Gestión sostenible del agua de riego
(premio)

Luis Pérez Urrestarazu
Emilio Camacho Poyato
Juan Antonio Rodríguez Díaz
Rafael López Luque

X Premio Unicaja de Investigación Agraria

Reunidos en la Ciudad de Málaga el día 30 de Mayo de 2008 un jurado presidido por Braulio Medel Cámara y compuesto por Martín Soler Márquez, José Javier Rodríguez Alcaide, José Emilio Guerrero Ginel, José Manuel Domínguez Martínez y Francisco Villalba Cabello, decidió por unanimidad conceder a esta investigación el X PREMIO UNICAJA DE INVESTIGACIÓN AGRARIA. El premio fue convocado por Analistas Económicos de Andalucía en el otoño de 2007 y cuenta con el patrocinio de la Fundación UNICAJA.

Gestión sostenible del agua de riego

Equipo de Investigación y Edición

Investigación
Luis Pérez Urrestarazu
Emilio Camacho Poyato
Juan Antonio Rodríguez Díaz
Rafael López Luque

Producción y Coordinación gráfica
Mª Dolores Fernández-Ortega Jiménez

Administración
Rosa Díaz Montañez
Alejandro Cardoso García

Proyecto, Realización y Edición
Analistas Económicos de Andalucía

Elaboración:

Analistas Económicos de Andalucía

C/ Molina Lario, 13, 5ª planta. 29015 MÁLAGA
Tel.: 952 22 53 05
Fax: 952 21 20 73
e-mail: aea@unicaja.es
www.analistaseconomicos.com
www.economiaandaluza.com

D.L.: MA-282-2009
I.S.BN.: 978-84-92443-04-8

La responsabilidad de las opiniones emitidas en este documento corresponde exclusivamente de los autores que no son, necesariamente, las de UNICAJA o Analistas Económicos de Andalucía.

Reservados todos los derechos. Queda prohibido reproducir parte alguna de esta publicación, su tratamiento informático o la transcripción por cualquier medio, electrónico, mecánico, reprografía y otro sin el permiso previo y por escrito del editor.

© Analistas Económicos de Andalucía, 2009

GESTIÓN SOSTENIBLE DEL AGUA DE RIEGO

Índice

	PRESENTACIÓN	12
CAPÍTULO I	**INTRODUCCIÓN**	15
CAPÍTULO II	**OBJETIVOS**	23
CAPÍTULO III	**ZONA DE ESTUDIO**	27
IIII.1	Origen y situación actual	27
IIII.2	Infraestructuras	28
IIII.3	Gestión del riego	31
IIII.4	Facturación del agua de riego	32
IIII.5	Cultivos	32
IIII.6	Sistemas de riego	32
IIII.7	Edafología	35
IIII.8	Calidad del agua	35
IIII.9	Zona específica de estudio	36
CAPÍTULO IV	**METODOLOGÍA**	39
IV.1	Datos climáticos	41
IV.2	Necesidades del cultivo	43
IV.3	Indicadores de gestión utilizados	43
IV.4	Balance de agua	47
IV.5	Telecontrol	49
IV.6	Procedimiento de cálculo para el análisis espacial	52
IV.7	Procedimiento de cálculo para el análisis temporal	54
CAPÍTULO V	**RESULTADOS DEL ESTUDIO ESPACIAL**	57
V.1	Clasificación según el RWS	59
V.2	Relaciones del RWS con el cultivo	67
V.3	Relaciones del RWS con el cultivo y tamaño de la parcela	73
V.4	Relaciones del RWS con el tipo de riego	75
V.5	Relaciones del RWS con el tipo de suelo	76
CAPÍTULO VI	**RESULTADOS DEL ESTUDIO TEMPORAL**	81
VI.1	Consideraciones generales	83
VI.2	RWS	86
VI.3	RIS	103
VI.4	Balance de agua	108
CAPÍTULO VII	**CONCLUSIONES**	117
	BIBLIOGRAFÍA	123

Presentación

Braulio Medel Cámara. Presidente de Unicaja

UNICAJA, en el año 1998, instituyó el ***Premio UNICAJA de Investigación Agraria***, con el fin de estimular, promover y difundir el conocimiento científico en el campo de la investigación agraria. Dicha iniciativa se enmarca dentro de una decidida apuesta por el sector agrario y la industria agroalimentaria, sectores vitales para el crecimiento y desarrollo de la Comunidad Autónoma de Andalucía, que, entre otros aspectos, se pone asimismo de relieve a través de la elaboración del Informe Anual del Sector Agrario en Andalucía, que ya ha alcanzado su decimoctava edición, siguiendo una trayectoria paralela a la de la propia entidad.

En la décima convocatoria del Premio, éste se otorgó al trabajo "Gestión Sostenible del Agua de Riego", presentado bajo el seudónimo "AQUA", equipo en el que figura como investigador principal D. Luis Pérez Urreztarazu, profesor de la Universidad de Sevilla, y compuesto también por D. Emilio Camacho Poyato, D. Juan Antonio Rodríguez Díaz y D. Rabel López Luque. En esta investigación, el Jurado valoró tanto su calidad como la trascendencia que tiene la optimización del uso de agua para el riego en las explotaciones agrícolas. El mencionado equipo investigador emplea información de campo sobre la incidencia en la producción de distintos cultivos de diferentes aportes de agua en cada una de las fases de producción, obteniendo indicadores que se estiman de gran utilidad para mejorar la eficiencia en el consumo de un factor de producción clave para la agricultura.

Dada la preocupación actual por garantizar la sostenibilidad de un recurso esencial y escaso como es el agua, este trabajo pretende establecer una metodología para el estudio de una buena gestión del agua y de un uso adecuado del riego a las necesidades de los cultivos, utilizando para ello indicadores y otros elementos como los sistemas de telecontrol o los SIG. Estas técnicas, combinadas con un estudio estadístico, han permitido establecer algunas pautas y relaciones entre el aporte de agua al cultivo y factores como el tamaño de la parcela, el tipo de cultivo, el tipo de suelo o el método de riego. Por último, es importante resaltar que los indicadores propuestos pueden usarse por técnicos y gestores de comunidades de regantes para evaluar el uso del agua de riego y tomar decisiones en la gestión y planificación de los recursos hídricos. Además, la comparación de los indicadores entre las distintas parcelas ayuda a establecer estrategias de mejora del riego en las mismas.

La Fundación UNICAJA, a través de su Servicio de Publicaciones, edita la presente investigación, que se incorpora así a la amplia lista de documentos que promueve nuestra entidad, que tienen como finalidad alentar la investigación y divulgar sus resultados para un mejor conocimiento de la economía regional. Por ello, es nuestro deseo que esta edición tenga la acogida de años anteriores, contribuyendo a cubrir las necesidades de información del sector y, en general, de la sociedad andaluza en su conjunto.

Introducción

Capítulo I

I. INTRODUCCIÓN

¿Cuántas veces hemos podido oír la famosa frase "El Agua es Vida"? y en verdad lo es; sostiene los ecosistemas naturales y la actividad humana, compone un alto porcentaje de nuestro cuerpo y cubre el 70 por ciento del planeta Tierra… ¿Cuántas grandes civilizaciones se han constituido y fundamentado al amparo de una masa de agua? ¿Qué es lo primero que se busca para probar que en otros planetas hubo seres vivos? Agua. Sí, no hay duda de que el agua es un elemento esencial para la vida.

Esencial y escaso… menos de un 3 por ciento del total de agua en la tierra es agua dulce apta para el consumo humano, de la cual un 89 por ciento se almacena en glaciares, en los polos y en el subsuelo. Los lagos y los ríos apenas tienen el 0,014 por ciento de toda el agua existente en el planeta (Aldama y Gómez, 1996).

Además, la demanda de agua para distintos usos se está incrementando pero esa necesidad no se ve acompañada por un aumento en los recursos con lo que se está desembocando en una situación de competencia entre regiones o países para tener acceso este bien imprescindible (FAO, 1993; Ohlsson, 1995; Sumpsi *et al*., 1998). Debido a estas consideraciones y otras muchas, hoy en día cada vez se levantan más voces apelando al buen uso del agua.

En España existe un problema añadido, la marcada estacionalidad de las precipitaciones, que ha hecho que durante toda la historia el regadío haya sido un elemento indispensable para la agricultura, el cual ha permitido diversificar cultivos y generar riqueza en las zonas en las que se ha implantado.

Para intentar amortiguar el efecto de la estacionalidad, en España se han realizado numerosas obras hidráulicas con el objetivo de almacenar el agua excedentaria de los períodos húmedos y usarla en los momentos de menor disponibilidad. Actualmente España cuenta con una capacidad de almacenamiento de agua de más de 50.000 hm^3 al año, lo cual aporta una disponibilidad de agua de unos 2.800 m^3 por persona al año (M.A.P.A., 2001).

Pero hay que tener en cuenta que de todos esos recursos almacenados, se dedica una cantidad mucho mayor a la agricultura que a otras actividades. De hecho en Andalucía, el volumen de agua empleada para el riego representa un 77,6 por ciento (4.393 hm^3 cada año) del total de agua usada (Consejería de Medio Ambiente, 2005) aunque la actual preocupación por la protección del medio ambiente está promoviendo una mayor competencia por el agua ya que además aparecen nuevos usos como los turísticos, de recreo, ecológicos o paisajísticos que se deben tener también en cuenta cuando se realiza la asignación del recurso para usos consuntivos (Pulido *et al*. 2007).

La superficie potencial de uso agrario en España es de 42,7 millones de ha, lo que representa prácticamente el 85 por ciento del territorio nacional. De esa superficie, se utilizan realmente 20,4 millones de ha, de las cuales 17,1 millones se cultivan como secano y únicamente 3,3 millones de ha se dedican a la agricultura de regadío, de ellas 0,9 millones son regadas con aguas subterráneas y las restantes con aguas procedentes de cauces superficiales (Del Campo, 2002).

En el caso de Andalucía, la vital importancia de la agricultura de regadío se podría resumir indicando que únicamente en el 18 por ciento de la superficie cultivada (lo que se corresponde con las aproximadamente 900.000 ha de regadío existentes) se produce el 60 por ciento de la producción final agraria y un 55 por ciento del empleo generado en la agricultura (Berbel y Gutiérrez, 2004). La repercusión del regadío con respecto al conjunto de actividades económicas nacionales, muestra que el regadío produce el 2 por ciento del PIB del conjunto de España y da empleo al 4 por ciento de la mano de obra ocupada (Corominas, 2000).

La contribución del regadío al aumento de la riqueza queda patente al indicar que en Andalucía una hectárea regada tiene una productividad seis veces superior a una de secano y genera una renta cuatro veces superior, una renta que además de ser considerablemente mayor, presenta la ventaja de ser más segura al depender menos de las condiciones meteorológicas. Este aumento de la productividad y la riqueza conlleva una importante mejora en el empleo generado, mientras una hectárea de secano genera 0,037 UTA, una de regadío va a generar 0,13 UTA de forma directa llegando incluso a generar 0,38 empleos en el resto de los sectores (Berbel y Gutiérrez, 2004).

Además de esta influencia directa, el regadío también produce un claro impulso en la industria agroalimentaria, un sector fundamental en Andalucía y en ciertos factores sociales de gran importancia, como son la contribución a la fijación de la población, aumento de las rentas y consecuente aproximación de la renta agraria a la del resto de sectores, estabilización económica en tiempos de recesión y mayor crecimiento que la agricultura de secano en épocas de expansión (Camacho, 2005).

Pero a pesar de que el regadío se muestra como un sector dinámico y con fuerte peso dentro de la agricultura de Andalucía, planean sobre el horizonte a corto y largo plazo serias amenazas que afectan hoy en día y afectarán en un futuro la disponibilidad de recursos hídricos. Por un lado, nos encontramos ante una situación de escasez de recursos hídricos motivada por el aumento de las demandas hídricas de otros sectores diferentes al regadío y por un fuerte crecimiento de la superficie de regadío en los últimos años. Por otro lado, preocupan los efectos del cambio climático sobre el aumento de demandas (Camacho *et al*., 2007).

De todas formas, afortunadamente, el agua ya no se contempla únicamente como un mero bien económico, sino también como un patrimonio ecológico y social de forma que se debe garantizar la eficiencia en todos sus niveles en su uso y aprovechamiento (Agencia Andaluza del Agua, 2005).

A la vista de todo lo expuesto, lo que parece fundamental es implicar al agricultor en el uso racional del agua actuando sobre su manejo y gestión. De este modo, la mejora del manejo del agua en una zona regable requiere un análisis de las demandas para determinar de qué modo pueden ser modificadas y racionalizadas para establecer políticas de manejo más eficientes (Pulido-Calvo *et al.*, 2007). Para ello, es muy importante disponer de esa información relativa a dichas demandas y tener un gran conocimiento de la zona regable que se estudie, lo cual permitirá tener una referencia para el diseño, modernización y explotación de los sistemas de distribución de agua (Kadra y Lamaddalena, 2006).

La cantidad de información necesaria para hacer un estudio correcto de una zona regable es muy grande. Se requieren distintos tipos de datos y la automatización en su recogida es vital. Esto también es aplicable a los datos climáticos necesarios, por lo que la adquisición sistemática de los valores de las distintas variables climáticas es esencial para un adecuado manejo del sistema (Sagardoy *et al*., 1986). En este sentido, se hace imprescindible la creación de estaciones agroclimáticas dentro de las zonas regables que provean de forma automática esos datos. La Junta de Andalucía tiene ya en operación una red de estaciones agroclimáticas repartidas en puntos clave de la geografía andaluza de modo que abarquen la superficie ocupada por las zonas regables. Estas estaciones proporcionan datos diarios de temperaturas, precipitaciones, evapotranspiración y otras muchas variables que están disponibles a través de internet (IFAPA, 2006).

Además, en los últimos tiempos los sistemas de adquisición de datos vía control remoto han proliferado mucho, habiéndose instaurado incluso ayudas específicas para instalar este tipo de sistemas en las zonas regables. Gracias a ellos se puede obtener información de forma automática de consumos de agua, presiones o caudales lo cual constituye una gran ventaja para los gestores de las zonas regables.

Ello unido a la variedad de soluciones propuestas para este tipo de sistemas así como los avances en la tecnología que usan ha llevado a un incremento de su instalación y uso en muchas comunidades de regantes. No obstante, en pocas de estas zonas regables trabajan correctamente y en muchos de los casos incluso se ha mantenido las antiguas formas de recogida de datos. El problema estriba en que son instalaciones que requieren un mantenimiento y personal más especializado con lo cual, aparte de la inversión inicial, representa un gasto para los regantes que muchas veces no están dispuestos a afrontar.

Es por esta razón por la que es muy importante encontrar aplicaciones para estos sistemas de toma de datos en tiempo real, de modo que su utilidad se haga patente y merezca la pena dicha inversión. De este modo, es conveniente buscar la manera de cómo emplear la gran cantidad de información generada por estos sistemas de telecontrol para modificar y mejorar el manejo del riego.

Otro aspecto a destacar es la presentación de los datos obtenidos. Está empezando a ser común el uso de Sistemas de Información Geográfica (SIG) (Hartkamp *et al.*, 1999) que permiten dar una visualización georeferenciada de múltiples aspectos, simplificando, ordenando y agilizando el trabajo con toda la información recopilada por los sistemas anteriormente expuestos. Estos SIG se basan en la asignación de una serie de tablas de datos a elementos gráficos referenciados en el espacio por sus coordenadas geográficas posibilitando análisis gráficos espaciales de la información obtenida.

De este modo, la integración y uso de datos georeferenciados en el campo de la gestión del agua, requiere la utilización de estos SIG (Ojeda-Bustamante *et al.*, 2007). Recientemente, los SIG se han incorporado profusamente a los sistemas de manejo del riego, los gestores demandan herramientas para obtener datos espaciales a tiempo real que le permitan ser más oportunos y exactos a la hora de tomar decisiones (Gundoghu *et al.*, 2002 y Howes *et al.*, 2003), sobre todo en grandes zonas regables. Así pues, estos sistemas son una herramienta útil para el trabajo con dichas bases de datos georreferenciados, importantes para la evaluación de escenarios de riego bajo distintas condiciones de clima, suelos y manejo del agua (Todorovic y Steduto, 2003) gracias a la posibilidad de gestionar la información en distintas capas, viendo la interacción entre ellas (Bakhsh *et al*., 2000; Bakhsh y Kanwar, 2004). Si se utiliza todo ese potencial para agrupar las variables de respuesta en distintas clases significativas (para lo cual se pueden utilizar los indicadores posteriormente mencionados), será posible estudiar su variabilidad tanto espacial como temporal (Bakhsh *et al*., 2007).

En muchas zonas regables, sobre todo aquellas en las cuales el precio del agua es bajo, no se presta mucha atención a si se está realizando un buen manejo del riego o no, desperdiciando en muchos casos el recurso con las consecuencias tanto directas (excesivo gasto de agua) como indirectas (erosión, lixiviado de nutrientes, exceso de aguas de drenaje…) que ello acarrea. Por estas razones se hace tan importante el determinar cómo se realiza el manejo del agua en los sistemas de riego.

Así pues, esta gestión del agua puede mejorarse considerablemente si los regantes se preocupan por adaptar sus prácticas de riego a las necesidades de sus cultivos, aplicando únicamente el volumen de agua requerido en

el momento apropiado de modo que se consiga establecer un principio de sostenibilidad del recurso y evitando además pérdidas considerables en la producción.

En este sentido, se han desarrollado metodologías para intentar determinar si el aporte de agua se adapta a las necesidades de los cultivos. Las primeras aproximaciones se realizaron mediante el uso de índices de eficiencia (Wolters y Bos, 1990; Smith, 2000) para evaluar el manejo del riego y la productividad derivada del mismo. Desde entonces, se han empleado indicadores de gestión, algunos de los cuales tenían en cuenta los distintos aspectos de la eficiencia en el riego.

Un indicador de gestión de riego se puede definir como una medida cuantitativa de un aspecto particular del comportamiento del riego. Ayuda al seguimiento y valoración de la eficiencia y efectividad del riego, simplificando, por tanto, una evaluación que de otra forma resultaría compleja (Alegre *et al*., 2000).

De forma simplificada, los indicadores de gestión de riego no son más que relaciones entre dos o más magnitudes, normalmente básicas, de la zona de riego, por lo que es necesario definir previamente los parámetros o variables que se van a usar para su cálculo (Pérez, 2003).

Pero debido a la amplia variedad de indicadores desarrollados, diversos autores han sugerido distintas clasificaciones, atendiendo a la utilidad que se les de a cada uno de ellos. De este modo, los usados para relacionar el aporte de agua con las demandas del cultivo se agruparon dentro de la categoría de indicadores de adecuación (Gorantiwar y Smouth, 2005). Estos indicadores miden la capacidad del sistema para aportar la cantidad de agua requerida para satisfacer las demandas de riego (Oad y Sampath, 1995).

No es fácil realizar un aporte de agua correcto al cultivo, ya que son muchos los factores que influyen en esa adecuación del riego. De este modo, no es únicamente importante determinar qué parcelas están recibiendo el agua de forma adecuada sino en qué situaciones o condiciones se suele realizar un mejor aporte de agua.

Existen múltiples formas de presentar los indicadores de adecuación y otras tantas de aplicarlos, por lo que es conveniente adaptarlos a las condiciones que se presentan en cada caso particular.

Además, dependiendo del rango temporal usado para su cálculo, los resultados variarán, por lo que deben seleccionarse las formas de calcularlos dependiendo de las condiciones que se tengan.

Por otro lado, el uso de estos indicadores de forma aislada puede tener ciertos problemas debido a que en campo (salvo en casos muy controlados como los invernaderos), no toda el agua aplicada es usada por los cultivos (Santamaría *et al*., 2004) y hay distintas pérdidas que frecuentemente no tienen en cuenta algunos de los indicadores utilizados. Es por ello por lo que se hace interesante combinar los indicadores con balances de agua que estimen las pérdidas de agua que se han producido.

Las estrategias de riego parcial llevan a una reducción de la producción por unidad de superficie para cada cultivo (Ghahraman *et al*., 1997) aunque en determinadas circunstancias una disminución en la cantidad de agua aportada no afecta tanto a las producciones y sin embargo, posibilita un ahorro del recurso y una mayor eficiencia económica (productividad del agua) por lo que se debe tener también en cuenta para establecer la adecuación del riego a las necesidades.

La optimización del riego atendiendo a conceptos de productividad del agua se está tratando profusamente en la literatura científica (Kashefipour *et al*., 2006) y se realizan multitud de estudios en distintos cultivos (Kang *et al*., 2002; Imtiyaz *et al*., 2000). A pesar de esto, algunos autores señalan que este concepto de productividad del agua no es del todo correcto porque además depende de las condiciones en las que se esté (Zoebl, 2006) por lo que hay que usarlo con reservas y confrontarlo con la productividad por superficie.

Objetivos

Capítulo II

II. OBJETIVOS

Dada la preocupación actual por garantizar la sostenibilidad de un recurso escaso como es el agua, con este trabajo se pretende establecer una metodología para el estudio de su gestión utilizando para ello indicadores y otros elementos como los sistemas de telecontrol o los SIG. De este modo, se realiza un análisis exhaustivo de cómo se utiliza el agua y cómo se adecua el riego a las necesidades de los cultivos. Dicho estudio se realiza en dos vertientes, de modo que se caracterizará tanto la variabilidad espacial como la temporal de la adecuación del riego.

En el estudio espacial se analiza la influencia de distintos factores (tipos de suelo y cultivo, climatología, método de riego, tamaño de parcela) en el uso del agua.

En el estudio temporal se identificará la mejor manera de utilizar los indicadores de gestión para conocer la adecuación del riego, analizando además la influencia de diferentes manejos del recurso en la producción esperada.

Zona de estudio

Capítulo III

III. ZONA DE ESTUDIO

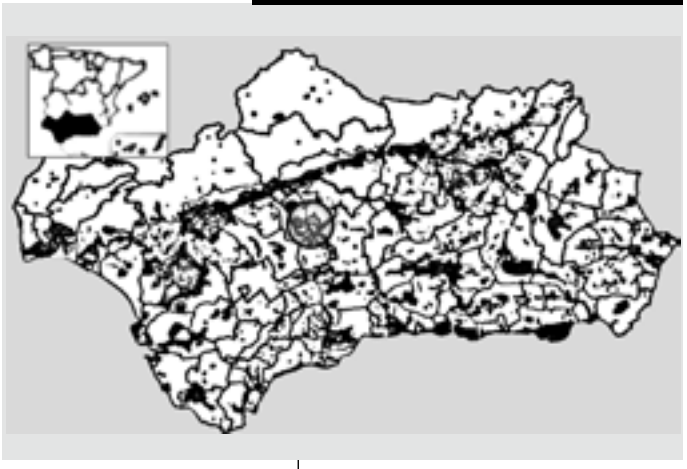
Para llevar a cabo este trabajo se ha seleccionado la Comunidad del Genil-Cabra, debido a que tiene suficiente heterogeneidad de cultivos, tamaños de parcela y tipos de riego para estudiar la influencia de dichos factores sobre la adecuación del riego. Además, cuenta con un importante histórico de datos ya que éstos se recogen desde hace varias campañas. A continuación se realiza una descripción de esta Comunidad.

III.1 Origen y situación actual

La Comunidad de Regantes del Genil-Cabra entró en funcionamiento en 1989. Esta comunidad de regantes es de iniciativa pública y fue fundada al objeto de gestionar el uso del agua de riego realizado en esta zona por parte de los agricultores.

La zona regable comprende un total de 40.085 ha, de las cuales son útiles para el riego un total de 37.010 ha. Se encuentra situada entre las provincias de Córdoba y Sevilla, perteneciendo a la provincia de Córdoba 24.967 ha y el resto, es decir unas 12.043 ha a la de Sevilla.

GRÁFICO III.1 **Situación de la Comunidad de Regantes**



Fuente: Elaboración propia.

La superficie total se divide en dos fases:

- 1ª fase (Sectores I al VII) 8780 ha
- 2ª fase (Sectores VIII al XXVII) 28230 ha

La primera fase comprende la totalidad de los términos municipales afectados por la zona regable de Puente Genil y Estepa así como parte de los de Santaella, Montilla, Montalbán y Aguilar de la Frontera. La segunda fase comprende el resto.

Actualmente se encuentra ya transformada y en explotación la primera fase en su totalidad y los sectores VIII al XI de la segunda (6.800 ha). Recientemente se han finalizado los sectores del XII al XVI con 13.46 ha.

La comunidad cuenta con 1696 usuarios, con un tamaño medio de explotación de 8,9 ha. La superficie media anual en riego es de 14.615,92 ha. Las parcelas de riego se agrupan según su localización dentro de la comunidad, formando agrupaciones, con la finalidad de agilizar los trámites relacionados con la gestión del agua de riego. La superficie de las agrupaciones es aproximadamente igual en todas ellas, aunque el número de parcelas es variable.

A su vez, la comunidad comprende dos Colectividades, la de Puente Genil y la de Santaella. La Colectividad de Puente Genil se corresponde a la primera fase de la zona regable y comprende los sectores I al VII. Estos sectores iniciales se han agrupado en otros cuatro, teniendo cada uno de ellos una estación de puesta en carga. Es en esta Colectividad en la que se realiza el estudio. La de Santaella se corresponde a la segunda Fase, en concreto a los sectores VIII al XI.

III.2 Infraestructuras

La estación principal de bombeo que se encuentra en el embalse de Cordobilla, comprende seis grupos de bombeo de 2 m^3/s cada uno, de los cuales cinco permanecen activos y uno permanece en la reserva, existiendo además dos grupos de 6 m^3/s cada uno, por lo que la capacidad actual de bombeo asciende a 22 m^3/s, estando previsto aumentarla hasta 40 m^3/s. Al embalse de Cordobilla el agua llega a través del río Genil, desde el pantano de Iznájar, que con una capacidad de 978 hm^3 regula 500 hm^3. Desde la estación principal de bombeo, el agua se eleva hasta el canal principal que transporta el agua desde Cordobilla hasta cada una de las tres estaciones de bombeo sectoriales (Gráfico III.2).

GRÁFICO III.2 **Estación sectorial de bombeo de Patamulo**

Fuente: Elaboración propia.

La distribución del agua desde las distintas estaciones sectoriales se hace mediante tubería enterrada de presión de distintos materiales según sea su diámetro y presión de servicio. Mediante esta red de tuberías, el agua llega hasta cada parcela, donde queda a disposición del agricultor que puede disponer de ella durante todos los días del año, veinticuatro horas al día (riego conocido a la demanda). El total de las parcelas que componen un sector se asocian en distintos subconjuntos denominadas agrupaciones, de forma que cada agrupación está compuesta por una o varias parcelas.

A continuación se detallan los distintos elementos que componen la red de la Zona Regable del Genil-Cabra:

- **Tomas de parcela** (Gráfico III.3)**:** cada una de las parcelas se dota de una acometida que suministra agua al agricultor. Para el control del agua consumida, cada toma de parcela dispone de un contador que mide el volumen total de agua consumido, un limitador de caudal, debido a que cada parcela va a tener limitado el caudal máximo del que va a disponer según su superficie, y un regulador de presión, que protege la instalación interior de la parcela. La toma se sitúa en el lugar más conveniente para el agricultor, quedando la red interna de la parcela bajo la responsabilidad del agricultor.

GRÁFICO III.3 **Toma de parcela en la Comunidad de Regantes**

Fuente: Elaboración propia.

- **Red secundaria:** Se trata de la red que conecta las tomas de parcela de una agrupación con el punto de origen de esta, su trazado permanece dentro de los límites de la agrupación.

- **Punto de control de agrupaciones:** es el inicio de la red secundaria, existe uno en cada agrupación. Está formado por una caseta (Gráfico III.4) dentro de la cual se encuentra un caudalímetro de ultrasonidos, un limitador de caudal y un sensor de presión. Además hay un prefiltro y una llave en cada uno. Suponen el segundo punto de control.

- **Red primaria:** conecta todas las agrupaciones y las une con la estación de puesta en carga.

- **Estaciones de puesta en carga de la red:** son el punto de origen de las redes sectoriales representando el tercer elemento de control. Las estaciones de bombeo son capaces de suministrar los caudales variables que la red demanda mediante un conjunto de grupos de bombeo. De la estación de bombeo salen dos redes: la *red de gravedad* que suministra agua a los puntos más bajos del sistema que no requieren de bombeo y la *red de presión* que si requiere de bombeo. Mediante sistemas de telecontrol y automatismos, se controla la presión y el

GRÁFICO III.4 **Caseta de agrupación en la Zona Regable del Genil-Cabra**

Fuente: Elaboración propia.

consumo instantáneo de todas las agrupaciones desde la estación de bombeo y se dispone de elementos de control de diferentes puntos de la red permitiendo abrir y cerrar válvulas desde la estación.

- **Canal y estación de bombeo principal:** Suponen el cuarto punto de control y unen cada una de las estaciones de puesta en carga de la red con el pantano de Cordobilla. En la primera fase el canal tiene una extensión de 20 km y acaba en un sifón de 2 km para cruzar el río Cabra. Sin embargo, su extensión final será de 60 km El canal posee una sección de tipo parabólica, con un ancho máximo de 22,86 m, una profundidad de 4,15 m y es capaz de transportar 40 m^3/s.

III.3 Gestión del riego

La distribución del agua desde la estación de bombeo se hace mediante tubería enterrada de distintos materiales según su diámetro y presión de servicio. Mediante esta red de tuberías, el agua llega hasta cada parcela, donde queda a disposición del agricultor que puede disponer de ella durante todos los días del año, veinticuatro horas al día en riego a la demanda. El caudal está limitado en cada parcela según la válvula hidráulica con limitador de caudal instalada en ella.

III.4 Facturación del agua de riego

La facturación realizada en la Zona Regable del Genil-Cabra es de tipo mixta. Esto quiere decir que se factura el agua al agricultor según la superficie regada y la cantidad de agua consumida siguiendo el siguiente esquema de facturación:

- En primer lugar se realiza una facturación según la superficie regada por cada agricultor (ha), resultante de dividir los gastos generales de la comunidad entre la superficie total de la misma.

- En segundo lugar se realiza una facturación por volumen de agua consumido (m^3), resultante de dividir los gastos energéticos del bombeo entre el volumen total de agua bombeado.

- Existe un tercer apartado en la facturación, como consecuencia del canon que la Confederación Hidrográfica del Guadalquivir (CHG) cobra a los agricultores por los derechos del agua. Este canon se cobra a los agricultores por superficie regada (ha). Además la CHG establece un apartado de factura a los agricultores en concepto de amortización de obras de la red construida.

III.5 Cultivos

Debido a las características climatológicas de la zona de riego y a sus condiciones edafológicas, existe un amplio grupo de cultivos que se producen en la zona.

En el cuadro III.1, se pueden observar las superficies ocupadas por los cultivos desde la campaña 97-98 hasta la 03-04 en la zona de estudio. En ella podemos ver, que los cultivos predominantes son el algodón, el trigo, el olivar y el ajo, aunque pueden variar de una campaña a otra. Por otra parte, en la campaña 2000-2001 existieron fallos en los registros, por lo que este año presenta menos datos que las demás campañas.

III.6 Sistemas de riego

Los sistemas de riego que se encuentran en la zona regable del Genil- Cabra son los siguientes:

- Aspersión móvil
- Aspersión fija

CUADRO III.1 **Superficie de cultivos en la zona de estudio (ha)**

Cultivos	Campañas						
	97-98	98-99	99-00	00-01	01-02	02-03	03-04
Ajo	200.45	821.57	846.30	924.10	516.22	391.92	382.83
Alfalfa	10.33	3.58	9.07	1.22	-	-	7.06
Algodón	1156.39	28.07	15.66	29.28	608.55	583.61	924.99
Cebolla	5.23	40.22	127.96	113.36	19.39	19.39	26.43
Cebada	15.03	15.69	3.4	7.06	7.81	-	3.39
Espárrago	30.15	37.87	28.39	83.39	36.16	5.37	1.77
Frutales	8.81	8.69	8.47	-	10.08	20.68	17.55
Girasol	865.48	423.52	-	-	247.83	361.16	154.44
Habas	2.38	111.65	74.63	0.47	345.66	30.51	90.30
Tomate	89.08	119.23	78	77.71	85.73	53.13	47.29
Maíz	147.53	-	-	-	487.40	333.89	354.88
Melón	10.59	-	-	-	63.89	3.8	34.7
Olivo	1990.90	2201.94	2640.42	2664.27	2493.56	2144.93	2576.92
Patata	-	-	12.25	37.23	12.88	56.49	81.23
Pimiento	34.6	-	-	-	38.09	13.64	1.14
Remolacha	32.65	117.63	305.995	328.81	152.47	127.26	79.71
Trigo	663.31	971.685	1408.66	386.34	948.84	1069.33	1116.76
Viña	3.28	-	3.28	-	20.13	77.68	36.56
Combinación cultivos	2172.65	1614.27	1179.35	327.22	1446.60	1910.50	2152.55
Terreno en calma	300.40	1593.02	1339.60	12.29	440.327	328.31	198.17

Fuente: Elaboración propia.

- Aspersión fija en cobertura total
- Riego localizado en superficie
- Riego localizado enterrado

A continuación se describen las características propias de los sistemas de riego citados anteriormente.

Aspersión móvil

Una de las ventajas de este sistema de riego es que requiere una inversión inicial mucho menor que los demás sistemas de riego, por eso lo convierte en uno de los sistemas más utilizados en la Zona Regable.

Las características del riego por aspersión móvil más utilizado en esta zona son:

- Aspersor de dos boquillas con un caudal de 1500 L/h
- Marco de 12 x 12 m
- Ramales de aluminio de diámetro de 3''
- Cada ramal como máximo tiene 30 aspersores para evitar que se produzcan grandes variaciones de presión
- El tiempo de riego oscila entre cinco y ocho horas, lo que permite que un mismo día de riego el ramal tome dos posiciones, una por la mañana y otra por la tarde, realizando el cambio de posición a mediodía.
- El intervalo de riego varía según las características de las parcelas y de los cultivos existentes (Medina, 2005).

Aspersión fija

En este sistema, las tuberías van enterradas emergiendo únicamente los aspersores, los cuales cubren todo el terreno.

Normalmente, se usa para cultivos anuales y se instala al comienzo de la época de riego, permaneciendo inmóviles durante toda ella, y se desmontan y almacenan una vez finaliza.

Las características del riego mediante aspersor fijo utilizado son:

- Aspersor de doble boquilla con un caudal nominal de 1800 L/h
- Marco de 18 x 18 m, situados a una altura de 180 cm
- El tiempo de riego oscila entre cinco y ocho horas, dependiendo de la época del año en la que nos encontremos y del estado de desarrollo del cultivo (Medina, 2005).

Es el sistema menos extendido puesto que, si hay que elegir entre sistemas que cubran todo el terreno es preferible utilizar el riego por goteo.

Riego localizado en superficie

En cultivos herbáceos se suele utilizar goteros integrados autocompensantes, con un caudal de 2.2 L/h. La separación entre ramales varía en función de la distancia entre líneas de cultivo, instalándose un ramal cada dos líneas de

cultivo. Así la distancia entre dos ramales contiguos puede estar alrededor de los 2 m. La separación entre goteros suele ser de 1 m. El manejo habitual consiste en aplicar un riego de seis horas en el período de máxima demanda, variando la forma de aplicarlo en el resto de períodos (Medina, 2005).

En el caso de los cultivos leñosos, y fundamentalmente en el caso del olivar, existe más diversidad en cuanto a las alternativas empleadas. Así es frecuente utilizar un ramal por línea de árboles, con 3 goteros autocompensantes de 4 L/h por árbol aunque en ocasiones se sitúan dos ramales por línea de árboles. El manejo consiste en aplicar unas ocho horas diarias de riego en el período de mayor demanda hídrica.

Este sistema se usa cada vez más, tanto en el olivar como en el algodón y el maíz.

Riego localizado enterrado

En la zona de estudio únicamente existen dos parcelas que presentan este tipo de riego y en ellas se cultiva olivar.

III.7 Edafología

Los suelos son esencialmente arcillas expansivas o vertisoles. En este tipo de suelos, debido a ciclos de desecación-humectación propios del clima mediterráneo, durante la estación seca se producen profundas grietas en el suelo, lo que da lugar a la mezcla del material que cayó por ellas, favoreciendo de esta forma la homogeneidad del perfil. Los vertisoles suelen ser suelos profundos y fértiles, además su elevado contenido en arcilla les dota de alta capacidad de suministrar a los cultivos los nutrientes que necesitan además de una gran capacidad de retención de agua.

El perfil típico de estos suelos consiste en un horizonte A con estructura grumosa y textura arcillosa o arcillo-limosa. Le sigue un horizonte Bw con una estructura mucho más desarrollada y de moderada a mala permeabilidad.

III.8 Calidad del agua

En el cuadro III.2 se ofrecen los datos de pH, conductividad eléctrica (C.E.) y contenido total de sales (C.T.S.) registrados en la Comunidad de Regantes del Genil-Cabra a partir del 28 de octubre de 2002.

CUADRO III.2 **Datos de salinidad en la Zona Regable del Genil-Cabra**

Fecha	pH	C.E. (dS/m)	C.T.S. (g/l)
28/10/02	8.6	3.8	2.432
6/11/02	8.6	2.7	1.728
20/11/02	8	1.8	1.152
5/12/02	8	1.8	1.152
11/02/03	7.7	1.7	1.088
9/04/03	9	2.3	1.472
23/04/03	7.7	2.2	1.408

Fuente: Elaboración propia.

Como se puede observar sólo se supera el valor de 3.5 dS/m en la conductividad eléctrica en la primera medida, lo que indica de forma general que la salinidad en el agua de riego no supone un problema para los cultivos.

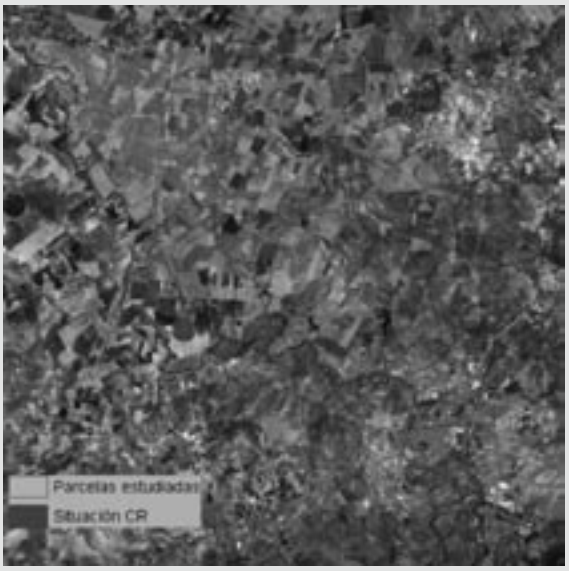
III.9 Zona específica de estudio

Para el análisis espacial de la adecuación del riego se ha trabajado con 955 parcelas de la colectividad de Puente Genil, con distintos métodos de riego y cultivos que varían de una campaña a otra. En el gráfico III.5 se muestra la situación de las parcelas estudiadas.

Dependiendo de la campaña estudiada, el número de parcelas en las que se tienen resultados es variable debido a que en esa campaña no tuvieran ningún cultivo establecido o bien por falta de datos. Este número oscila entre 650 y 825 parcelas, estudiando únicamente 202 en la campaña 00-01 por falta de datos.

Por otro lado, para el análisis temporal de la gestión del agua de se ha trabajado únicamente con 28 parcelas de esas parcelas, que se corresponden con las controladas por un sistema de telecontrol del cual se han obtenido valores diarios de consumo de agua para dos campañas (03-04 y 04-05). En el cuadro III.3 se presentan las características de las parcelas en estudio, su área, los cultivos con que cuentan en ambas campañas, el sistema de riego empleado y la textura de los suelos.

GRÁFICO III.5 **Situación de las parcelas estudiadas**



Fuente: Elaboración propia.

CUADRO III.3 **Características de las parcelas estudiadas**

Parcela	Área (ha)	Cultivos 03-04	Cultivos 04-05	Riego 03-04	Riego 04-05	Textura suelos
213-A	1.74	Olivar	Olivar	Goteo	Goteo	Franco Arcillo Limosa
213-B	2.68	Olivar	Olivar	Goteo	Goteo	Franco Arcillo Limosa
220	2.03	Olivar	Olivar	Goteo	Goteo	Franco Arcillo Limosa
218	1.54	Olivar	Olivar	Aspersión	Aspersión	Franco Arcillo Limosa
219	0.37	Olivar	Olivar	NO RIEGA	NO RIEGA	Franco Arcillo Limosa
221	7.183	Olivar	Olivar	Goteo	Goteo	Franco Arcillo Limosa
237	1.96	Olivar	Olivar	Goteo	Goteo	Franco Arcillo Limosa
225	1.66	Olivar	Olivar	Aspersión	Aspersión	Franco Arcillo Limosa
238	1.5	Olivar	Olivar	Aspersión	Aspersión	Franco Arcillo Limosa
252-02	17.92	T.Calma	T. Calma	Aspersión	NO RIEGA	Franco Arcillo Limosa
253	1.63	Olivar	Olivar	Aspersión	Aspersión	Franco Arcillo Limosa
314	5.5	Trigo	Algodón	Goteo	Goteo	Franco Arcillo Limosa
312	3.8	Algodón	Maíz	Goteo	Goteo	Franco Arcillo Limosa
I-28	14.32	Remolacha y Algodón	Algodón	Aspersión	Aspersión	Arcillo arenosa
I-26	13.12	Algodón	Algodón y Remolacha	Aspersión	Aspersión	Arcillo arenosa
I-30	14.64	Algodón	Algodón y Maíz	Goteo	Goteo	Franco Arcillo Limosa
293	8.84	Olivar	Olivar	Goteo	NO RIEGA	Franco Arcillo Limosa
241	6.8	Patatas	Algodón	Goteo	Goteo	Franco Arcillo Limosa
292	6.4	Olivar	Olivar	Goteo	Goteo	Franco Arcillo Limosa
291	5.37	Olivar	Olivar	NO RIEGA	NO RIEGA	Franco Arcillo Limosa
358	11.77	Trigo	Ajos	Aspersión Cobertura total	Aspersión Cobertura total	Franco Arcillo Limosa
402-H	4.59	Algodón	Habas	Aspersión	Aspersión	Arcillo arenosa
402-J	3.55	Algodón	Maíz	Aspersión	NO RIEGA	Arcillo arenosa
402-I	4.59	Olivar	Olivar	Aspersión	Aspersión	Arcillo arenosa
397	27.6	Maíz	Algodón	Aspersión	Aspersión	Franco Arcillo Limosa
I-105	13.26	Olivar	Olivar	NO RIEGA	NO RIEGA	Franco Arcillo Limosa
402-C	3.06	Espárrago/ Trigo	Espárragos	Aspersión	Aspersión	Arcillo arenosa
403-01	30.38	Olivar	Olivar	Goteo	Goteo	Arcillo arenosa

Fuente: Elaboración propia.

Metodología

Capítulo IV

IV. METODOLOGÍA

Para el desarrollo de este trabajo se ha empleado numerosa información para lo cual se hace necesario definir con exactitud el proceso metodológico. A continuación se detallan los distintos tipos de datos recabados y la forma de obtención de los mismos, así como los procedimientos de cálculo que se han seguido.

IV.1 Datos climáticos

El clima de la zona regable se clasifica como Mediterráneo, que se caracteriza por veranos calurosos y secos, concentrándose las precipitaciones en los meses de invierno.

Evapotranspiración y precipitaciones

Los datos de evapotranspiración de referencia (ET_0) y precipitaciones en la zona de estudio se han obtenido de las memorias de la Confederación Hidrográfica del Guadalquivir y de la red de estaciones agroclimáticas de la Junta de Andalucía (en concreto de la de Santaella).

Para el cálculo de la evapotranspiración en la estación agroclimática de Santaella (Cuadro IV.1), se utiliza la ecuación de Penman-Monteith. En el caso de los datos obtenidos de la Confederación Hidrográfica del Guadalquivir, pertenecen a la estación climatológica de Cordobilla y se calculan a través del método de Thornwaite.

CUADRO IV.1 **Características de la Estación agroclimática de Santaella y Cordobilla**

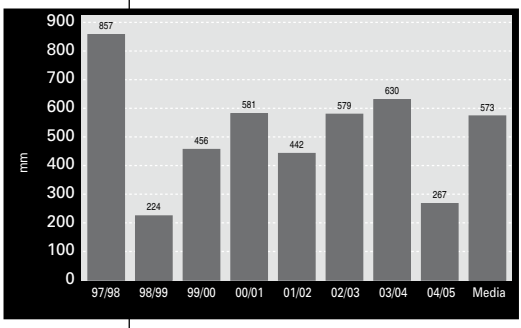
Estación	Coordenadas UTM	Latitud (º)	Longitud (º)	Altura (m)
Santaella	X: 333494, Y: 4154701	37º 31' 25'' N	04º 53' 03'' W	207
Cordobilla	X: 333494, Y: 4154701	37º 21' 04'' N	04º 43' 12'' W	212

Fuente: Elaboración propia.

En el gráfico IV.1 se pueden ver las precipitaciones que han tenido lugar en la zona en las campañas estudiadas. Se observa que en el período de estudio se suceden años húmedos y secos, lo cual ayudará a analizar la incidencia de este factor sobre el manejo del riego en la zona. La media

de precipitaciones presentada (573 mm) tiene en cuenta un período desde la campaña 1961/62 a la 2004/05, para la provincia de Córdoba, según fuentes del Instituto Nacional de Meteorología.

GRÁFICO IV.1 **Precipitaciones obtenidas en la zona por campañas**



Fuente: Elaboración propia.

Considerando como año "seco" aquel con una pluviometría al menos un 15 por ciento inferior a la media aritmética y año "húmedo" aquel en que las precipitaciones superan al menos en un 15 por ciento a la media y año "medio" al comprendido entre ambos extremos (IGME), se puede establecer una clasificación de la serie de años estudiada. Según la misma, se tienen cuatro campañas secas (98/99, 99/00, 01/02 y 04/05), siéndolo dos de ellas en extremo, tres medias (00/01, 02/03 y 03/04) y una húmeda (97/98).

Cálculo de la precipitación efectiva

La precipitación efectiva indica la fracción de agua de lluvia que realmente se infiltra en el suelo y que, por lo tanto, se encuentra disponible para el cultivo.

Para la obtención de los indicadores descritos en este trabajo se utiliza la precipitación efectiva ya que no todo el volumen de agua aportado por precipitaciones puede ser aprovechado por el cultivo.

El cálculo de la precipitación efectiva (P_{ef}) se realiza a partir de la precipitación total, la cual se reduce aplicando las fórmulas siguientes, según propone el U.S.D.A. Soil Conservation Centre (USDA, 1993):

$$P_{ef} = P \cdot [(125 - 0{,}2 \cdot P) / 125] \quad \text{si } P < 250 \text{ mm}$$
$$P_{ef} = 125 + 0{,}1 \cdot P \quad \text{si } P > 250 \text{ mm}$$

donde P es la precipitación en mm.

IV.2 Necesidades del cultivo

Las necesidades de agua del cultivo son calculadas a partir del valor de evapotranspiración real del cultivo (que comprende la evaporación directa desde el suelo y la transpiración de los mismos).

Esta evapotranspiración real (ET_c) se puede estimar mediante la formula que sigue (Allen *et al.*, 1998):

$$ET_c = K_c \cdot ET_o$$

donde ET_o es la evapotranspiración potencial o de referencia y K_c es el denominado coeficiente de cultivo, que varía según cada cultivo y el estado de desarrollo en el que se encuentre.

En el caso del análisis por campañas, se han calculado las necesidades hídricas de los cultivos usando el programa CROPWAT (Smith, 1992). Para el análisis con datos diarios se ha aplicado directamente la fórmula, dado que el CROPWAT trabaja con valores medios mensuales que disminuirían el grado de exactitud.

Los coeficientes de cultivo K_c así como las fechas de siembra han sido suministrados por los técnicos de la Comunidad de Regantes de la zona estudiada y por estudios previos en la zona.

IV.3 Indicadores de gestión utilizados

Para el estudio de la adecuación de los aportes de agua en parcela a las demandas de los distintos cultivos se han utilizado los indicadores Suministro Relativo de Agua (RWS, Relative Water Supply) y el Suministro Relativo de Agua de Riego (RIS, Relative Irrigation Supply). Ambos indicadores aportan información sobre la condición de escasez o exceso de agua y de cómo se ajusta la aplicación de agua con la demanda (Molden, 1998).

Existen ciertos problemas que se pueden encontrar al aplicar los indicadores RWS y RIS dependiendo de si se consideran o no algunos aspectos para la obtención de las variables (necesidades del cultivo, agua aplicada, necesidad de lavado de sales, etc.) (Burt *et al*, 1998). Así pues, es importante definir qué es lo que se tiene en cuenta para el cálculo de estos indicadores. En este caso se usan el agua aplicada en parcela, la lluvia efectiva y la evapotranspiración de los cultivos únicamente. De igual manera, no se obtienen los mismos resultados aplicando estos indicadores a escala de zona regable o en parcela.

Estos indicadores se pueden presentar en distintas formas que vienen descritas a continuación.

RWS

El Suministro Relativo de Agua (RWS) muestra la relación entre el agua que entra al sistema (precipitación y riego) y el agua requerida (evapotranspiración y necesidades de lavado), indicando la relación entre la cantidad de agua disponible o utilizada y la cantidad de agua necesaria para la producción (Levine, 1982). La principal utilidad del RWS es la de servir de base para un estudio comparativo y de análisis para zonas regables de diferentes regiones con distintas características y da una idea de hasta qué punto se ven satisfechas las necesidades hídricas de los cultivos con el agua aportada con el riego y de forma natural (Rodríguez, 2004).

Así pues, el RWS se calcula mediante la fórmula siguiente:

$$RWS = \frac{\text{aportes de agua}}{\text{necesidades del cultivo}} = \frac{R + P}{ETc}$$

siendo R = riego; P = precipitaciones y ETc = evapotranspiración del cultivo.

Lógicamente el valor óptimo del indicador estará en torno a la unidad (Rao, 1993), dando a entender que las necesidades de agua del cultivo se encuentran totalmente satisfechas con el agua aportada. En este caso, tenemos RWS_1.

CRWS

El indicador Suministro Relativo de Agua Acumulado (CRWS, Cumulative Relative Water Supply) marca la tendencia del RWS a lo largo de un período determinado de tiempo (Dembele, 2001).

El CRWS permite hacer un seguimiento de la programación de los riegos para ver si el suministro de agua es adecuado, equitativo y fiable (Rowshon, 2003).

Se calcula de la siguiente manera:

$$GRWS = \sum \frac{\text{aportes de agua}}{\text{necesidades del cultivo}} = \sum \frac{R + P}{ETc} = \sum RWS_i$$

El $CRWS_1$ es el correspondiente al valor acumulado de RWS = 1.

RRS

El Suministro Relativo de Agua por Precipitaciones (RRS, Relative Rainfall Supply) es en realidad una simplificación del RWS en la que sólo se tiene en cuenta el aporte de agua por precipitaciones. De esta forma, se pretende conocer en qué cuantía se satisfacen las necesidades hídricas del cultivo de forma natural. Cuando su valor es igual al del RWS en el mismo período significa que toda el agua se aporta por precipitaciones y no existe riego.

Se calcula de la forma que sigue (Pérez *et al.*, 2006):

$$RRS = \frac{P}{ETc}$$

De esta forma, el RRS indica qué proporción en tanto por uno de las necesidades se ven satisfechas por las precipitaciones.

CRRS

El indicador Suministro Relativo de Agua por Precipitaciones Acumulado (CRRS, Cumulative Relative Rainfall Supply) es el equivalente al CRWS para los valores de RRS con lo que marcará la tendencia del mismo a lo largo de un período determinado de tiempo.

Se calcula como el sumatorio de RRS:

$$CRRS = \sum \frac{P}{ETc} = \sum RRS_i$$

El $CRRS_1$ es el valor acumulado de RRS = 1

RIS

El Suministro Relativo de Agua de Riego (RIS) relaciona el volumen de agua distribuido para riego a los usuarios durante la campaña agrícola con el volumen de agua de riego necesario para evitar un estrés indeseable a lo largo del ciclo de crecimiento del cultivo (Perry, 1996).

Así pues, el RIS se calcula mediante la fórmula siguiente:

$$RIS = \frac{\text{aportes de agua de riego}}{\text{necesidades del riego del cultivo}} = \frac{R}{ETc - P}$$

siendo R = riego; P = precipitaciones y ETc = evapotranspiración del cultivo.

Lógicamente el valor óptimo del indicador estará en torno a la unidad, lo cual querrá decir que se satisfacen las demandas de agua de riego (la parte de necesidades hídricas del cultivo que no se ven cubiertas con las precipitaciones). En este caso, tenemos RIS_1. En principio, un valor por debajo de la unidad marcará un déficit de riego.

Hay que tener cuidado con el valor de este indicador ya que un valor por encima de la unidad no tiene por qué significar un exceso de riego, en tanto en cuanto, debido a la propia estructura del indicador, si las precipitaciones son muy parecidas a las necesidades, aunque algo inferiores ($[ET_c - Precipitaciones] < 1$), el valor del indicador aumentará independientemente de si el volumen aportado en el riego no es muy grande.

Por otro lado, si el valor es negativo, significará que las precipitaciones exceden las necesidades hídricas del cultivo, por lo tanto todo el volumen de agua aplicado en riego será en exceso.

Es por ello que este indicador da una información más precisa en las épocas de riego en las que no se producen muchas precipitaciones.

CRIS

El indicador Suministro Relativo de Agua de Riego Acumulado (CRIS, Cumulative Relative Irrigation Supply) marca la tendencia del RIS a lo largo de un período determinado de tiempo.

Se calcula de la siguiente manera:

$$CRIS = \sum \frac{\text{aportes de agua de riego}}{\text{necesidades del riego del cultivo}} = \frac{R}{ETc - P} = \sum RIS_i$$

El $CRIS_1$ es el correspondiente al valor acumulado de RIS = 1.

RIRS

El Suministro Relativo de Agua de Riego por Precipitaciones (RIRS, Relative Irrigation Rainfall Supply) es un indicador equivalente al RRS descrito anteriormente con la salvedad de que si la diferencia entre necesidades y precipitaciones es menor que la unidad, el indicador toma el valor 1. De esta manera, dicho indicador no puede exceder de la unidad. Un RIRS = 1 indicará que el RIS correspondiente presenta alguno de los problemas mencionados con anterioridad y, por lo tanto, no se puede tener en cuenta a la hora de interpretar los resultados.

Se calcula de la forma que sigue:

$$RIRS = \frac{P}{ETc}; si\ (ETc - P) < 1 \rightarrow RIRS = 1$$

CRIRS

El indicador Suministro Relativo de Agua de Riego por Precipitaciones Acumulado (CRIRS, Cumulative Relative Irrigation Rainfall Supply) es el equivalente al CRIS para los valores de RIRS con lo que marcará la tendencia del mismo a lo largo de un período determinado de tiempo.
Se calcula como el sumatorio de RIRS:

$$CRIRS = \sum \frac{P}{ETc} = \sum RIRS$$

IV.4 Balance de agua

Para conocer en qué momentos existe un estrés hídrico que conlleve una reducción en la producción del cultivo se ha realizado un balance de agua en el suelo.

Con esta idea, se ha aplicado una función de producción lineal simple con el fin de predecir la reducción en la producción del cultivo debida al estrés producido por una escasez de agua en el suelo. El porcentaje de reducción en la producción (actual yield reduction percentage, Y_{ra}) se calcula como sigue (Doorenbos, 1979):

$$Y_{ra} = K_y \left(1 - \frac{ET_{cadj}}{ET_c}\right) \cdot 100$$

donde:
K_y: factor de respuesta del cultivo (yield response factor), que describe la reducción relativa en la producción de acuerdo a la disminución de la ET_c causada por la falta de agua en el suelo. Su valor varía según el cultivo del que se trate y también depende de las condiciones climáticas y geográficas por lo que es importante utilizar valores apropiados de este coeficiente (Ghahraman *et al*., 1997).

$ET_{c\ adj}$: evapotranspiración del cultivo ajustada (adjusted crop evapotranspiration) [mm d^{-1}]

ET_c: evapotranspiración del cultivo estándar (sin condiciones de estrés) [mm d^{-1}]

La evapotranspiración del cultivo ajustada se corresponde con la real que tiene el cultivo en un determinado momento. Si no hay estrés, la ET_c presenta

su valor máximo, pero bajo condiciones de estrés hídrico, el agua tiene un bajo potencial de energía con lo que se ve afectada en mayor medida por las fuerzas de absorción y capilaridad de la matriz del suelo, siendo más difícil su extracción por parte del cultivo. Esta situación se modela con la ecuación (Allen *et al*., 1998):

$$ET_{c\ adj} = K_s \cdot K_c \cdot ET_o$$

siendo K_s el coeficiente de estrés hídrico (water stress coefficient). Para condiciones limitantes de agua en el suelo, $K_s < 1$. Si no existe estrés hídrico, $K_s = 1$.

Así pues, solamente una parte del volumen total disponible de agua en el suelo (total available water, TAW) se extrae fácilmente por el cultivo. Esta fracción del TAW es el RAW (readily available water):

$$RAW = p\ TAW$$

donde p (factor de agotamiento o depletion factor) es la fracción media del TAW que puede tomarse de la zona radicular sin tener reducción en la ET. Su valor depende de la tasa de evapotranspiración que haya en ese momento (Allen *et al*., 1998):

$$p = p_5 + 0.04\ (5\text{-}ET_c)$$

donde p_5 es el valor del factor de agotamiento cuando ET_c = 5 mm/día y depende del cultivo.

De este modo, cuando el déficit de agua en el suelo, expresado en agotamiento de la zona radicular (root zone depletion, D_r), excede del RAW, el valor de K_s viene dado por:

$$K_s = \frac{TAW - D_r}{TAW - RAW}$$

D_r se calcula diariamente en mm como resultado del siguiente balance de agua en el suelo:

$$D_{r,\ i} = D_{r,\ i\text{-}1} - P_{ef,\ i} - I_i + ET_{c\ adj,\ i}$$

Donde:

$D_{r,\ i}$ agotamiento de la zona radicular al final del día i (mm)
$D_{r,\ i\text{-}1}$ contenido de agua en la zona radicular al final del día anterior, i-1 (mm)
$P_{ef,\ i}$ precipitación en el día i (mm)
I_i lámina de riego neta el día i (mm)
$ET_{c\ adj,\ i}$ evapotranspiración del cultivo ajustada el día i (mm)

Cuando D_r es 0, el agua aplicada que exceda de los requerimientos hídricos del cultivo para ese día se perderá por percolación profunda (deep percolation, DP).

Obviamente, con $K_s < 1$, hay reducción en la producción con lo que D_{yr} es la lámina de riego (mm) que debería aplicarse ese día para no tener esta reducción en la producción.

IV.5 Telecontrol

El sistema de adquisición de datos de las parcelas es un telecontrol distribuido en campo. Toda la información que el sistema recoge en campo, es remitida a un centro de control, donde a través de un SCADA se realiza la adquisición y almacenamiento de los datos. Dicho centro de control está situado en la estación de bombeo del sector IV-VII.

Los elementos que componen el sistema de toma de datos son (Rodríguez, 2002):

- Nodo de riego: es el elemento encargado de recoger las señales de los contadores y medidores de presión instalados en las arquetas que contienen la válvula hidráulica con contador volumétrico de la boca de riego de cada parcela. Estos datos son comunicados mediante un pequeño radio módem a las estaciones concentradoras. El protocolo de comunicación en este caso es LonWorks. El nodo de riego tiene una alimentación autónoma mediante un pequeño panel solar de alto rendimiento y dispone del apoyo de tres baterías de 12 voltios que proporcionan una autonomía frente a la ausencia del panel solar de seis días.

- Estaciones concentradoras: Son los elementos del sistema responsables de la adquisición de señales y de la ejecución de la lógica de control. En ella se almacenan las señales de campo que le llegan desde los nodos de riego con el fin de transferirlas posteriormente al centro de control. Cuentan con un panel solar de alto rendimiento, dos antenas de media onda de 50 ohmios de impedancia (una para comunicar con el centro de control y otra para comunicar con los nodos de riego asociados a la estación), un microprocesador programable y un radiomódem.

- Centro de Control: está situado como ya se dijo anteriormente en la estación de bombeo del sector IV-V-VI-VII y está constituido por un ordenador con un software de control *Scada Factory Link*, que permite visualizar y almacenar la información registrada en las estaciones concentradoras. El centro de control se comunica con

las estaciones concentradoras a través de un protocolo Modbus por medio de radiomódem transparentes con un alcance de hasta 40 km. Esta información se transmite por conexión remota, vía GSM al ordenador asignado.

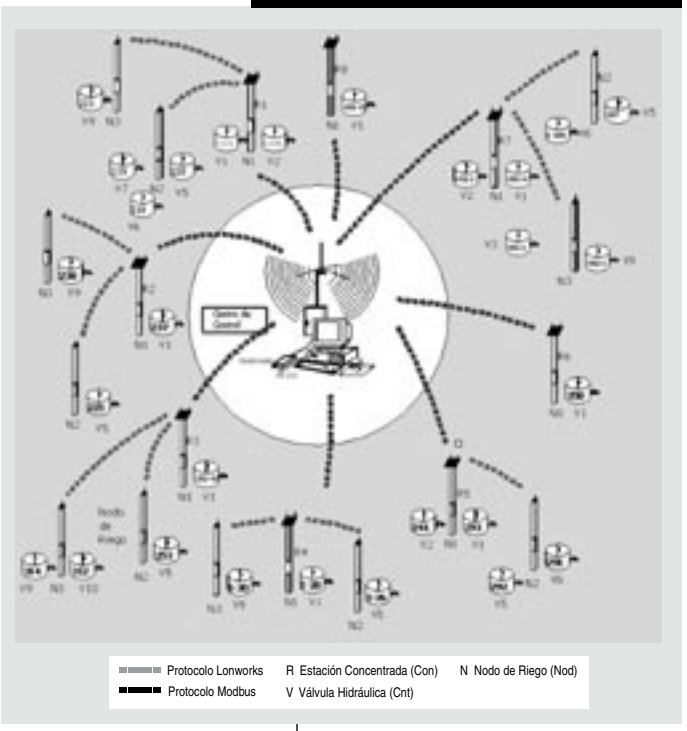
CUADRO IV.2 **Parcelas controladas por el sistema de telecontrol**

NPA	AGR	NFI	EC	NR	Contador
213-A	F-10	2	1	1	1
213-B	F-10	3	1	1	2
220	F-9	9	1	2	5
218	F-9	11	1	2	6
219	F-9	10	1	2	7
221	F-10	23	1	3	9
237	F-10	11	2	1	1
225	F-10	15	2	2	5
238	F-10	17	2	3	9
252-02	F-7	10	3	1	1
253	F-7	23	3	2	5
314	F-7	29	3	3	9
312	F-7	20	3	3	10
I-28	G-6	4	4	1	1
I-26	P-10	2	4	2	5
I-30	G-6	2	4	3	9
293	F-11	7	5	1	1
241	F-11	17	5	1	2
292	F-10	4	5	2	5
291	F-10	26	5	2	6
358	F-2	3	6	1	1
402-H	P-15	8	7	1	1
402-J	P-15	19	7	1	2
402-I	P-15	13	7	1	3
397	P-13	15	7	2	5
I-105	P-13	11	7	3	6
402-C	P-15	11	7	3	9
403-01	P-11	1	8	1	1

Fuente: Elaboración propia.

En total se han dispuesto ocho estaciones concentradoras que controlan cuatro nodos de riego cada una (no todos ellos se utilizan, en concreto once están operativos). Una representación esquemática de lo dispuesto se puede observar en el gráfico IV.2.

GRÁFICO IV.2 **Esquema del telecontrol**



Fuente: Elaboración propia.

En el cuadro IV.2 se muestran las parcelas que están controladas por el telecontrol indicándose el número de parcela (NPA), la agrupación (AGR) y número de finca (NFI) y la estación concentradora (EC), nodo de riego (NR) y contador que la controla.

El módulo de registro de datos permite archivar en disco los eventos producidos en el sistema ya sea por alarmas producidas en su funcionamiento como por pulsos de los contadores o por presiones en la red de riego. Estos eventos se registran en formato Access (extensión de los archivos .mdb) y son asociados cada uno a una marca de tiempo de forma que se puedan realizar históricos de los eventos.

IV.6 Procedimiento de cálculo para el análisis espacial

La información necesaria para este análisis es la siguiente:

1. Datos de precipitación y evapotranspiración.
2. Datos del volumen de agua utilizado por los usuarios, obtenidos de la lectura de contadores existentes en cada toma de parcela
3. Patrón de cultivo existente en las parcelas para las distintas campañas
4. Mapa de suelos y parcelario
5. Información del método de riego

Con los datos climáticos (apartado IV.1) y conociendo el patrón de cultivo en cada una de las parcelas estudiadas, se han calculado las necesidades hídricas de los cultivos de la manera descrita en el apartado IV.2. Estas necesidades junto con los datos de precipitación y las lecturas de los contadores (agua aportada en riego) permiten el cálculo del indicador RWS.

Los datos del método de riego, han sido obtenidos del muestreo en campo realizadas por Gil (2003) durante las campañas de riego de 1997/1998, 1998/99 y 1999/00. Así pues se han obtenido datos del sistema de riego de 408 parcelas, siendo el reparto entre los distintos métodos el presentado en el cuadro IV.3.

CUADRO IV.3 **Porcentaje de los tipos de riego en las parcelas con datos**

Tipo de riego	Porcentaje de parcelas
Aspersión fija cobertura total	1.5
Aspersión móvil	70.3
Goteo	27.7
Goteo enterrado	0.5

Fuente: Elaboración propia.

Las campañas incluidas en este análisis van desde la 97-98 hasta la 03-04, teniéndose años húmedos y secos (ver capítulo IV.1) de modo que se puedan observar las diferencias de riego entre unos y otros.

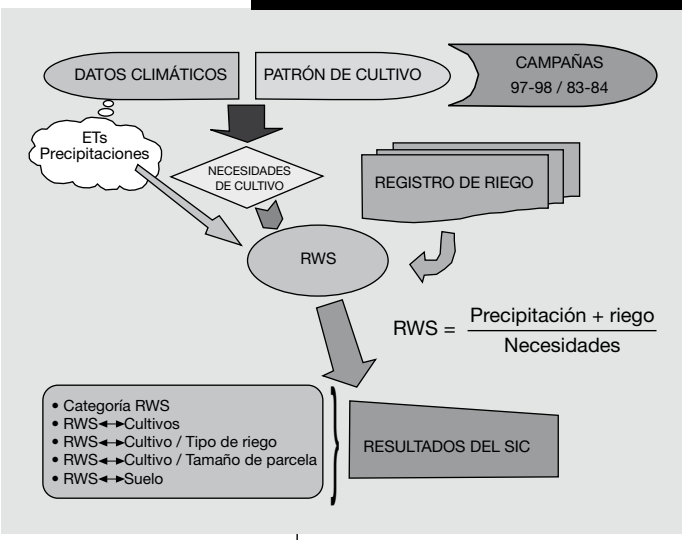
Una vez obtenidos los valores del RWS se ha procedido a la categorización de los mismos y a su representación en el SIG. Posteriormente se han analizado las relaciones entre sus valores y los cultivos establecidos, el método de riego, tamaño de la parcela y tipo de suelo. Para ello, se ha realizado un análisis estadístico con el programa SPSS 12 usando la técnica *two step cluster*.

Two Step Cluster es una técnica que usa un algoritmo de análisis de clúster a escala diseñado para manejar grandes cantidades de datos (SPSS, 2001), ya sean continuos o categóricos (variables discretas), gracias a una extensión del modelo basado en medidas de distancia (Banfield, 1993). Éste método

de clasificación basada en clústeres se fundamenta en dos pasos. En el primero, se realiza una clasificación previa (pre-clusterización) usando una aproximación de clústeres secuencial (Theodoridis *et al.*, 1999) de modo que se revisa cada elemento (en este caso cada parcela) uno por uno y se decide si se asigna a un clúster previamente formado o se crea uno nuevo basado en el criterio de distancias (*log-likelihood*). De este modo se construye un árbol de clústeres (cluster feature tree, CF-tree) modificado (Zhang *et al.*, 1996). En caso de variables continuas se trabaja con la media y la varianza y en el de las categóricas, el número de casos en cada categoría. En segundo paso, se calcula automáticamente el número de clústeres óptimo usando el criterio estadístico BIC (Bayesian Information Criterion) de Schwarz (Fraley *et al.*, 1998) y reasigna los clústeres creados en el paso anterior de forma que se consiga ése número determinado.

El esquema metodológico seguido se muestra en el gráfico IV.3.

GRÁFICO IV.3 **Esquema de la metodología en el análisis espacial**



Fuente: Elaboración propia.

IV.7 Procedimiento de cálculo para el análisis temporal

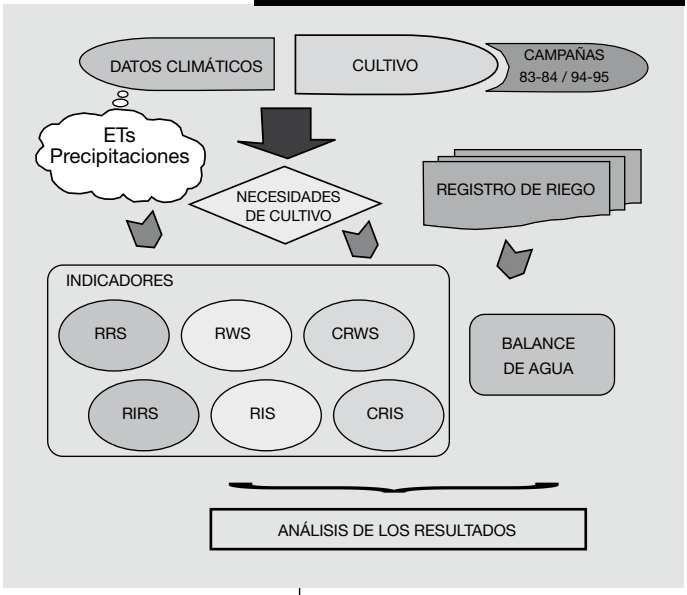
Para este análisis se ha partido de los datos climáticos citados anteriormente (ET_0 y precipitaciones). La información del cultivo en cada parcela ha sido suministrada por la Comunidad de regantes y con ella y la ET_0 se han calculado las necesidades del cultivo.

Las campañas que se han estudiado en este caso son la 03-04 y la 04-05. La primera campaña es normal en cuanto a precipitaciones mientras que la segunda es muy seca. Con ello se pueden apreciar las diferencias entre una y otra y cómo afecta el factor de las precipitaciones a estos indicadores.

El volumen diario consumido en cada parcela se ha obtenido de la base de datos del telecontrol, para lo cual ha sido necesaria una depuración previa. Con estos datos junto a las necesidades del cultivo y la precipitación efectiva, se ha pasado a calcular los indicadores mencionados en el apartado IV.3. Para ello se han utilizado distintos períodos de tiempo y formas de acumular los datos, obteniéndose diferentes tipos dentro de cada indicador.

El esquema metodológico seguido se muestra en el gráfico IV.4.

GRÁFICO IV.4 **Esquema de la metodología del análisis temporal**



Fuente: Elaboración propia.

Se ha calculado los indicadores en distintos periodos de tiempo (diario, semanal, mensual, estacional y acumulado por campaña) de la siguiente forma:

Diario: $$RWS_{dia} = \frac{R_{dia} + P_{dia}}{ETc_{dia}}$$

Acumulado por campaña: $$RWS_{ac} = \frac{\sum_{i=1}^{i=d} R_i + \sum_{i=1}^{i=d} P_i}{\sum_{i=1}^{i=d} ETc_i}$$

Semanal[1]: $$RWS_{sem} = \frac{\sum_{i=d-7}^{i=d} R_i + \sum_{i=d-7}^{i=d} P_i}{\sum_{i=d-7}^{i=d} ETc_i}$$

Mensual: $$RWS_{mes} = \frac{\sum_{mes} R + \sum_{mes} P}{\sum_{mes} ETc}$$

Estacional: $$RWS_{estación} = \frac{\sum_{estación} R + \sum_{estación} P}{\sum_{estación} ETc}$$

(siendo d = día en el que se calcula el indicador; s = semana en la que se calcula el indicador; m = mes en el que se calcula el indicador)

De forma análoga se calculan los demás indicadores usados.

Una vez todos los tipos de los indicadores han sido calculados para las dos campañas de estudio en las distintas parcelas, se realiza el análisis y la interpretación de los resultados.

1 Como simplificación se puede calcular cada semana ($d_i = d_{i-1} + 7$)

Para simplificar el tratamiento de dichos resultados, se han agrupado los mismos calculando las medias de los valores obtenidos en las parcelas por cada cultivo y campaña, haciendo, no obstante, un breve comentario de los obtenidos en cada parcela.

Posteriormente se ha incluido un estudio por balance de agua para analizar los distintos parámetros de éste (déficit, percolación profunda…) y el descenso teórico en la producción de los cultivos debido al déficit hídrico.

Resultados del estudio espacial

Capítulo V

V. RESULTADOS DEL ESTUDIO ESPACIAL

V.1 Clasificación según el RWS

Dada la cantidad de datos obtenidos, se han tabulado los valores del indicador en seis categorías distintas con objeto de caracterizar el riego aportado en función de si se ven satisfechas las necesidades de los cultivos. Las categorías establecidas son las que aparecen en el cuadro V.1 (Pérez Urrestarazu, 2005).

CUADRO V.1 **Tipos de riego en función del valor del RWS**

Valor del RWS	Categoría	Tipo de riego
< 0.8	1	Riego muy deficitario
0.8 - 0.9	2	Riego deficitario
0.9 - 1.2	3	Riego adecuado
1.2 - 1.8	4	Riego en exceso
1.8 - 2.5	5	Riego muy en exceso
> 2.5	6	Riego extremo

Fuente: Elaboración propia.

Un valor del RWS menor de 0.8 indicará una escasez patente de agua disponible para el cultivo por lo que podría darse una reducción en la producción. Valores de 0.8 a 0.9 indican que se está dando un riego deficitario, lo cual no implica que afecte al cultivo en exceso, siendo en algunas situaciones aceptable. Los valores que van desde 0.9 a 1.2 se consideran como adecuados, es decir, que las necesidades de los cultivos se ven satisfechas correctamente. En ciertos casos, dar un aporte de agua en exceso (valores de 1.2 a 1.8) resulta admisible (sobre todo en el caso de lavado de sales. Es ya en el tramo de 1.8 a 2.5 cuando se puede estimar que se aporta un exceso de agua, pues se llega a duplicar el volumen de agua que el cultivo necesita para su desarrollo normal. Valores superiores a 2.5 se deben considerar ya inaceptables pues multiplican los problemas originados por el riego (mermas graves en productividad, escorrentías elevadas, percolación, etc.).

En el gráfico V.1 se aprecian los valores tabulados del RWS en las distintas parcelas estudiadas para la campaña 97-98. Es destacable el elevado número de parcelas con un valor correcto del indicador, el mayor de todas las campañas estudiadas. A pesar de la alta pluviosidad registrada en esta campaña, no son muchas las parcelas con exceso de agua.

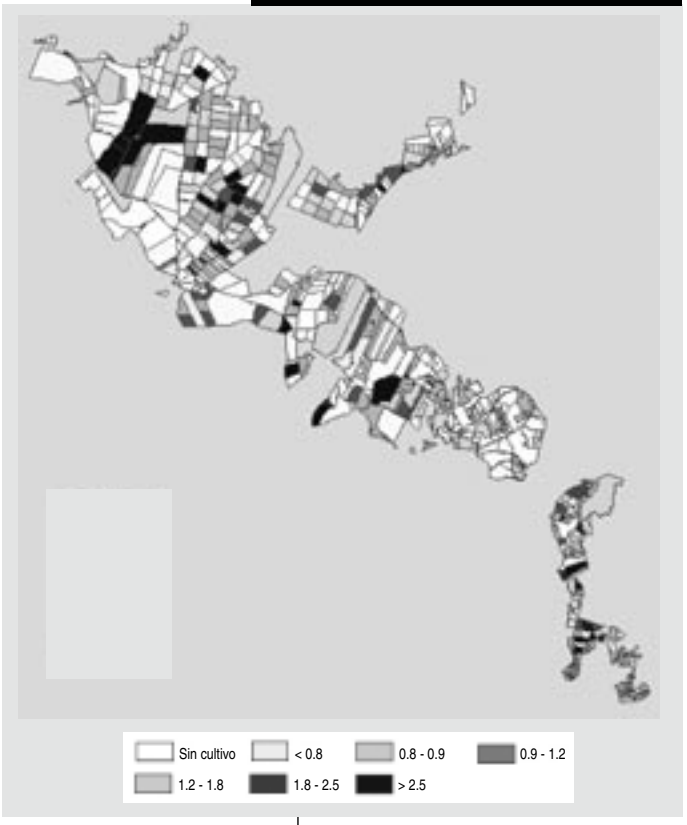
GRÁFICO V.1 **Valores del RWS para la campaña 97-98**

Fuente: Elaboración propia.

El gráfico V.2 muestra los valores para la campaña 98-99. En ella aparecen muchos casos correspondientes a la primera categoría con lo que las necesidades de los cultivos no se verán cubiertas. Coincide que se trata de la campaña más seca de las estudiadas por lo que se observa que no se suplen adecuadamente las carencias de agua debidas a la sequía.

De todos modos, a pesar de tratarse de una campaña seca, nos encontramos con bastantes parcelas con valores altos de RWS, con lo que en ellas se debió de aportar un volumen de agua extremadamente elevado para, con los pocos aportes naturales, exceder con mucho de las necesidades de los cultivos.

GRÁFICO V.2 **Valores del RWS para la campaña 98-99**



Fuente: Elaboración propia.

La campaña 99-00 se muestra en el gráfico V.3 y en ella se puede ver cómo los valores del RWS son en general bajos, posiblemente debido a la escasez de precipitaciones de la campaña anterior, lo cual hizo disminuir las reservas disponibles. Ello unido con las bajas precipitaciones también en esta campaña, provocan una escasez del recurso que no se ve suplida por el riego.

Si se compara esta campaña con la anterior, se puede observar cómo las parcelas en las que se tenía exceso de agua, en esta campaña obtienen valores aceptables, indicando la predisposición de los regantes de esas parcelas a aportar bastante agua de riego.

GRÁFICO V.3 **Valores del RWS para la campaña 99-00**

Fuente: Elaboración propia.

En el gráfico V.4 se tienen los valores correspondientes a la campaña 00-01. El número de parcelas con datos es mucho menor dado que los registros de la Comunidad de Regantes no mostraban ningún cultivo en el resto de parcelas estudiadas.

Llama la atención el gran porcentaje de parcelas con un aporte de agua excesivo, porque aunque se trata de una campaña con una pluviosidad alta, no supera la obtenida en la campaña 97-98 y, en cambio, el RWS es más elevado en la mayoría de las parcelas que el alcanzado en aquella campaña. El número de parcelas con defecto de agua es mínimo.

GRÁFICO V.4 **Valores del RWS para la campaña 00-01**

Fuente: Elaboración propia.

En el gráfico V.5 se representa la distribución de los valores del indicador para la campaña 01-02. Se aprecia un aporte de agua bastante más ajustado, disminuyendo en gran medida los casos en los que éste es excesivo. Esto puede deberse a cambios de hábitos de los regantes o de patrones de cultivo.

Se corrobora lo anteriormente dicho comparando esta situación con la ocurrida en la campaña 99-00, ya que las precipitaciones en dicha campaña fueron similares.

GRÁFICO V.5 **Valores del RWS para la campaña 01-02**

Fuente: Elaboración propia.

Esta tendencia continúa en la campaña 02-03 (gráfico V.6), en la cual se ajustan aún más los aportes de agua a las necesidades, reduciéndose ligeramente tanto los casos de escasez de agua como los de exceso.

GRÁFICO V.6 **Valores del RWS para la campaña 02-03**

Fuente: Elaboración propia.

En el gráfico V.7, se presentan las categorías del indicador para la campaña 03-04 y se observan valores muy similares a la campaña anterior aunque disminuye el número de parcelas con déficit de agua, aumentando las de riego adecuado ligeramente.

GRÁFICO V.7 **Valores del RWS para la campaña 03-04**

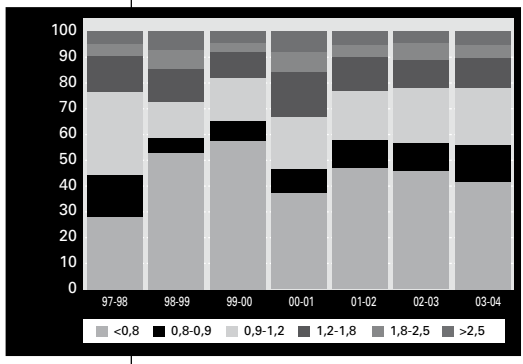
Fuente: Elaboración propia.

Como resumen de lo anteriormente mencionado, en el gráfico V.8, se observa el porcentaje de parcelas que se encuentran en cada categoría del indicador para las campañas estudiadas de modo que puede estudiarse la evolución en el tiempo. Es destacable el hecho de que exceptuando la campaña 97-98, por ser muy lluviosa, se alcanzan porcentajes superiores o al menos cercanos al 40 por ciento de parcelas con acusado déficit de agua, rondando el 20 por ciento de parcelas que tienen un riego adecuado.

Se vuelve a apreciar la influencia de las precipitaciones sobre estos porcentajes y una ligera tendencia a aportar el agua de una forma más adecuada en las últimas campañas.

En las campañas secas se observa como hay más del 50 por ciento de parcelas que riegan de forma deficitaria.

GRÁFICO V.8 **Porcentaje de parcelas en cada categoría por campañas**

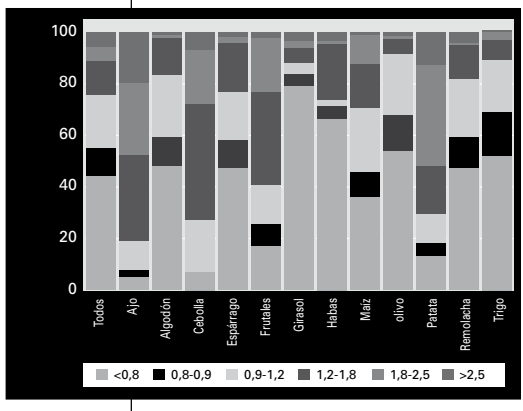


Fuente: Elaboración propia.

V.2 Relaciones del RWS con el cultivo

Dependiendo de cuál sea el cultivo establecido, los valores del indicador RWS tienen una distribución distinta, tendiendo, algunos cultivos a recibir un aporte excesivo de agua (ajo, cebolla, frutales y patata) y otros presentar un déficit generalizado de agua (girasol, habas, olivo y trigo) con más del cincuenta por ciento de parcelas dentro de la categoría 1. Lo anteriormente reseñado se observa perfectamente en el gráfico V.9, que ilustra, para una media de todas las campañas de estudio, los porcentajes de parcelas en las distintas categorías de RWS en cada cultivo.

GRÁFICO V.9 **Porcentaje de parcelas en cada categoría según el cultivo**



Fuente: Elaboración propia.

A continuación se estudia la evolución y distribución de parcelas en cada una de las categorías de RWS para cada uno de los cultivos (se ha realizado el estudio sólo para los cultivos que cuentan con un número significativo de parcelas).

En el cuadro V.2 se muestran los porcentajes de parcelas en cada categoría de RWS para cada uno de los cultivos por separado, así cómo el número de parcelas con dicho cultivo para cada campaña.

A continuación se comentan los resultados mostrados en el cuadro para cada cultivo:

CUADRO V.2 **Porcentajes de parcelas en cada categoría para cada cultivo**

Cultivo	Categoría	97-98	98-99	99-00	00-01	01-02	02-03	03-04	Media
Ajo	< 0.8	0	15	13	7	0	0	0	5
	0.8 - 0.9	0	4	0	7	7	0	0	3
	0.9 - 1.2	0	11	30	27	12	0	0	11
	1.2 - 1.8	44	32	35	37	36	21	29	33
	1.8 - 2.5	25	23	13	17	26	50	39	28
	> 2.5	31	15	9	5	19	29	32	20
	número parcelas	16	47	23	59	42	48	38	39
Algodón	< 0.8	29	0	67	73	42	53	70	48
	0.8 - 0.9	8	0	33	9	7	16	8	11
	0.9 - 1.2	30	50	0	18	32	23	15	24
	1.2 - 1.8	25	50	0	0	15	6	4	14
	1.8 - 2.5	4	0	0	0	1	0	2	1
	> 2.5	4	0	0	0	3	1	1	1
	número parcelas	156	2	3	11	73	77	104	61
Espárrago	< 0.8	14	54	38	88	33	44	60	47
	0.8 - 0.9	7	15	6	0	17	11	20	11
	0.9 - 1.2	29	8	44	12	17	22	0	19
	1.2 - 1.8	43	23	13	0	25	11	20	19
	1.8 - 2.5	0	0	0	0	0	11	0	2
	> 2.5	7	0	0	0	8	0	0	2
	número parcelas	14	13	16	17	12	9	5	12
Frutales	< 0.8	0	50	0	-	30	21	0	17
	0.8 - 0.9	0	0	0	-	20	14	18	9
	0.9 - 1.2	0	0	0	-	20	29	41	15
	1.2 - 1.8	50	0	100	-	10	21	35	36
	1.8 - 2.5	50	50	0	-	20	7	0	21
	> 2.5	0	0	0	-	0	7	6	2
	número parcelas	2	2	2	0	10	14	17	8
Girasol	< 0.8	75	70	-	-	69	88	94	79
	0.8 - 0.9	8	3	-	-	3	9	0	5
	0.9 - 1.2	9	3	-	-	9	0	0	4
	1.2 - 1.8	5	10	-	-	9	0	6	6
	1.8 - 2.5	0	3	-	-	6	3	0	2
	> 2.5	3	10	-	-	6	0	0	4
	número parcelas	76	30	0	0	35	32	17	38

continúa...

... continuación

CUADRO V.2 **Porcentajes de parcelas en cada categoría para cada cultivo**

Cultivo	Categoría	97-98	98-99	99-00	00-01	01-02	02-03	03-04	Media
Habas	< 0.8	100	30	67	0	75	100	93	66
	0.8 - 0.9	0	4	11	0	13	0	7	5
	0.9 - 1.2	0	19	0	0	0	0	0	3
	1.2 - 1.8	0	33	11	100	6	0	0	22
	1.8 - 2.5	0	7	0	0	0	0	0	1
	> 2.5	0	7	11	0	6	0	0	4
	número parcelas	2	27	9	1	16	4	15	11
Maíz	< 0.8	36	-	-	-	28	31	50	36
	0.8 - 0.9	14	-	-	-	5	8	11	10
	0.9 - 1.2	29	-	-	-	38	19	14	25
	1.2 - 1.8	7	-	-	-	20	22	19	17
	1.8 - 2.5	14	-	-	-	5	19	6	11
	> 2.5	0	-	-	-	5	0	0	1
	número parcelas	14	0	0	0	40	36	36	32
Olivo	< 0.8	20	74	73	67	58	48	37	54
	0.8 - 0.9	24	6	8	10	13	15	22	14
	0.9 - 1.2	44	14	13	14	19	30	33	24
	1.2 - 1.8	10	3	4	5	8	6	5	6
	1.8 - 2.5	2	2	1	0	1	0	2	1
	> 2.5	0	1	1	5	1	1	1	2
	número parcelas	287	285	312	21	325	294	337	266
Patatas	< 0.8	-	-	0	33	25	6	0	13
	0.8 - 0.9	-	-	0	11	0	0	14	5
	0.9 - 1.2	-	-	0	44	0	13	0	11
	1.2 - 1.8	-	-	0	11	25	19	38	19
	1.8 - 2.5	-	-	100	0	25	38	33	39
	> 2.5	-	-	0	0	25	25	14	13
	número parcelas	0	0	1	9	8	16	21	11
Remolacha	< 0.8	50	38	62	63	50	29	39	47
	0.8 - 0.9	0	6	18	26	14	12	9	12
	0.9 - 1.2	0	38	21	11	23	41	26	23
	1.2 - 1.8	50	6	0	0	14	12	9	13
	1.8 - 2.5	0	6	0	0	0	0	0	1
	> 2.5	0	6	0	0	0	6	17	4
	número parcelas	2	16	34	27	22	17	23	20
Trigo	< 0.8	0	52	66	53	61	72	56	52
	0.8 - 0.9	44	10	10	20	11	6	19	17
	0.9 - 1.2	49	16	15	20	14	11	18	20
	1.2 - 1.8	5	11	6	7	9	10	6	8
	1.8 - 2.5	2	9	2	0	5	0	1	3
	> 2.5	0	3	2	0	0	0	0	1
	número parcelas	43	94	124	15	101	87	85	78

Fuente: Elaboración propia.

Ajo

El número de parcelas con ajo se ha estabilizado en las últimas campañas en torno a las cuarenta parcelas.

Teniendo en cuenta el porcentaje de parcelas en cada una de las categorías de RWS, se aprecia que apenas hay parcelas con escasez de agua (únicamente en tres campañas y en un porcentaje muy bajo) y se tiende en gran medida a regar en exceso (en algunas campañas hay más del 30 por ciento de parcelas que aportan más de 2.5 veces el agua que se necesita realmente). No obstante, es necesario reseñar que el ciclo del ajo suele coincidir con los meses con más precipitaciones por lo que el cultivo tendrá más agua disponible de forma natural.

Algodón

Se observa cómo en la primera campaña estudiada el número de parcelas dedicadas al cultivo del algodón ronda las 160, en contraste con las pocas destinadas las siguientes tres campañas debido a la escasez de agua y a la disminución de su rentabilidad. Existe un alto porcentaje de parcelas con déficit de agua llegando incluso a un 70 por ciento en la 00-01 y 03-04.

De todos modos, los resultados referentes a las campañas 98-99 y 99-00 son poco significativos debido al pequeño número de parcelas existentes (2 y 3 respectivamente). De este modo se puede concluir que salvo en campañas muy lluviosas, el aporte de agua a este cultivo es deficitario, no existiendo prácticamente casos de excedentes de agua.

Espárrago

El cultivo del espárrago ha experimentado un descenso a lo largo de las campañas, reduciéndose considerablemente en la última.

Se observa un alto porcentaje de parcelas en la que hay una patente carencia de agua, siendo incluso cercana al 90 por ciento en la campaña 00-01. Prácticamente no existe ninguna parcela con aplicación excesiva del agua, aunque en la 97-98 el cultivo sí recibió agua en abundancia, no resultando, no obstante, excesivo.

Frutales

Al contrario que en el caso del cultivo anterior, el número de parcelas con frutales ha ido creciendo con el paso de las campañas, pasando de apenas ninguna en las cuatro primeras campañas estudiadas a rondar la veintena en las últimas. En la campaña 00-01 no se tienen datos de este cultivo.

En las primeras campañas se realizó un aporte de agua excesivo y sin embargo, a medida que aumentaban el número de parcelas con frutales en la zona de estudio, el aporte de agua era más ajustado, obteniendo en la última campaña muy buenos valores, sin apenas contar con parcelas con déficit de agua.

Girasol

Este cultivo presenta una distribución atípica a lo largo de las campañas, contando con un elevado número de parcelas la campaña 97-98 y reduciéndose en torno a la treintena. Resalta el hecho de no cultivarse en las campañas 99-00 y 00-01. En la última campaña estudiada, el número de parcelas con girasol no llegó a la veintena.

El denominador común en todas las campañas es el hecho de que prácticamente todas las parcelas con este cultivo experimentan un acusado déficit de agua, con lo cual se puede concluir que en la zona de estudio este cultivo se riega de forma deficitaria.

Habas

En este cultivo llama la atención la variabilidad del número de parcelas cultivadas, oscilando entre 1 y 27.

Se da el caso de que el aporte de agua fue más correcto en la campaña 98-99, coincidiendo con un número mayor de parcelas cultivadas. El resto de campañas, exceptuando la 00-01 (sólo se cultivó en 1 parcela), el aporte de agua fue totalmente deficitario.

Maíz

Es destacable el hecho de que las primeras campañas estudiadas (a excepción de la primera) no se cultiva maíz en la zona estudiada. Sin embargo, las últimas tres campañas, el número de parcelas cultivadas es muy elevado, llegando a 40.

Se observa que el aporte de agua ha sido correcto en un gran porcentaje de parcelas excepto en la 03-04 en la que el porcentaje de parcelas con déficit de agua alcanzó el 50 por ciento. No se observan apenas parcelas con aporte excesivo de agua aunque se tiende a exceder ligeramente de las necesidades hídricas de este cultivo.

Olivo

El olivo es sin duda el cultivo más representativo dentro de la zona estudiada, superando en todas las campañas (exceptuando la 00-01 por falta de datos) las 250 parcelas.

Es ampliamente conocida la tendencia al riego deficitario en el caso del olivo, lo cual se ratifica analizando el porcentaje de parcelas en cada categoría. Se observa cómo el número de parcelas con aporte de agua muy deficiente es elevado sobre todo en las campañas secas. En la primera campaña estudiada, el aporte de agua fue correcto debido a las altas precipitaciones ocurridas. Las tres campañas siguientes presentan porcentajes superiores al 70 por ciento de parcelas con déficit acusado de agua, disminuyendo en la 01-02 por debajo del 60 por ciento. En las últimas dos campañas, existe ya un mayor número de parcelas con aporte adecuado de agua o ligeramente deficitario. En ningún caso se tienen apenas parcelas con exceso de agua.

Patata

El cultivo de la patata se ha ido incrementando a medida que avanzaban las campañas estudiadas. En las dos primeras campañas no se tiene ninguna parcela pero ya en la última se alcanzan las 20 parcelas, lo cual indica dicha tendencia creciente.

Obviando las tres primeras campañas, se observa que en la 00-01, el aporte de agua fue bastante correcto en contraste con las sucesivas campañas en las cuales el porcentaje de parcelas con exceso de agua fue mucho mayor, indicando una tendencia a regar en exceso este cultivo. En la última campaña, en la que hubo más parcelas con patata, en ninguna de ellas presentó déficit de agua lo que refuerza lo anteriormente dicho.

Remolacha

Este cultivo ha tenido una distribución muy variable a lo largo de las campañas de estudio, dándose desde en 2 parcelas hasta casi 35.

Existe un alto porcentaje de parcelas que presentan déficit de agua, llegando en 99-00 y 00-01 a superar el 60 por ciento. Sin embargo, las dos últimas campañas este porcentaje se ve reducido por debajo del 40 por ciento aunque aparecen algunas parcelas con aporte excesivo de agua, son más las que gozan de un aporte adecuado.

Trigo

Son muchas las parcelas destinadas al cultivo del trigo que, salvo en la 97-98 y 00-01, superan las 80 parcelas, lo cual hace que sea otro de los cultivos importantes en la zona.

Este cultivo es otro de los que presenta una tendencia generalizada al aporte deficitario de agua en porcentajes muy elevados de parcelas no dándose apenas casos de excesos de agua lo cual es lógico teniendo en cuenta que tradicionalmente se ha cultivado en secano.

V.3 Relaciones del RWS con el cultivo y tamaño de la parcela

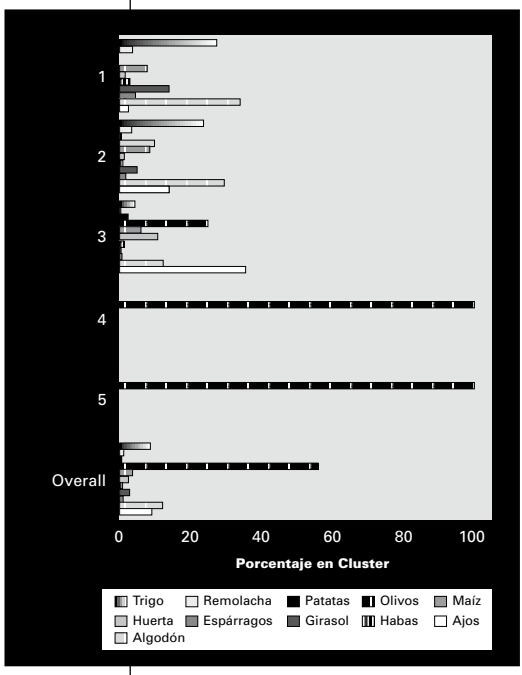
Dada la dificultad de análisis de los datos relacionando valores de RWS con cultivos y tamaños de parcela, se ha realizado un estudio estadístico de categorización utilizando el método *Two Step Cluster* descrito en la metodología.

De este modo, se han clasificado el número de casos en diversos clústeres o agrupaciones con unas características similares atendiendo a la categoría de RWS a la que pertenecen, los cultivos instalados y el rango de tamaños de las parcelas.

Para comenzar, se han estudiado los datos de valores de RWS, tipo de cultivo y tamaño de parcela correspondientes a todas las campañas y se han obtenido 5 clústeres de los cuales el 4º es el que reúne más número de casos.

En el gráfico V.10 se muestra la distribución de los distintos cultivos en cada uno de los clústeres y lo mismo en el gráfico V.11 con las categorías de RWS en donde se vuelve a poner de manifiesto que en más del 40 por ciento de los casos totales existe déficit de agua, siendo el aporte correcto en un 20 por ciento de los casos. Los tamaños de parcela incluidos en cada clúster se hayan representados en el gráfico V.12 por un centróide, mostrándose el valor medio de tamaños de parcela para cada clúster y unas barras que representan los límites del intervalo de confianza al 95 por ciento alrededor de cada media.

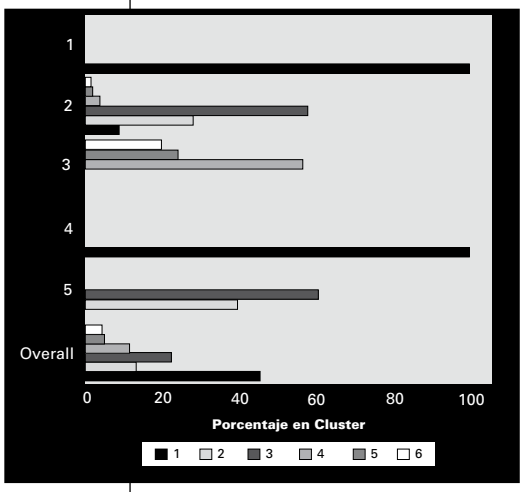
GRÁFICO V.10 **Porcentaje de cada cultivo en el clúster**



Fuente: Elaboración propia.

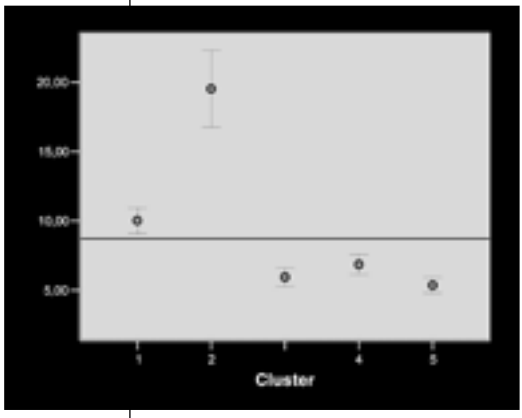
Se puede apreciar cómo el clúster 1

GRÁFICO V.11 **Porcentaje de cada categoría de RWS en el clúster**



Fuente: Elaboración propia.

GRÁFICO V.12 **Tamaños de parcela (ha) en los clústeres**



Fuente: Elaboración propia.

está compuesto por parcelas con superficie aproximada de 10 ha en las que se establece algodón, trigo y girasol principalmente y presentan un déficit acusado de agua.

El clúster 2 sigue teniendo gran variedad de cultivos, destacando nuevamente el trigo y el algodón, con parcelas grandes y un aporte de agua adecuado.

El tercer clúster queda conformado por parcelas pequeñas con un exceso patente de agua en el que destacan el ajo, olivos, algodón y cultivos de huerta.

Los dos clústeres restantes corresponden a parcelas pequeñas de olivar, teniendo en el caso del 4, gran escasez de agua y siendo correcta o algo deficitaria en el clúster 5.

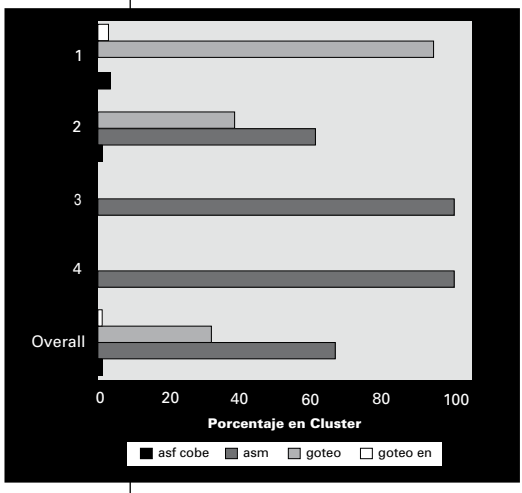
Tanto si se realiza el estudio para todas las campañas como en cada una por separado, se pueden apreciar unas ciertas pautas que describen las características de algunos de los clústeres obtenidos. En relación con el tamaño se puede afirmar que las parcelas grandes suelen tener un aporte más ajustado de agua mientras que las pequeñas tienen valores más extremos. Además, como ya se demostró en el apartado anterior,

existen cultivos a los que se tiende a aportar un exceso de agua (clúster 3), fundamentalmente los ajos, patatas y cultivos de huerta. Destacan como cultivos con gran déficit de agua (clústeres 1 y 4) el olivo, espárrago y girasol.

V.4 Relaciones del RWS con el tipo de riego

Se ha realizado el mismo estudio estadístico para intentar establecer la relación entre categoría de RWS y tipo de riego. El número de casos estudiados ha sido menor que en el apartado anterior dado que no había información del tipo de riego en todas las parcelas estudiadas.

GRÁFICO V.13 **Porcentaje de cada tipo de riego en el clúster**



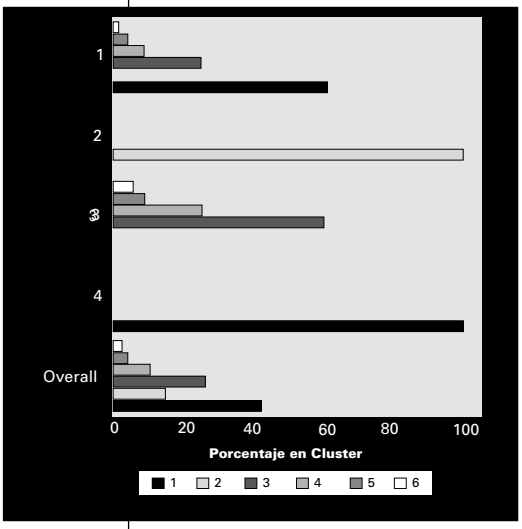
Fuente: Elaboración propia.

En el gráfico V.13, se muestran los tipos de riegocorrespondientes en cada clúster, correspondiendo el 1 a riego localizado (goteo) en su mayoría y un ligero porcentaje de aspersión en cobertura total (asf cobe) y riego localizado subterráneo (goteo en). Como se aprecia en el gráfico V.14, predominan los casos de déficit de agua (un 60 por ciento) y riego adecuado (27 por ciento aproximadamente), siendo mínimos los casos de exceso de agua.

El clúster 2 presenta una mezcla de riego por aspersión móvil (asm) y goteo, dándose un riego ligeramente deficitario (categoría 2).

Los dos clústeres restantes corresponden a aspersión móvil, teniendo el 3 un gran componente de riego adecuado pero no obstante, con la mayoría de los casos de exceso de agua presentados. En contraposición, el clúster 4 engloba únicamente casos con gran déficit de agua.

GRÁFICO V.14 **Porcentaje de cada categoría de RWS en el clúster**



Fuente: Elaboración propia.

De este modo, se observa gran variabilidad en el caso del riego por aspersión móvil, estando más ajustado el aporte de agua en el caso de goteo y aspersión en cobertura total, en donde los valores extremos son menores, no dándose apenas exceso de agua.

V.5 Relaciones del RWS con el tipo de suelo

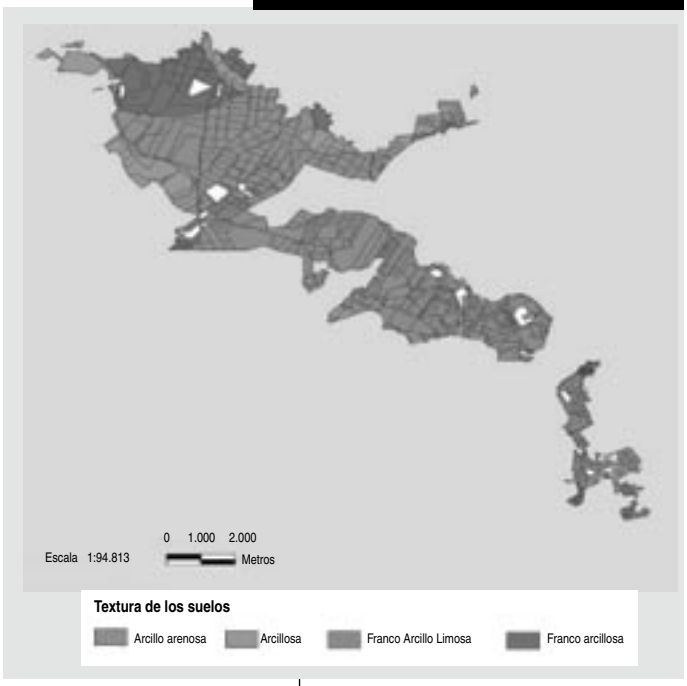
Por último, se ha estudiado la posible relación entre el tipo de suelo y las categorías de RWS descritas en el capítulo V.1 para comprobar si dependiendo del suelo con el que se cuente, se aplica más o menos agua al cultivo.

En la zona de estudio se pueden encontrar cuatro tipos de textura de suelo como son: arcillo arenosa, franco arcillosa, limosa y franco arcillosa.

Como se aprecia en el mapa de suelos de la zona (Gráfico V.15), en la región norte y central (Municipio de Santaella) predomina la textura franco arcillosa, arcillosa y arcillo arenosa, mientras que en la región Sur (Municipio de Puente Genil) prevalece la textura Franco arcillo limosa.

En el cuadro V.3, se muestran los contenidos (por ciento) en arena, limo y arcilla de cada una de las texturas. Los datos han sido obtenidos de la cobertura de suelos facilitada por la Comunidad de Regantes.

GRÁFICO V.15 **Textura de los suelos en la zona estudiada**



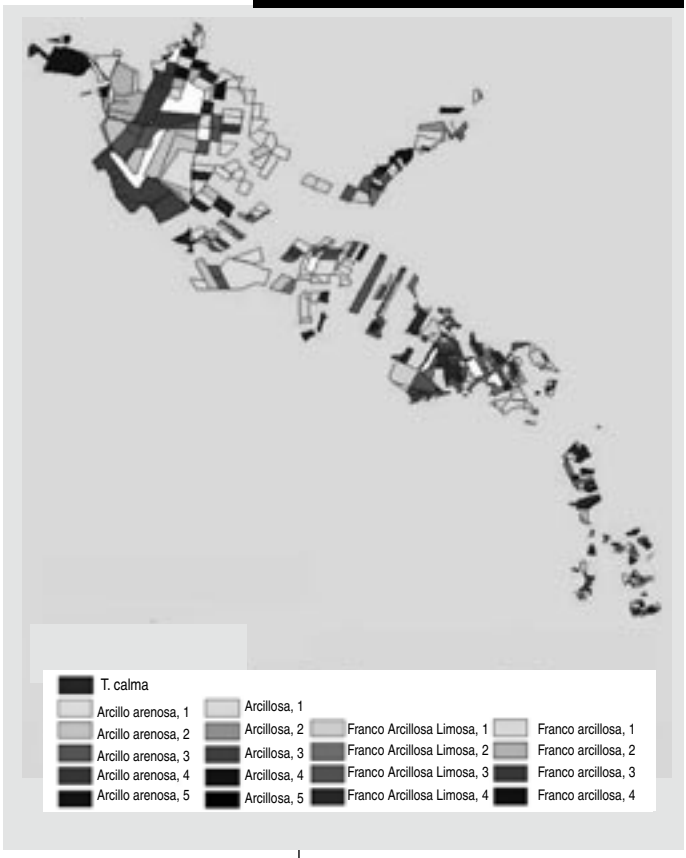
Fuente: Elaboración propia.

CUADRO V.3 **Porcentaje de arena, limo y arcilla que existen en las distintas texturas**

Textura	Arena	Limo	Arcilla
Arcillo arenosa	49.38	11.13	39.48
Arcillosa	40.37	10.47	49.17
Franco arcillo limosa	13.17	54.62	32.20
Franco arcillosa	27.58	35.22	37.18

Fuente: Elaboración propia.

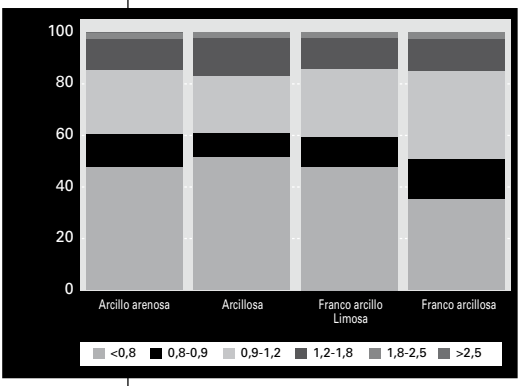
GRÁFICO V.16 **Mapas de textura-categoría de RWS**



Fuente: Elaboración propia.

De este modo, se ha combinado la información de la categoría a la que pertenece cada parcela con el tipo de suelo de la misma, obteniéndose mapas textura-categoría como el mostrado en la campaña 02-03.

GRÁFICO V.17 **Porcentaje de parcelas en cada categoría según tipo de suelo**



Fuente: Elaboración propia.

En el gráfico V.17, se han representado los porcentajes de número de parcelas en cada una de las categorías de RWS según el tipo de suelo para una media de todas las campañas estudiadas. Se observa cómo dichos porcentajes no varían mucho dependiendo de la textura del suelo, destacando quizás el caso de la Franco arcillosa, en el que el número de parcelas con déficit de agua es inferior. No obstante, se puede concluir que el tipo de suelo presente en la parcela no influye en la cantidad total de agua aportada al cultivo con respecto a sus necesidades.

Resultados del estudio temporal

Capítulo VI

VI. RESULTADOS DEL ESTUDIO TEMPORAL

De los resultados obtenidos se pueden realizar multitud de consideraciones. Primeramente éstas se harán de forma general y posteriormente se realizará un análisis según los distintos cultivos. Aunque se han tratado los datos de todas las parcelas, sólo se analizarán aquellos casos en los que se tenga un monocultivo en la parcela debido a que en el caso de haber más de un cultivo, al desconocerse los porcentajes de los mismos, el cálculo de las necesidades no es correcto y además no es posible saber qué cantidades de agua se aportan a cada cultivo. En algunos casos se han detectado fallos en la adquisición de los datos de volúmenes de agua de riego aportados, depurándose los mismos cuando era posible o no tomando en consideración la parcela afectada como es el caso de la 314. En las parcelas en donde se cultiva trigo también se han detectado fallos y la de habas apenas se riega con lo que éstas no se han considerado tampoco.

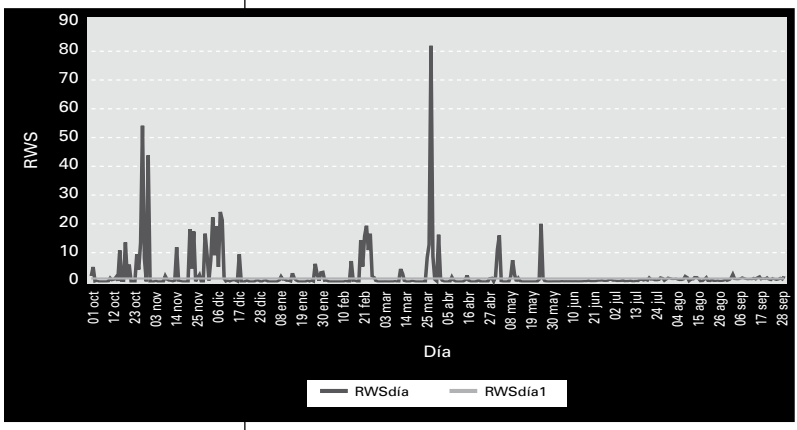
VI.1 Consideraciones generales

El RWS es un indicador apto para comprobar si las necesidades de agua del cultivo se ven satisfechas de forma correcta. No obstante, existen salvedades, ya que por ejemplo, no es tan efectivo en épocas lluviosas, puesto que, como se demuestra más adelante, sus valores se ven bastante distorsionados debido a las precipitaciones.

Después de la comparación entre los distintos tipos de indicadores, se ha podido comprobar cómo unos son más útiles que otros, dando algunos incluso una información que se puede considerar errónea. De este modo, por ejemplo, el RWS_{dia} presenta unas oscilaciones elevadas ya que depende totalmente de si en el día en cuestión se han producido aportes o no. Incluso, si no se han dado ninguno de esos dos aportes, el valor del indicador será nulo. Es por ello por lo que, aunque se ha calculado en todos los casos, no parece ser apto para trabajar con él, con lo que no ha entrado dentro del posterior análisis. El gráfico VI.1, en donde se muestran los valores del RWS_{dia} a lo largo de la campaña 03-04 para el olivo, puede servir para ilustrar su comportamiento. En ella se observa cómo oscilan los valores desde cero hasta incluso un RWS de 85 (aunque no se muestre este valor en el gráfico VI.1). A partir de junio los valores son más normales debido a que no se ven afectados por episodios de lluvia.

El RWS_{ac} puede servir para tener una idea de cómo se suplen las necesidades tomando como escala temporal desde el comienzo de la campaña (o desde la fecha de siembra) hasta el día de cálculo con lo que a medida que ese tiempo se va dilatando es menos ajustado puesto que usa los aportes totales

GRÁFICO VI.1 **Valores de $RWS_{día}$ para olivo en 03-04**



Fuente: Elaboración propia.

independientemente de si se ha aportado de golpe un día o se ha adaptado a las necesidades a lo largo del período. Con él se demuestra que calcular el RWS para toda la campaña (valor que se corresponde con el obtenido el último día del RWS_{ac}) no es lo mejor puesto que puede darse el caso de que para un valor de RWS de la campaña superior a 1 (indicaría agua suficiente) correspondiera con una campaña muy lluviosa al principio pero con escasez de agua al final, con lo que los aportes no serían realmente adecuados. Los valores de este indicador se van distorsionando conforme avanza la campaña y se van suavizando los picos.

El RWS_{sem} es quizás la forma más acertada de presentar este indicador puesto que toma en consideración el agua aportada los siete días anteriores, enfrentado con las necesidades en los mismos. De esta forma, no se ignoran aportes de agua realizados en días precedentes pero por otro lado, no se incluyen los ocasionados mucho tiempo atrás, pues obviamente el acopio de agua en el suelo no es exactamente acumulativo ni perdura de forma permanente.

Para hacer un balance a lo largo de un mes, el valor del RWS_{mes} sí que puede ser adecuado porque permitirá conocer si dicho mes ha sido excedentario o deficitario en cuanto a aportes de agua se refiere.

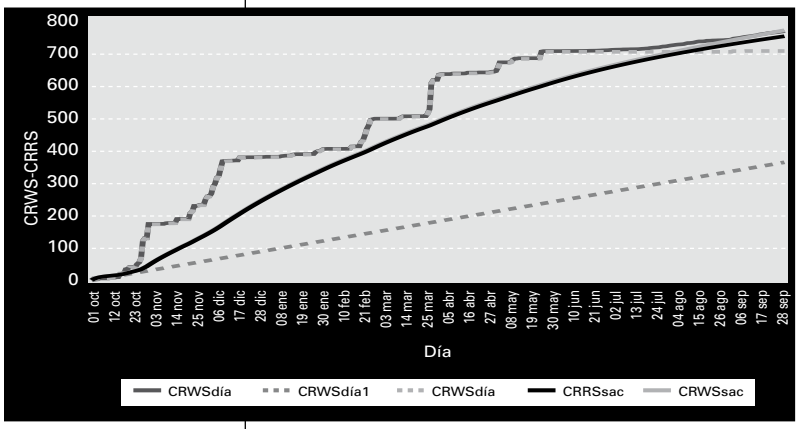
Haciendo el balance por estación, se tiene el $RWS_{estacional}$ con el cual se aprecia cómo ha sido el aporte de agua en cada una de las estaciones (otoño, invierno, primavera y verano).

En cuanto al CRWS, fijarse en sus valores sirve de poco puesto que al ser valores acumulativos, se distorsionan con las precipitaciones de la época lluviosa. Por esta razón, hay que tomar en consideración más bien las pendientes de la recta de valores y de este modo se puede conocer la tendencia del indicador (exceso de agua en caso de pendientes superiores a 1 y defecto en el caso contrario). En este caso tampoco es lógico el uso del $CRWS_{dia}$ puesto que las pendientes cambian mucho de un día a otro dependiendo de si llueve o no o se produce un riego copioso.

Igualmente el $CRWS_{ac}$ es de dudosa aplicación pues se trataría a fin de cuentas de un acumulado de acumulados y no aporta ninguna información (en todo caso, nos diría en qué momento a lo largo de la campaña pasa de haber exceso a defecto de agua). Para ilustrar esto, se muestra en el gráfico VI.2 los valores de CRWS por día y acumulados para el olivo en la campaña 03-04.

Los CRWS semanal y mensual muestran estas mismas tendencias pero de forma menos acusada.

GRÁFICO VI.2 **$CRWS_{dia/ac}$ para olivo en 03-04**



Fuente: Elaboración propia.

De este modo, el uso del CRWS no muestra excesiva utilidad en las condiciones en las que se ha usado aunque en otras sí que puede funcionar como en el caso estudiado por Rowson *et al*. (2003) para arroz.

El RRS ha demostrado ser muy útil ya que da información sobre hasta qué punto las precipitaciones sirven para satisfacer las necesidades del cultivo y por otro lado muestra cuándo el riego es innecesario, es decir, cuando

el RRS es superior a 1. De este modo, si el valor del RWS coincide con el de RRS, quiere decir que no se riega, lo cual sería adecuado en el caso de RRS > 1. Sobre el valor de RRS, el regante no puede actuar, pero sí sobre el RWS.

VI.2 RWS

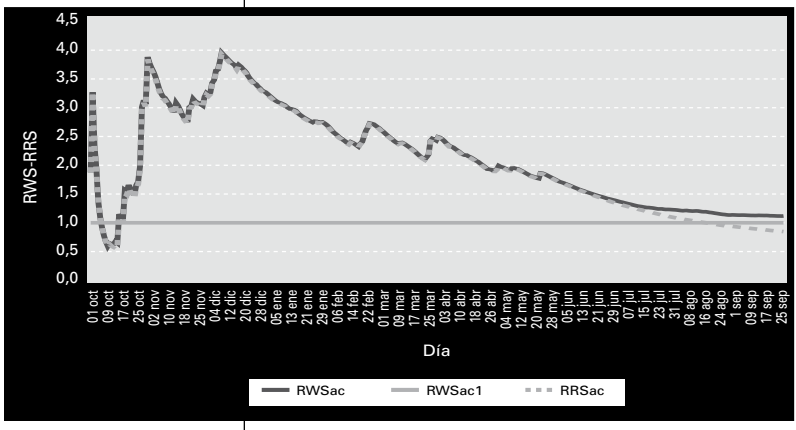
Olivar

En total se han estudiado 16 parcelas de olivar en dos campañas 03-04 y 04-05, de las cuales no se regaron 3 parcelas en la primera y 4 en la segunda.

Se han utilizado los valores medios de todas las parcelas y como tónica general se puede observar un suministro deficitario de agua, sobre todo en la última campaña, siendo menos acusado en la época húmeda de la primera.

Los valores del RWS_{ac} arrojan en la campaña 03-04 (gráfico VI.3) un déficit de agua entre el 7 y el 17 de octubre, quedando el resto de valores por encima de 1 y el RRS_{ac} muestra como, menos en el mencionado periodo y a partir del 16 de agosto, las necesidades se verían cubiertas con la lluvia acumulada. Los valores oscilan entre 0.5 y 4.

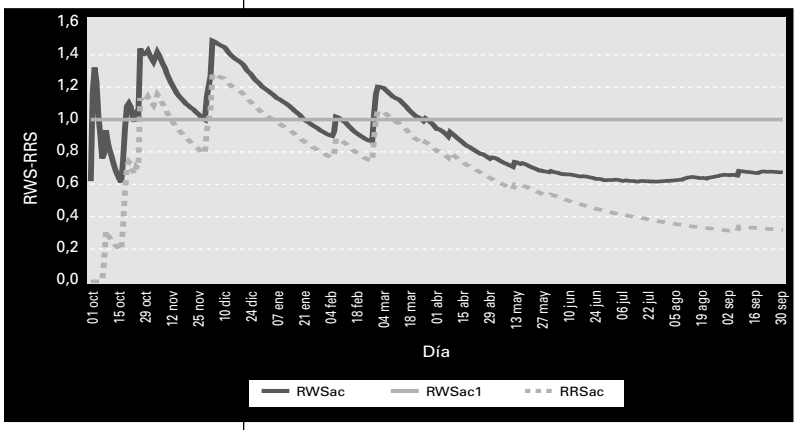
GRÁFICO VI.3 **Media de RWS_{ac} para olivar en la campaña 03-04**



Fuente: Elaboración propia.

En el caso de la 04-05 (gráfocp VI.4), los periodos de déficit son más frecuentes (del 6 al 20 de octubre y del 23 de enero al 26 de febrero) siendo

GRÁFICO VI.4 **Media de RWS_{ac} para olivar en la campaña 04-05**



Fuente: Elaboración propia.

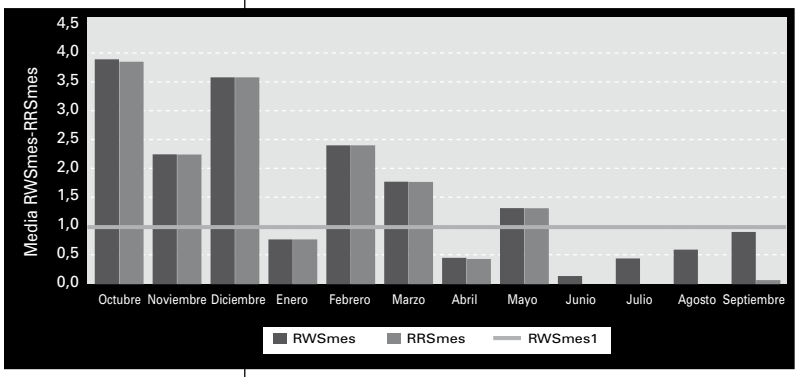
ya continuo desde el 29 de marzo en adelante. En esta campaña, sí se aprecia como las curvas de RWS y RRS están separadas desde el comienzo de la campaña lo cual implica que se han realizado riegos durante toda ella y que únicamente en un corto período de tiempo las precipitaciones podrían haber satisfecho las necesidades del cultivo. Los valores oscilan en este caso menos que en la campaña anterior, entre los valores de 0.6 y 1.5, con lo que el aporte de agua ha sido más adecuado.

Así pues, el valor de RWS_{ac} para olivo al final de la campaña indicaría que en la 03-04, el aporte de agua ha sido adecuado (RWS_{ac} = 1.12) mientras que en la 04-05 sería muy deficitario (RWS_{ac} = 0.67). Esto no es del todo correcto puesto que como después se ilustra con el RWS_{sem}, ambas campañas son deficitarias sólo que en la 03-04, las elevadas precipitaciones en la época de lluvias aumentan el valor del indicador acumulado. De hecho, como se verá con posterioridad, en la época más seca (1 de junio a 30 de septiembre), el resultado de RWS es mejor en la 04-05.

En el RWS_{mes} se observa cómo para la campaña 03-04 (gráfico VI.5), los meses de déficit son enero, abril y de Junio a Septiembre. El resto de los meses el RWS está por encima de 2 con lo cual hay exceso de agua aunque es debido a la lluvia. En enero y abril casi todo el aporte de agua es por precipitaciones mientras que de junio a septiembre todo se aporta por riego.

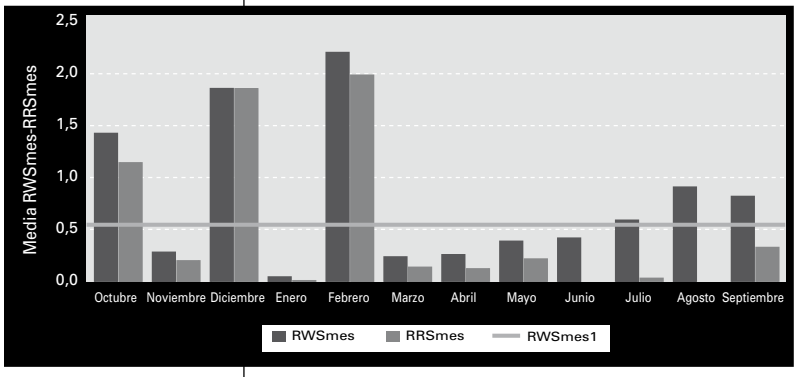
Para la campaña 04-05 (gráfico VI.6), los meses en los que hay escasez de agua son más, todos menos octubre, diciembre y febrero debido a las escasas precipitaciones.

GRÁFICO VI.5 **Media de RWS_{mes} para olivar en la campaña 03-04**



Fuente: Elaboración propia.

GRÁFICO VI.6 **Media de RWS_{mes} para olivar en la campaña 04-05**



Fuente: Elaboración propia.

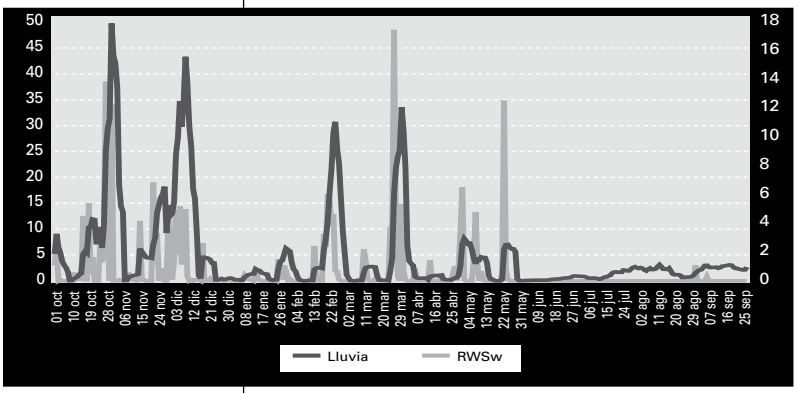
Centrando el análisis en el RWS_{sem}, se observan, lógicamente muchas más oscilaciones que en el caso de los anteriores. Para la campaña 03-04, sus valores llegan incluso hasta 18 siendo en otras ocasiones de 0, lo cual implica que el olivar no recibió nada de agua en los 7 días anteriores. A pesar de que el RWS_{mes} llega casi a 4 en octubre, hay un periodo entre el 7 y el 17 de déficit (también observado en el RWS_{ac} por no estar avanzada la campaña), situación que los agricultores tuvieron en cuenta porque dieron un pequeño riego en esas fechas, el cual no fue suficiente. A finales de octubre e inicios de noviembre, se observa también déficit que tampoco es suplido por un riego. En estos dos períodos de déficit se llegan

a valores muy bajos de RWS pero al tratarse de pocos días y estando cercanos a la recolección, no tienen una incidencia muy grande sobre la producción. Lo mismo ocurre a mediados de diciembre.

Sin embargo, desde finales de diciembre a finales de enero se produce el primer período importante de déficit hídrico con valores muy bajos de RWS en la mayoría de los casos. Desde ese momento se suceden episodios de exceso de agua y de déficit hasta que a principios de abril la falta de agua es ya continua hasta el final de la campaña, salvo un par de períodos en mayo.

Superponiendo el RWS_{sem} con las precipitaciones (gráfico VI.7), se aprecia cómo los picos se corresponden con los períodos de precipitaciones abundantes lo cual demuestra la gran influencia de las lluvias sobre el indicador, sobre todo en épocas donde las necesidades de los cultivos no son muy elevadas. Así pues, como se observa con los valores de RRS (gráfico VI.8), los excesos de agua están provocados por las precipitaciones (la línea correspondiente al RRS no se separa de la del RWS) con lo que no existe en ningún caso un riego excesivo sino falta del mismo.

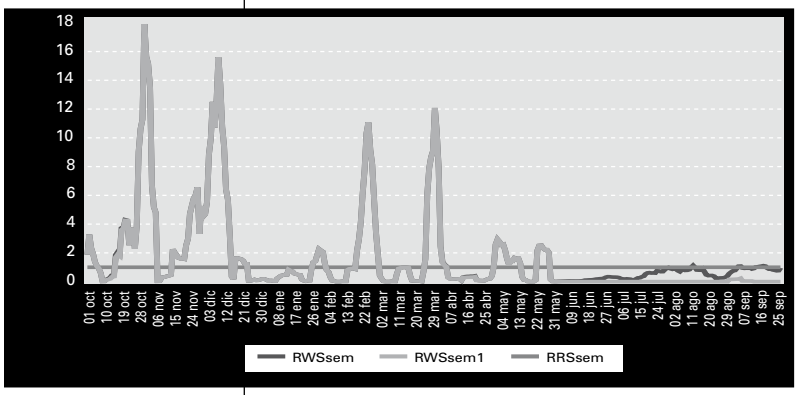
GRÁFICO VI.7 **Relación de las precipitaciones RWS_{sem} para olivo en la campaña 03-04**



Fuente: Elaboración propia.

En el gráfico VI.8 se muestran los valores del RWS_{sem} y RRS_{sem} hasta un valor de 3 para que se aprecien mejor los efectos del riego. Se puede observar que salvo en unos pocos días, no se consigue un aporte de agua adecuado con los riegos, siendo el promedio del indicador en la época seca (1 de junio a 30 de septiembre) de 0.51.

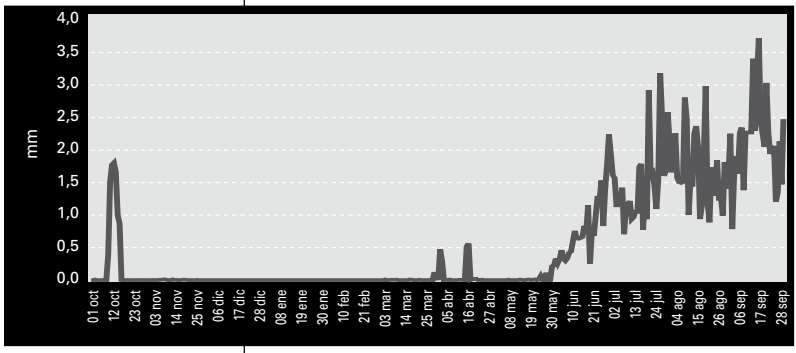
GRÁFICO VI.8 **Media de RWS$_{sem}$ para olivar en la campaña 03-04**



Fuente: Elaboración propia.

En el gráfico VI.9 se muestra la media de los riegos que se han realizado y se observa como, menos un pequeño riego a mitad de octubre y en abril, se comienza ya a regar en junio. Los valores de RWS hacen pensar que hubiera sido deseable dar algunos riegos por ejemplo a principios de enero y aumentar los riegos dados en octubre y abril.

GRÁFICO VI.9 **Media de las láminas de riego usadas para olivar en la campaña 03-04**



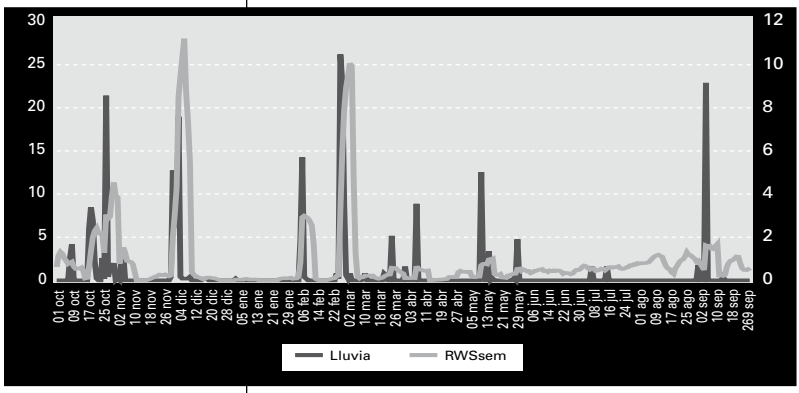
Fuente: Elaboración propia.

En cuanto a la campaña 04-05, el RWS se queda por debajo de 12, con lo que los excesos de agua son menores que en la campaña anterior. Al contrario que en la campaña 03-04, en la que todos los excesos de agua

eran debidos a la lluvia, en este caso, existen aportes de agua cuando no son necesarios porque ya las precipitaciones cubren las necesidades (RRS por encima de 1). Los períodos de déficit hídrico son en esta campaña más frecuentes y perduran durante más tiempo pero cuando existe escasez de agua, ésta es menos acusada porque se ve suplido por un riego, no obstante insuficiente en la mayoría de los casos. Únicamente se observan 4 episodios de exceso de agua en octubre, diciembre y febrero, lo cual coincide con lo mostrado con el RWS_{mes}. El promedio del indicador en la campaña es de 0.9, por lo tanto menor que en la anterior.

Superponiendo el RWS_{sem} con las precipitaciones (gráfico VI.10), se aprecia cómo los picos también en esta campaña se corresponden con los períodos de precipitaciones abundantes aunque se observa cómo esta influencia es menor cuando se está regando con lo que se podría decir que a más riego, menor incidencia de las precipitaciones sobre el comportamiento del indicador.

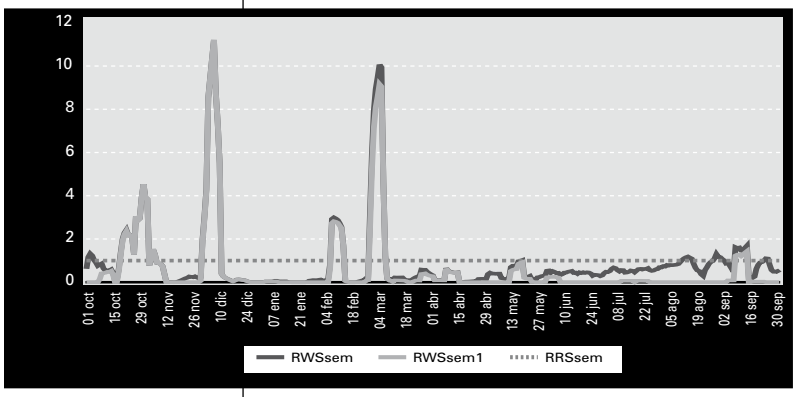
GRÁFICO VI.10 **Relación de las precipitaciones con el RWS_{sem} para olivar en la campaña 04-05**



Fuente: Elaboración propia.

El gráfico VI.11 muestra los valores del RWS_{sem} y RRS_{sem} (hasta un valor de 3) y se puede observar que salvo en unos pocos días, el RRS se separa del RWS, indicando las bajas precipitaciones y la ocurrencia del riego. Con el mismo, se consigue aumentar los valores del RWS sobre todo a partir de mitad de mayo con lo que se consigue un comportamiento más adecuado que en la misma época de la campaña anterior, siendo el promedio del indicador del 1 de junio al 30 de septiembre de 0.69.

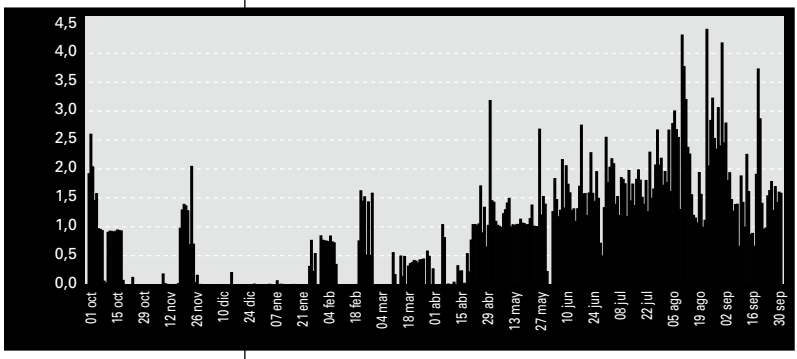
GRÁFICO VI.11 **Media de RWS_{sem} para olivar en la campaña 04-05**



Fuente: Elaboración propia.

En el gráfico VI.12 se muestran los riegos dados en esta campaña, que en este caso se reparten más a lo largo de toda ella y son más cuantiosos que en la 03-04 debido a la sequedad de la campaña. Aún así, son insuficientes y hubieran sido deseables riegos en la segunda quincena de diciembre, en enero, marzo y abril, así como aumentar los de mayo a julio.

GRÁFICO VI.12 **Media de las láminas de riego usadas para olivar en la campaña 04-05**



Fuente: Elaboración propia.

Estudiando el $RWS_{estacional}$ y el $RRS_{estacional}$ (cuadro VI.1), se puede apreciar cómo en la campaña 03-04 hubo un exceso de agua en otoño, siendo óptimo en primavera e invierno, en los tres casos, debido a las precipitaciones. En

verano, el aporte de agua es escaso y se debe casi por completo al riego. Sin embargo, en la campaña 04-05, se producen menos precipitaciones y el riego se reparte más a lo largo de la campaña. El resultado es un aporte aceptable de agua en otoño e invierno y algo deficitario en verano, existiendo falta de agua en primavera. Es de destacar que en verano se consigue un valor de RWS mayor que en la campaña anterior a pesar de que llovió menos.

CUADRO VI.1 **$RWS_{estacional}$ y $RRS_{estacional}$**

Estación	Campaña 03-04		Campaña 04-05	
	$RWS_{estacional}$	$RRS_{estacional}$	$RWS_{estacional}$	$RRS_{estacional}$
Otoño	3.062	2.777	1.356	0.948
Invierno	1.118	1.117	0.858	0.672
Primavera	0.962	0.903	0.461	0.135
Verano	0.568	0.013	0.752	0.097

Fuente: Elaboración propia.

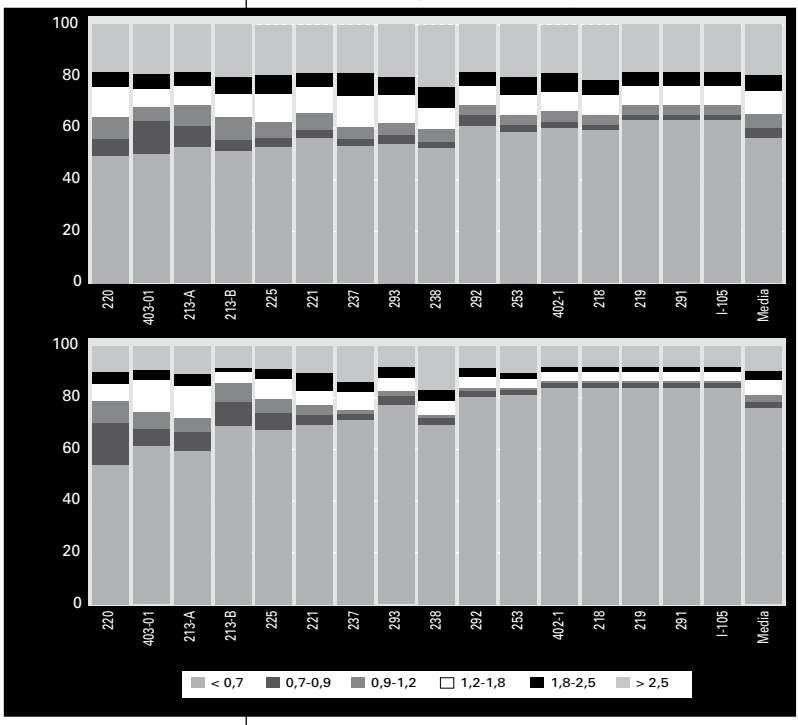
Así pues, en el caso de una campaña con más precipitaciones, existen más diferencias entre estaciones en cuanto al aporte de agua se refiere.

Se podría establecer que las parcelas que podrían tomarse como modelo son la 403-01 en ambas campañas, la 213-A y 220 en la 03-04 y la 237 en la 04-05. Por el contrario, las que peor comportamiento presentan son la 253, 238 y 402-I en ambas campañas y la 220 en la 04-05, lo que llama la atención debido a que esta última parcela tuvo un buen comportamiento en la primera campaña estudiada. Es destacable el hecho de que todas las parcelas que presentan un mejor riego lo realizan por goteo, siendo por aspersión en las parcelas que presentan un mal riego (exceptuando el caso de la 220).

En el gráfico VI.13 se presentan las frecuencias de los valores obtenidos cada día del RWS_{sem} a lo largo de la campaña en las distintas parcelas. Se puede observar cómo en todos los casos se tiene al menos un 50 por ciento de días con un cierto déficit de agua (valores por debajo de 0.7[1]). Las diferencias entre las parcelas con más y con menos déficit son mucho mayores en el año seco (30 por ciento de diferencia frente al 13 por ciento respectivamente).

1 Al ser frecuente en el olivo realizar riegos deficitarios se toma el umbral de RWS = 0.7 como valor para determinar déficit de agua en lugar de 0.8.

GRÁFICO VI.13 **Frecuencias de los valores de RWSsem para olivo. Campañas 03-04 y 04-05** *(porcentajes)*



Fuente: Elaboración propia.

En el cuadro VI.2 se muestra la dotación en cada una de las parcelas en ambas campañas. Se aprecia cómo la media del volumen de agua empleado para el riego es superior en la campaña 04-05, aunque se observan principalmente dos comportamientos en esa campaña seca, por un lado hay parcelas que aumentan su riego y por el contrario otras no riegan.

Es de destacar el hecho de que no por regar mucho se estará haciendo de forma correcta como se pone de manifiesto, por ejemplo, en la parcela 238, que presenta los mayores dotaciones y sin embargo, el riego es inadecuado.

CUADRO VI.2 **Dotación por campaña**

Parcela	Riego 03-04 (m^3/ha)	Riego 04-05 (m^3/ha)
213-A	1959	2616
213-B	2356	3707
220	2490	49
218	1782	4460
219	0	0
221	1745	2828
237	2151	4386
225	1895	3279
238	3401	5662
253	1658	1013
293	1879	0
292	950	1711
291	0	0
402-I	575	558
I-105	0	0
403-01	2496	4803
Media	1583	2192

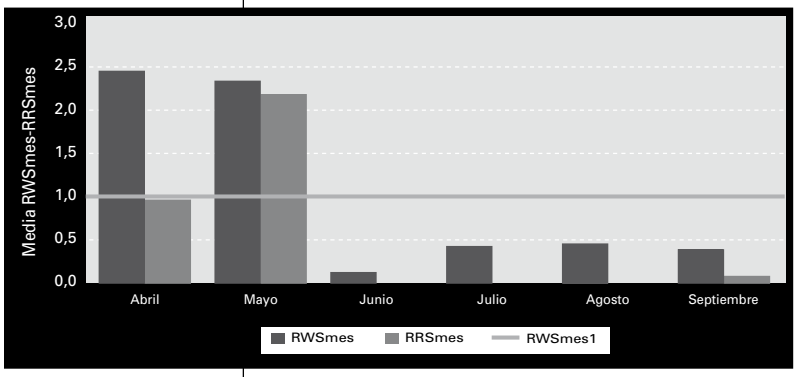
Fuente: Elaboración propia.

Algodón

En el caso del cultivo de algodón, se tienen 5 parcelas en la campaña 03-04 y 4 en la 04-05. En la primera campaña, 3 de las parcelas riegan de forma normal y las 2 restantes, de forma deficitaria. En la siguiente campaña, una de las parcelas (314) no se tendrá en cuenta debido a que presenta fallos en la adquisición de datos del telecontrol, que registró volúmenes muy excesivos. En cuanto a las 3 restantes, dos de ellas apenas riegan y la tercera lo hace de forma deficitaria.

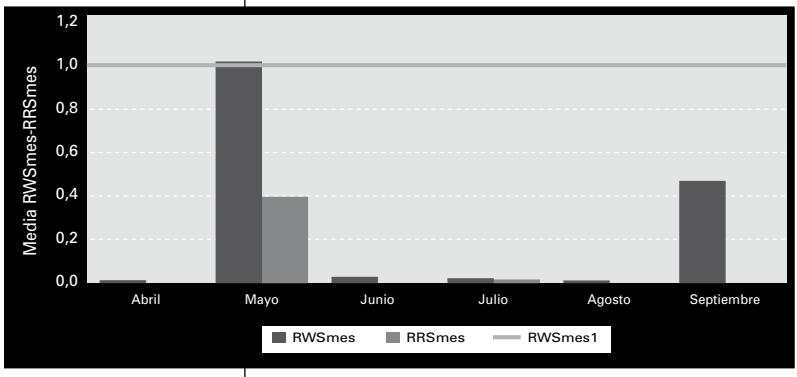
Los valores del RWS_{ac} y del RWS_{mes} (gráfico VI.14) muestran en la campaña 03-04 cómo existen claramente dos períodos, uno de exceso de agua (abril-mayo) y otro de escasez (junio-septiembre). En abril se hubiera tenido suficiente agua únicamente con los aportes naturales y en mayo el exceso se debe precisamente a las precipitaciones. Para la campaña 04-05 (gráfico VI.15), se observa cómo únicamente en mayo el aporte de agua se acerca al conveniente. El resto de meses, el aporte es muy escaso, casi nulo.

GRÁFICO VI.14 **Media de RWS_{mes} para algodón en la campaña 03-04**



Fuente: Elaboración propia.

GRÁFICO VI.15 **Media de RWS_{mes} para algodón en la campaña 04-05**

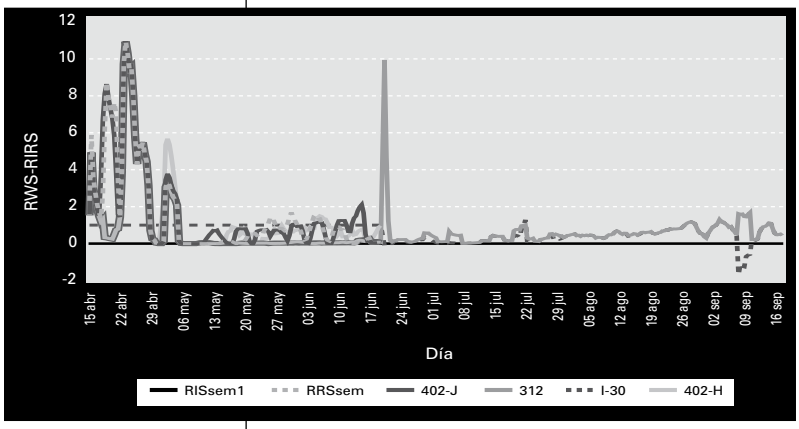


Fuente: Elaboración propia.

En el gráfico VI.16 se presentan los valores de RWS_{sem} para la campaña 03-04, pero esta vez distinguiendo entre parcelas. De nuevo se aprecian las dos épocas, una de exceso y otra de déficit aunque esta vez depende de la parcela. Se observa cómo las líneas correspondientes a las parcelas I-26 e I-30, coinciden con la del RRS lo cual quiere decir que apenas riegan. En la segunda quincena de abril, se riega muy en exceso en las parcelas 402-H y 402-J, apareciendo un déficit en las restantes. A finales de mayo se vuelve a observar un riego excesivo en las parcelas 312, 402-H y 402-J. En junio hay escasez de agua y a finales de dicho mes empiezan ya a regar en las parcelas antes mencionadas aunque los valores de RWS oscilan mucho. En

la 402-J se concentran algo más los aportes de agua pero se empieza a regar más tarde y se termina antes. En la 312 se consiguen valores aceptables aunque en algunas semanas se produce un déficit.

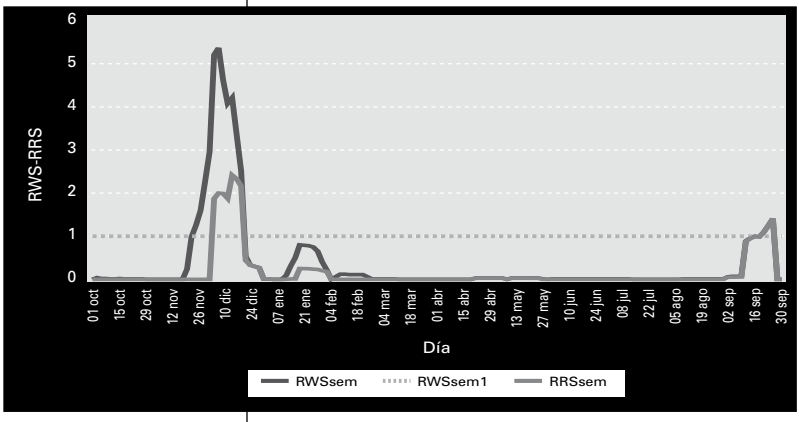
GRÁFICO VI.16 **Valores de RWS_{sem} para algodón en la campaña 03-04**



Fuente: Elaboración propia.

Para la campaña 04-05, el aporte de agua es casi nulo salvo en la parcela 241 (gráfico VI.17) en la cual se tiene un exceso de agua del 6 al 20 de mayo, presentando déficit el resto de la campaña salvo a principios de junio y de septiembre.

GRÁFICO VI.17 **Valores de RWS_{sem} para algodón en la campaña 04-05**

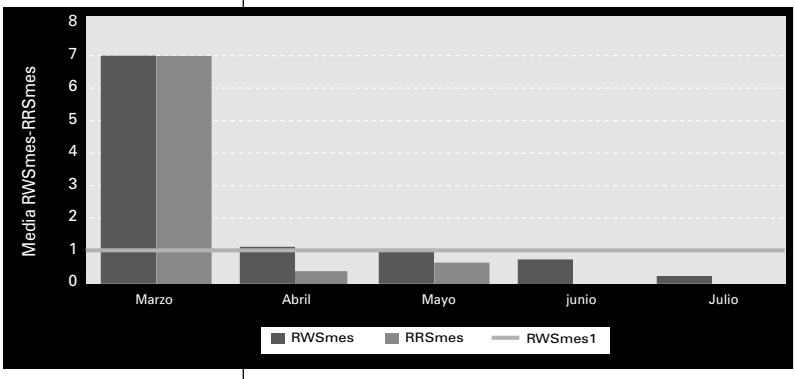


Fuente: Elaboración propia.

Patata

Este cultivo se da únicamente en una parcela, la 241 y en la campaña 03-04, aplicándose algo más de 3000 m^3/ha. Se observa (gráfico VI.18) exceso, debido por completo a las precipitaciones, en marzo, un aporte correcto de agua en abril y mayo, ligero déficit en junio y escasez en julio.

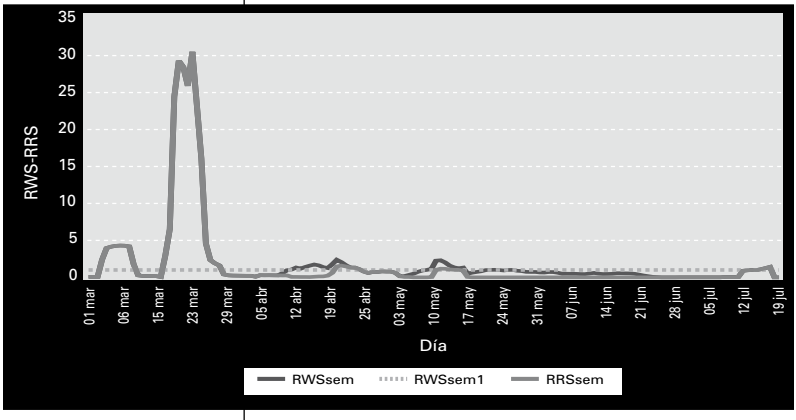
GRÁFICO VI.18 **Valores de RWS_{mes} para patata en la campaña 03-04**



Fuente: Elaboración propia.

En la gráfica de RWS_{sem} (gráfico VI.19) se observa cómo el exceso de agua se concentra en los últimos días de marzo, coincidiendo con las precipitaciones. Los periodos de escasez de agua se dan sobre todo posteriormente a los episodios de precipitaciones y al final del ciclo de cultivo.

GRÁFICO VI.19 **Valores de RWS_{sem} para patata en la campaña 03-04**

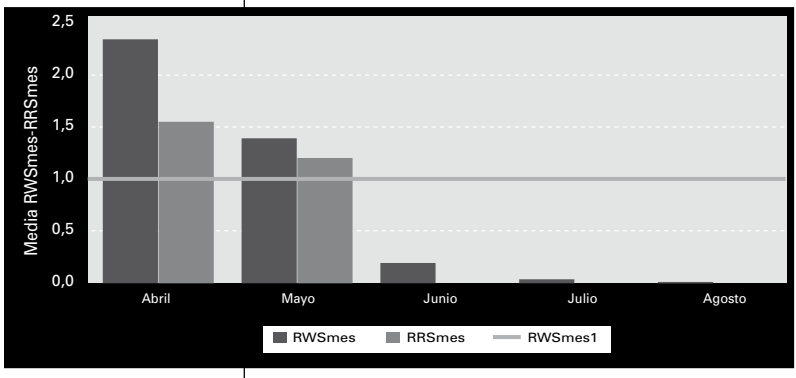


Fuente: Elaboración propia.

Maíz

Únicamente dos parcelas presentan cultivo de maíz, una en cada campaña. En la campaña 03-04, en la parcela 397, se riega muy poco (760 m^3/ha) y aunque los dos primeros meses del ciclo llueve bastante y con eso es suficiente (y aún así se riega de forma innecesaria), los otros tres meses el cultivo apenas recibe agua (gráfico VI.20).

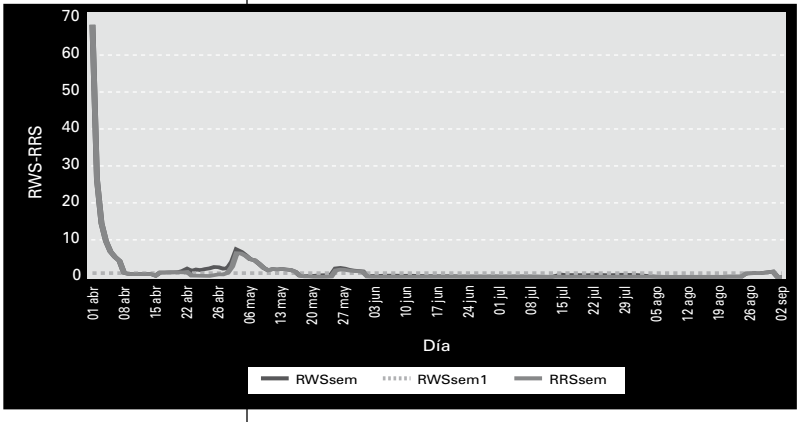
GRÁFICO VI.20 **Valores de RWS_{mes} para maíz en la campaña 03-04**



Fuente: Elaboración propia.

En el gráfico VI.21 se puede apreciar cómo hasta mediados de mayo, el agua de lluvia es suficiente (menos la última semana de abril) y sin embargo, una vez entrado en junio, el agua aportada es muy escasa, siendo nula a partir de la segunda quincena de julio.

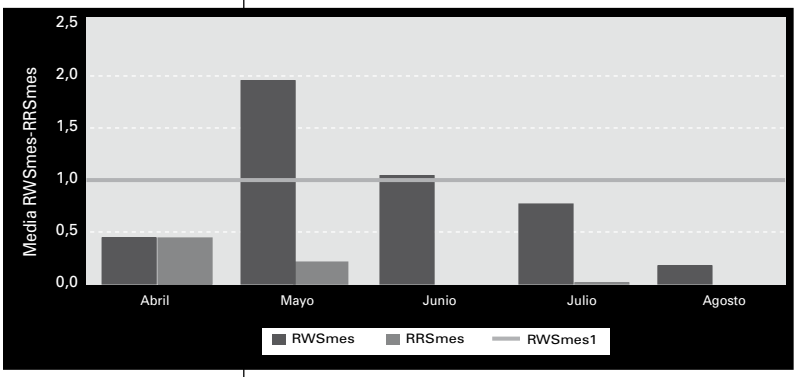
GRÁFICO VI.21 **Valores de RWS_{sem} para maíz en la campaña 03-04**



Fuente: Elaboración propia.

Por el contrario, en la campaña 04-05, se riega bastante bien en la parcela 312 (6746 m^3/ha), siendo el aporte de agua por precipitaciones muy pobre. En abril, al no regarse, hay déficit de agua porque las precipitaciones no son suficientes para suplir todas las necesidades. En mayo se produce un exceso de agua, siendo el aporte óptimo en junio y algo deficitario en julio (gráfico VI.22).

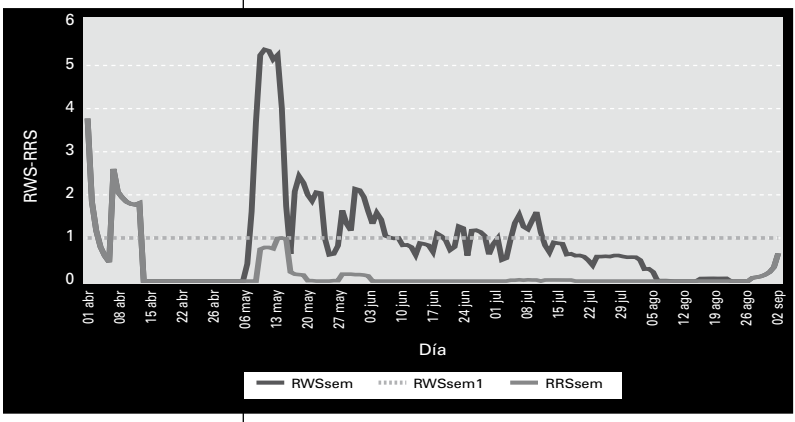
GRÁFICO VI.22 **Valores de RWS_{mes} para maíz en la campaña 04-05**



Fuente: Elaboración propia.

Estudiando el RWS_{sem} (gráfico VI.23), se observa cómo el déficit de agua se produce en la segunda quincena de abril, debido a la falta de precipitaciones y a que se empieza a regar tarde, siendo esos primeros riegos excesivos. El aporte de agua es muy ajustado hasta la última semana de julio, habiendo en agosto escasez de agua.

GRÁFICO VI.23 **Valores de RWS_{sem} para maíz en la campaña 04-05**

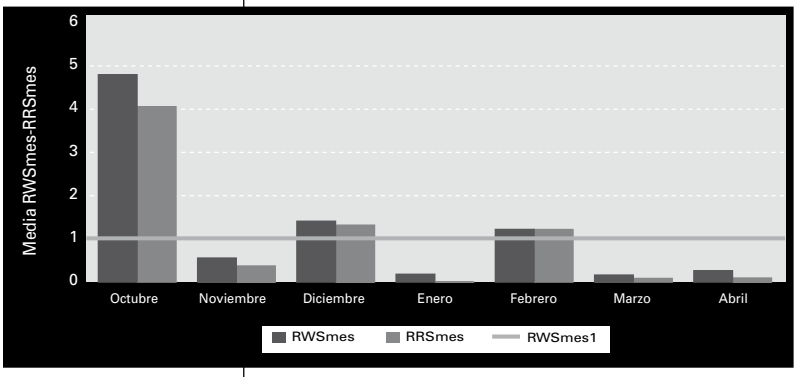


Fuente: Elaboración propia.

Ajos

El cultivo de ajo se da sólo en la campaña 04-05 en la parcela 358, regándose de forma escasa (528 m^3/ha). Se produce un exceso de agua en los meses de octubre, diciembre y febrero debido a las precipitaciones. El resto de los meses no se cubren las necesidades (gráfico VI.24).

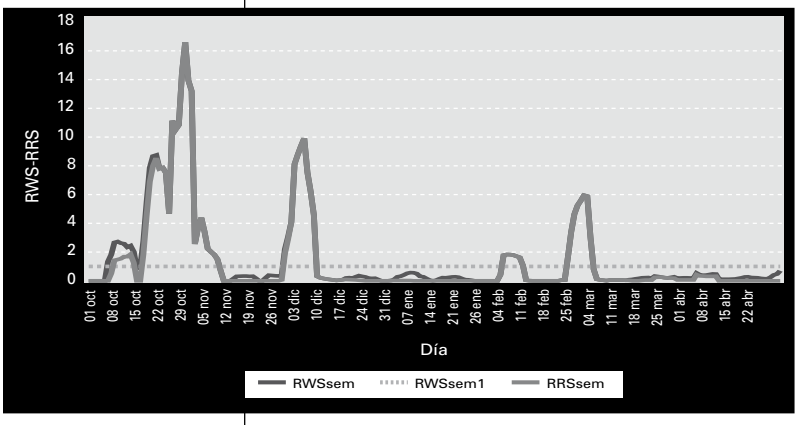
GRÁFICO VI.24 **Valores de RWS_{mes} para ajos en la campaña 04-05**



Fuente: Elaboración propia.

Como se aprecia en el gráfico VI.25, apenas se riega el cultivo y los excesos de agua se corresponden con los episodios de lluvia, salvo en la segunda semana de octubre en la que se riega a pesar de que las necesidades se cubren con las precipitaciones. En el resto del ciclo se produce un déficit hídrico salvo en momentos puntuales.

GRÁFICO VI.25 **Valores de RWS_{sem} para ajos en la campaña 04-05**

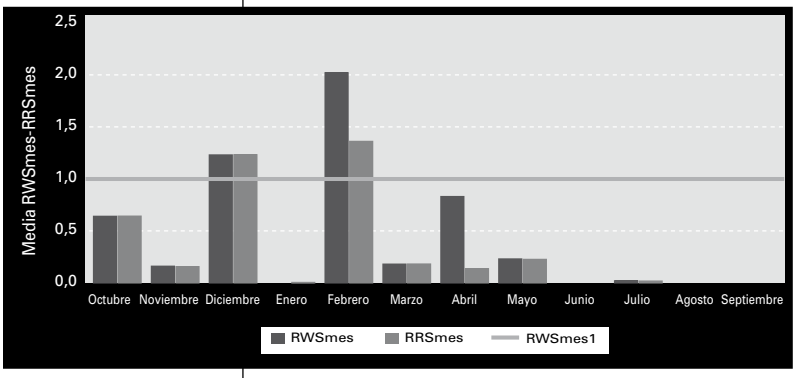


Fuente: Elaboración propia.

Espárragos

Se cultivaron en la campaña 04-05 en la parcela 402-C con poco riego (unos 900 m³/ha). Sólo se regó en febrero (en exceso) y en abril (en defecto). El resto de los meses excepto diciembre hubo falta de agua (gráfico VI.26).

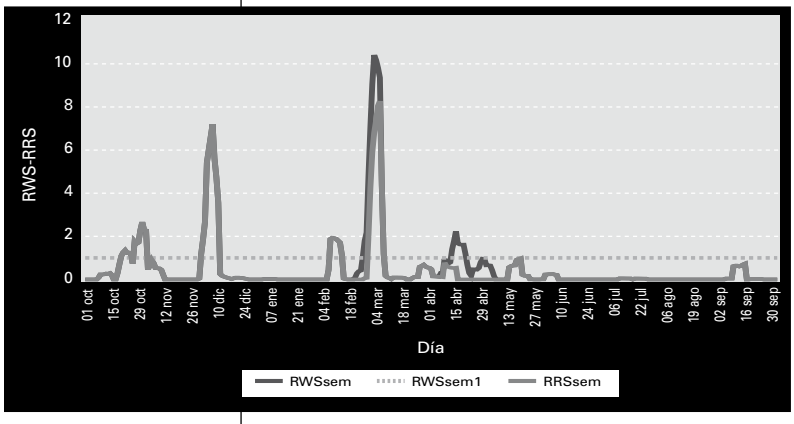
GRÁFICO VI.26 **Valores de RWS_{mes} para espárragos en la campaña 04-05**



Fuente: Elaboración propia.

Como se aprecia también en el gráfico VI.27, el riego es muy deficiente puesto que no se aporta agua en los momentos en los que las necesidades no se ven cubiertas por las precipitaciones y en algún caso se riega incluso cuando no es necesario.

GRÁFICO VI.27 **Valores de RWS_{sem} para espárragos en la campaña 04-05**



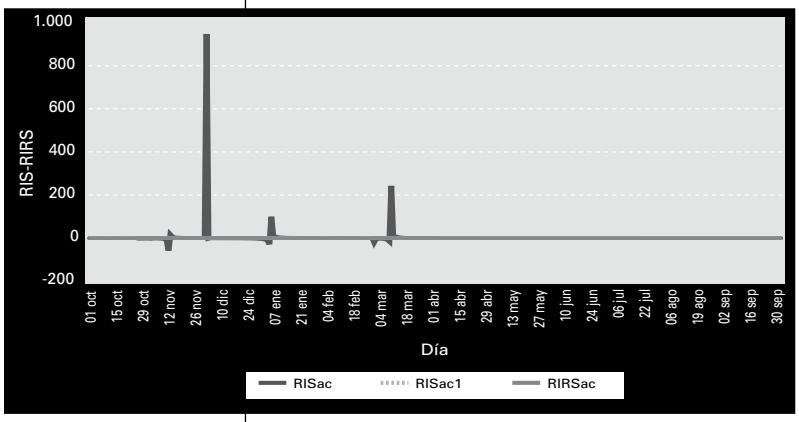
Fuente: Elaboración propia.

VI.3 RIS

Este indicador se centra más en el aporte de agua por riego y, al igual que el RWS, también se puede presentar en distintas formas que se analizan a continuación. Obviamente, a diferencia del indicador anterior, sólo toma valores si se riega.

El RIS_{dia} presenta unas oscilaciones muy grandes y depende de si en el día en cuestión se ha regado. De este modo, la información que aporta no es útil puesto que analizar el riego de un solo día no es adecuado. En este caso, tampoco el RIS_{ac} es conveniente puesto que al ir ampliando el período de cálculo, la suma de precipitaciones puede superar durante un largo período a las necesidades (dando valores negativos), sobre todo en años lluviosos e incluso en algunos momentos se igualan las necesidades con las precipitaciones, provocando acusados picos como se aprecia en el gráfico VI.28.

GRÁFICO VI.28 **RIS_{ac} para olivo en 04-05**



Fuente: Elaboración propia.

El RIS_{sem} es quizás la forma más acertada de presentar este indicador puesto que toma en consideración el agua aportada por riego durante los siete días anteriores, enfrentado con las necesidades netas (descontando el agua aportada por las precipitaciones) en los mismos. De todas maneras, sólo se observa un comportamiento adecuado del indicador en los períodos en que se riega más constantemente y las precipitaciones son menores.

Para hacer un balance a lo largo de un mes, el valor del RIS_{mes} puede ser aceptable también porque permitirá conocer si dicho mes el riego ha sido adecuado, aunque de nuevo con la salvedad de distinguir entre los meses con abundantes precipitaciones y los secos.

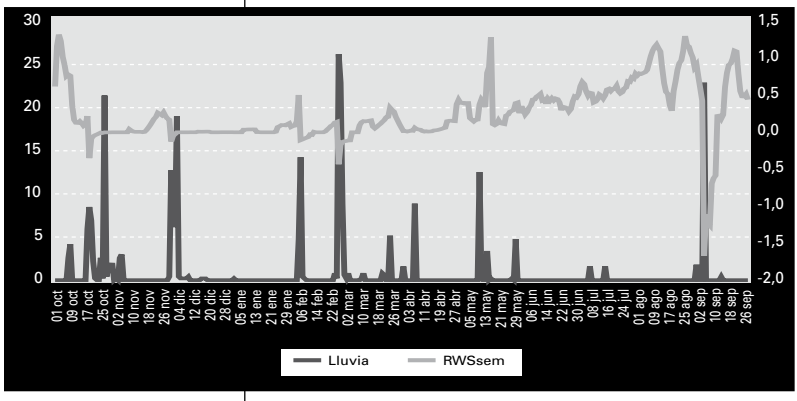
Haciendo el balance por estación, se tiene el $RIS_{estacional}$ con el cual se aprecia cómo se ha ajustado el riego en cada una de las estaciones (otoño, invierno, primavera y verano). En este caso, en las estaciones lluviosas, suelen dar un valor negativo, siendo correcto en las secas.

En cuanto al CRIS, el análisis de los resultados ha demostrado que no es adecuado su uso, puesto que al producirse valores negativos en algunas ocasiones, el acumulado ya no es válido.

El RIRS sí que ha demostrado ser muy útil ya que da dos tipos de información, por un lado indica los valores de RIS que no pueden ser tenidos en cuenta por ser erróneos (cuando RIRS = 1) y por otro, indica la proporción de necesidades que se ven cubiertas con las precipitaciones (en tanto por 1).

Como ya se ha dicho, la influencia de las lluvias sobre este indicador es muy grande puesto que de ellas depende que el valor sea correcto. En el gráfico VI.29 se aprecia cómo los valores negativos del indicador se corresponden con una precipitación abundante.

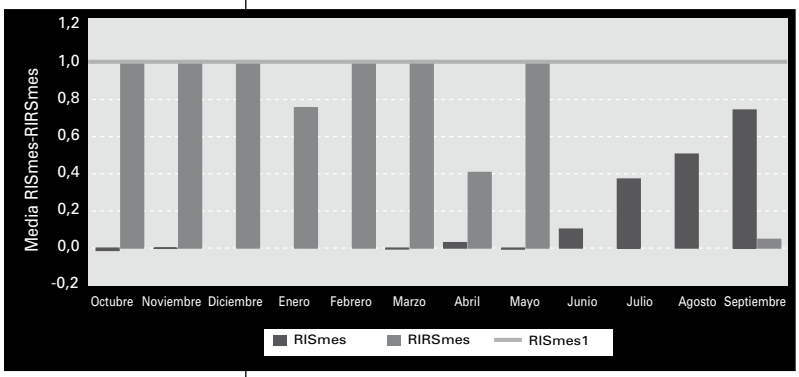
GRÁFICO VI.29 **Relación de las precipitaciones con el RIS_{mes} para olivar en la campaña 04-05**



Fuente: Elaboración propia.

Utilizando este indicador para realizar el análisis de las parcelas de olivo, se puede apreciar cómo para la campaña 03-04, se regó a partir de junio, con lo que en los meses previos, los valores para el RIS_{mes} son negativos o nulos, exceptuando abril, en el que las necesidades no se vieron cubiertas (gráfico VI.30). En esta campaña, el riego no es suficiente en ningún mes aunque en septiembre se alcanza un valor más aceptable.

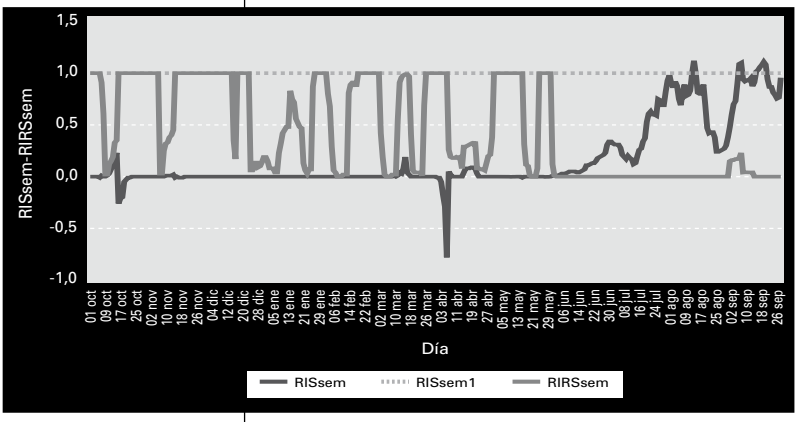
GRÁFICO VI.30 **Media de RIS_{mes} para olivar en la campaña 03-04**



Fuente: Elaboración propia.

El gráfico VI.31 muestra cómo van variando los valores del RIS_{sem} pudiéndose tomar en cuenta a partir de junio. Es a finales de julio y primera quincena de agosto donde se observan los valores más adecuados al igual que desde la segunda semana de septiembre. En los demás casos el riego es insuficiente.

GRÁFICO VI.31 **Media de RIS_{sem} para olivar en la camapaña 03-04**

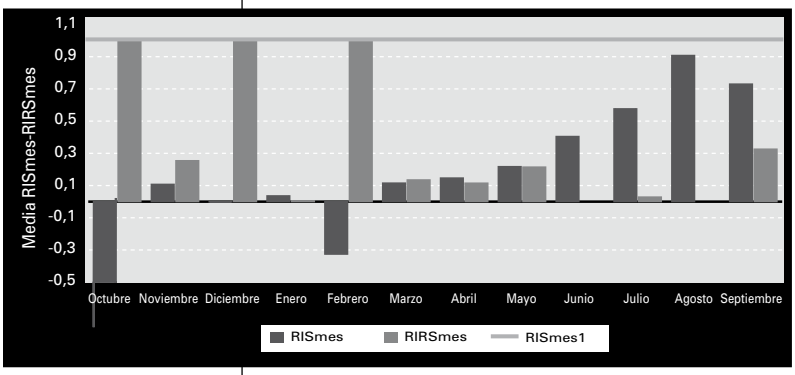


Fuente: Elaboración propia.

En la campaña 04-05 se distribuyeron más los riegos a lo largo de la campaña por lo que se tienen valores coherentes de RIS en más meses. Se observan valores negativos en octubre y febrero, en los que se produjeron

más precipitaciones. En diciembre no se regó y en noviembre, enero, marzo, abril y mayo los riegos fueron muy deficientes. En el resto de los meses se riego algo más, siendo sólo adecuado el riego en agosto y algo en septiembre (gráfico VI.32).

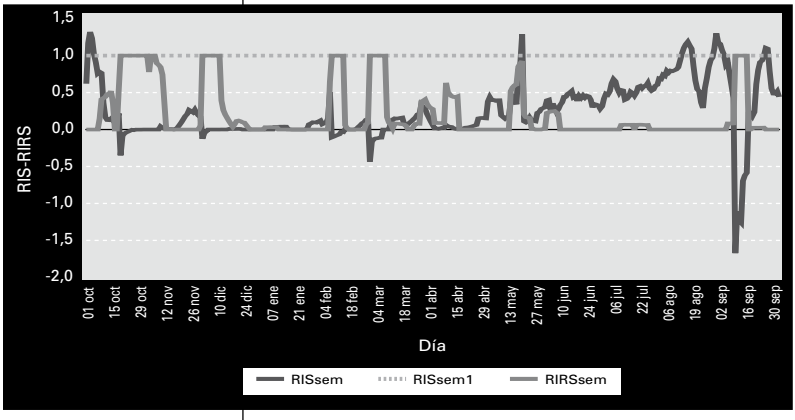
GRÁFICO VI.32 **Media de RIS$_{mes}$ para olivar en la campaña 04-05**



Fuente: Elaboración propia.

En el gráfico VI.33 se muestran los valores del RIS$_{sem}$ para esta campaña y se observa que en casi toda ella el riego es insuficiente, exceptuando pequeños períodos en octubre, mayo, agosto y septiembre.

GRÁFICO VI.33 **Media de RIS$_{sem}$ para olivar en la campaña 04-05**



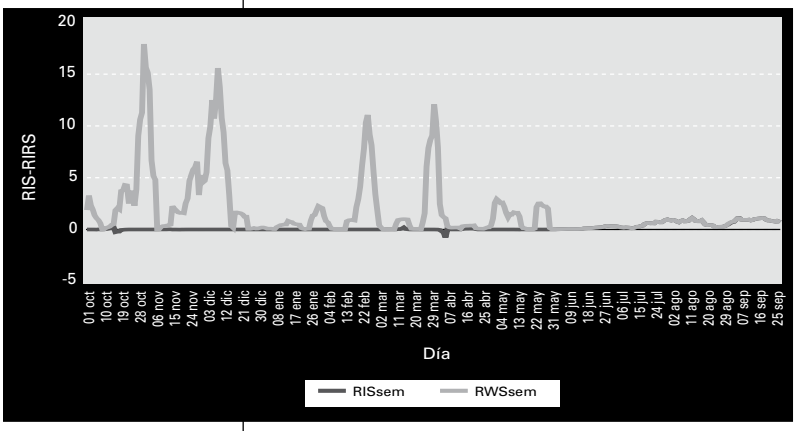
Fuente: Elaboración propia.

Comparación RIS-RWS

Se ha establecido una comparación entre los resultados obtenidos con uno y otro indicador y se ha observado cómo la información que nos dan ambos indicadores es muy parecida.

En campañas con más precipitaciones como la 03-04 (gráfico VI.34), el RWS presenta distintos valores en la época húmeda ya que normalmente no se riega (RIS = 0) o las precipitaciones exceden a las necesidades (RIS negativo). En la época seca, el RIS coincide con el RWS.

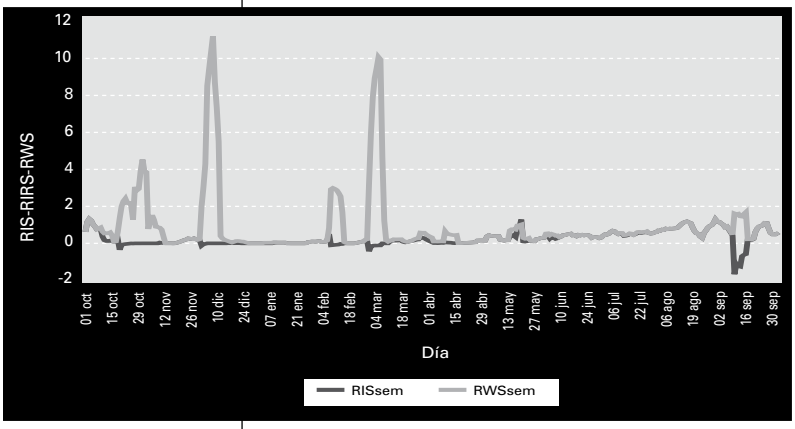
GRÁFICO VI.34 **Comparación de RIS_{sem} con RWS_{sem} para olivar en la campaña 03-04**



Fuente: Elaboración propia.

En campañas secas como la 04-05 (gráfico VI.35), los valores de RIS y RWS son muy parecidos exceptuando los períodos en los que llueve algo (cuando el RIRS es distinto de 0), siendo en este caso el RIS algo inferior al RWS.

GRÁFICO VI.35 **Comparación de RIS_{sem} con RWS_{sem} para olivar en la campaña 04-05**



Fuente: Elaboración propia.

VI.4 Balance de agua

En todas las parcelas de estudio se ha realizado también un balance de agua con el objeto de conocer cuál es el déficit de agua en cada una de ellas y cómo repercute éste sobre la pérdida en la producción final del cultivo tal y como se describe en el apartado IV.4.

En el cuadro VI.3 se muestran las características de los cultivos que se han utilizado para efectuar el balance hídrico. El factor de respuesta del cultivo (K_y), el factor de agotamiento (p) y la profundidad radicular se han tomado de los manuales FAO 56 y FAO 33 (Allen *et al.*, 1998 y Doorenbos y Pruit, 1979). Hay que destacar que no todas las parcelas tenían el mismo volumen de agua acumulada en el suelo al inicio de la campaña 03-04, estimándose el mismo mediante un balance anual de agua en el suelo desde la campaña 97-98 hasta la 02-03.

En el cuadro VI.4 se muestran, para cada campaña y parcela, el déficit de agua total (D_{yr}), las pérdidas por percolación profunda (DP), el porcentaje de pérdida de producción del cultivo (Y_{ra}), el volumen de riego aportado y la correlación entre los valores del coeficiente de estrés (K_s) y el del RWS en cada día a lo largo de la campaña.

CUADRO VI.3 **Características de los cultivos**

Cultivo	K_y (total)	p	Profundidad radicular (m)	Necesidades (mm)		Tolerancia al estrés hídrico
				03-04	04-05	
Olivo	0.2	0.65	1.2	720.42	820.95	alta
Algodón	0.85	0.65	1.2	757.44	798.55	media
Maíz	1.25	0.55	1	762.6	824.13	media
Patata	1.1	0.35	0.5	620.22		baja
Habas	1.15	0.45	0.7		521.49	baja
Ajo	1	0.3	0.4		390.81	baja
Espárragos	1	0.45	1.2		1148.22	media

Fuente: Elaboración propia.

Lo primero que queda patente es el efecto de la tolerancia de los cultivos al estrés hídrico ya que a igual déficit de agua entre las parcelas, el descenso en la producción es mucho más acusado en el caso de cultivos con baja tolerancia. Mientras en el caso del olivo, en la parcela más desfavorable, el descenso en la producción no llega al 7 por ciento en la campaña húmeda y al 14 por ciento en la seca, en cultivos como el algodón se llega a un descenso de casi el 60 por ciento si apenas se riega y sobre el 15 por ciento regando unos 450 mm.

Como se puede observar, no por tener menos déficit de agua, la reducción en la producción va a ser menor, influye el momento en el que se produce dicho déficit. Esto ocurre, por ejemplo, en las parcelas 237 y 293 en la campaña 03-04; teniendo la segunda 70 mm menos de déficit presenta más porcentaje de reducción de producción.

Lo mismo ocurre con el riego, no por aportar más dotación la reducción en la producción va a ser menor, depende del momento en que se riegue, como ocurre en las parcelas 213-A y 213-B en la campaña 03-04, en las que, a igualdad de pérdidas por percolación profunda, se producen más pérdidas en el segundo caso, aunque se aporta más volumen de agua de riego.

Debido al régimen de precipitaciones de la zona, las pérdidas por percolación profunda son elevadas en la campaña húmeda, siendo prácticamente nulas en la seca en el caso del olivo. Sin embargo, al hablar de otros cultivos, se observa cómo estas pérdidas son mayores en la campaña seca que en la húmeda, lo cual podría ser debido a un inadecuado manejo del riego.

CUADRO VI.4 **Parámetros del balance de agua en el suelo**

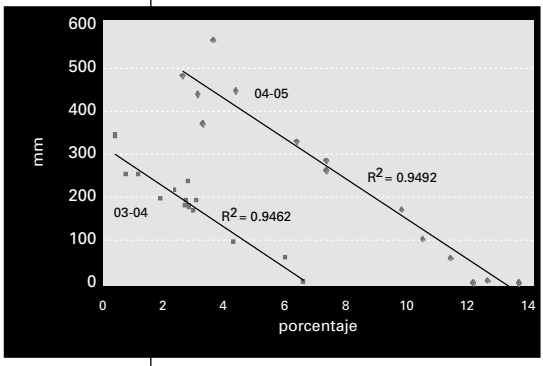
Campaña	03-04						04-05					
Parcela	Cultivo	D_{vt} (mm)	DP (mm)	Y_{ra} porcentaje	Riego (mm)	Correlación RWS-Ks	Cultivo	D_{vt} (mm)	DP (mm)	Y_{ra} porcentaje	Riego (mm)	Correlación RWS-Ks
213-A	Olivo	202,58	127,08	1,93	195,86	0,60	Olivo	541,54	0,00	7,36	261,55	0,71
213-B	Olivo	219,37	127,08	2,82	235,56	0,48	Olivo	379,53	0,00	3,32	370,75	0,72
220	Olivo	116,23	127,64	0,79	248,97	0,69	Olivo	683,71	0,00	12,67	4,88	0,82
218	Olivo	202,51	127,66	2,72	178,18	0,44	Olivo	331,58	0,00	4,38	446,04	0,48
219	Olivo	339,51	127,08	6,63	0,00	0,49	Olivo	755,00	0,00	13,71	0,00	0,91
221	Olivo	206,18	134,92	2,89	174,48	0,50	Olivo	447,43	0,00	7,37	282,83	0,64
237	Olivo	261,41	127,23	2,41	215,05	0,54	Olivo	384,29	0,00	3,14	438,57	0,21
225	Olivo	230,99	128,10	2,79	189,46	0,46	Olivo	448,24	0,00	6,40	327,89	0,43
238	Olivo	49,67	299,25	0,42	340,13	-0,03	Olivo	247,43	107,22	3,65	566,20	0,48
253	Olivo	240,69	127,08	3,01	165,82	0,43	Olivo	523,51	0,00	10,53	101,31	0,91
293	Olivo	190,65	127,11	3,12	187,85	0,40	Olivo	626,90	0,00	12,21	0,00	0,70
292	Olivo	280,25	127,08	4,34	94,95	0,39	Olivo	655,08	0,00	9,84	171,09	0,71
291	Olivo	339,51	127,08	6,63	0,00	0,49	Olivo	755,00	0,00	13,71	0,00	0,91
402-1	Olivo	316,83	127,17	6,06	57,45	0,42	Olivo	631,26	0,00	11,46	55,80	0,74
I-105	Olivo	339,51	127,08	6,63	0,00	0,49	Olivo	755,00	0,00	13,71	0,00	0,91
403-01	Olivo	102,19	144,97	1,20	249,63	0,52	Olivo	161,08	0,00	2,65	480,26	0,73
312	Algodón	358,35	90,60	18,90	419,29	0,79	Maíz	174,88	202,14	11,67	674,68	0,00
I-26	Algodón	580,49	63,52	56,90	48,32	0,97						
I-30	Algodón	582,26	63,52	56,56	22,66	0,97						
402-H	Algodón	361,44	106,88	18,70	449,22	0,73	Habas	248,79	133,56	25,91	5,05	0,49
402-J	Algodón	367,34	102,45	20,01	398,93	0,86						
241	Patata	224,83	119,23	24,97	308,59	0,84	Algodón	618,08	139,48	56,23	114,69	0,59
397	Maíz	576,25	75,9	78,91	76,03	0,99	Algodón	638,09	48,33	58,70	0,24	0,52
314							Algodón	347,57	321,11	24,94	590,69	0,82
I-28							Algodón	620,45	48,13	57,56	11,40	0,45
358							Ajo	157,83	229,45	19,32	52,85	0,25
402-C							Espárragos	690,25	96,73	47,18	91,27	0,82

Existe una aceptable correlación entre los valores de RWS y los del coeficiente de estrés, con lo cual, se corrobora que es posible usar el indicador RWS como aproximación. Dicha correlación es mayor en la campaña seca, lo cual apoya la conclusión de la gran influencia que tienen las precipitaciones sobre el valor del RWS, distorsionando sus resultados. De este modo, se observan bajas correlaciones cuanto menor es el déficit de agua y mayores las pérdidas por percolación profunda. Es de reseñar que en la parcela 238 para la campaña 03-04 la correlación es muy pequeña y negativa debido precisamente al exceso de pérdidas por percolación.

Olivar

El caso del olivar es un tanto atípico dada su alta tolerancia frente a situaciones de estrés hídrico. Las pérdidas en la producción oscilan entre 0.42 y 6.63 por ciento en la campaña 03-04 y entre 2.65 y 13.71 por ciento, con lo cual dichas pérdidas se duplican en la campaña seca. Además, existe una relación directa entre el agua de riego aplicada y la pérdida de producción, teniendo la recta la misma pendiente y desplazándose de forma paralela según sea la campaña húmeda o seca (gráfico VI.36). Esta relación lineal se corresponde con la misma respuesta de otros cultivos muy distintos como por ejemplo el maíz (Payero *et al*., 2006) o el trigo (Ganji *et al*., 2006).

GRÁFICO VI.36 **Relación entre las pérdidas en la producción y lámina de riego aplicada**

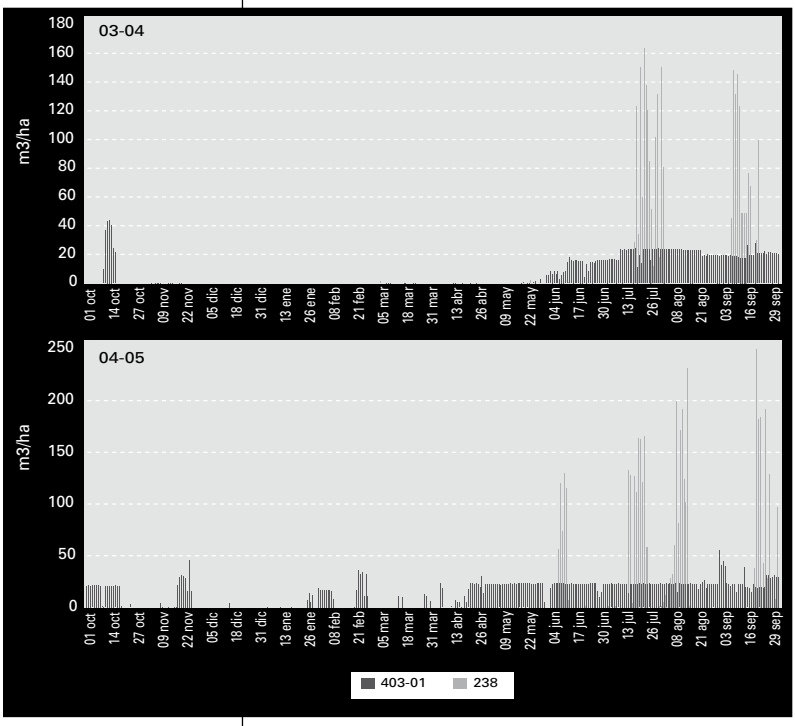


Fuente: Elaboración propia.

En la campaña 03-04, las menores pérdidas en la producción se dan en las parcelas 238, 220 y 403-01 aunque con distintas estrategias de riego. En la 04-05, vuelven a obtenerse buenos resultados en la 403-01 y 238, siendo buenos también en el caso de la 213-B y 237. No obstante, a pesar de tener pocas pérdidas en producción en la parcela 238, presenta pérdidas por percolación profunda importantes. En el gráfico VI.37 se observa una comparación entre las distribuciones de los riegos en las parcelas 403-01 y 238. En el caso de la primera, los riegos son más frecuentes y menos volumen de agua usando un sistema por goteo; en la 238, se riega por aspersión y se dan pocos riegos pero de mucha dotación de agua, lo que conlleva unas grandes pérdidas por percolación profunda.

Es también reseñable el hecho de que no existe mucha diferencia en términos de pérdida de producción entre no regar y regar muy poco, como se ilustra en el caso de las parcelas 291 y 402-I en ambas campañas.

GRÁFICO VI.37 **Distribución del riego en las parcelas 403-01 y 238 para ambas campañas**



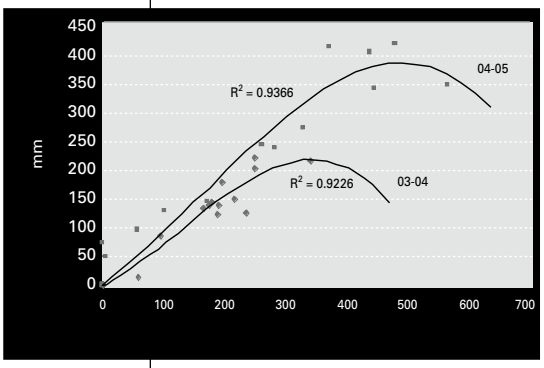
Fuente: Elaboración propia.

De cualquier forma, no siempre el óptimo en términos de rendimiento económico estará en obtener la producción máxima, dado que la aplicación de agua de riego también supone un coste. Así pues, la cantidad óptima de agua a aplicar estará en relación con el precio del producto (en este caso 0.6 €/kg de aceituna) y el del agua de riego (0.025 €/m^3). Se ha establecido como producción máxima dadas las características de la zona y condiciones de cultivo en 8000 kg/ha. Todos estos datos han sido suministrados por los técnicos de la Comunidad de Regantes.

En el gráfico VI.38, se observa que enfrentando el beneficio marginal (diferencia entre el beneficio obtenido por el incremento de producción al regar y el coste del agua utilizada) con la lámina aplicada, los resultados obtenidos se ajustan

bien a una curva de tercer grado en la que llega un momento en el que los gastos por usar más agua no compensan los beneficios obtenidos por la reducción en la pérdida de producción. De este modo, el intervalo óptimo económico de la lámina de riego a aplicar estaría cercano al máximo de la curva generada, algo más de 300 mm en caso de la 03-04 y en torno a 480 mm en la 04-05. Dichos valores no se corresponden con la lámina de agua que maximiza la producción (Ortega *et al.*, 2004), siendo ésta mayor (las curvas de máxima eficiencia económica están desplazadas con respecto a las de máxima producción). No obstante, existen salvedades ya que la producción no sólo depende de la cantidad de agua aplicada sino del momento en el que se riegue con lo que, a igualdad de lámina aplicada, serán más eficientes los que se encuentren por encima de la curva.

GRÁFICO VI.38 **Relación entre lámina de riego aplicada e incremento del beneficio por superficie**

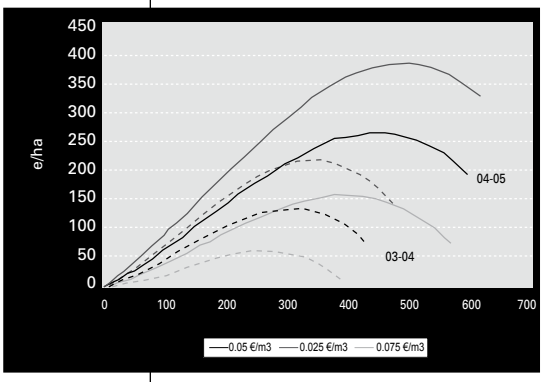


Fuente: Elaboración propia.

Del mismo modo, se observa el paralelismo entre el comportamiento de las curvas correspondientes a ambas campañas. En la húmeda, el incremento de beneficio por el aumento de producción al regar es menor (las pérdidas eran más reducidas) y el máximo se produce con una lámina menor, siendo la pendiente menos acusada.

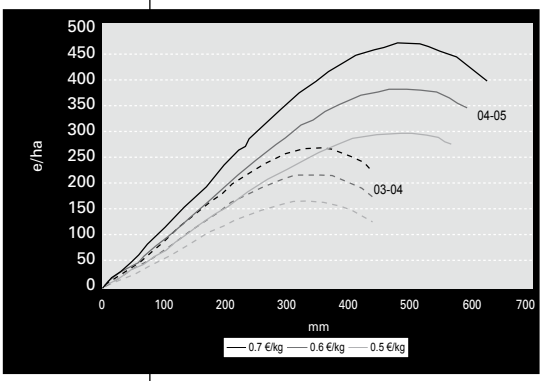
Es también obvio que en el caso de que el precio del agua se incrementará (gráfico VI.39), la lámina óptima sería menor

GRÁFICO VI.39 **Variación de la productividad con distintos precios del agua**



Fuente: Elaboración propia.

GRÁFICO VI.40 **Variación de la productividad con distintos precios del kg de aceituna**



Fuente: Elaboración propia.

(Ortega *et al.*, 2004), al igual que si el precio del producto fuera menor y viceversa. De cualquier modo, parece que el precio de la aceituna influye algo menos en la lámina óptima aunque sí en la variación de productividad por unidad de área (gráfico VI.40). Estos resultados coinciden con los obtenidos por Ghahraman *et al*. (1997) para trigo.

Por último, se han clasificado las parcelas de olivar estudiadas en función a la categoría de RWS a la que pertenecen, mostrándose las medias de distintos parámetros para cada una de ellas en el cuadro VI.5.

CUADRO VI.5 **Relación de categoría de RWS con productividad**

Categoría	Número casos	RWS	Pérdidas en producción (porcentaje)	Lámina de riego (mm)	Productividad	
					€/ha	€/m³
1	10	0.42	11.26	88	4260	0.16
2	7	0.82	5.30	226	4545	0.05
3	14	1.08	2.88	231	4662	2.59
4	1	1.32	0.42	340	4780	1.41

Fuente: Elaboración propia.

Se observa cómo a medida que el RWS es mayor, las pérdidas en producción disminuyen, con lo cual la productividad por unidad de superficie también aumenta. Por el contrario, la productividad por unidad de volumen de agua aplicado varía, siendo máxima para el caso de la categoría 3 demostrando que efectivamente se trata de un aporte de agua adecuado.

Existe una gran diferencia entre la productividad por unidad de volumen en la categoría 2 y la 3 debido a que a pesar de que se aporta más agua, el descenso en la producción sigue siendo patente.

RWS modificado

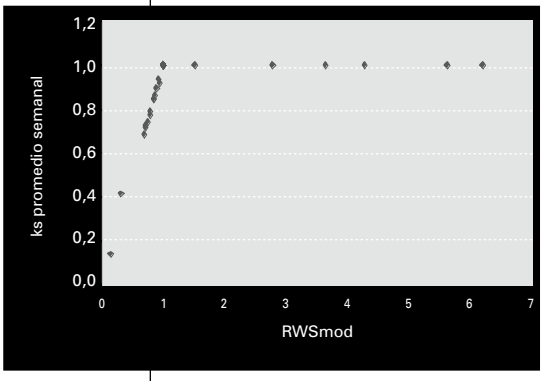
Mediante esta modificación del indicador se ha relacionado el indicador RWS para períodos inferiores a la campaña de riego con el balance de agua en parcela. Como se ha podido comprobar, no se ha encontrado una correspondencia clara entre el indicador RWS (para intervalos diarios, semanales o mensuales) y el agua de la que realmente ha dispuesto el cultivo. El motivo de esto es que el suelo actúa como un depósito de agua que puede amortiguar períodos de falta de aportaciones hídricas externas en forma de lluvia o eventos de riego. En el período anual se asume que la cantidad de agua almacenada en el suelo al inicio y al final de la campaña es la misma, por lo que este efecto amortiguador queda enmascarado.

Por estos motivos, se pensó que la mejor forma de adaptar el indicador RWS a períodos cortos y, de este modo, poder obtener la máxima información del mismo de cara al asesoramiento al regante, era incluir el balance de agua dentro del propio indicador. Concretamente se ha añadido al numerador la variación del déficit de agua en el suelo (Soil Moisture Déficit, SMD) en el período estudiado. De esta forma, el indicador considera toda el agua que realmente ha podido usar el cultivo y, por tanto, se tendrán en cuenta incluso los períodos en los que no ha habido aportaciones externas. Así pues, el indicador queda de la siguiente forma:

$$RWS\,\mathrm{mod}_i = \frac{P_i + R_i + \Delta SMD_i}{ETc_i}$$

Este indicador se ha aplicado a la parcela 213-A con los datos de la campaña 2003/04, para un período semanal. Se han relacionado los valores obtenidos del indicador con el promedio para esa misma semana del parámetro Ks, factor adimensional que informa sobre la reducción en la evapotranspiración motivada por la escasez de agua y, por tanto, con una influencia directa en la pérdida de producción.

GRÁFICO VI.41 **Relación entre valores semanales de RWSmod y Ks**

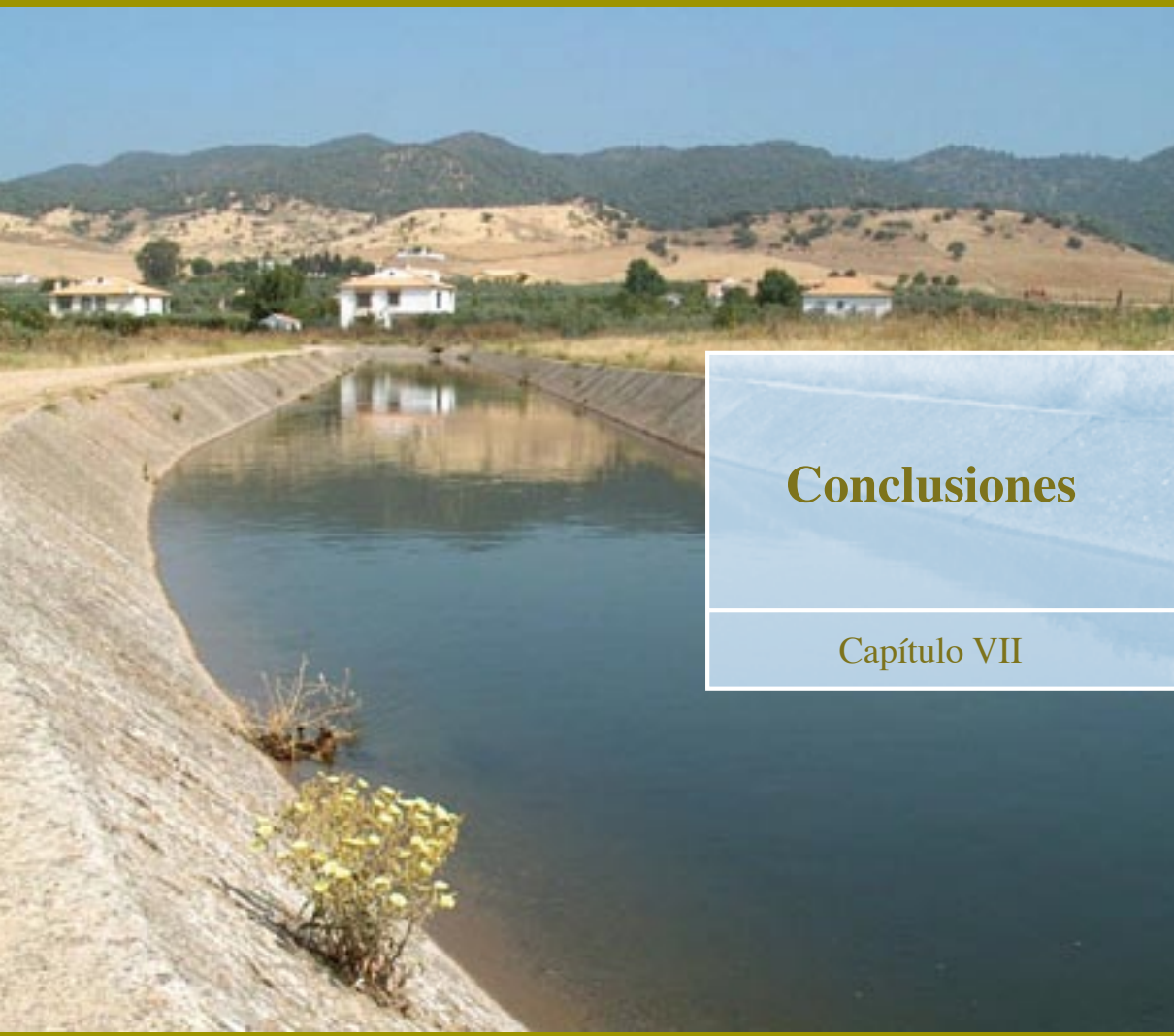


Fuente: Elaboración propia.

En el gráfico VI.41 se ha representado el

indicador RWSmod frente al Ks. Como se puede observar, existe una buena relación entre ambos. Valores de RWSmod menores a la unidad implicarán que las necesidades del cultivo en ese período no se han cubierto al 100por ciento y, por tanto, que existe una situación de riesgo en la que se prevé una merma de la productividad.

Así pues, para valores de RWSmod menores o iguales a la unidad se ha obtenido una correlación del 99 por ciento lo cual es indicativo de que la modificación realizada en el RWS da una información que puede aproximarse más a la realidad.



Conclusiones

Capítulo VII

VII. CONCLUSIONES

Gracias a este trabajo ha quedado patente la importancia de una buena gestión del agua y de un uso adecuado para riego de modo que se cumplan con los principios de sostenibilidad del recurso.

La aplicación del indicador RWS al elevado número de parcelas ha proporcionado un elemento útil para conocer las diferencias espaciales en la forma en la que se adecuan los aportes de agua a las necesidades de los cultivos en la zona de estudio. Gracias al uso de un SIG para la representación de los datos, se ha simplificado su tratamiento, pudiendo establecer un estudio gráfico de los resultados obtenidos.

Además se han combinado datos de campañas con escasez de agua con aquéllas en las que el aporte de agua por precipitaciones fue adecuado, caracterizando la incidencia que este factor tiene sobre el valor del RWS.

De los datos obtenidos se puede deducir que los regantes de esta zona no tienen en cuenta adecuadamente el agua aportada de forma natural por las precipitaciones ya que en años lluviosos los valores del RWS son altos y en los secos lo contrario, por lo que no adaptan sus riegos a esta situación. Es sólo en las últimas dos campañas cuando comienzan a ajustar los aportes a las necesidades de forma más adecuada.

Este estudio ofrece un amplio análisis de los aportes de agua en una zona ya que posibilita relacionar éstos con múltiples variables, tanto de condiciones de la zona (clima, tipo de suelo, cultivos) como de manejo del riego.

Estas técnicas combinadas con un estudio estadístico han manifestado algunas pautas y relaciones entre el aporte de agua al cultivo realizado y variables como el tamaño de la parcela, el cultivo regado o el método de riego. De este modo, parcelas más grandes suelen presentar un riego más adecuado mientras que los excesos de agua se dan en tamaños más pequeños. Por otro lado, en el riego por goteo se han observado muchos menos casos de aporte excesivo de agua.

Se puede apreciar una tendencia en algunos cultivos a aportar un exceso de agua, fundamentalmente los ajos, patatas y cultivos de huerta, destacando el olivo, espárrago y girasol con un aporte de agua deficitario. En referencia a la relación con el tipo de suelo presente en la parcela se ha comprobado que éste no influye en la cantidad de agua aportada al cultivo.

Por otro lado, existen múltiples formas de presentar el indicador RWS, sobre todo en el caso de que se tengan valores diarios de riego y precipitaciones.

El valor semanal de RWS da una información interesante aunque presenta el problema de que no tiene en cuenta el agua almacenada en el suelo. El mensual también puede ser acertado para conocer la bondad de los aportes de agua en cada mes. El estacional nos marca la diferencia entre períodos más húmedos y otros más secos, coincidiendo con las estaciones del año. El acumulado por campaña sí tiene en cuenta el agua almacenada en el suelo pero no las pérdidas por percolación profunda y se ve muy distorsionado por las precipitaciones. El resto de maneras de presentar este indicador, no son útiles y pueden llevar a equívocos. El CRWS, tampoco es especialmente útil ya que no aporta más información y además requiere trabajar con las pendientes de la curva.

En el caso del RIS, sólo sirve cuando hay riego y las precipitaciones no son abundantes ya que cuando esto ocurre, los valores son erróneos. En los casos en los que los valores de RIS sí son correctos, se parecen mucho a los del RWS, con lo que no aportan más información. En el caso del RWS no hace falta que haya riego para que se puedan tomar en consideración sus valores.

Se ha demostrado una alta influencia de las precipitaciones en los valores de los indicadores utilizados, sobre todo en el RIS, siendo muy útil en este caso el cálculo del RRS para conocer si los excesos de agua se deben a las precipitaciones o al riego.

Los valores de RWS suelen ser mejores en la campaña seca por lo que parece que los regantes se preocupan más por hacer un buen riego cuando no llueve mucho a lo largo de la campaña, esto es, riegan también en invierno y aumentan la frecuencia de los riegos. Aún así, después del análisis realizado se puede afirmar que por regla general, en la zona de estudio, se produce un déficit de agua considerable.

Por otro lado, las parcelas que cuentan con un riego por goteo suelen obtener mejores resultados en los indicadores que las que riegan por aspersión.

El hecho de tener disponible la información para poder calcular los indicadores usados en distintos períodos de tiempo, permite conocer cuál es la adecuación del riego en los momentos más críticos para el cultivo y no sólo teniendo en cuenta toda la campaña.

Al reforzar el uso de estos indicadores con un balance de agua en el suelo, se ha conseguido determinar de forma teórica las pérdidas en producción debidas a la falta de adecuación de los aportes de agua a las necesidades. También se ha verificado la influencia que tienen las variaciones en el precio del agua y en la producción agrícola en las productividades dependiendo de la lámina de agua aplicada.

Se ha observado que el indicador RWSmod está directamente relacionado con el factor de pérdida de producción Ks. Valores próximos a la unidad del indicador RWSmod indicarán que no existirá déficit de agua para el correcto crecimiento de los cultivos; superiores que el cultivo ha dispuesto de más agua de la necesaria (lo que puede indicar eventos de lluvia o riego excesivo) e inferiores que existe una situación de riesgo que podría llegar a tener un significativo impacto en la productividad.

Aunque el cálculo del indicador RWSmod es mucho más complejo que el RWS simple, debido a que requiere la realización de un balance de agua, da una información mucho más fiable que el anterior y de mayor utilidad para posibles servicios de asesoramiento.

Bibliografía

Bibliografía

Agencia Andaluza del Agua. 2005. *El agua*. Consejería de Medio Ambiente. Junta de Andalucía.

Alegre, H.; Hirnir, W.; Melo, J. y Parena, R. 2000. *Performance indicators for water supply services*. IWA Publishing.

Aldama, A. y Gómez, L. *Fortalecimiento de la Capacidad Institucional del Sector Agua en México mediante la Investigación, el Desarrollo Tecnológico y la Formación de Recursos Humanos*. IMTA. Jiutepec, Morelos, México.

Allen, R.G.; Pereira, L.S.; Raes, D. y Smith, M. 1998. *Crop evapotranspiration. Guidelines for computing crop water requirements*. FAO Irrigation and drainage paper 56. Roma. FAO.

Banfield, J. D. y Raftery, A. E. 1993. *Model-based Gaussian and non-Gaussian clustering*. Biometrics, 49: 803 - 821.

Bakhsh, A.; Colvin, T. S.; Jaynes, D. B.; Kanwar, R. S y Tim, U. S. 2000. *Using soil attributes and GIS for interpretation of spatial variability in yield*. ASAE 43: 819 - 828.

Bakhsh, A. y Kanwar, R. S. 2004. *Using discriminant analysis and GIS to delineate subsurface drainage patterns*. ASAE 47: 689-699.

Bakhsh, A.; Kanwar, R. S. y Malone, R. W. 2007. *Role of landscape and hydrologic attributes in developing and interpreting yield clusters*. Geoderma 140: 235 - 246.

Berbel, J. y Gutiérrez, C. 2004. *I Estudio de Sostenibilidad del regadío del Guadalquivir*. Feragua.

Burt, C.M. y Styles, S. W. 1998. *Water Balance – Related Performance Indicators for International Projects (Modern water control and management practices in irrigation: impact on performance)*. Modernization of irrigation system operations: proceedings on the 5th IT IS network international meeting, Aurangabad.

Camacho, E. 2005. *Análisis de la eficiencia y el ahorro del agua en la cuenca del Guadalquivir. Inversiones en la modernización de regadíos*. Jornadas de concienciación sobre el ahorro del agua organizadas por Feragua. Sevilla.

Camacho, E; Rodríguez, J.A.; Pérez, L. y Parias, P. 2007. *Debilidades del regadío en la cuenca del Guadalquivir*. XXV Congreso Nacional de Riegos. Pamplona.

Camacho Poyato, E.; Rodríguez Díaz, J.A.; López Luque, R.; Pérez Urrestarazu, L.; Estévez María, R.; Roldán Cañas, J.; Alcaide García, M.; Montesinos Barrios, P.; Moreno Pérez, F.; Rodríguez Nadales, J.R.; Segura Graíño, R. y Ortiz Fernández-Urrutia, J.A. 2004. *Aplicación de los indicadores de comportamiento y benchmarking a zonas regables de Andalucía.* Confederación Hidrográfica del Guadalquivir (CHG). Sin publicar.

Clemmens, A. J. y Molden, D. J. 2007. *Water uses and productivity of irrigation systems.* Irrigation Science 25: 247 - 261.

Consejería de Agricultura y Pesca. 2003. *Inventario y caracterización de los regadíos de Andalucía. Actualización 2002.* Junta de Andalucía.

Consejería de Medio Ambiente. 2005. *Medio ambiente en Andalucía. Informe 2004*. El agua en Andalucía. Junta de Andalucía. Sevilla.

Corominas, J. 2000. *Más allá de la modernización de regadíos*. Conferencia Inaugural del XVII Congreso Nacional de Riegos. Huelva.

Del Campo, A. 2002. *El futuro de los regadíos españoles en el contexto de la directiva europea del agua*. Seminario internacional "El agua de riego a debate". Córdoba.

Dembele, Y.; Quattara, S. y Keïta, A. 2001. *Application des indicateurs "Approvisionnement Relatif en Eau" et "Productivité de l'eau" à l'analyse des performances des petits perimètres irrigués au Burkina Faso*. Irrigation and Drainage Nº. 50.

Doorenbos, J. y Kassam, A. H. 1979. *Yield response to water*. FAO Irrigation and drainage paper No. 33, FAO, Rome, Italy.

Fraley, C. y Raftery, A.E.. 1998. *How many clusters? Which clustering method? Answers via model-based cluster analysis*. Computer Journal 4: 578 - 588.

Ganji, A.; Ponnambalam, K.; Khalili, D. y Karamouz, M. 2006. *A new stochastic optimization model for deficit irrigation.* Irrigation Science 25: 63 - 73.

Ghahraman, B. y Sepaskhah, A. R. 1997. *Use of a water deficit sensitivity index for partial irrigation scheduling of wheat and barley.* Irrigation Science 18: 11 - 16.

Gil Vacas, A. 2003. *Aplicación de la inteligencia artificial a la caracterización de la demanda de riego*. Tesis Doctoral. Universidad de Córdoba.

Gorantiwar, S. D. y Smouth, I. K. 2005. *Performance assessment of irrigation water management of heterogeneous irritation schemes: 1. A framework for evaluation*. Irrigation and Drainage Systems 19: 1 - 36.

Gundoghu, K. S.; Degirmenci, H. y Demirtas, C. 2002. *Creation of GIS suported database in irrigation project.* Proceedings of 3th International Symposium Agroenviron 2002, International Comission of Agricultural Engineering. Cairo, Egypt.

Hartkamp, A. D.; White, J. W. y Hoogenboom, G. 1999. *Interfacing geographic information systems with agronomic modeling: a review.* Agronomy Journal 91: 761 – 772.

Howes, D. J.; Burt, C. M. y Styles, S. W. 2003. *GIS mapping irrigation district rapid appraisals.* Proceedings of 2nd International Conference on Irrigation and Drainage, USCID. Phoenix, USA.

IGME. Instituto Geológico y Minero de España. *Hidrología y humedales*. Página web: http://aguas.igme.es/zonas_humedas/daimiel/medio_fisico/clima.htm

IFAPA. 2006. *La Red de Información Agroclimática de Andalucía (RIAA)*. Boletín trimestral de Información al Regante 6: 11 - 13.

Imtiyaz, M.; Mgadla, N. P. y Chepete, B. 2000. *Response of six vegetable crops to irrigation schedules.* Agricultural Water Management 45: 331 - 342.

Kadra, R. y Lamaddalena, N. 2006. *A simulation model to generate the demand hydrographs in large-scale irrigation systems.* Biosystems engineering 93 (3): 335 - 346.

Kang, S.; Zhang, L.; Liang, Y.; Hu, X.; Cai, H. y Gu, B. 2002. *Effects of limited irrigation on yield and water use efficiency of winter wheat in the Loess Plateeau of China*. Agricultural Water Management 55: 203 - 216.

Kashefipour, S. M.; Broomand Nasab, S. y Sohrabi, B. 2006. *Optimisation of water productivity using production and cost functions for cotton.* Journal of Agronomy 5 (1): 28 - 31.

Levine, G. 1982. *Relative Water Supply: An explanatory variable for irrigation systems.* Technichal Report Nº. 6. Cornell University. Ithaca, New York. EEUU.

Medina Minuesa, J. 2005. Gestión óptima del agua de riego usando métodos heurísticos. Tesis Doctoral. Universidad de Córdoba.

Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación (M.A.P.A.). 2001. *Plan Nacional de Regadíos. Horizonte 2008*. Madrid.

Molden, D; Sakthivadivel, R.; Perry, C.J., de Fraiture, C. y Kloezen, W. 1998. *Indicators for comparing performance of irrigated agricultural systems.* Research report 20, International Water Management Institute, Colombo.

Oad, R. y Sampath, R.K. 1995. *Performance measure for improving irrigation management*. Irrigation and Drainage Systems 9: 357 - 370.

Ojeda-Bustamante, W; González-Camacho, J. M.; Sifuentes-Ibarra, E.; Isidro, E. y Rendón-Pimentel, L. 2007. *Using spatial information systems to improve water management in Mexico.* Agricultural Water Management 89: 81 - 88.

Ortega, J.F.; de Juan, J.A. y Tarjuelo, J.M. 2004. *Evaluation of the water cost effect on water resource management: Application to typical crops in a semiarid region.* Agricultural Water Management 66: 125-144.

Payero, J. O.; Melvin, S. R.; Irmak, S. y Tarkalson, D. 2006. *Yield response of corn to deficit irrigation in a semiarid climate.* Agricultural Water Management 84: 101 - 112.

Pérez Urrestarazu, L. 2003. *Aplicación para el uso de los indicadores de gestión en las zonas regables*. Trabajo Profesional Fin de Carrera. Universidad de Córdoba.

Pérez Urrestarazu, L.; Rodríguez Díaz, J.A.; Camacho Poyato, E. y Alcaide García, M. 2004. *Metodología para el cálculo de Indicadores de Gestión en Zonas Regables.* XXII Congreso Nacional de Riegos. Logroño.

Pérez Urrestarazu, L.; Rodríguez Díaz, J.A.; Camacho Poyato, E; Ibáñez Verdú, M. y Deltell Padilla, G. 2005. *Análisis estacional y espacial del uso del agua en una zona regable.* XXIV Congreso Nacional de Riegos. Elche.

Pérez Urrestarazu, L.; Rodríguez Díaz, J.A.; Camacho Poyato, E. y López Luque, R. 2006. *Caracterización de la adecuación de los aportes de agua en una zona regable.* XXIV Congreso Nacional de Riegos. Lugo.

Perry, C.J. 1996. *Quantification and measurement of a minimum set of indicators of the performance of irrigation systems.* Colombo, Sri Lanka: International Irrigation Management Institute.

Pulido-Calvo, I; Montesinos, P.; Roldán, J. y Ruiz-Navarro, F. 2007. *Linear regressions and neural approaches to water demand forecasting in irrigation districts with telemetry systems.* Biosystems engineering 97: 283 - 293.

Rao, P. S. 1993. *Review of selected literature on indicators of irrigation performance.* Colombo. International Irrigation Management Institute (IIMI).

Rodríguez Díaz, J. A. 2004. *Estudio de la gestión del agua de riego y aplicación de las técnicas de benchmarking a las zonas regables de Andalucía*. Tesis doctoral. Universidad de Córdoba.

Rodríguez Nadales, J. R. 2002. *Caracterización de la demanda de agua de riego en la zona regable del Genil-Cabra. (sectores II-III y IV-VII)*. Trabajo Profesional Fin de Carrera. Universidad de Córdoba.

Rowshon, M.K.; Kwok, C.Y. y Lee, T.S. 2003. *GIS-based scheduling and monitoring of irrigation delivery for rice irrigation system. Part II. Monitoring*. Agricultural Water Management 62: 117 - 126.

Sagardoy, J. A.; Bottrall, A. y Uittenbogaard, G. O. 1986. *Organization, operation and maintenance of irrigation schemes*. FAO Irrigation and drainage paper 40. FAO. Rome.

Smith, M. 2000. *Optimising crop production and crop water management under reduced water supply.* 6th Microirrigation Congress. South Africa.

Smith, M. 1992. *CROPWAT: a computer program for irrigation planning and management*. Irrigation and Drainage Paper 46. FAO. Rome.

SPSS. 2001. *The SPSS TwoStep Cluster Component*. Technical report. USA.

Todorovic, M y Steduto, P. 2003. *A GIS for irrigation management.* Physics and Chemistry of the Earth 28: 163 - 174.

Theodoridis, S. y Koutroumbas, K. 1999. *Pattern recognition*. Academic Press, New York.

USDA Soil Conservation Service. 1993. *Irrigation water requirements*. In National Engineering Handbook, Part 623, Chapter 2. USA.

Wolters, W. y Bos, M. G. 1990. *Irrigation performance assessment and irrigation efficiency*. 1989 Annual report, International Institute for Land Reclamation and Improvement, Wageningen.

Zhang, T., Ramakrishnon, R., y Livny M. 1996. *BIRCH: An Efficient Data Clustering Method for Very Large Datebases.* Proceedings of the ACM SIGMOD

Zoebl, D. 2006. *Is water productivity a useful concept in agricultural water management?* Agricultural Water Management 84: 265 - 273.