores se necesitará menos potencia en la bomba pero más tiempo de funcionamiento y, si por el contrario se instala una bomba de mayor potencia será necesario menos tiempo de funcionamiento. En cualquier caso habría que estudiar las condiciones particulares de cada explotación para optar por una u otra opción. En nuestro caso, para obtener el coste, se ha obtenido una ecuación que relaciona el consumo energético de la bomba con la cantidad de agua suministrada. Los costes energéticos estimados para cada tratamiento por hectárea y año aparecen en la siguiente tabla.

**Tabla 3. Estimación del coste energético**

Tratamiento	€/ha y año
T1	88,21
T2	99,55
T3	252,89
T4	205,11
T5	97,90
T6	240,25

Maquinaria

- Trituración de restos de poda. Se va a suponer que la maquinaria necesaria para realizar esta labor es alquilada. Se ha establecido un coste de 21 €/la hora de tractor más trituradora y un rendimiento de labor de 5h/ha. No todos los tratamientos requieren el mismo trabajo porque hay que recordar que con estrategias de RDC existen mermas en la producción de biomasa y efectivamente, en el experimento de campo se obtuvieron datos de cantidad de restos de poda distintas entre tratamientos. En relación con estas diferencias se han obtenido unos coeficientes para adecuar el rendimiento por ha de trituración a cada tratamiento. (MAAMA, 2013).
- En la siguiente tabla se pueden observar los costes de trituración de restos de poda para cada tratamiento.

**Tabla 4. Costes de trituración de restos de poda**

Tratamiento	€/ha y año
T1	94,50
T2	99,75
T3	105,00
T4	105,00
T5	73,50
T6	105,00

- Tratamientos. Para realizar la estimación de los costes de maquinaria de tratamientos se han tenido en cuenta todos los posibles tratamientos fitosanitarios, herbicidas y aplicaciones de abonos foliares existentes en un ciclo de cultivo de melocotonero de media estación. Al igual que en el apartado anterior se ha considerado un coste de 21 €/la hora de tractor más atomizador arrastrado y un rendimiento de labor de 1,75 h/ha en concordancia con los datos publicados por el MAAMA (2013). El coste del uso de la maquinaria para

tratamientos es independiente de los distintos tratamientos de RDC y se cifra en 441 €/ha y año.

### Mano de obra

- Riegos. Será necesario estimar los costes asociados a la revisión diaria de la red de riego, de la sectorización de las parcelas, de las tareas de fertirrigación (rellenar los tanques con los abonos correspondientes), etc. Para la realización de estas tareas se necesitará 1 persona 1 hora por hectárea y día con un coste de 7,9 €/h.
- Poda. El rendimiento de poda en melocotonero se cifra en 23 árboles/jornal para árboles de porte medio y en condiciones hídricas normales. En tratamientos de RDC el rendimiento de poda aumenta ya que la plantación presenta menor carga de biomasa, el rendimiento puede verse incrementado en 10 árboles más por jornal con la consiguiente disminución de coste. El coste total por hectárea y año depende del tratamiento de RDC aplicado como se puede ver en la siguiente tabla.

**Tabla 5. Coste de la mano de obra necesaria para la poda.**

Tratamiento	€/ha y año
T1	631,82
T2	744,64
T3	906,52
T4	906,52
T5	631,82
T6	906,52

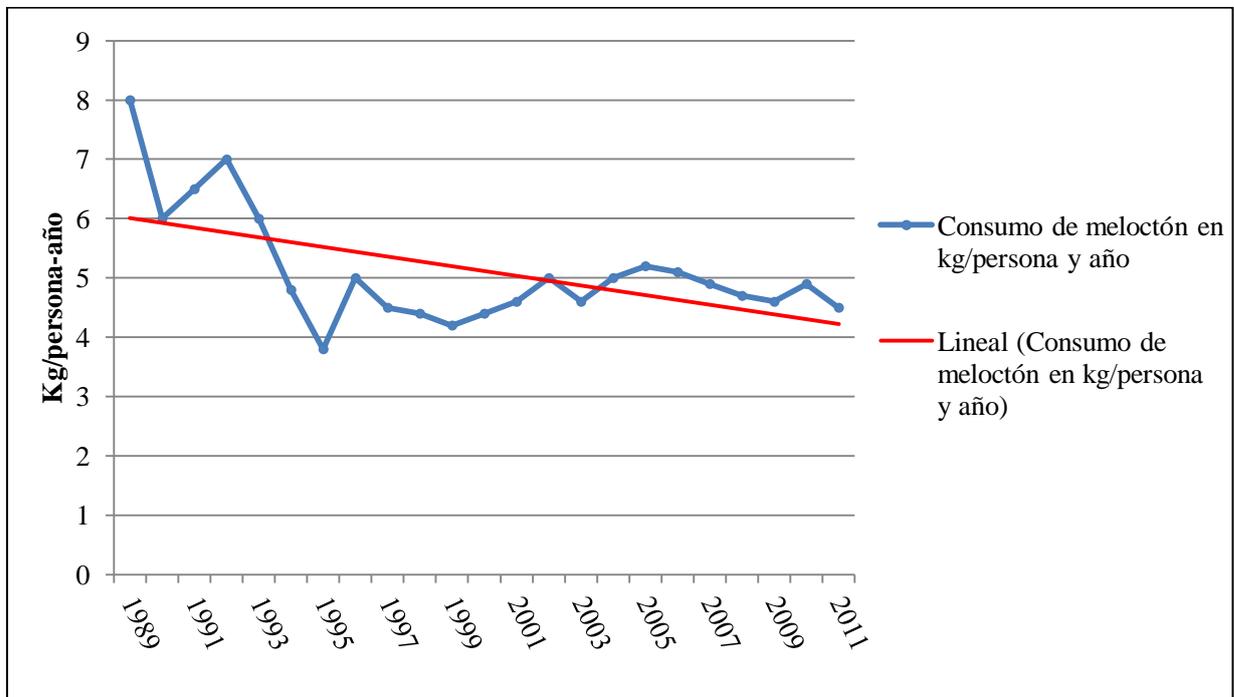
- Tratamientos. En cuanto a la mano de obra asociada a los tratamientos fitosanitarios, herbicidas o fertilización foliar, hay que decir que se trata de la persona que conduce el tractor y realiza las aplicaciones. No existen diferencias entre las distintas estrategias de riego, cifrándose el coste de estas operaciones en 98,18 €/ha y año. Lo mismo ocurre con la mano de obra asociada a la trituración de restos de poda, se trata del operario que conduce el tractor. El coste asociado a esta labor es de 25,5 €/ha y año.
- Aclareo de frutos. El coste del aclareo de frutos se ha estimado tomando un rendimiento de 5 minutos por árbol, teniendo en cuenta que a un marco de plantación de 6x4 m en una hectárea existen 417 árboles, y se necesitarán 34 h/ha. A un precio de 7 €/h, el coste total es de 243 €/ha y año.
- Control y manejo de sensores. Para lograr hacer un uso eficiente del agua será necesario la utilización de sensores que nos permitan controlar de forma más

precisa la programación del riego. En este caso se han estudiado dos tecnologías distintas: la cámara de presión, que nos permite obtener el potencial de tallo y así poder tomar la decisión de cuándo y cuánto regar, y los sensores LVDT, que nos miden variaciones de diámetro del tronco y en base a ello se puede programar el riego. El uso de esta tecnología queda restringido a personal cualificado capaz de interpretar los datos obtenidos y tomar una decisión. El coste de una hora de trabajo de una persona con cualificación necesaria para este cometido se sitúa en 78 €/h. La tecnología de cámara de presión requiere 2 h a la semana para la programación del riego y la tecnología de sensores de variación de diámetro del tronco requiere 3 h a la semana. Con todo esto se cifra un coste por hectárea y año de 811 €y 1.217 €respectivamente.

#### 2.2.4. Precios

Dos parámetros que van unidos según la ley de la oferta y la demanda son precisamente esta última y el precio, por esta razón cabe destacar la disminución de la demanda interna de melocotón, como se muestra en esta gráfica:

**Tabla 6. Evolución del consumo de melocotón en los hogares españoles en el periodo 1989-2011**



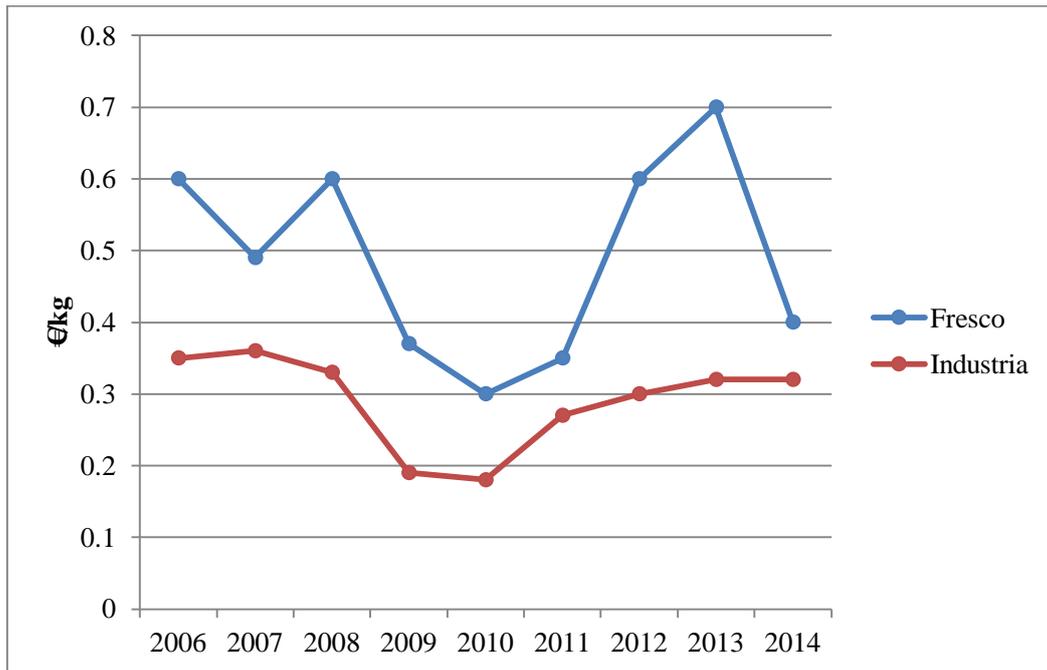
Fuente: MAGRAMA (2012)

Esta situación puede predecir que la tendencia de los precios será similar a la del consumo, pero este hecho se contrarresta con el aumento de las exportaciones, principalmente a los países de centro y norte de Europa.

Uno de los aspectos que caracterizan el sector del melocotón en España es su creciente competitividad en los mercados internacionales, principalmente del centro, norte y este de Europa. Ello es debido a su capacidad para ofrecer un producto de calidad y colocarlo en los mercados de destino a precios inferiores (menores costes de producción) a los de otros países competidores como Italia o Francia. Los datos de 2011 referentes a costes totales de producción en central por kg de melocotón para diferentes países oscilan entre 1,08 €/kg para Francia y 0,56 €/kg para Grecia, mientras que para España fue de 0,61 €/kg. Desde 1995 hasta 2011, las exportaciones –tanto intra como extracomunitarias– pasaron de 97.838 a 656.082 t, lo que ha supuesto un incremento anual del 33%, convirtiendo a España en el primer exportador de Europa desde el año 2006 (IRTA, 2012).

La región de Murcia presenta más de 18.000 has de cultivo de melocotonero y se encuentra tan solo por detrás de Cataluña (20.000 has) y Aragón (18.050 has), siendo, por tanto la tercera región de España en superficie cultivada de melocotonero. Los precios medios anuales percibidos por los agricultores de la región de Murcia se muestran en la figura 4. Hay que resaltar que esos precios son con la fruta sobre árbol, estrategia común de compra de fruta en la parcela por parte de los mayoristas o corredores. La tendencia de precios es la siguiente:

**Figura 4. Evolución de precios. Melocotón de media estación. Precios corrientes.**



Fuente: elaboración propia en base a anuarios CARM.

En la ilustración se presenta la evolución de los precios percibidos por los agricultores.

En el caso de melocotón para consumo en fresco su precio en el periodo 2007-2008 fue superior al periodo 2008-2011 donde no sufrió muchas oscilaciones, salvo en 2010, en el que descendió aún más mostrándose como el precio mínimo de la serie histórica. A partir de 2011 se invierte la tendencia a la baja y los precios comienzan a subir. El precio máximo de la serie histórica disponible es en la campaña 2013 alcanzando en algunas partidas los 0,8 €/kg. Los precios de la campaña 2014 vienen marcados por la situación política en Ucrania, Rusia ha cancelado las importaciones de frutas y hortalizas de toda la UE. Al principios de junio el precio era de 0,7 €/kg pero tras la noticia el precio cayó por debajo de los 0,4 €/kg.

Una cuestión importante a la hora de evaluar económicamente las distintas estrategias de RDC es la calidad de la producción ya que no se paga el mismo precio por un melocotón para consumo en fresco que para industria. Al calcular los ingresos percibidos por los agricultores se ha tenido en cuenta la calidad de la fruta. En la Tabla 7 se puede observar el precio medio sobre árbol que obtuvieron los agricultores durante los años en los que se realizó el experimento y se pueden ver las diferencias de precio entre distintas calidades.

**Tabla 7. Precio según calidad de fruta durante los años de ensayo.**

Precio (€/kg)		
Calidad	Consumo en Fresco	Industria
2008	0,6	0,33
2009	0,45	0,19
2010	0,35	0,18
2011	0,45	0,27

### 2.2.5. Análisis de inversiones

Cualquier proyecto de inversión queda caracterizado por una serie de parámetros, definidos por múltiple bibliografía en el terreno agropecuario (Romero, 1988; Alonso e Iruretagoyena, 1992; Muñoz y Rouco, 1997; García García, 2001), así como en general en actividades productivas diversas (Peumans, 1977; Mao, 1986), entre los que se pueden destacar los siguientes:

**1.- Pago de inversión (K).** Es el número de unidades monetarias que el empresario desembolsa para poner en marcha el proyecto. Este pago, en principio, se supone desembolsado de una sola vez en el año inicial de la inversión, aunque en determinadas circunstancias y cuando la inversión va poniendo en funcionamiento a lo largo de los años sucesivas unidades de producción, puede fraccionarse. En el caso de inversiones agropecuarias, deben incluirse aquí los siguientes conceptos:

- Terrenos y sus posibles mejoras.
- Fincas agrícolas, plantaciones, granjas, etc. y sus mejoras.
- Obra civil: caminos, presas, excavaciones, explanaciones, etc.
- Maquinaria, equipos e instalaciones.
- Bienes inmuebles: naves, edificios.
- Gastos de constitución y establecimiento empresarial, estudios de viabilidad, etc.
- Compra de patentes, licencias, concesiones, marcas, seguros, etc.
- Honorarios de proyecto, estudios de impacto ambiental, licencias de obra, dirección de obra, etc.

El pago de la inversión puede realizarse en un único pago o fraccionarse en unos pocos años, sin embargo si se fracciona en muchos años sucesivos en pequeñas cuotas parece dudoso que se incluyan en el concepto de pago de la inversión. Entonces, para definir

este concepto hay que recurrir a un criterio suficientemente preciso, considerando por ejemplo, pagos de inversión a los desembolsos realizados sólo por la adquisición de capital fijo, como aquél que permanece en la explotación varios ciclos de cultivo.

**2.- Vida del proyecto ( $n$ ).** Es el periodo de tiempo, medido generalmente en años, durante el cual la inversión seguirá funcionando y rindiendo, a partir del momento inicial y de acuerdo con las perspectivas de flujos de caja que se ha creado el inversor.

Un problema que se presenta al estimar la vida del proyecto tiene su origen en las diferentes expectativas de vida útil de los diferentes elementos que constituyen la inversión; así, en principio la vida del proyecto podría quedar definida por el elemento de duración máxima y, mínima o por una ponderación de duraciones de diferentes elementos. Tanto el criterio de duración máxima como el de duración mínima tienen el inconveniente de no relacionar la vida del proyecto con el pago de inversión; así, si la vida más larga corresponde a un elemento de escaso peso específico en el pago de inversión, puede resultar desproporcionalmente dilatada en relación con dicho pago; por ello, al estimar la vida del proyecto, habrá que ponderar la importancia económica de cada elemento o grupo de elementos homogéneos en cuanto a su duración prevista.

Podemos concluir diciendo que este parámetro está sometido en su fijación a una gran incertidumbre, pero a pesar de ello es muy importante fijarlo correctamente para el posterior cálculo de los índices que nos van a medir la rentabilidad de la inversión.

**3.- Flujo de caja ( $R$ ).** A lo largo de su vida la inversión va a generar una corriente de cobros atribuida a los ingresos que el funcionamiento del proyecto generará: venta de productos obtenidos con los elementos adquiridos con la inversión, por ejemplo. Al mismo tiempo se generará otra corriente de signo opuesto, los pagos inherentes al proceso productivo o al proceso financiero que surge de la inversión: pagos por la compra de materias primas, por salarios, suministro de energía, etc. Las inversiones también generan otros pagos, generalmente de menor cuantía, tales como impuestos, comisiones, etc.

De forma que siendo  $C_j$  el total de cobros del año  $j$  y  $P_j$  los pagos para ese mismo año, se define el flujo de caja  $R_j$  como:

$$R_j = C_j - P_j$$

El flujo de caja no se compone sólo de cobros y pagos ordinarios, llamando así a todos los que se originan en cada uno de los ejercicios económicos como consecuencia de la puesta en marcha del proceso productivo de transformación de materias primas, trabajos y otros factores de producción en productos y servicios. Es preciso también añadir los

cobros y pagos extraordinarios que proceden especialmente de la renovación parcial de los bienes de equipo, ya que no todos ellos tienen la misma vida útil. El pago de inversión puede ser considerado como el primer pago extraordinario correspondiente al año cero de la inversión; sin embargo por su carácter especial se hace una excepción con él y no se le incluye en el flujo de caja. La distinción entre flujo ordinario y extraordinario debe ser tomada en cuenta, entre otras razones, porque la periodicidad de unos y otros pagos y/o cobros no es la misma, y porque el flujo extraordinario introduce frecuentemente oscilaciones atípicas cuando se suma al ordinario.

**4.- Tasa de actualización o descuento.** Es aquella que posibilita la homogeneización de los parámetros de la inversión al referirlos todos a la misma unidad de tiempo ya que cada flujo de caja se obtiene en un año diferente. Este hecho requiere que se establezca una relación de equivalencia, normalmente con el momento inicial de la inversión, mediante la actualización de los flujos a ese momento inicial, de la siguiente forma:

$$R_j / (1 + i)^j$$

En un primer momento  $i$  puede ser considerado como la tasa del coste de oportunidad del inversor, medida ésta como la rentabilidad de una inversión alternativa sin riesgo alguno a tipos usuales de interés de mercado.

Los criterios que se van a utilizar para evaluar la inversión son los siguientes:

**Valor neto actualizado (VNA).** Este criterio tiene en cuenta la cronología de los flujos de caja generados por cada inversión, aunque no tiene en cuenta el pago de la inversión. Con este criterio, por tanto, no se determina ni la rentabilidad absoluta ni la relativa, sino que únicamente se mide la suma algebraica convenientemente actualizada de los flujos de caja originados por la inversión. Sólo mide la ganancia total del proyecto.

Su expresión es:

$$VNA = \sum_{j=1}^n R_j / (1 + i)^j$$

**Valor Actual Neto (VAN).** Es un criterio más adecuado que el anterior y es la forma más intuitiva de evaluar la rentabilidad de una inversión. Consiste en restar a la suma, convenientemente homogeneizada, de unidades monetarias que la inversión proporciona al inversor, las unidades monetarias que el inversor ha dado a la misma.

$$VAN = \sum_{j=1}^n R_j / (1 + i)^j - K$$

La expresión anterior corresponde al concepto de valor actual neto de la inversión, llamado también plusvalía o valor capital de la inversión. En definitiva, este concepto indica la ganancia neta generada por el proyecto. Por esta razón, cuando un proyecto tiene un VAN mayor que cero se dice que, para el tipo de interés elegido, resulta viable desde un punto de vista financiero. Por el contrario, si el VAN es negativo, el proyecto no será viable y quedará inmediatamente descartada su ejecución, pues en tal caso el proyecto proporciona al inversor un número de unidades monetarias menor que las que el inversor proporciona al proyecto.

**Tasa interna de rendimiento (TIR).** Este criterio mide el tipo de interés generado por la inversión. Este tipo de interés constituirá una especie de indicador de la eficacia que ha tenido la inversión para el inversor (Romero, 1988; Alonso, 1992; García García, 2001). Si este tipo de interés fuese  $\lambda$  en caso de que el pago de inversión no estuviese fraccionado, debería satisfacerse la siguiente ecuación:

$$K = \sum_{j=1}^n R_j / (1 + \lambda)^j$$

Si  $\lambda < i$ , el proyecto no es rentable, resultando así más interesante prestar las K unidades monetarias a devolver en n años al i de interés en tanto por uno.

Si  $\lambda > i$ , la inversión es rentable en principio y puede ser interesante su ejecución desde un punto de vista financiero.

## **Capítulo 3. Resultados y discusión**



### 3.1. Resultados del experimento

Durante los cuatro años de ensayo se obtuvieron datos de crecimiento vegetativo, de cantidades de restos de poda, de crecimiento del fruto, de producción total, de calidad de la producción y de consumo de agua. Estos tres últimos parámetros son los más interesantes y relevantes a la hora de valorar la idoneidad de una u otra estrategia de riego. Los resultados se muestran a continuación.

#### Producción.

La producción de los diferentes tratamientos de riego a lo largo del tiempo viene recogida en la Tabla 8.

Si se observa la producción anual de cada tratamiento se comprueba, en el caso de los tratamientos T1 (satisface el 35% de la ETc) y T2 (satisface el 40% de la ETc), que existe una mayor producción respecto al control (T3) en promedio. En los tratamientos T4 (satisface el 100% de la ETc) y T5 (satisface el 55% de la ETc) ocurre lo mismo y, por término medio, se ha obtenido mayor producción que en el tratamiento control (T6). Estos hechos, producidos principalmente por la estrategia de riego seguida, también pueden deberse a mínimas variaciones de parámetros del cultivo en finca como puede ser: variaciones en la orientación de la parcela, variaciones en la textura y estructura del suelo, etc. Cabe destacar que los tratamientos de RDC sean los que han producido más cantidad de fruta. La cosecha fue especialmente buena en los años 2009 y 2011 con producciones de casi 70.000 kg/ha. La alternancia de la cantidad de cosecha puede deberse a dos factores: puede ocurrir que se den condiciones climatológicas adversas en periodos críticos como la floración y el cuaje o puede ocurrir que sean efectos de la vergería que tiene lugar en los frutales de hueso. En cualquier caso, estos efectos son comunes para todos los tratamientos.

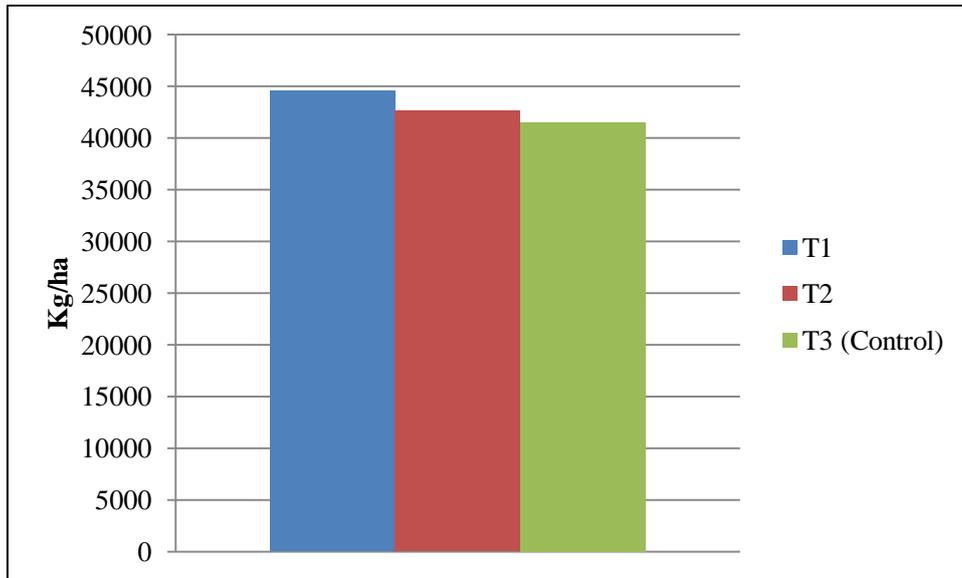
**Tabla 8. Producción total de fruta en kg/ha.**

Año	T1	T2	T3	T4	T5	T6
2008	29.780	26.990	29.870	24.740	21.180	19.650
2009	65.050	69.390	66.570	61.910	66.970	51.520
2010	38.500	33.350	28.820	25.520	31.330	16.210
2011	45.000	40.820	40.880	43.280	29.860	38.650
<b>Promedio</b>	<b>44.583</b>	<b>42.638</b>	<b>41.535</b>	<b>38.863</b>	<b>37.335</b>	<b>31.508</b>

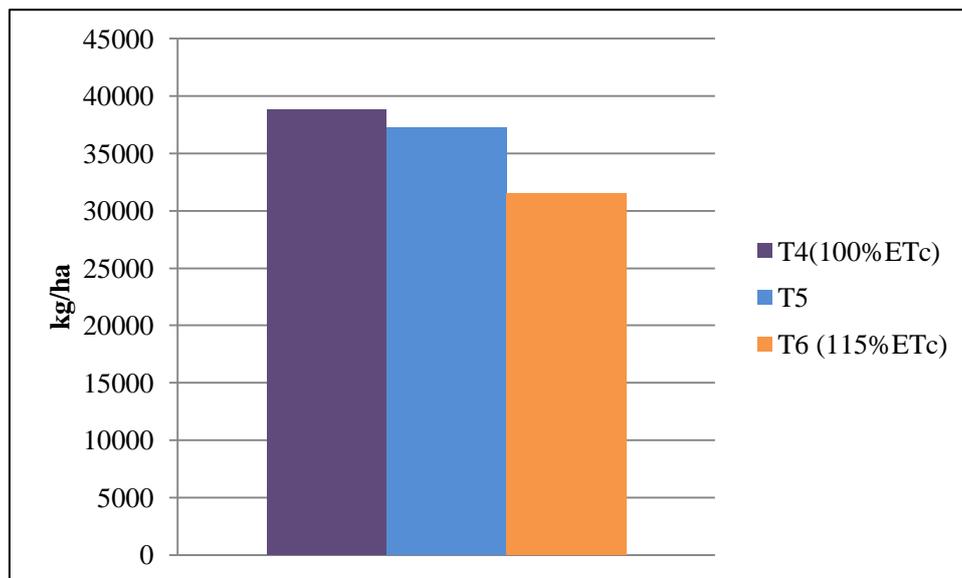
Se realizó un promedio para los 4 años del ensayo. Para su análisis se han separado los tratamientos T1, T2 y T3 de los tratamientos T4, T5 y T6 ya que el riego se programó con distinta tecnología en cada bloque de tratamientos.

Ambos bloques de tratamientos siguen la misma tendencia (Figura 6 y 7). Existe mayor producción en los tratamientos de RDC (T1, T2, T5) que en los tratamientos control (T3, T4 y T6). Esto puede deberse al crecimiento compensatorio que experimentan los frutos al restablecerse el riego tras el periodo de déficit hídrico (Chalmers et al., 1984).

**Figura 5. Producción de fruta promedio de 4 años en kg/ha. Tecnología: cámara de presión.**



**Figura 6. Producción de fruta promedio de 4 años en kg/ha. Tecnología: dendrómetros.**



Calidad de la producción.

En la Tabla 9 se muestra la cantidad en kg/ha y la calidad de la producción por calibres de la fruta. También se separa la producción según la tecnología utilizada para la programación del riego.

**Tabla 9. Calidad de la producción durante los 4 años de ensayo.**

Producción por calidades en kg/ha. Tecnología: Potencial hídrico.																		
T1						T2						T3						
Año	AAA	AA	A	B	C	D	AAA	AA	A	B	C	D	AAA	AA	A	B	C	D
2008	2.708,8	8.250,0	11.416,6	4.944,3	1.036,4	1.423,9	2.943,9	7.633,2	9.033,7	5.297,4	1.119,5	962,2	2.588,9	5.982,1	10.506,7	7.580,2	2.073,5	1.138,6
2009	357,8	4.614,2	24.511,1	25.073,7	7.623,3	2.869,8	1.54,6	1.984,9	23.458,4	30.668,9	8.187,3	4.935,9	1.947,2	10.449,3	29.523,4	18.961,5	3.790,0	1.898,7
2010	4.746,8	12.309,0	14.421,2	5.149,8	1.048,9	824,3	5.721,1	10.759,6	11.021,4	4.320,9	822,3	704,7	4.769,1	9.071,3	10.636,5	3.236,5	665,6	441,0
2011	519,4	4.431,8	10.551,7	15.865,9	7.102,8	6.528,5	278,6	2428,7	12.033,5	16.932,1	4.511,4	4.635,7	243,9	3127,1	16.062,9	13.943,5	4.152,0	3.350,4
Promedio	2.083,2	7.401,3	15.225,1	12.758,4	4.202,8	2.911,6	2.274,5	5.701,6	13.886,7	14.304,8	3.660,1	2.809,6	2.387,3	7.157,4	16.682,4	10.930,5	2.670,3	1.707,2
Producción por calidades en kg/ha. Tecnología: Dendrómetros, sensores tipo LVDT.																		
T4						T5						T6						
Año	AAA	AA	A	B	C	D	AAA	AA	A	B	C	D	AAA	AA	A	B	C	D
2008	4.027,4	6.889,6	8.670,3	3.656,0	1.252,7	244,0	3.131,3	6.923,1	6.912,4	3.552,6	410,6	249,9	2.228,6	6.150,9	6.182,0	3.769,0	919,5	400,0
2009	1.944,1	7.819,5	22.454,9	21.196,8	5.847,5	2.647,2	133,1	4.142,4	23.189,7	29.301,9	6.847,4	3.355,6	3.058,1	11.018,6	19.545,6	13.151,0	3.174,6	1.572,1
2010	4.109,9	9.438,2	7.831,8	2.892,9	739,5	507,6	6.715,5	10.488,6	10.381,8	2.725,3	838,9	179,9	4.067,2	6.453,5	3.849,1	1.509,4	158,9	171,9
2011	46,6	1.381,5	9.155,3	16.250,2	7.942,0	8.504,3	0,0	388,8	4.350,6	11.240,8	5.566,3	8.313,5	0,0	1.097,5	12.584,8	17.112,8	4.013,8	3.841,1
Promedio	2.532,0	6.382,2	12.028,1	10.999,0	3.945,4	2.975,8	2.495,0	5.485,7	11.208,6	11.705,2	3.415,8	3.024,7	2.338,5	6.180,1	10.540,4	8.885,5	2.066,7	14.96,3

51 a 56 mm - D

56 a 61 mm - C

61 a 67 mm - B

67 a 73 mm - A

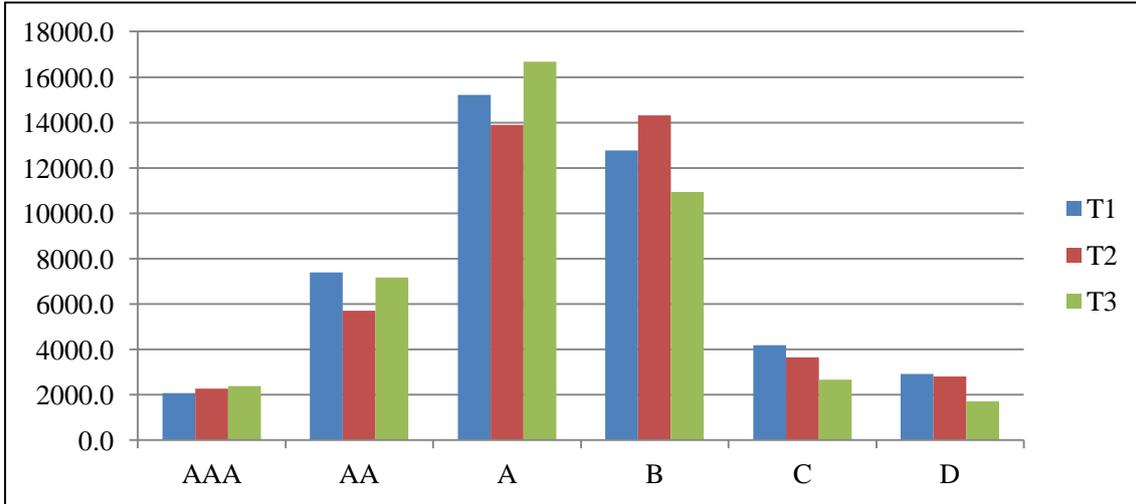
73 a 80 mm - AA

80 a 90 mm - AAA

90 mm y más - AAAA

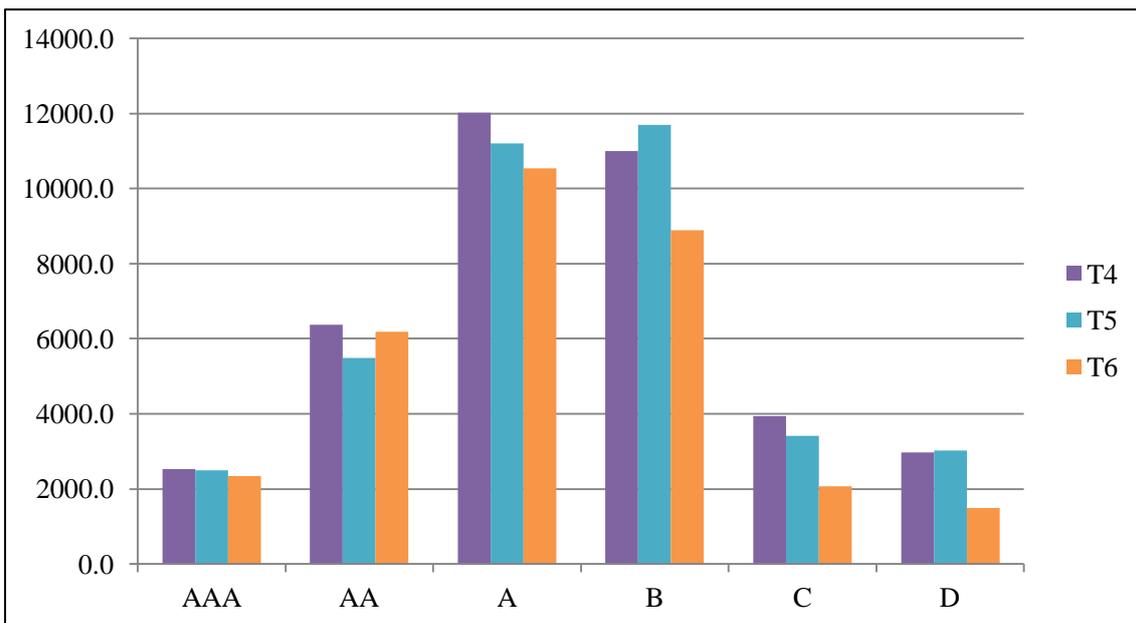
Las calidades predominantes son categoría A (67-73 mm) y B (61-67 mm) con bastante diferencia respecto a las demás categorías. Se observa que existen muy pocos frutos en categoría AAA (Figura 7). Considerando que las categorías B C y D son destinadas a la industria, el 55% de la fruta recolectada en T1 (RDC) es destinada a consumo en fresco, el 52% en T2 (RDC moderado) y el 63% en T3 (control). La calidad de la fruta se ha reducido un 10% en el T1 respecto al T3.

**Figura 7. Calidad de la producción. Tecnología: cámara de presión.**



En la figura 8 se comprueba que las categorías predominantes vuelven a ser A y B. En este caso el 53% de la producción en T4 (control ajustado) va destinada a consumo en fresco, el 51% en el tratamiento T5 (RDC) y el 60% en el tratamiento T6 (control). Las diferencias son similares a lo expuesto anteriormente.

**Figura 8. Calidad de la producción. Tecnología: dendrómetros.**



Como síntesis, se observa que la calidad global de la producción se centra en las categorías A y B. Más de la mitad de la producción total va destinada al consumo en fresco y no existen grandes diferencias de calidad entre los tratamientos de RDC y los tratamientos que satisfacen el 100% de la ETc. Si bien la producción de los tratamientos control es ligeramente superior en calidad que los tratamientos con RDC.

#### Consumo de agua.

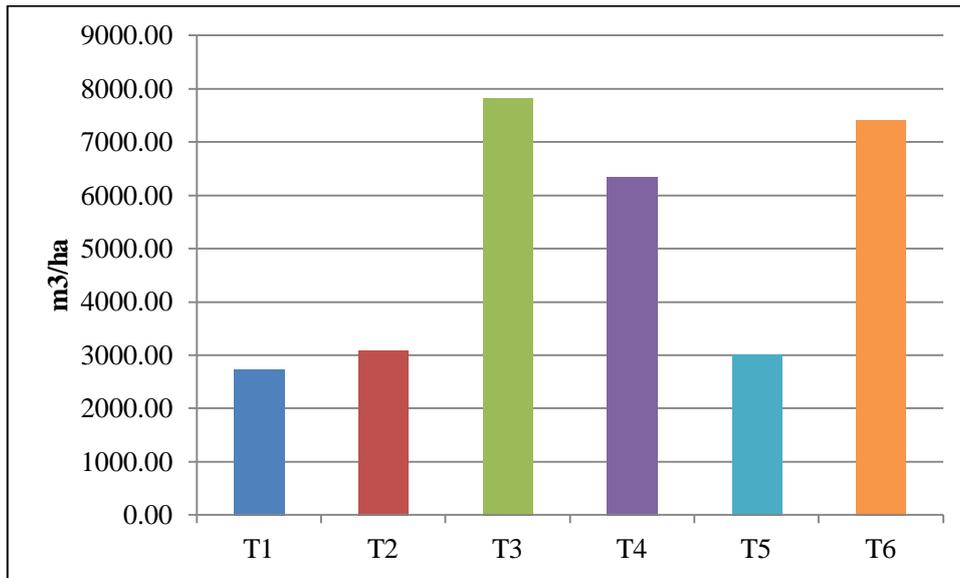
El consumo de agua viene determinado por el tipo de programación de riego asignado a cada tratamiento. En la Tabla 10 se ve como en los tratamientos de RDC (T1, T2, T4 y T5) el consumo de agua es inferior al de los tratamientos control, en mayor o menor grado dependiendo del tratamiento de RDC. Las diferencias de consumo de agua observadas entre los distintos años de ensayo pueden deberse a las variación de las condiciones climatológicas acontecidas a lo largo del tiempo. El año 2011 no se ha incluido en el promedio debido a que los árboles fueron arrancados tras la cosecha y por lo tanto no se cuantificó el consumo de agua en el periodo post-cosecha.

**Tabla 10. Consumo de agua durante los cuatro años de ensayo.**

	Consumo de agua en m <sup>3</sup> /ha					
	T1	T2	T3	T4	T5	T6
2008	3409,45	4643,96	9316,41	7267,48	4263,84	9884,11
2009	2855,52	3221,87	8540,81	7748,88	3177,80	9250,11
2010	2128,41	2063,36	6503,82	6361,62	2240,17	7697,07
Promedio	2797,79	3309,73	8120,35	7125,99	3227,27	8943,76

En promedio se produjo un ahorro de agua del 66% y del 60% en los tratamientos T1 y T2 respectivamente respecto al T3 y del 20% y del 64% en los tratamientos T4 y T5 respectivamente respecto al T6. Queda patente la gran diferencia en el consumo de agua entre los tratamientos de RDC y los tratamientos control. Sin embargo, el comportamiento seguido por la producción total de fruta es diferente dado que las diferencias entre los tratamientos RDC y los tratamientos control no existió prácticamente, ni en cantidad ni en calidad.

**Tabla 11. Consumo de agua promedio de cada tratamiento.**



### 3.2. Análisis de costes

A continuación se muestra la producción y los costes de producción según la tecnología de programación de riego utilizada, tratamiento de riego y año de estudio.

En la Tabla 12 se muestran los costes de producción, los ingresos generados por la venta de producto de cada año de estudio utilizando la cámara de presión como tecnología de programación del riego.

El **coste del agua de riego** supone la principal diferencia en cuanto al tipo de tratamiento aplicado. Si se tiene en cuenta que en el tratamiento más deficitario se ahorra hasta un 65% de agua respecto al control, es fácil entender estas diferencias de coste del agua entre los distintos tratamientos.

En cuanto al **coste de fertilizantes, abonos y mejorantes** no existe diferencia entre los distintos tratamientos ya que en el ensayo se aplicó la misma cantidad de fertilizantes independientemente del tratamiento de riego. Por lo tanto, el coste de la fertilización es el mismo en cada tratamiento y año de estudio. Este aspecto es igual para el coste de los productos fitosanitarios.

El **coste de la energía eléctrica** asociada a la bomba de riego es la mayor partida de energía eléctrica que se va a consumir en la explotación y varía según su utilización. En este caso se tienen tres costes distintos cada año, según sea uno u otro tratamiento de riego. Naturalmente el menor coste se sitúa en aquel tratamiento de riego que consume menos agua. El tratamiento RDC más intenso tendrá el menor consumo y a su vez el menor coste de energía eléctrica.

La **trituration de los restos de poda** se encuentra dentro de los costes de maquinaria y presenta diferencias entre los distintos tratamientos. El rendimiento de la maquinaria es mayor conforme disminuye la cantidad de restos de poda. Los árboles que han sido sometidos a RDC presentan menor cantidad de ramas, y por lo tanto, requieren menos poda. En estos casos el cose de la trituration de restos de poda será menor.

Para el caso del **coste de la maquinaria** necesaria para realizar los tratamientos fitosanitarios, éste sería el mismo para todos los tratamientos de riego.

Los **costes de mano de obra** incluyen la mano de obra necesaria para efectuar los riegos y el mantenimiento de la red de riego, la poda de los árboles, la trituration de los restos de poda, los tratamientos fitosanitarios, el aclareo de frutos y la utilización y manejo de sensores. El coste asociado al riego y al mantenimiento de la red es el mismo para cada tratamiento y no varía durante los años de estudio.

El **coste de la poda** sí varía entre los distintos tratamientos de riego ya que en tratamientos de RDC hay un mayor rendimiento de poda debido al menor desarrollo de madera de los árboles.

Tampoco existen diferencias entre tratamientos de costes en la mano de obra asociada a la aplicación de productos fitosanitarios y al aclareo de frutos y a la utilización de sensores para la programación del riego. Esta última tarea ha de ser realizada por un técnico competente con el consiguiente aumento del precio del servicio.

Se observa una variabilidad de costes entre los distintos años de ensayo que se debe a las condiciones climatológicas, es decir, si llueve se aplica menos agua de riego.

El coste de producción varía sensiblemente dependiendo de la estrategia de riego utilizada y siempre es menor en los tratamientos RDC. Ocurre lo mismo con la WP.

**Tabla 12. Ingresos y costes de producción. Tecnología: cámara de presión.**

	Año											
	2008			2009			2010			2011		
	T1. 65% de ahorro de agua	T2. 61% de ahorro de agua	T3. Control	T1. 65% de ahorro de agua	T2. 61% de ahorro de agua	T3. Control	T1. 65% de ahorro de agua	T2. 61% de ahorro de agua	T3. Control	T1. 65% de ahorro de agua	T2. 61% de ahorro de agua	T3. Control
<b>1.- PRODUCCIÓN (kg/ha)</b>												
1.1.-Producción (kg/ha)	29.780	26.990	29.870	65.060	69.390	66.570	38.800	33.350	28.820	45.000	40.820	40.880
1.2.-Precio medio (€/kg)	0,60	0,60	0,60	0,45	0,45	0,45	0,35	0,35	0,35	0,45	0,45	0,45
<b>TOTAL INGRESOS (€/Ha)</b>	<b>15.869</b>	<b>14.202</b>	<b>15.008</b>	<b>20.025</b>	<b>19.840</b>	<b>23.547</b>	<b>12.281</b>	<b>10.678</b>	<b>9.349</b>	<b>14.941</b>	<b>13.675</b>	<b>14.536</b>
<b>2.- COSTES VARIABLES</b>												
<b>2.1.- Materias primas (€/ha)</b>												
2.1.1 -Agua de riego	716	975	1956	600	677	1794	447	433	1366	525	497	1443
2.1.2.-Fertilizantes, abonos foliares y	398	398	398	398	398	398	398	398	398	398	398	398
2.1.3.- Fitosanitarios	382	382	382	382	382	382	382	382	382	382	382	382
2.1.4.- Otras materias primas												
2.1.5.- Energía eléctrica	110	150	302	92	104	277	69	67	211	81	77	223
Total de materias primas (€/ha)	1.532	1.831	2.964	1.398	1.486	2.776	1.221	1.205	2.282	1.312	1.279	2.371
<b>2.2.-Costes variables de maquinaria</b>												
2.2.1.- Trituración restos de poda	95	100	105	95	100	105	95	100	105	95	100	105
2.2.2.- Tratamientos	441	441	441	441	441	441	441	441	441	441	441	441
2.2.3.- Labores y otros												
Total de maquinaria (€/ha)	536	541	546	536	541	546	536	541	546	536	541	546
<b>2.3- Costes variables de mano de obra</b>												
2.3.1.- Riegos	2.370	2.370	2.370	2.370	2.370	2.370	2.370	2.370	2.370	2.370	2.370	2.370
2.3.2.- Poda	632	745	907	632	745	907	632	745	907	632	745	907
2.3.3.- Tratamientos	98	98	98	98	98	98	98	98	98	98	98	98
2.3.4.- Trituración restos de poda	23	26	29	26	26	26	26	26	26	26	26	26
2.3.5.- Aclareo de frutos	243	243	243	243	243	243	243	243	243	243	243	243
2.3.6.- Manejo y control de sensores	811	811	811	811	811	811	811	811	811	811	811	811
Total de mano de obra (€/ha)	4.180	4.293	4.455	4.180	4.293	4.455	4.180	4.293	4.455	4.180	4.293	4.455
<b>TOTAL COSTES VARIABLES(€/ha):</b>	<b>6.322</b>	<b>6.739</b>	<b>8.039</b>	<b>6.187</b>	<b>6.394</b>	<b>7.851</b>	<b>6.011</b>	<b>6.113</b>	<b>7.357</b>	<b>6.101</b>	<b>6.187</b>	<b>7.446</b>
<b>Margen Bruto (€/ha)</b>	<b>9.547</b>	<b>7.463</b>	<b>6.970</b>	<b>13.838</b>	<b>13.445</b>	<b>15.697</b>	<b>6.270</b>	<b>4.565</b>	<b>1.992</b>	<b>8.839</b>	<b>7.488</b>	<b>7.090</b>
<b>Coste de producción (€/kg)</b>	<b>0,21</b>	<b>0,25</b>	<b>0,27</b>	<b>0,09</b>	<b>0,09</b>	<b>0,12</b>	<b>0,15</b>	<b>0,18</b>	<b>0,25</b>	<b>0,13</b>	<b>0,15</b>	<b>0,18</b>
<b>WP (kg/m<sup>3</sup>)</b>	<b>8,73</b>	<b>5,81</b>	<b>3,21</b>	<b>22,78</b>	<b>21,54</b>	<b>7,79</b>	<b>18,23</b>	<b>16,16</b>	<b>4,43</b>	<b>17,99</b>	<b>17,26</b>	<b>5,95</b>

En la Tabla 13 se muestran los costes de producción, los ingresos generados por la venta de producto de cada año de estudio y utilizando sensores tipo LVDT (dendrómetros) como tecnología de programación del riego.

La tendencia de estos costes es la misma que se ha comentado en la tabla anterior. Para esta tecnología la variabilidad de la producción se incrementa. Además, se puede comprobar que el coste de producción es mayor con la utilización de esta tecnología.

En cuanto al coste de uso de una tecnología de programación de riego u otra, la principal diferencia está en el tiempo necesario para programar el riego semanalmente. Si se utilizan dendrómetros (sensores tipo LVDT) son necesarias tres horas semanales (dos horas para programación y una para el mantenimiento de los equipos) y si se utiliza una cámara de presión para medir potencial hídrico de tallo son necesarias dos horas semanales. Por lo tanto, teniendo en cuenta que estas labores son realizadas por personal cualificado (normalmente un ingeniero técnico) y que el precio de la mano de obra asociada a esta actividad es de 50 €/h (más cargas sociales), la utilización de una u otra tecnología va a suponer un mayor o menor coste. En este caso la utilización de dendrómetros supone un coste de 1.216,8 €/ha y año y la utilización de una cámara de presión supone un coste de 811,2 €/ha y año.

**Tabla 13. Ingresos y costes de producción. Tecnología: dendrómetros.**

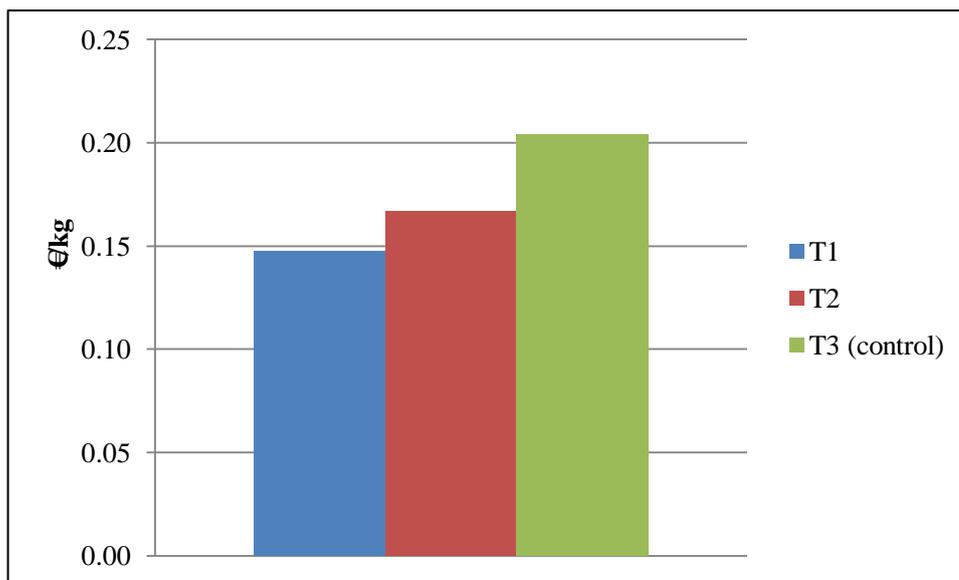
	Año											
	2008			2009			2010			2011		
	T4. 15% de ahorro de agua	T5. 59% de ahorro de agua	T6. Control	T4. 15% de ahorro de agua	T5. 59% de ahorro de agua	T6. Control	T4. 15% de ahorro de agua	T5. 59% de ahorro de agua	T6. Control	T4. 15% de ahorro de agua	T5. 59% de ahorro de agua	T6. Control
<b>1.- PRODUCCIÓN (kg/ha)</b>												
1.1.-Producción (kg/ha)	24.740	21.180	19.650	61.910	66.970	51.520	25.520	31.330	16.210	43.280	29.860	38.650
1.2.-Precio medio (€/kg)	0,60	0,60	0,60	0,45	0,45	0,45	0,35	0,35	0,35	0,45	0,45	0,45
<b>TOTAL INGRESOS (€/ha)</b>	<b>13.453</b>	<b>11.570</b>	<b>10.416</b>	<b>20.140</b>	<b>19.865</b>	<b>18.531</b>	<b>8.228</b>	<b>10.329</b>	<b>5.361</b>	<b>13.591</b>	<b>8.915</b>	<b>12.898</b>
<b>2.- COSTES VARIABLES</b>												
<b>2.1.- Materias primas (€/ha)</b>												
2.1.1 -Agua de riego	1.526	895	2.076	1.627	667	1.943	1.336	470	1.616	830	506	596
2.1.2.-Fertilizantes, abonos foliares y mejorantes	398	398	398	398	398	398	398	398	398	398	398	398
2.1.3.- Fitosanitarios	382	382	382	382	382	382	382	382	382	382	382	382
2.1.4.- Otras materias primas												
2.1.5.- Energía eléctrica	235	138	320	251	103	300	206	73	249	128	78	92
Total de materias primas (€/ha)	2.467	1.739	3.101	2.584	1.476	2.947	2.247	1.248	2.571	1.664	1.289	1.394
<b>2.2.-Costes variables de maquinaria (€/ha)</b>												
2.2.1.- Trituración restos de poda	105	74	105	105	74	105	105	74	105	105	74	105
2.2.2.- Tratamientos	441	441	441	441	441	441	441	441	441	441	441	441
2.2.3.- Labores y otros												
Total de maquinaria (€/ha)	546	515	546	546	515	546	546	515	546	546	515	546
<b>2.3.- costes variables de mano de obra (€/ha)</b>												
2.3.1.- Riegos	2.370	2370	2.370	2.370	2.370	2.370	2.370	2.370	2.370	2.370	2.370	2.370
2.3.2.- Poda	907	632	907	907	632	907	907	632	907	907	632	907
2.3.3.- Tratamientos	98	98	98	98	98	98	98	98	98	98	98	98
2.3.4.- Trituración restos de poda	26	26	26	26	26	26	26	26	26	26	26	26
2.3.5.- Aclareo de frutos	243	243	243	243	243	243	243	243	243	243	243	243
2.3.6.- Manejo y control de sensores	1.217	1.217	1.217	1.217	1.217	1.217	1.217	1.217	1.217	1.217	1.217	1.217
Total de mano de obra (€/ha)	4.860	4.586	4.860	4.860	4.586	4.860	4.860	4.586	4.860	4.860	4.586	4.860
<b>TOTAL COSTES VARIABLES(€/ha):</b>	<b>7.947</b>	<b>6.913</b>	<b>8.582</b>	<b>8.064</b>	<b>6.650</b>	<b>8.428</b>	<b>7.728</b>	<b>6.423</b>	<b>8.052</b>	<b>7.144</b>	<b>6.464</b>	<b>6.874</b>
<b>Margen Bruto (€/ha)</b>	<b>5.505</b>	<b>4.657</b>	<b>1.834</b>	<b>12.076</b>	<b>13.215</b>	<b>10.103</b>	<b>500</b>	<b>3.906</b>	<b>-2691</b>	<b>6.446</b>	<b>2.452</b>	<b>6.024</b>
<b>Coste de producción (€/kg)</b>	<b>0,32</b>	<b>0,32</b>	<b>0,43</b>	<b>0,13</b>	<b>0,10</b>	<b>0,16</b>	<b>0,30</b>	<b>0,20</b>	<b>0,49</b>	<b>0,16</b>	<b>0,21</b>	<b>0,18</b>
<b>WP (kg/m<sup>3</sup>)</b>	<b>3,40</b>	<b>4,97</b>	<b>1,99</b>	<b>7,99</b>	<b>21,07</b>	<b>5,57</b>	<b>4,01</b>	<b>13,99</b>	<b>2,11</b>	<b>10,95</b>	<b>12,40</b>	<b>13,61</b>

Como se viene deduciendo de las tablas de costes, en términos generales, el menor coste de producción corresponde con los tratamientos de RDC.

El coste de producción es un dato variable en función de la producción de fruta obtenida en el año  $n$  y en función de los costes de producción del año  $n$  que a su vez van a depender principalmente del tratamiento de riego aplicado. En las Figuras 10 y 11 se puede observar el promedio, para los cuatro años de ensayo, de los costes de producción por kg de fruta recolectada de cada tratamiento:

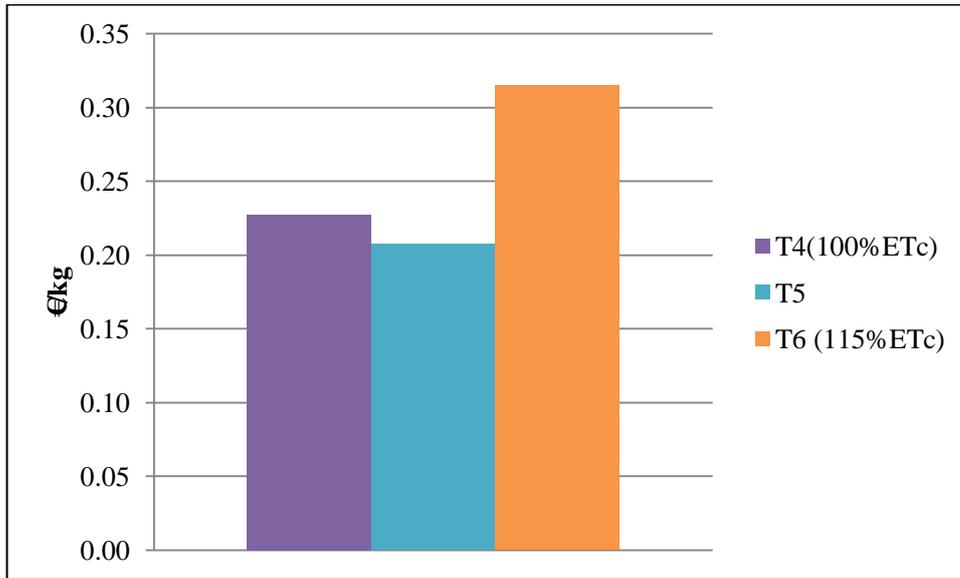
Con la utilización de la cámara de presión como tecnología de apoyo a la programación del riego, el coste de producción promedio se sitúa por encima de los 0,2 €/kg para el tratamiento control (T3). El tratamiento de riego más deficitario (T1) presenta un coste de producción promedio de 0,15 €/kg y en el tratamiento RDC moderado potencial hídrico (T2) se ha obtenido un coste de producción promedio de 0,17 €/kg.

**Figura 9. Costes de producción en €/kg. Promedio de los cuatro años de ensayo. Tecnología: cámara de presión.**



Si se utilizan los dendrómetros como tecnología de apoyo a la programación del riego se obtiene un coste de producción promedio para el tratamiento control (T6) de 0,32 €/kg. El coste de producción obtenido en el tratamiento de riego más deficitario (T5) es de 0,21 €/kg y 0,23 €/kg es el coste del tratamiento control ajustado (T4). Se observa que todos los costes de producción bajo el uso de esta tecnología son mayores que el coste de producción del tratamiento control (T3) bajo el uso de la cámara de presión como tecnología de apoyo a la programación del riego.

**Figura 10. Costes de producción en €/kg. Promedio de los cuatro años de ensayo. Tecnología: dendrómetros.**

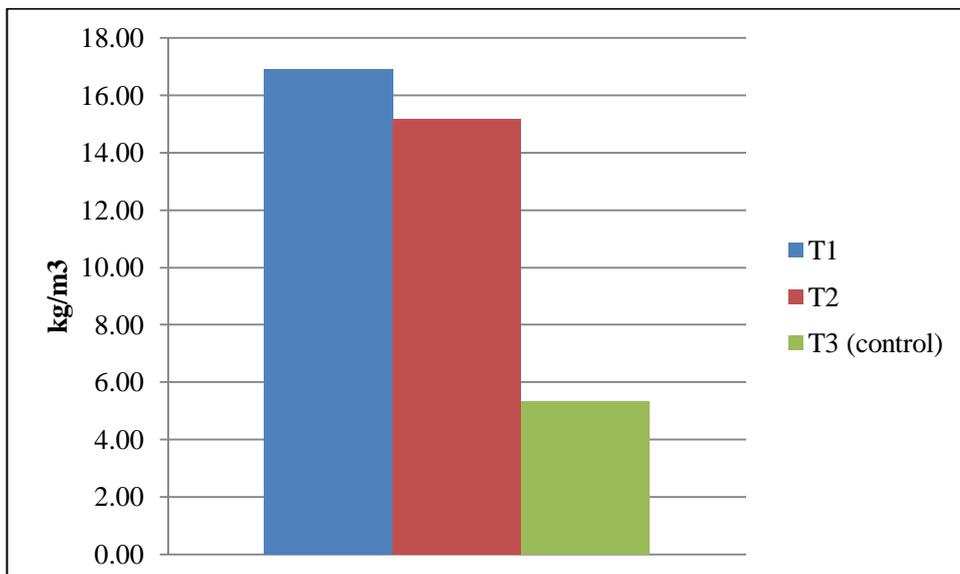


Debido a que no existen grandes diferencias de producción de fruta entre distintos tratamientos de riego y, sin embargo, sí existen diferencias importantes en el consumo de agua y los costes asociados a la misma, la WP es mayor en los tratamientos de RDC.

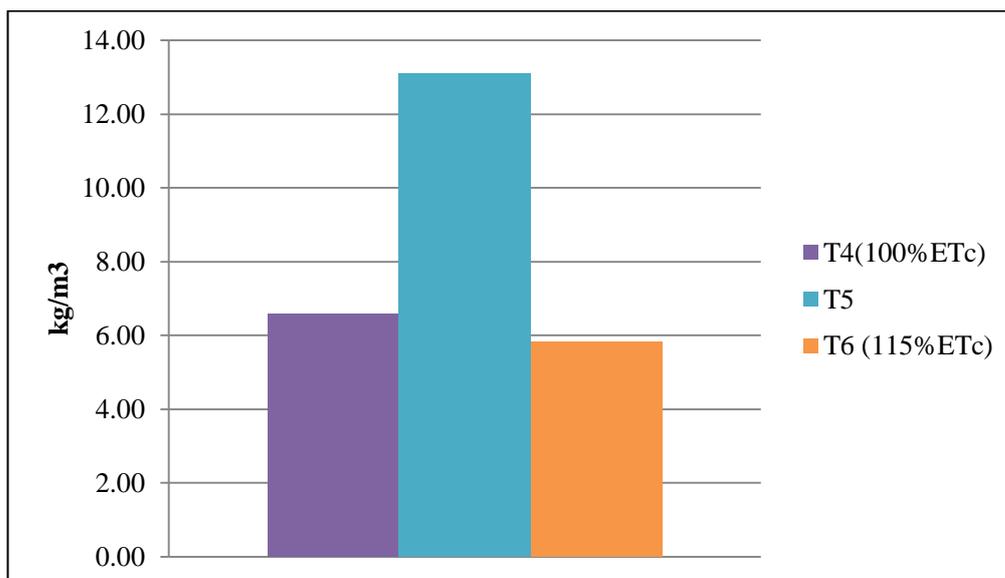
Si se observa la Figura 12 (tecnología de programación de riego: cámara de presión) se aprecia que el tratamiento de RDC más estricto supera en más de 10 kg/m<sup>3</sup> al tratamiento control.

Ocurre lo mismo en la Figura 13 (tecnología de programación de riego: dendrómetros) donde el tratamiento de RDC supera en 6 kg/m<sup>3</sup> al tratamiento control.

**Figura 11. WP. Promedio de los 4 años de ensayo. Tecnología: cámara de presión.**



**Figura 12. WP. Promedio de los 4 años de ensayo. Tecnología: dendrómetros.**



La Tabla 14 muestra la Productividad Económica del Agua EWP en  $\text{€m}^3$  y es un indicador de la cantidad de dinero que genera un  $\text{m}^3$  de agua. El valor de EWP en el T1 (severo potencial hídrico) es casi cuatro veces mayor al valor de EWP del T3 (control potencial hídrico) y el valor de EWP de T2 es casi tres veces mayor al valor de EWP del T3.

En cuanto a los tratamientos que se han apoyado en los dendrómetros como tecnología se puede decir que las diferencias de EWP no son tan notables entre tratamientos. El valor de EWP del T5 (RDC) es dos veces superior al tratamiento control y entre el T4 (control ajustado) y el tratamiento control tan solo hay una diferencia de  $0,15 \text{ €m}^3$  a favor del T4.

Una vez más queda patente la gran utilidad que supone el uso de este tipo de estrategias de riego en zonas de escasez de agua.

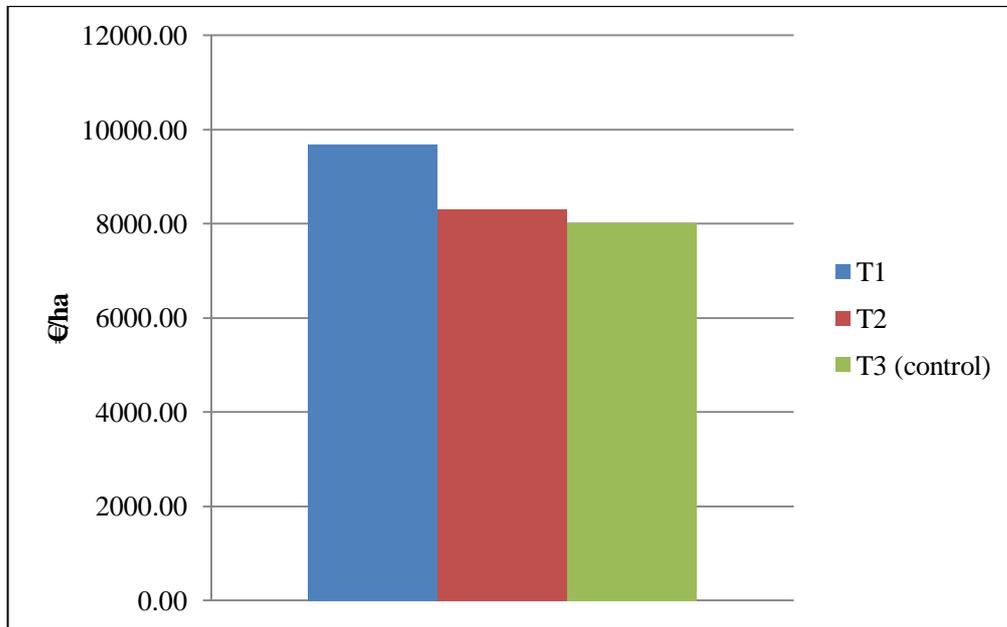
**Tabla 14. EWP medida en  $\text{€m}^3$**

Trat/año	EWP en $\text{€m}^3$					
	T1	T2	T3 (control)	T4	T5	T6 (control)
<b>2008</b>	5,24	3,49	1,92	1,12	1,64	0,66
<b>2009</b>	10,25	9,69	3,51	1,52	4,00	1,06
<b>2010</b>	6,38	5,66	1,55	0,72	2,52	0,38
<b>2011</b>	8,10	7,77	2,68	2,96	3,35	3,67
<b>Promedio</b>	7,49	6,65	2,41	1,58	2,88	1,44

Otro parámetro interesante de estudio es el margen bruto, definido como la diferencia entre los ingresos por venta de producto y los costes derivados de su producción. En la Figura 14 se observa que el margen bruto del T1 (RDC severo potencial hídrico) es de  $9.698 \text{ €ha}$ , el margen bruto del T2 es de  $8.315 \text{ €ha}$  y el margen bruto del tratamiento control (T3) es de

8.011 €/ha, 1.700 €/ha menos que el margen bruto del T1. En este caso si el agricultor decidiera aplicar estrategias de RDC obtendría un margen bruto mayor que utilizando el riego convencional.

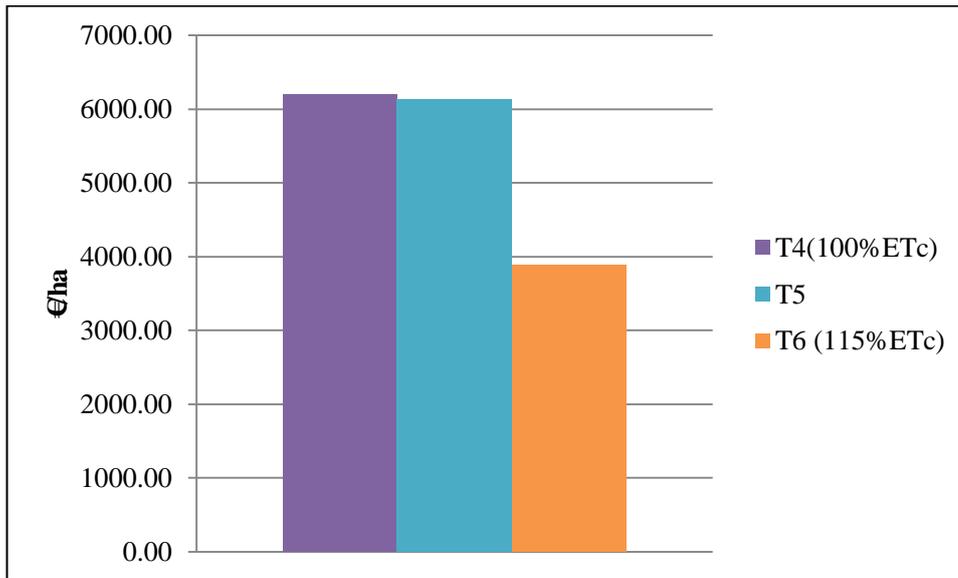
**Figura 13. Margen Bruto en €/ha. Tecnología: cámara de presión.**



En la Figura 15 se puede observar que el margen bruto de los tratamientos T4 y T5 supera en más de 2.000 €/ha al margen bruto del tratamiento control. En este caso la diferencia es aún más notable que en los tratamientos donde se utilizó la cámara de presión.

En términos absolutos, comparando las diferencias entre el margen bruto obtenido con la utilización de una u otra tecnología en los tratamientos control, se observa que es mayor el margen bruto del tratamiento T3 (cámara de presión) respecto al T6 (dendrómetros). No solo se puede decir que es mayor sino que el margen bruto del T6 es la mitad del margen bruto del T3.

**Figura 14. Margen Bruto en €/ha. Tecnología: dendrómetros.**



### 3.3. Evaluación financiera

En este apartado se va realizar una evaluación financiera de una explotación tipo de melocotoneros con las diferencias que suponen el uso de estrategias de RDC y del uso de una tecnología de programación de riego.

En primer lugar, se ha realizado una estimación de la inversión necesaria para una explotación de tamaño medio de 10 hectáreas y se ha calculado la vida útil y su valor residual tras 4 años y tras 15 años. El valor residual a los 4 años se ha obtenido para evaluar el periodo en el que se realizaron los ensayos y el valor residual a los 15 años se ha obtenido para realizar una simulación a 15 años, que coincide con la vida útil estimada del melocotonero variedad Catherine. Se ha estimado un alquiler de la tierra de 5.000 €/ha para los 15 años y se ha considerado como parte del pago de la inversión inicial.

**Tabla 15. Costes de inversión para una finca de 10 has de melocotonero.**

Activos	Valor de adquisición (€)	Valor residual (€)	Vida útil (años)	Valor residual en el año 4	Valor residual en el año 15
Cabezal de riego	30.210	3.021	10	16.313,4	15.105
Red de riego	10.800	1.080,0	10	5.832	5.400
Movimiento de tierras	18.000	0	25	15.120	7.200
Plantación	15.138,9	1.513,9	15	9.991,7	1.514
Embalse	34.365	0	25	28.866,6	13.746
<b>Total (€)</b>	<b>108.513,9</b>			<b>76.123,7</b>	<b>22.019</b>

Una vez definidos estos criterios, se van a exponer los resultados de la evaluación financiera considerando únicamente el periodo de tiempo en el cual fueron realizados los ensayos. En este caso se trata de una inversión a 4 años donde se invierte una cierta cantidad de dinero en el año 0 y se espera obtener una rentabilidad en los cuatro años siguientes. Trascurrido ese periodo, el proyecto llega al final de su vida útil. Hay que señalar que se trata de una plantación de árboles frutales y éstos necesitan un periodo de entrada en producción. En esta evaluación en el año 1, coincidente con el primer año de toma de datos (año 2008), se asume que ya se tiene fruta con valor comercial dado que el árbol tenía 9 años. Esta simplificación se ha realizado para no distorsionar el ensayo y realizar una evaluación restringida de los años de ensayo.

Bajo estas consideraciones, los indicadores necesarios para evaluar la inversión (VAN, TIR, y Periodo de Retorno) han sido estimados en la Tabla 15. En todos los tratamientos el proyecto es viable ya que el VAN es  $> 0$  y en todos los tratamientos el proyecto es rentable ya que  $TIR > 0$ . Estos criterios varían principalmente en función del consumo de agua y de la producción de fruta y en menor medida de la inversión inicial.

Se ha considerado un interés del dinero (I) fijo del 3,5%. La cuantía de la inversión inicial varía en función de la tecnología utilizada. Para el caso de la cámara de presión como tecnología de apoyo a la programación del riego, el valor de la inversión inicial (K) es de 16.151,39 €/ha y se ha calculado dividiendo el valor de adquisición de una finca tipo (Tabla 14) entre 10 has y sumando el valor de adquisición de la tecnología. La inversión inicial usando los dendrómetros como tecnología de apoyo a la programación de riego se cifra en 16.431,39 €/ha y se ha calculado de igual forma que la anterior.

Si se comparan los valores del VAN y del TIR de los tratamientos de RDC respecto al control se observan ciertas diferencias. En el caso de T2 (RDC moderado potencial hídrico) respecto a T3 (control), la TIR solo varía en un punto porcentual siendo más rentable el T2. En VAN presenta valores similares en ambos casos pero sigue siendo mayor para el T2. Si se compara el T1 (RDC severo potencial hídrico) con el tratamiento control (T3) las diferencias empiezan a ser notables. La TIR del T1 es de un 56,91% frente al 46,76% del T3 y el VAN del T1 es de 26.255,51 € frente a los 20.117,34 € del T3.

En los tratamientos donde se han utilizado los dendrómetros como tecnología de apoyo a la programación del riego también existen diferencias en cuanto a los valores del VAN y del TIR. Ambos tratamientos (T4 y T5) presenta una TIR en torno al 31% frente al 12,57% del control (T6). Los valores del VAN son similares, 13.136,00 € para el T4 y 12.971,43 € para el T5, frente a los 4.501,00 € que se ha obtenido para el tratamiento control (T6). En este caso las diferencias entre los valores obtenidos para los tratamientos T4 y T5 frente al control son más acentuadas que en el caso anterior.

El plazo de recuperación de la inversión en la evaluación financiera a 4 años se sitúa en el año 2 para todos los tratamientos excepto para el tratamiento control utilizando los dendrómetros como tecnología de apoyo a la programación de riego que se recupera en el año 4.

**Tabla 16. Evaluación financiera a 4 años.**

<b>Tratamiento/ Criterio</b>	<b>T1</b>	<b>T2</b>	<b>T3</b>	<b>T4</b>	<b>T5</b>	<b>T6</b>
<b>VAN</b>	26.255,51	21.160,05	20.117,34	13.136,00	12.971,43	4.501,01
<b>TIR</b>	56,91%	46,76%	45,95%	30,87%	31,48%	12,57%
<b>Pay-back</b>	Año 2	Año 4				

La excelente viabilidad y rentabilidad del proyecto, tanto en RDC como en los tratamientos control, no refleja fielmente la realidad ya que durante los años de ensayo (la edad de la plantación es de 9 años en el año 2008) la plantación se encuentra en la cumbre de su producción y no se han tenido en cuenta los años anteriores a la entrada en plena producción. Sin embargo, este método permite comparar los tratamientos de riego del experimento realizado de forma satisfactoria.

Una evaluación financiera más acorde con la realidad sería durante toda la vida útil de la plantación (15 años). En la Tabla 16 se observan los resultados obtenidos. Los valores están calculados por hectárea. Se ha hecho un promedio de los 4 años de ensayo en cuanto a pagos y cobros ordinarios, y esos valores se han utilizado en los años sucesivos a los años de ensayo y desde la entrada en plena producción en el año 5. Desde el año 5 hasta el año 0 se han ido reduciendo los cobros ordinarios un 50% anual y los pagos ordinarios se han reducido un 30% anual. De manera que en año 0 no se obtienen cobros ordinarios pero la plantación está en marcha y requiere unos pagos ordinarios. También se ha tenido en cuenta la renovación de los equipos, y los pagos y cobros extraordinarios correspondientes, cuya vida útil es menor a la vida útil de la plantación, así como el valor residual de todos los activos al final de la vida útil del proyecto.

Esta simulación puede dar una idea más real de la rentabilidad y viabilidad de cada tratamiento en términos absolutos. Se observa que la mayor rentabilidad se produce para T1 (RDC) con TIR del 20,72%, cuatro puntos porcentuales respecto al control (T3) que presenta un 16,65%. También T1 presenta el mayor valor del VAN con 54.467,53 € respecto a los 36.383,36 € que se obtienen en el T3. Los valores del VAN y de la TIR para el tratamiento T2 son 40.293,52 € y 18% respectivamente. Por lo tanto con este tratamiento también se obtienen mayores índices de viabilidad y rentabilidad que en el tratamiento control. El plazo de recuperación de la inversión (Pay-Back) se sitúa en el año 6 para los tres tratamientos.

La comparación de los tratamientos T4, T5 y T6 sigue la misma tendencia que los anteriores. La mayor TIR se obtiene para el tratamiento de RDC (T5) con un 11,98% frente al 11,48% del T4 (control ajustado) y frente al 4% que se obtiene en el tratamiento control (T6). Teniendo en cuenta que el interés del dinero se ha cifrado en el 3,5%, la rentabilidad del tratamiento control empieza a estar comprometida. Los valores del VAN fluctúan bastante entre los tratamientos de RDC y el control. Los tratamientos T4 y T5 presentan valores de VAN de 21.414,42 € y 22.155,39 € respectivamente frente a los 1.452,25 € del tratamiento control (T6). Los valores del VAN de los tratamientos de RDC son del orden de 15 veces superiores al valor del VAN del tratamiento control (T6).

El plazo de recuperación de la inversión varía según la tecnología utilizada y según las condiciones de cultivo (producción, calidad de la producción, consumo de agua, poda, etc) que se dieron en cada tratamiento durante el experimento. Se observa que en el caso de la utilización de la cámara de presión, la inversión se recupera dos años antes que con la utilización de dendrómetros. En el tratamiento 6 (control) la inversión se recupera en el año 12, por lo tanto la viabilidad de este tratamiento es muy reducida, ya que la vida útil de la plantación es de 15 años.

**Tabla 17. Evaluación financiera. Simulación a 15 años.**

<b>Tratamiento/Criterio</b>	<b>T1</b>	<b>T2</b>	<b>T3</b>	<b>T4</b>	<b>T5</b>	<b>T6</b>
<b>VAN</b>	54.467,53	40.293,52	36.383,36	21.414,42	22.155,39	1.452,25
<b>TIR</b>	20,72%	18,00%	16,65%	11,48%	11,98%	4,13%
<b>Pay-Back</b>	Año 6	Año 6	Año 6	Año 8	Año 8	Año 12

#### Análisis de sensibilidad

Partiendo de la simulación a 15 años realizada en el apartado anterior, se ha obtenido el VAN de cada uno de los tratamientos y se ha realizado un análisis de sensibilidad al precio del agua. La Figura 16 recoge la evolución del VAN en función del precio del agua de riego, para todos los tratamientos analizados.

Para el tratamiento 1 (RDC severo potencial hídrico) se obtiene el VAN más elevado de todos los tratamientos. Realizando el análisis de sensibilidad se observa que para que el VAN sea cero, o lo que es lo mismo para que la inversión deje de ser viable, el precio del agua tendría que ascender hasta los 2,36 €/m<sup>3</sup>. Así, para precios de agua elevados se presenta un escenario muy favorable a la adopción de esta estrategia de riego.

El segundo tratamiento (RDC moderado potencial hídrico) presenta un VAN elevado al precio actual del agua. Al realizar el análisis de sensibilidad se obtiene un precio del agua de 1,5 €/m<sup>3</sup> que hace nulo el VAN. En situaciones donde el precio del agua es muy elevado son favorables el uso de este tipo de estrategias pero en menor medida que el tratamiento 1. En

cambio, para precios de agua inferiores a  $0,12 \text{ €/m}^3$ , el tratamiento 3 parece más apropiado desde el punto de vista de la viabilidad de la inversión.

El tratamiento control, medido con potencial hídrico, muestra un valor del VAN más reducido que los dos tratamientos anteriores y más sensible a la variación del precio del agua. Se ha obtenido un precio del agua que hace el VAN cero de  $0,71 \text{ €/m}^3$ . Se observa cómo se van estrechando los márgenes de la viabilidad a medida que el ahorro de agua disminuye.

Hasta ahora se han estudiado tres tratamientos de riego utilizando una tecnología de apoyo a la programación del riego basada en el potencial hídrico del tallo, por medio de una cámara de presión. A continuación se comenta el análisis de sensibilidad de otros tres tratamientos de riego utilizando la contracción diaria de tronco como tecnología de apoyo a la programación del riego.

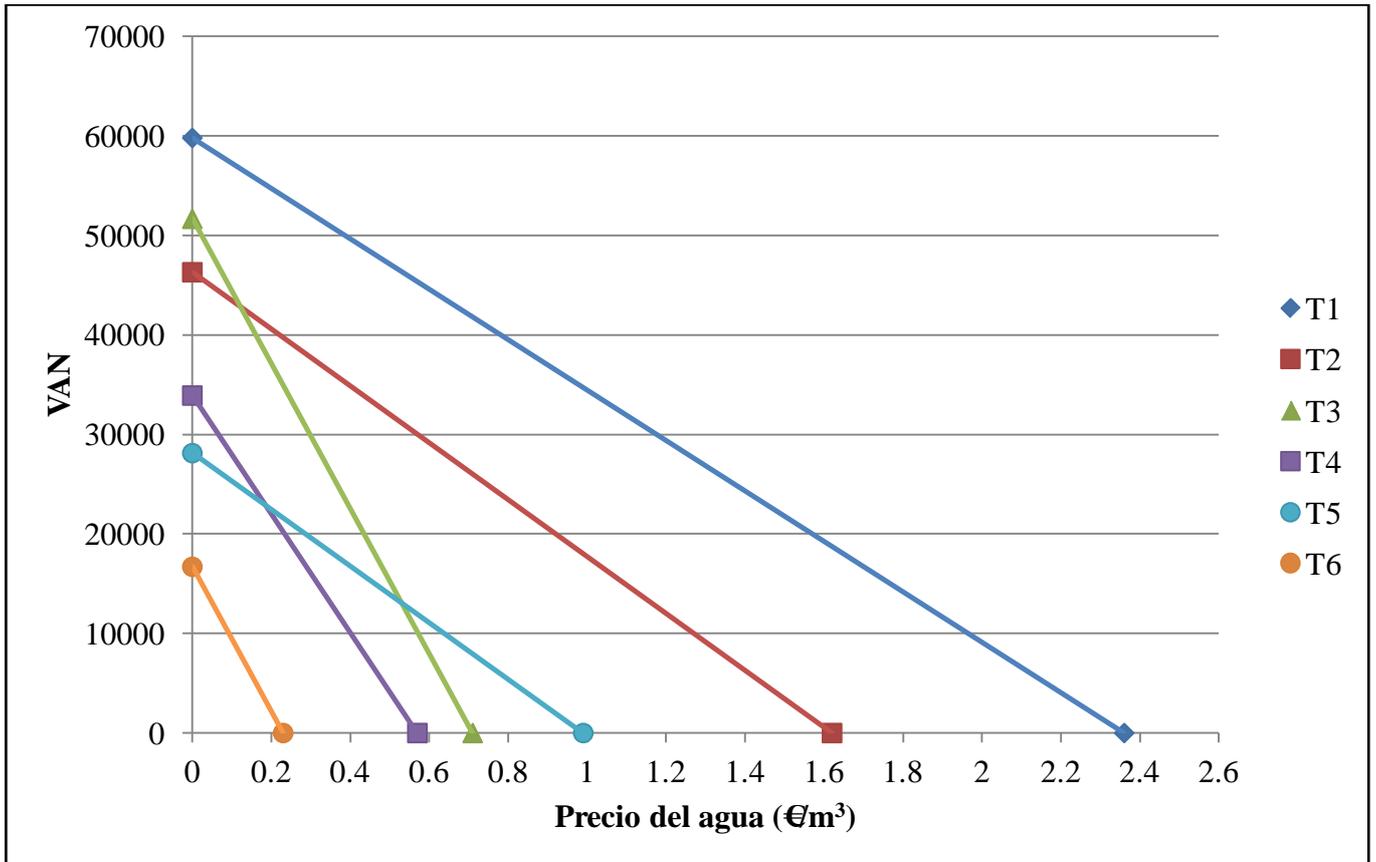
El tratamiento 4 fue regado al 100% de la ETc. Presenta un VAN inferior a los tratamientos descritos anteriormente y una sensibilidad a la variación del precio del agua bastante elevada. El precio que hace cero el VAN se sitúa en  $0,55 \text{ €/m}^3$ . Es decir, si el precio actual del agua (se asume  $0,21 \text{ €}$ ) se multiplicara por dos, ya se estaría comprometiendo la viabilidad del proyecto.

Bajo el apoyo de esta tecnología se ha realizado un tratamiento de RDC. El tratamiento 5 fue regado un 55% de la ETc respecto al tratamiento control durante la fase II de desarrollo del fruto y el periodo post-cosecha. Se ha obtenido un VAN similar al tratamiento 4 pero la sensibilidad a la variación del precio es menor aquí. El precio que hace el VAN cero es de casi  $1 \text{ €/m}^3$ , casi 5 veces más del precio actual. Pero si el precio de agua baja de  $0,18 \text{ €/m}^3$ , el tratamiento 4 parece más apropiado desde el punto de vista de la viabilidad de la inversión.

El tratamiento 6 fue el tratamiento control a los dos anteriores y en la simulación a 15 años se ha obtenido un VAN cercano a 0. En este caso no encontramos casi al límite pues el precio que hace el VAN cero es  $0,23 \text{ €/m}^3$  y se ha fijado como precio actual  $0,21 \text{ €/m}^3$ . En este caso la viabilidad del proyecto está comprometida.

En síntesis, existe variabilidad en la sensibilidad a la variación del precio del agua según se adopte una u otra estrategia de riego y se use una u otra tecnología de ayuda a la programación del riego. La tendencia que sugiere este modelo es que la sensibilidad a la variación del precio será menor cuanto menor sea el consumo de agua o mayor la intensidad de las estrategias de RDC. Todo esto bajo la incertidumbre que crea una simulación de este tipo.

**Figura 15. Análisis de sensibilidad del VAN al precio del agua.**





## **Capítulo 4. Conclusiones**



En este capítulo se describen las principales conclusiones extraídas del trabajo. Las conclusiones son las siguientes:

**Escasez de agua.** Multitud de organismos, públicos y privados, a nivel internacional arrojan cifras de escasez física de agua en ciertas partes del planeta. España y sobre todo la región mediterránea no está libre de este fenómeno. Por este motivo hay que optimizar la gestión del uso del agua en todas sus vertientes: consumo urbano, consumo industrial, agricultura, etc.

**Agricultura y agua.** La agricultura es el sector que más agua utiliza (en torno al 70%) y, por tanto, es el sector donde más se debe optimizar y racionalizar el consumo de agua. La sostenibilidad del recurso hídrico pasa por hacer una gestión adecuada de su uso. Una adecuada investigación y su correspondiente transferencia tecnológica facilitarán esta tarea.

**RDC en zonas de escasez de agua.** Desde los años 80 en adelante se han planteado nuevas estrategias de riego en las que se haga un uso más eficiente del agua. Una de estas estrategias es el RDC, consistente en disminuir los aportes de agua en las fases menos perjudiciales para el desarrollo del fruto e incidiendo en la menor medida posible en el rendimiento del cultivo. Diversos autores como Chalmers y Mitchell, Huguet et al, Goldhamer y Shackel, Pérez-Sarmiento et al, Geerts y Raes, Pérez-Pérez et al, Alcón et al avalan con sus investigaciones este tipo de estrategias de riego en determinadas zonas de escasez de agua

**Validación del RDC desde el punto de vista técnico.** En este experimento se han obtenido datos técnicos suficientes para validar la estrategia de RDC en melocotonero variedad 'Catherine' desde el punto de vista técnico. Las razones son las siguientes:

- Se ha conseguido un ahorro de agua de hasta el 65% en el tratamiento de RDC frente al tratamiento control.
- No ha habido mermas importantes en la producción, e incluso la producción ha sido mayor en los tratamientos de RDC. Este hecho puede deberse al crecimiento compensatorio que experimentan los frutos tras el periodo de estrés hídrico.
- La calidad de la producción tan solo se redujo un 10% en los tratamientos de RDC frente al control.
- La WP medida en  $\text{kg/m}^3$  es muy superior en los tratamientos RDC respecto al control, del orden de  $10 \text{ kg/m}^3$ .
- Las dos tecnologías de apoyo a la programación del riego probadas como son la cámara de presión (medida de potencial hídrico de tallo) y los dendrómetros (medida de la máxima contracción diaria de tronco) han dado buenos resultados técnicos.

**Validación desde el punto de vista económico.** Las conclusiones extraídas de la evaluación económica de la implementación de estrategias RDC en melocotonero variedad ‘Catherine’ son las siguientes:

- Del análisis de costes se desprende que los costes de los tratamientos de RDC son menores a los tratamientos control en ambas tecnologías. Esto es así porque el consumo y, por tanto, el coste del agua es menor en los tratamientos RDC, el consumo de energía eléctrica es menor en RDC, así como el coste de la poda y su trituración. El resto de costes es similar en todos los tratamientos.
- Con cámara de presión, como tecnología de apoyo a la programación del riego, la variación del coste de producción del tratamiento de riego más deficitario (T1) respecto al control es de 0,05 €/kg siendo menor el T1. La variación del coste de producción del RDC moderado respecto al control es de 0,02 €/kg siendo menor el T2. Si se utilizan los dendrómetros como tecnología de apoyo a la programación del riego, la variación del coste de producción del tratamiento de riego más deficitario (T5) es menor respecto al tratamiento control (T6) en 0,11 €/kg y de 0,09 €/kg el tratamiento control ajustado (T4) frente al T6
- La EWP medida en  $\text{€m}^3$  es cuatro veces superior al control, en el caso de los tratamientos RDC con cámara de presión, y dos veces mayor al control, con dendrómetros.
- Quizás el parámetro más importante para los agricultores de cara a decidir si implementar o no este tipo de estrategias de riego sea el margen bruto medido en €/ha. En primer lugar, el margen bruto de todos los tratamientos RDC independientemente de la tecnología utilizada es mayor que el margen bruto de los tratamientos control. Para el caso de la cámara de presión como tecnología de apoyo el margen bruto de los tratamientos RDC supera al control en 1700 €/ha. Para el caso de los dendrómetros como tecnología de apoyo el margen bruto de los tratamientos RDC supera al control en más de 2.000 €/ha.

**Validación desde el punto de vista financiero.** Las conclusiones extraídas de la evaluación financiera de la implementación de estrategias RDC en melocotonero variedad Catherine son las siguientes:

- La inversión inicial necesaria para la puesta en marcha de una finca tipo de melocotonero es muy similar independientemente de la tecnología de programación del riego utilizada (cámara de presión o dendrómetros). Sí es cierto que la inversión inicial es levemente menor utilizando la cámara de presión, debido a su menor coste de adquisición.
- Evaluación financiera durante los años de ensayo. En el caso de T2 (RDC moderado potencial hídrico) respecto a T3 (control), la TIR solo varía en un punto porcentual

siendo más rentable el T2. En VAN presenta valores similares en ambos casos pero sigue siendo mayor para el T2. Si se compara el T1 (RDC severo potencial hídrico) con el tratamiento control (T3) las diferencias son importantes. La TIR del T1 es de un 56,91% frente al 46,76% del T3 y el VAN del T1 es de 26.255,51 € frente a los 20.117,34 € del T3. Se obtiene un  $\Delta$ VAN de 6.138,17€ y un  $\Delta$ TIR de casi un 11%. En los tratamientos donde se han utilizado los dendrómetros como tecnología de apoyo a la programación del riego también existen diferencias en cuanto a los valores del VAN y del TIR. El control ajustado (T4) y el RDC moderado (T5) presentaron una TIR en torno al 31% frente al 12,57% del control (T6). También los valores del VAN fueron similares en T4 y en T5, alcanzando 13.136,00 € para el T4 y 12.971,43 € para el T5, frente a los 4.501,00 € que se ha obtenido para el tratamiento control (T6). En este caso las diferencias entre los valores obtenidos para los tratamientos T4 y T5 frente al control son más acentuadas que en el caso anterior. Se obtiene un  $\Delta$ VAN de 8.500 € en el tratamiento RDC (T5) respecto al control (T6) y un  $\Delta$ TIR del 19%. Independientemente de la tecnología utilizada, los valores del VAN y de la TIR de los tratamientos RDC son mayores a los valores de los tratamientos control.

- Se ha realizado otra evaluación financiera a 15 años coincidiendo con la vida útil de una plantación de melocotoneros variedad 'Catherine'. En esta evaluación se consolidan las tendencias que se seguían en la evaluación a 4 años, obteniendo valores más próximos a la realidad en cuanto a la viabilidad y la rentabilidad de cada tratamiento. Con la utilización de la cámara de presión se obtiene la mayor rentabilidad para el tratamiento RDC severo potencial hídrico (TIR=21%) seguido del tratamiento RDC moderado potencial hídrico (TIR=18%) y del tratamiento control (TIR=17%). Es también el tratamiento RDC severo potencial hídrico el que alcanza un mayor índice de viabilidad (VAN=54.467,53 €) seguido del tratamiento RDC moderado potencial hídrico (VAN=40.293,52 €) y del tratamiento control (VAN=36.383,36 €). Si se utilizan los dendrómetros como tecnología de apoyo a la programación del riego se puede comprobar que los valores de VAN y TIR siguen la misma tendencia que los anteriores. Se obtiene la mayor rentabilidad para el tratamiento RDC más severo (TIR=12%) seguido del tratamiento control ajustado (TIR=11%) y del tratamiento control (TIR=4%). El tratamiento RDC severo presenta una mayor ganancia neta de la inversión (VAN=22.155,39 €), seguido del tratamiento control ajustado (VAN=21.414,42 €) y del tratamiento control (VAN=1.452,25 €). Los valores del VAN de los tratamientos T4 y T5 son del orden de 15 veces superiores al valor del VAN del tratamiento control.
- El plazo de recuperación (Pay-back) de la inversión en la evaluación a 15 años se cumple en el año 6 para los tratamientos evaluados con cámara de presión y en el

- año 8 para los dos tratamientos RDC evaluados con dendrómetros y en el año 12 para el tratamiento control. El Pay-back varía dos años según la tecnología utilizada.
- Análisis de sensibilidad. Para el tratamiento 1 (RDC severo potencial hídrico) se observa que para que el VAN sea cero, o lo que es lo mismo para que la inversión deje de ser viable, el precio del agua tendría que ascender hasta los 2,36 €/m<sup>3</sup>. Así, para precios de agua elevados se presenta un escenario muy favorable a la adopción de esta estrategia de riego. Al realizar el análisis de sensibilidad del segundo tratamiento (RDC moderado potencial hídrico) se obtiene un precio del agua de 1,5 €/m<sup>3</sup> que hace nulo el VAN. En situaciones donde el precio del agua es muy elevado son favorables el uso de este tipo de estrategias pero en menor medida que el tratamiento 1. En cambio, para precios de agua inferiores a 0,12 €/m<sup>3</sup>, el tratamiento 3 parece más apropiado desde el punto de vista de la viabilidad de la inversión. El tratamiento control, medido con potencial hídrico, es más sensible a la variación del precio del agua. Los márgenes de la viabilidad se estrechan a medida que el ahorro de agua disminuye. El tratamiento 4 control ajustado (tecnología: dendrómetros) presenta un VAN inferior a los tratamientos descritos anteriormente y una sensibilidad a la variación del precio del agua bastante elevada. El tratamiento 5 fue regado un 55% de la ETc respecto al tratamiento control durante la fase II de desarrollo del fruto y el periodo post-cosecha. Se ha obtenido un VAN similar al tratamiento 4 pero la sensibilidad a la variación del precio es menor aquí. El precio que hace el VAN cero es de casi 1 €/m<sup>3</sup>, casi 5 veces más del precio actual. Pero si el precio de agua baja de 0,18 €/m<sup>3</sup>, el tratamiento 4 parece más apropiado desde el punto de vista de la viabilidad de la inversión. El T6 fue el tratamiento control a los dos anteriores y en la simulación a 15 años se ha obtenido un VAN cercano a 0. En este caso nos encontramos casi al límite pues el precio que hace el VAN cero es 0,23 €/m<sup>3</sup> y se ha fijado como precio actual 0,21 €/m<sup>3</sup>. En este caso, la viabilidad del proyecto está comprometida. En síntesis, existe variabilidad en la sensibilidad a la variación del precio del agua, según se adopte una u otra estrategia de riego y se use una u otra tecnología de ayuda a la programación del riego. La tendencia que sugiere este modelo es que la sensibilidad a la variación del precio será menor cuanto menor sea el consumo de agua o mayor la intensidad de las estrategias de RDC. Todo esto bajo la incertidumbre que crea una simulación de este tipo.

Dados los resultados obtenidos en el experimento se puede concluir que en la zona de estudio, y en general en zonas de escasez de agua, es más rentable el uso de RDC respecto al riego convencional en melocotonero variedad 'Catherine'. Sin embargo, la adopción de RDC no está generalizada, a pesar de que ésta podría ayudar a los agricultores a conseguir importantes ahorros de agua. Según Alcón et al (2014) la capacidad de la técnica para el ahorro de agua y el contexto específico escasez de agua parecen ser las razones más importantes para la implementación del RDC. Sin embargo, estos autores, observan que los

niveles de conocimiento y sensibilización son bajos a través de diferentes grupos de interés, lo que implica una necesidad de mejorar la promoción de la adopción de RDC a través de la transferencia de conocimiento científico. Las políticas del agua que promueven la adopción de RDC se consideran un importante paso adelante para asegurar la disponibilidad a largo plazo y el uso sostenible del agua en la agricultura en zonas donde la escasez de agua es un fenómeno estructural.



## Bibliografía

- Agua y civilizaciones. <http://www.arqhys.com/construccion/agua-civilizaciones.html> Última consulta: 13/11/2014.
- Alcón, F., Egea, G., Nortes, P.A. (2013). Financial feasibility of implementing regulated and sustained deficit irrigation in almond orchards. *Irrigation Science*; 31: 931-941.
- Alcón, F., Martín-Ortega, J., Pedrero, F., Alarcon, J.J., De Miguel, M.D. (2013). Incorporating non-market benefits of reclaimed water into cost-Benefit analysis: a case study of irrigated Mandarin crops in southern Spain. *Water Resour Manage* 27, 1809-1820.
- Alcón, F., Tapsuwan, S., Martínez-Paz, J.M., Brouwer, R., De Miguel, M.D. (2014). Forecasting deficit irrigation adoption using a mixed stakeholder assessment methodology. *Technological Forecasting & Social Change* 83, 183-193.
- Alonso Sebastián, R., *Economía de la Empresa Agroalimentaria* (2008). Mundi-Prensa.
- Aral. El mar perdido. [http://www.wearewater.org/es/aral-el-mar-perdido\\_1900](http://www.wearewater.org/es/aral-el-mar-perdido_1900) Última consulta: 13/11/2014.
- Ballesteros R R (2005). Agua, la botella medio llena. *La Economía* 77:1-3.
- Banco de España. Tipos de interés. [http://www.bde.es/clientebanca/tipo/referencia/otros\\_legal.htm](http://www.bde.es/clientebanca/tipo/referencia/otros_legal.htm) Última consulta: 17/07/2014.
- Caballero P, de Miguel M<sup>a</sup>D, Juliá JF (1992) 'Costes y Precios en Hortofruticultura.' (Mundi Prensa: Madrid)
- Consejería de agricultura de la Región de Murcia. Precios en origen. [http://www.carm.es/web/pagina?IDCONTENIDO=1396&IDTIPO=100&RASTRO=c1355\\$m1174](http://www.carm.es/web/pagina?IDCONTENIDO=1396&IDTIPO=100&RASTRO=c1355$m1174) Última consulta: 15/09/2014.
- Colino Sueiras, J., Martínez Paz, J.M. (2002). El Agua en la Agricultura del Sureste Español: Productividad, Precio y Demanda. Publicaciones Cajamar. Mediterráneo Económico.
- Conejero W, J J Alarcón, Y García-Orellana, E Nicolás, A Torrecillas (2007) Evaluation of sap flow and trunk diameter sensors used for irrigation scheduling in early maturing peach trees. *Tree Physiol.* 27:1753-1759.

FAO. Afrontar la escasez de agua (2013). Disponible en: <http://www.fao.org/3/a-i3015s.pdf>

FAO. El agua para la producción sostenible de alimentos. <http://www.fao.org/docrep/006/y4525s/y4525s05.htm> Última consulta: 28/11/2014.

García García, J., Martínez-Cutillas, A., Romero, P. (2012). Financial analysis of wine grape production using regulated deficit irrigation and partial-root zone drying strategies. *Irrigation Science* 30:179-188.

García, J., Romero, P., Botía, P., García, F. (2004). Cost-benefit analysis of almond orchard under regulated deficit irrigation (RDI) in SE Spain. *Spanish Journal of Agricultural Research* 2 (2), 157-165.

García García, J. (2007). Evaluación económica y eficiencia del agua de riego en frutales de regadío. Comunidad Autónoma de la Región de Murcia. Consejería de Agricultura y Agua.

Geerts, S., Raes, D. (2009). Deficit irrigation as an on-farm strategy to maximize crop water productivity in dry areas. *Agricultural Water Management* 96, 1275-1282.

Hispagua. Sistema Español de Información sobre el Agua. Escasez de agua. <http://hispagua.cedex.es/sites/default/files/especiales/escasez/agricultura.html> Última consulta: 15/08/2014.

Hueso Martín, J.J., Cuevas González, J. (Coordinadores). (2014). La Fruticultura del siglo XXI en España. Publicaciones Cajamar.

Iagua. Blog. Hidrología y cambio climático. (2013). <http://www.iagua.es/blogs/johannes-hunink/cambio-climatico-e-hidrologia-herramientas-clave-para-conocer-los-impactos-y-evaluar-estrategias-de> Última consulta: 20/10/2014.

Iglesias, I. Producción, Consumo e Innovación Varietal en el Melocotón. IRTA. (2012).

Imida. Parámetros y datos unitarios. <http://siam.imida.es/apex/f?p=101:73:1889972396555695> Última consulta: 1/08/2014.

Imida. Programa orientativo mensual de fertilización. <http://siam.imida.es/apex/f?p=101:58:823092077399207::NO> Última consulta: 25/07/2014.

Infoagro. Análisis del rendimiento y la eficiencia en el uso del agua. [http://www.infoagro.com/frutas/riego\\_deficitario\\_en\\_melocotonero.htm](http://www.infoagro.com/frutas/riego_deficitario_en_melocotonero.htm) Última consulta: 27/11/2014.

Instrumentalia. Sistema de medición de fotosíntesis.  
[http://www.instrumentalia.com.ar/main.php?pag=productos\\_in\\_ma&var=\\$\(%27.button%20a%27\).eq\(5\).click\(\)&id=8089&pagina\\_menu=2&number\\_menu=5](http://www.instrumentalia.com.ar/main.php?pag=productos_in_ma&var=$(%27.button%20a%27).eq(5).click()&id=8089&pagina_menu=2&number_menu=5) Última consulta: 15/10/2014.

Intrigliolo, D.S., Castel, J.R. (2006). Performance of various water stress indicators for prediction of fruit size response to deficit irrigation in plum. *Agricultural Water Management*. 83, 173-180.

MAGRAMA 2014. Observatorio de tecnologías probadas. Maquinaria agrícola.  
<http://www.magrama.gob.es/es/ministerio/servicios/informacion/plataforma-de-conocimiento-para-el-medio-rural-y-pesquero/observatorio-de-tecnologias-probadas/maquinaria-agricola/murcia.aspx> Última consulta: 8/09/2014.

MAGRAMA 2014. Observatorio de tecnologías probadas. Material vegetal.  
<http://www.magrama.gob.es/es/ministerio/servicios/informacion/plataforma-de-conocimiento-para-el-medio-rural-y-pesquero/observatorio-de-tecnologias-probadas/material-vegetal/> Última consulta: 10/11/2014.

Martínez C A, P Romero, J I Fernández (2007). Técnicas de riego deficitario en el cultivo de la vid. *Vida Rural* 444:17–21.

Mendez Alday, M. (2011). Diagnósis sobre la Gestión del Agua en la Región de Murcia. Proyecto Final de Máster en Sostenibilidad. UPC.

Michael J. Scoullos. (2003). *La Gestión de Agua Dulce en el Mediterráneo* Publicaciones Cajamar. Mediterráneo Económico.

Mounzer O H, J Vera, L M Tapia, Y. García, W Conejero, I Abrisqueta, M C Ruiz, J M Abrisqueta (2008a). Irrigation scheduling of peach trees by continuous measurement of soil water status. *Agrociencia* 42:857–868.

Mounzer O H, R Mendoza, I Abrisqueta, L M Tapia, J M Abrisqueta, J Vera, M C Ruiz (2008b). Soil water content measured by FDR probes and thresholds for drip irrigation management in peach trees. *Agric. Téc. Méx.* 34:313–322.

Nortes Tortosa, P.A., Nicolás Nicolás, E., Alcobendas Puig, R., Mounzer, O., Pérez-Sarmiento, F., Bayona Gambín, J.M., Alarcón Cabañero, J.J. (2011). Efecto combinado de la carga productiva y déficit hídrico sobre la máxima contracción diaria en melocotonero. *Congreso Agricultura, Agua y Energía*.

- Ortuño M F, Y García, W Conejero, M C Ruiz, J J Alarcón, A Torrecillas (2006). Stem and leaf water potentials, gas exchange, sap flow and trunk diameter fluctuations for detecting water stress in lemon trees. *Trees Struct. Funct.* 20:1–8.
- Perez-Sarmiento, F., Alcobendas, R., Mounzer, O., Alarcon, J., Nicolas, E. (2010). Effects of regulated deficit irrigation on physiology and fruit quality in apricot trees. *Spanish Journal of Agricultural Research* 8 (S2), 86-94.
- Pérez-Pérez, J.G., García, J., Robles, J.M., Botía, P., (2010). *Agricultural Water Management* 97, 157-164.
- Plan Hidrológico de la Demarcación Hidrográfica del Segura 2009-2015. <https://www.chsegura.es/chs/planificacionydma/planificacion/> Última consulta: 10/11/2014.
- Playan E, L Mateos (2006). Modernization and optimization of irrigation systems to increase water productivity. *Agric. Water Manage.* 80:100–116.
- Romero, P., García, J., Botía, P. (2005). Cost-Benefit analysis of a regulated deficit-irrigated almond orchard under subsurface drip irrigation conditions in southeastern Spain. *Irrigation Science.*
- Soilmoisture. Cámara de presión. [http://www.soilmoisture.com/prod\\_details.asp?prod\\_id=1085&cat\\_id=22](http://www.soilmoisture.com/prod_details.asp?prod_id=1085&cat_id=22) Última consulta: 15/10/2014.
- Sumpsi Viñas, J.M. (2002). *La Economía y la Política del Agua en la Agricultura Mediterránea.* Publicaciones Cajamar. Mediterráneo Económico.
- Torrecillas A, R Domingo, R Galego, M C Ruiz–Sánchez (2000). Apricot tree response to irrigation withholding at different phenological periods. *Sci. Hort.* 85:201–215.
- WWF España. Gestión del agua. 2013. <http://www.wwf.es/?24160/WWF-pide-ms-cooperacin-en-la-gestin-de-agua-en-Espaa> Última consulta: 2/11/2014.