



EFFECTOS A LARGO PLAZO EN LOS PARÁMETROS PRODUCTIVOS OBTENIDOS EN TRES TRATAMIENTOS ENSAYADOS

Comparación de diferentes estrategias de riego deficitario en el cultivo de cítricos

El presente trabajo recoge los resultados de diferentes experiencias basadas en la aplicación de caudales limitados de agua en el cultivo de cítricos. Los ensayos, desarrollados en Córdoba y Sevilla, representan diferentes estrategias de riego deficitario, estudiándose los efectos en la producción final y la calidad del producto cosechado. Así

mismo, se ha realizado una valoración comparativa entre las diferentes estrategias en función de los resultados obtenidos y las dotaciones hídricas registradas en cada una de ellas, pudiéndose concluir que el riego deficitario controlado permite obtener resultados muy favorables, especialmente para restricciones de agua en torno al 30%.

García-Tejero, I., Jiménez-Bocanegra, J.A., Pérez, R., Durán-Zuazo, V.H., García-Baquero, J., Muriel-Fernández, J.L.

La agricultura andaluza, cuenta hoy en día con un peso específico importante en el desarrollo económico de la comunidad, destacando principalmente el sector de los regadíos andaluces. Así, la superficie regada es aproximadamente un 23% del total de la superficie agraria, con un consumo medio de 4.761 hm³/año, generando

do el 57% de la producción total y el 60% del empleo en este sector (PNR, Horizonte 2008).

Mejorar la eficiencia en la asignación del agua de riego, debido a su escasez, es una cuestión que preocupa a planificadores hidrológicos y economistas, pues el agua en el último siglo ha pasado de ser un patrimonio natural común, libre y gratuito, a ser considerado como un recurso económico.

Unido a esto no se puede olvidar el hecho de que, actualmente la demanda hídrica existente está muy por encima de los recursos disponibles, lo que obliga a buscar nue-

vas estrategias que permitan un uso más eficiente del agua en la agricultura. Entre las estrategias de adaptación, el manejo del riego dirigido a la obtención de un máximo de producción por unidad de agua (aumento de la productividad del agua), y no por unidad de superficie, adquiere una especial relevancia en el contexto andaluz. El riego deficitario (RD) se perfila como una alternativa que permite mejorar la eficiencia en el uso del agua, aumentando la productividad de ésta, siempre desde la perspectiva de la minimización del gasto hídrico y la minimización de los

CUADRO I.

Definición de tratamientos. Ensayo RDS. Duración 2006-2008.

Tratamientos	
A	Regado de forma constante con el 50% ET _c .
B	Regado de forma constante con el 65% ET _c .
C	Regado de forma constante con el 75% ET _c .
D (Control)	Regado de forma constante con el 100% ET _c .
Estrategia	Riego deficitario sostenido
Localización	Palma del Río (Córdoba)
Variedad	Salustiana

CUADRO II.

Definición de tratamientos. Ensayo RDC. Duración 2006-2008.

Tratamientos	Floración	Crecimiento fruto	Maduración
A	55% ET _c	70% ET _c	55% ET _c
B	55% ET _c	70% ET _c	70% ET _c
C	55% ET _c	55% ET _c	70% ET _c
D	70% ET _c	70% ET _c	55% ET _c
E (Control)	100% ET _c	100% ET _c	100% ET _c
Estrategia	Riego deficitario controlado		
Localización	Palma del Río (Córdoba)		
Variedad	Navelina		

CUADRO III.

Definición de tratamientos. Ensayo RDS vs. RDBF. Duración 2006-2008.

Tratamientos	
A (Control)	Regado de forma constante con el 100% ET _c .
B (RDS)	Regado de forma constante con el 55% ET _c .
C (RDBF)	Ciclos de riego-restricción. Rango de $\Psi_{\text{raíz}}$ -0,8 y -2 MPa.
Estrategia	RDS vs. RDBF
Localización	Brenes (Sevilla)
Variedad	Navelina



efectos en la producción final del producto cosechado (García-Tejero y col. 2009).

Dentro de este tipo de técnicas, existen diferentes estrategias diferenciadas fundamentalmente en la forma en la cual se realiza la restricción del aporte hídrico. De esta forma podemos diferenciar tres estrategias básicas de riego deficitario:

- El riego deficitario sostenido (RDS), en el cual el recorte de agua se aplica de forma constante durante toda la campaña de riego.
- El riego deficitario controlado (RDC), en el cual se considera que las restricciones deben aplicarse teniendo muy en cuenta la fase de desarrollo en la que se en-

cuentra el cultivo, minimizándose la repercusión en la producción y la calidad del producto cosechado.

- El riego deficitario de baja frecuencia (RDBF), consistente en la aplicación de ciclos de riego-restricción en función del estado hídrico del cultivo, estableciéndose así unos umbrales de estrés dentro de los cuales se ha de mantener el cultivo.

La aplicación de cualquiera de estas estrategias se hará teniendo muy en cuenta los distintos factores, y sus relaciones, potencialmente influyentes en el desarrollo del cultivo y su respuesta productiva final; así como la disponibilidad hídrica y las posibilidades del agricultor.

Bajo estas consideraciones, el presente

trabajo muestra una comparativa de diferentes ensayos de riego deficitario en cítricos de larga duración, así como un estudio de las principales relaciones existentes entre las dotaciones hídricas aplicadas y los principales parámetros de producción.

Material y métodos

Las diferentes parcelas experimentales se localizan en la vega del Guadalquivir, en las provincias de Sevilla y Córdoba, en las cuales se han establecido diferentes aplicaciones de riego deficitario en dos variedades de naranjo dulce representativas de la zona (Navelina y Salustiana). Se establecieron tres

FIGURA 1.

Relación entre la cantidad de agua aplicada y los valores de producción.
Ensayo RDS. Datos medios 2006-2008.

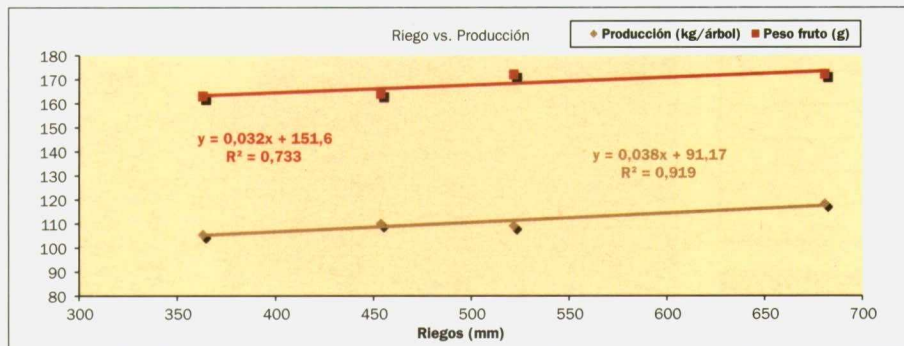


FIGURA 2.

Relación entre el consumo de agua (riego + precipitaciones) y la productividad del agua. Ensayo RDS. Datos medios 2006-2008.

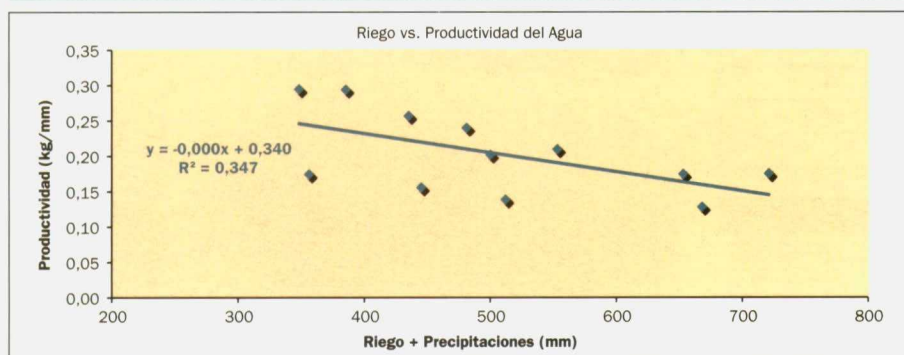
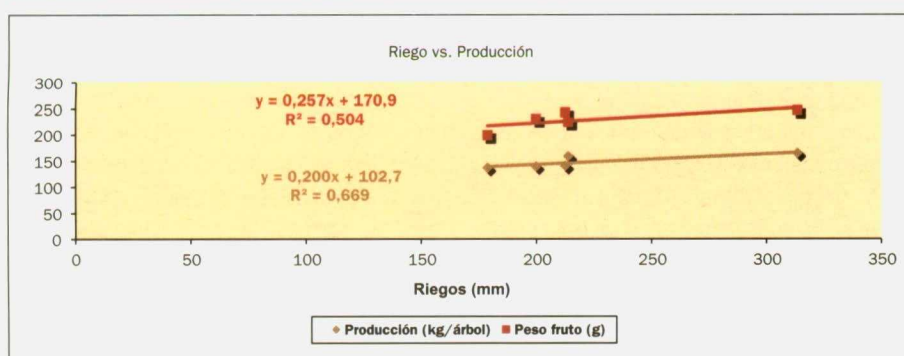


FIGURA 3.

Relación entre la cantidad de agua aplicada y los valores de producción.
Ensayo RDC. Datos medios 2006-2008.



estrategias de riego deficitario (**cuadros I, II y III**), con objeto de evaluar la bonanza de cada una de ellas y su idoneidad, en función de los resultados observados.

Un primer ensayo de RDS se desarrolló en la provincia de Córdoba, en el término

municipal de Palma del Río, en una finca comercial con árboles de trece años de edad, variedad Salustiana (*Citrus sinensis* L. Osb., cv. salustiano) sobre patrón carrizo (*Citrus sinensis* L. Osb. x *Poncirus trifoliata*, L. Raf.). El marco de plantación es 6 x 4 m y el riego es

localizado, a través de dos ramales con goteros insertados autocompensantes. La variación en la lámina de agua para cada uno de los tratamientos se realizó en función del número y caudal de los goteros. Los diferentes grados de estrés hídrico quedaron definidos en función de la evapotranspiración del cultivo (ET_c), aplicándose así a lo largo de todo el periodo de riego (**cuadro I**).

Un segundo ensayo, basado en estrategias de RDC, se desarrolló en la provincia de Córdoba, en el término municipal de Palma del Río, en una finca comercial de cítricos de doce años de edad, variedad Navelina (*Citrus sinensis* L. Osb., cv. navelino) sobre patrón carrizo (*Citrus sinensis* L. Osb. x *Poncirus trifoliata*, L. Raf.). El marco de plantación es de 6 x 5 m y el riego localizado mediante dos ramales con emisores autocompensantes. En este caso, los tratamientos sufrieron diferentes grados de restricción hídrica definidos en función del periodo fenológico del cultivo. Para ello se establecieron tres etapas más o menos diferenciadas:

- Floración y cuajado, desde mediados de marzo hasta finales de junio aproximadamente.
- Crecimiento, desde el final del anterior periodo hasta principios de septiembre.
- Maduración, desde el final de la anterior etapa hasta recolección (**cuadro II**).

Finalmente, un tercer ensayo de riego deficitario se localizó en la provincia de Sevilla, en el término municipal de Brenes, en una finca comercial con árboles adultos de doce años de edad, en plena producción, de la variedad Navelina (*Citrus sinensis* L. Osb., cv. navelino) sobre patrón carrizo (*Citrus sinensis* L. Osb. x *Poncirus trifoliata*, L. Raf.). El marco de plantación es de 6 x 4 m con riego localizado mediante dos ramales de riego con goteros insertados autocompensantes. Se estableció un tratamiento de riego deficitario sostenido, en el cual se aplicó aproximadamente el 55% de la demanda hídrica exigida durante los periodos de crecimiento y maduración del fruto; y un segundo tratamiento (RDBF) durante el mismo periodo de riego, en donde las dotaciones hídricas se realizaron en función del nivel de estrés soportado por el cultivo (**cuadro III**). Para ello se realizaron medidas periódicas del potencial hídrico en tallo al mediodía (Ψ_{tallo}), manteniéndose dicho tratamiento en el intervalo de -0,8 y



Por fin llegó la revolución:
la verdad sobre
LAS TURBULENCIAS



nuevo atomizador mañez y lozano

TWISTER

CONSIGUE:

máxima penetración

moja incluso el interior del árbol

máxima homogeneización

moja ambos lados de la hoja



mañezlozano
PULVERIZADORES

* sistema acoplable a cualquier atomizador de la gama mañez y lozano.

* sistema patentado.

Tel. 96 175 10 01

www.manezylozano.com

ml@manezylozano.com

-2 MPa aproximadamente, de forma que el resultado final fue el desarrollo de ciclos de riego-restricción que provocaron en el cultivo situaciones donde los valores de potencial hídrico fueron similares a los registrados en el tratamiento control; seguidas de momentos donde el cultivo superó el umbral de estrés establecido en dicho tratamiento.

En cada una de las experiencias ensayadas se estableció un tratamiento control o testigo, el cual se regó durante toda la campaña de riego con el 100% de la demanda hídrica del cultivo, calculada a partir del producto entre la evapotranspiración potencial (ET_0), según Allen y col. (1998) y unos coeficientes de cultivo (K_c) y reducción (K_r) respectivos para cada una de los ensayos descritos, según la metodología propuesta por Doorenbos y Pruitt (1974).

Resultados y discusión

Ensayo riego deficitario sostenido

Las dotaciones hídricas medias para cada uno de los tratamientos ensayados fueron de 363, 454, 522 y 681 mm para los tratamientos A, B, C y D respectivamente, con unos valores medios de ET_c de 640 mm, y unas precipitaciones medias de 78,1 mm repartidas de forma desigual a lo largo de los periodos de riego. Con respecto a los datos finales de producción no se apreciaron grandes diferencias entre tratamientos, destacando en todo caso los efectos más importantes referidos al tratamiento más deficitario, con un descenso del 10% la cosecha y una merma en el peso del fruto tan sólo del 5% (**cuadro IV**). A pesar de la ausencia de diferencias significativas en los parámetros productivos estudiados, sí que se obtuvieron relaciones altamente significativas con respecto a la cantidad de agua aplicada en cada uno de los tratamientos ensayados, especialmente para el caso de la producción ($r^2=0,92$), lo que demuestra que, en este caso, el 92% de la variación de los datos de producción venía determinado por la cantidad de agua aplicada (**figura 1**).

Con respecto a la productividad del agua, los valores umbrales oscilaron entre los 0,12 kg/mm en el tratamiento control y 0,35 kg/mm para el más deficitario, con diferencias significativas entre los más deficitarios (A y B) y el resto de tratamientos. Se apreció una relación significativa ($r^2=0,35$) entre la

CUADRO IV.

Producción, gasto y ahorro de agua y productividad. Datos medios 2006-2008. Ensayo RDS.

	Riego (mm)	Ahorro agua (%)	Productividad (kg/mm)	Producción (kg/árbol)	Peso fruto (g)	Núm. frutos
T-A	363	47	0,25b	105,4a	162,9a	647a
T-B	454	33	0,22b	109,9a	164,0a	670a
T-C	522	23	0,19a	109,1a	172,0a	634a
T-D	681	0	0,16a	118,2a	172,2a	686a

CUADRO V.

Producción, gasto y ahorro de agua y productividad. Datos medios 2006-2008. Ensayo RDC.

	Riego (mm)	Ahorro agua (%)	Productividad (kg/mm)	Producción (kg/árbol)	Peso fruto (g)	Núm. frutos
T-A	200	36	0,48b	138,9a	230,2ab	647a
T-B	212	32	0,46b	140,0ab	242,4b	613a
T-C	179	43	0,51c	136,4a	198,7a	712a
T-D	214	32	0,52c	158,5bc	224,1ab	749a
T-E	313	0	0,41a	164,3c	246,5b	695a

CUADRO VI.

Producción, gasto y ahorro de agua y productividad. Datos medios 2006-2008. Ensayo RDS vs. RDBF.

	Riego (mm)	Ahorro agua (%)	Productividad (kg/mm)	Producción (kg/árbol)	Peso fruto (g)	Núm. frutos
T-A	287	0	0,32a	115,8a	253,8a	469a
T-B	157	45	0,39b	87,8b	192,9b	474a
T-C	187	35	0,39b	100,1b	208,1b	486a

lámina de agua aplicada (riego + precipitaciones) y los valores de productividad del agua (**figura 2**), demostrándose así que este tipo de estrategias permiten aumentar el "valor productivo" del agua en la agricultura.

Finalmente, hay que destacar además de lo anterior incrementos significativos en algunos parámetros de calidad (acidez del zumo y sólidos solubles totales), fundamentalmente en los dos tratamientos más deficitarios (datos no mostrados).

Ensayo riego deficitario controlado

Los consumos medios de agua de riego para cada uno de los tratamientos ensayados fueron de 200 mm para el tratamiento A; 212 mm para el B; 179 mm para el C; 214 mm para el D; y 313 mm para el tratamiento E (Control), con unos valores medios de ET_c y precipitaciones de 453 y 132 mm respectivamente. Los efectos provocados por el déficit hídrico fueron bastante más significativos que en el caso del RDS, con diferencias importantes entre tratamientos en los valores de producción, peso de fruto y productividad del agua (**cuadro V**).

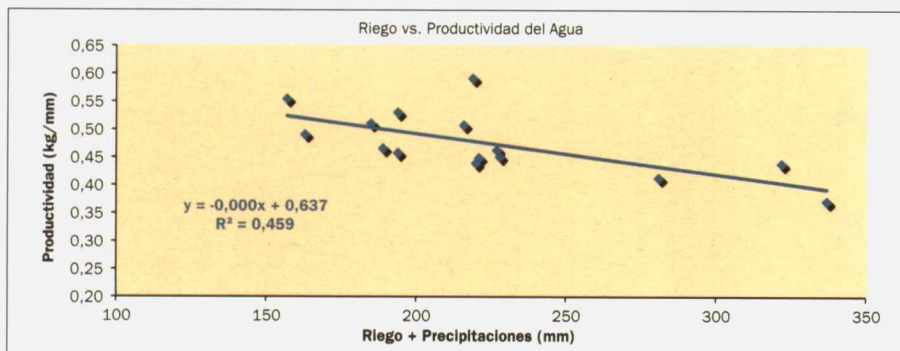
Se comprobó que los principales efectos en la producción eran provocados por restricciones severas (45% ET_c) durante las fases de floración y/o crecimiento del fruto (A, B, C). Si bien, una recuperación parcial del nivel de estrés en el periodo de crecimiento repercutía positivamente en los valores finales, disminuyéndose parcialmente los efectos negativos del déficit hídrico en la producción final. Por otra parte, cuando se aplicaban niveles de estrés elevados durante la fase de maduración (T-D), los valores de producción no se veían significativamente afectados, ni en kg/árbol ni en el peso del fruto (**cuadro V**).

Al igual que en el ensayo de RDS, se obtuvieron relaciones altamente significativas entre la producción (kg/árbol) y la cantidad de agua aplicada ($r^2=0,67$), aunque con respecto al peso del fruto la relación fue algo menos patente ($r^2=0,50$), debido a que, en este ensayo, los tratamientos no solo estaban definidos por un determinado recorte de agua, sino también por la etapa en la cual se aplicó el recorte hídrico correspondiente (**figura 3**).

También fueron significativos los datos

FIGURA 4.

Relación entre el consumo de agua (riego + precipitaciones) y la productividad del agua. Ensayo RDC. Datos medios 2006-2008.



referentes a los parámetros de calidad estudiados, con incrementos considerables en los sólidos solubles totales y la acidez del zumo en los tratamientos más deficitarios, es-

pecialmente en aquellos con un mayor grado de estrés durante el periodo de maduración del fruto (T-A y T-D, datos no mostrados).

Con respecto a los valores medios de la

productividad del agua, éstos fueron significativamente superiores a los obtenidos en el ensayo de RDS, provocado principalmente por la menor cantidad de agua aplicada en este ensayo. Además de esto, los valores dependieron no solamente de la lámina de agua aplicada en cada tratamiento, sino también de la estrategia seguida en cada uno de ellos. Así, los tratamientos B y D con unos consumos hídricos muy similares obtuvieron valores de productividad significativamente distintos, siendo la estrategia definida en el tratamiento D más eficiente en comparación con la establecida en el tratamiento B. Por otra parte, la productividad del agua en el tratamiento C fue similar a la obtenida en el tratamiento D, provocado por la diferencia en la cantidad de agua suministrada a cada uno de los tratamientos ensayados. Estos datos demuestran que la evolución de dicho parámetro no depende solamente de la cantidad de agua aplicada, sino también, en gran parte, de la estrategia de riegos a seguir. Así, dependiendo de los recursos hídricos disponibles, variaciones en la distribución de los niveles de estrés hídrico aplicados pueden provocar una mejora considerable en los valores de producción, y por lo tanto una mejora sustancial en la productividad del agua.

Finalmente, la correlación entre la cantidad de agua aplicada (riego + precipitación) y la productividad de ésta ($r^2=0,46$) fue sensiblemente superior a la registrada en el ensayo de RDS (**figura 4**), con unos valores umbrales que oscilaron entre los 0,35 kg/mm para el tratamiento control y los 0,60 kg/mm para el tratamiento D, evidenciándose así la alta dependencia existente entre la productividad del agua y la cantidad de la misma aplicada.

AGRINAVA



SOLUCIONES INTEGRALES EN TRACTORES Y MAQUINARIA AGRÍCOLA, CON EL MEJOR SERVICIO.

tenemos el kit de turbo que necesita !!

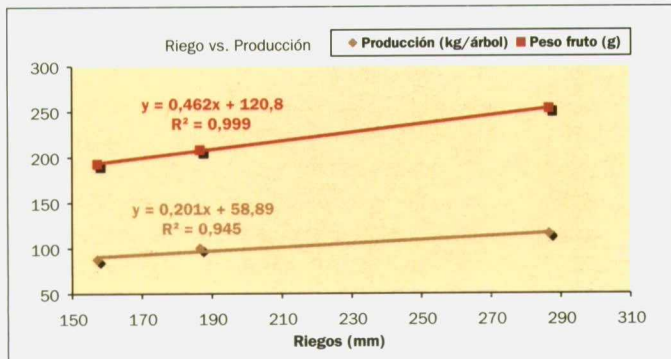
www.agrinava.com

Aumente la potencia de su motor hasta un 20%
Adaptables a **CASE IH, FIAT, FORD, NEW HOLLAND, JOHN DEERE, LANDINI, MASSEY-FERGUSON, RENAULT, ETC.**



FIGURA 5.

Relación entre la cantidad de agua aplicada y los valores de producción. Ensayo RDBF vs. RDS. Datos medios 2006-2008.



Ensayo riego deficitario de baja frecuencia vs. riego deficitario sostenido

Durante el periodo de ensayo (2006-2008) los valores medios de ET_c y precipitaciones durante los periodos de riego fueron de 281 y 69 mm respectivamente. Las dotaciones hídricas medias en cada uno de los tratamientos ensayados fueron de 287 mm en el tratamiento A (control); 157 mm en el tratamiento B (RDS); y 187 mm en el tratamiento C (RDBF). Las diferencias en los parámetros productivos estuvieron patentes en los dos tratamientos deficitarios, si bien, se comprobó que la estrategia de RDBF, con una dotación hídrica similar al tratamiento con RDS, obtuvo valores sensiblemente mejores a este último, perfilándose así como una estrategia deficitaria capaz de ahorrar importantes volúmenes de riego sin provocar mermas muy severas en la producción. Al igual que pudo observarse en el ensayo de RDC, en los datos relativos a producción, los efectos más significativos se detectaron tanto en los kg/árbol como en el peso del fruto. Con respecto a las diferencias entre los dos tratamientos deficitarios, el tratamiento RDBF con un ahorro de agua del 35% sufrió una merma en la producción cercana al 14%, mientras que, para el caso del tratamiento B, un ahorro del 45% en el gasto hídrico provocó un descenso bastante más considerable (25% con respecto a la producción del tratamiento control) (cuadro VI).

La relación entre la cantidad de agua aplicada y los parámetros productivos (figura 5) fue nuevamente altamente significativa,

tal y como ocurría en los ensayos anteriores, con valores de $r^2=0,99$ para el caso del peso del fruto y 0,95 para el caso de la producción (kg/árbol).

Con respecto a la productividad del agua, los valores obtenidos en los tratamientos deficitarios fueron muy similares entre sí y significativamente superiores a los obtenidos en el tratamiento control, provocado principalmente por el recorte de agua aplicado en dichos tratamientos. Atendiendo a la relación entre la cantidad de agua aplicada y la productividad del agua alcanzada en los tratamientos ensayados (figura 6), ésta no fue tan destacable como en el caso de los anteriores ensayos ($r^2=0,15$), con unos valores umbrales que oscilaron entre 0,30 y 0,50 kg/mm.

Conclusiones

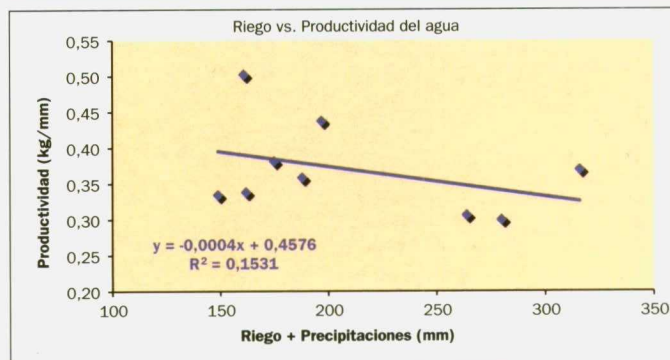
El riego deficitario se presenta como una buena alternativa para la gestión de caudales limitados de agua, mejorando sustancialmente los valores de productividad del agua, y manteniendo reducciones de cosecha aceptables que no afecten a la rentabilidad de las explotaciones.

Dentro de las diferentes estrategias estudiadas, el RDC, ofrece mejores resultados que otro tipo de técnicas (RDS y RDBF). A pesar de ello, para reducciones de agua considerables (35-40% de la demanda del cultivo), el RDBF se presenta como una alternativa al RDC, con reducciones en la cosecha no superiores al 15%.

Con respecto a los efectos del riego deficitario en la producción, los principales efectos se detectaron en los valores de kg/árbol

FIGURA 6.

Relación entre el consumo de agua (riego + precipitaciones) y la productividad del agua. Ensayo RDC. Datos medios 2006-2008.



y peso de fruto, no ocurriendo lo mismo en el número de frutos por árbol.

Finalmente, con respecto a la productividad del agua, ésta depende principalmente de la cantidad aplicada, aunque la estrategia de gestión puede provocar una mejora sustancial en los valores de producción y por ende, una mayor productividad final. ●

Bibliografía ▼

- Allen, R.G., Pereira L.S., Raes D., and Smith, M.. 1998. Crop evapotranspiration: Guidelines for computing crop water requirements. FAO Irrigation and Drainage paper no. 56. FAO, Rome, Italy.
- Doorenbos, J., and Pruitt, W.O. 1974. Crop water requirements. FAO Irrigation and Drainage paper no. 24, FAO, Rome, Italy.
- García-Tejero, I., Jiménez-Bocanegra, J.A., Durán-Zuazo, V.H., Romero-Vicente, R., Muriel-Fernández, J.L. 2009. Impact of deficit irrigation on physiological response and fruit yield in citrus orchards: implications for sustainable water savings. Journal of Agricultural Science and Technology. Accepted.
- Plan Nacional de Regadíos. Horizonte 2008.
- www.mapa.es/es/desarrollo/pags/pnr/principal.htm

Agradecimientos

Los datos presentados son el resultado del desarrollo de dos proyectos INIA (RTA2005-00045-CO3-03 "Optimización del riego en naranja y melocotón bajo condiciones de suministro limitado de agua" y RTA2008-00006-CO2-02 "Conservación de recursos hídricos en la agricultura del Sur de España ante condiciones de cambio climático"). El autor agradece al INIA la beca concedida sin la cual no habría sido posible su participación en este trabajo.