



**Junta de Andalucía**

Consejería de Agricultura,  
Pesca, Agua y Desarrollo Rural

Instituto Andaluz de Investigación  
y Formación Agraria, Pesquera, Alimentaria  
y de la Producción Ecológica

# Recomendaciones para reducir el impacto de la sequía en almendro

## ÍNDICE

1.	Introducción	3
2.	Estrategias de riego disponibles para el almendro	4
	2.1. Riego óptimo	4
	2.2. Riego deficitario	4
	2.3. Riego de supervivencia	7
3.	Metodología de cálculo de necesidades de riego	8
	3.1. Bases de la programación de riego óptimo	8
	3.2. Bases de la programación de riego deficitario	9
	3.3. Bases de la programación de riego de supervivencia	10
4.	Resultados	11
	4.1. Necesidades de riego y estrés hídrico generado para el cultivo del almendro en comarcas representativas del Valle del Guadalquivir bajo diferentes estrategias de riego	11
	4.2. Comportamiento de una plantación de almendro situada en la comarca de Úbeda en la campaña 2022-2023 bajo diferentes estrategias de riego	15
	a. Estrategia de secano	16
	b. Estrategia de riego deficitario controlado con 500 m <sup>3</sup> /ha	17
	c. Estrategia de riego deficitario controlado con 1500 m <sup>3</sup> /ha	18
	d. Estrategia de riego deficitario controlado con 2500 m <sup>3</sup> /ha	19
	4.3. Variabilidad interprovincial de las necesidades de riego para la campaña 2022-23	20
	a. Provincia de Jaén	21
	b. Provincia de Granada	22
	c. Provincia de Córdoba	24
	d. Provincia de Sevilla	25
5.	Recomendaciones generales	
	5.1. Actuaciones en la fase de diseño	27
	5.2. Prácticas de manejo de la plantación	27
	5.3. Actuaciones relacionadas con la gestión del riego	28
6.	Referencias	29

## 1. Introducción

El cultivo del almendro (*Prunus dulcis* Mill.) está muy extendido por la Península Ibérica, cultivándose en la actualidad alrededor de 760.000 ha, representando, en superficie, más del 90 y del 35% del total de la Unión Europea y el mundo, respectivamente. Sin embargo, estos porcentajes referidos a producción son menores, abarcando aproximadamente el 73 y el 12% del total de la Unión Europea y el mundo. Estos bajos valores de producción son el resultado de los sistemas tradicionales almendreros del sur y este de España, caracterizados por ser cultivados en secano, en suelos pobres y con baja precipitación. En el caso de Andalucía, hoy en día se cultivan algo más de 170.000 ha de almendro, de las cuales casi el 85% se encuentran en condiciones de secano y el resto son plantaciones en su mayoría recientes y regadas de forma deficitaria (ESYRCE, 2021). Por provincias, Granada y Almería copan buena parte de la superficie cultivada; si bien, en los últimos años, se ha producido un incremento muy significativo de la superficie dedicada al cultivo del almendro en provincias como Córdoba o Sevilla. Así, de las 30.000 nuevas hectáreas dedicadas al almendro entre los años 2013 y 2018; 25.000 ha se pusieron en marcha en zonas de regadío; potenciado en buena parte por el incremento de precios registrado en los últimos años y la estabilidad alcanzada por los mismos. De esta forma, el cultivo del almendro ha pasado de ser un cultivo relegado a zonas poco productivas y casi en su totalidad cultivado en secano, a ser una clara alternativa a otros cultivos tradicionales en zonas agrarias de vega de gran fertilidad, y por supuesto, haciendo un uso intensivo del regadío (Gutiérrez-Gordillo 2022).

En términos de rendimiento y calidad, la disponibilidad de agua puede considerarse el principal factor limitante para este cultivo, habiéndose estimado necesidades hídricas incluso superiores a los 10.000 m<sup>3</sup>/ha en zonas productoras de almendro como es el caso de California o Australia (Goldhamer y Fereres, 2017). En el caso de Andalucía, trabajos recientes han establecido unas necesidades hídricas máximas para el cultivo del almendro en Andalucía alrededor de los 8.000 – 9.000 m<sup>3</sup>/ha<sup>1</sup> (López-López et al., 2018a, b), muy por encima de las dotaciones hídricas contempladas para este cultivo en nuestras condiciones, que en campañas sin restricciones de riego se cifran en la horquilla de los 2.500 3.500 m<sup>3</sup>/ha<sup>-1</sup>, obligando en la mayoría de las ocasiones a la implementación de estrategias de riego deficitario (RD), junto con otro tipo de prácticas agronómicas destinadas a la reducción de la superficie evapotranspirativa (tanto a nivel del cultivo como del manejo de la cubierta vegetal).

Si deficitaria es la dotación disponible en condiciones normales, en situaciones de sequía como la actual, la situación es totalmente dramática, con dotaciones disponibles en torno a 700 m<sup>3</sup> por ha., que ponen en peligro la supervivencia de las plantaciones. Esta amenaza es especialmente grave en plantaciones de regadío cuyo volumen de copa está adaptado a una alta disponibilidad de agua y que encuentran con severas restricciones de agua sin haber ajustado su estructura a la nueva situación. En este contexto es preciso desarrollar estrategias de riego de supervivencia que no tenga como fin último maximizar la producción, sino que reduzcan la posibilidad de muerte de las plantaciones.

Ante esta problemática específica para el cultivo del almendro en Andalucía, el IFAPA, y otros organismos públicos de investigación como el Instituto de Agricultura Sostenible (IAS-CSIC) o las Universidades de Córdoba y Sevilla, están desarrollando trabajos de investigación y transferencia centrados específicamente en el cultivo del almendro en las condiciones del Valle del Guadalquivir, y han posibilitado el desarrollo de estrategias que permiten reducir el impacto de la sequía ante diferentes escenarios de disponibilidad de agua, así como la implementación de estrategias sostenibles de reducción de las dotaciones de riego en las plantaciones de almendro andaluzas.

## 2. Estrategias de riego disponibles para el almendro

### 2.1. Riego óptimo

La estrategia de riego óptimo es aquella que logra abastecer de agua al cultivo en todas sus necesidades a lo largo de todo su ciclo, evitando la ocurrencia de escorrentía y percolación profunda. Para obtener una programación de riegos óptima es preciso conocer las necesidades de agua de la plantación, para la cual existen numerosas metodologías de cálculo, considerándose la lisimetría como la más exacta y fiable (Lorite et al., 2012).

En relación con la aplicación de estrategias de riego óptimo, no solo es preciso definir un calendario de riego, sino que también es preciso definir el sistema de riego más adecuado. Para este fin, y empleando una finca experimental de almendros del centro IFAPA Alameda del Obispo en Córdoba, se pudo concluir que el riego localizado, incluso cuando se aplicaban cantidades de riego elevadas que no suponían una limitación de agua para el cultivo del almendro, podría generar limitaciones en la transpiración del árbol debido al reducido volumen de suelo mojado (Espadafor et al., 2018). Para estudiar en condiciones de campo cómo árboles de almendro regados con riego por goteo respondieron a cambios en el volumen de suelo mojado, se realizaron dos tratamientos con diferentes sistemas de riego en dicha finca experimental. Un tratamiento empleó en primer lugar un sistema de microaspersores para humedecer toda la superficie de la plantación, tras el cual se instaló un sistema de goteros, mientras que el segundo tratamiento siempre se empleó riego por goteo. Se realizó un continuo monitoreo de la transpiración y el contenido de agua en el suelo, estado hídrico del árbol y crecimiento de tronco determinándose que, si bien en ambos tratamientos se aplicó agua suficiente para cubrir las necesidades, con microaspersión se indujo un incremento en la transpiración y una mejora del estado hídrico del árbol frente al tratamiento con solo riego por goteo. Estos resultados indican que es preciso contar con al menos una doble línea de goteros para plantaciones de almendro adultas, evitando el riego por goteo con una única línea de goteros.

### 2.2. Riego deficitario

Las estrategias de riego deficitario (RD) son aquellas que ante un escenario de escasez de agua que imposibilite la aportación de las necesidades de riego requeridas por el cultivo, permite obtener producciones sostenibles, con ahorros significativos de agua, incrementándose así la eficiencia del uso del agua. A pesar de que existen numerosas estrategias de RD, las más conocidas se dividen en dos grandes grupos: a) riego deficitario sostenido, y b) riego deficitario controlado. En el primero, la reducción del riego es la misma a lo largo de todo el ciclo del cultivo, mientras que en el segundo el recorte del riego se realiza principalmente en aquellos periodos del ciclo del cultivo en los que este es menos sensible al estrés hídrico.

En el caso del almendro, los periodos críticos en los que un estrés hídrico genera severos recortes en la producción coinciden con las fases iniciales de división celular del embrión, crecimiento rápido del fruto y desarrollo vegetativo (meses de marzo a mediados de mayo, aproximadamente), así como en postcosecha (meses de septiembre y octubre). En el primero de estos periodos, un estrés hídrico severo puede comprometer seriamente la producción por una tirada masiva de frutos provocada por abortos en el embrión; una merma en el tamaño del fruto y una reducción en el desarrollo del dosel vegetal; mientras que, en postcosecha, el estrés hídrico severo va a afectar directamente al proceso de diferenciación de yemas y acumulación de reservas, fundamentales para una correcta floración e inicio de brotación en la campaña siguiente. Por el contrario, un estrés hídrico durante la fase de llenado de fruto (finales de la

primavera – inicio del verano) no genera grandes caídas de producción, siempre y cuando el estrés al que está sometido el cultivo no sea excesivo. Este periodo, que coincide además con los meses de mayor demanda evapotranspirativa, permite establecer estrategias de ahorro de agua de un 40%, sin reducciones significativas en la producción (García-Tejero et al. 2018a, b). Recientemente, Gutiérrez-Gordillo et al. (2023) observaron un descenso en la eficiencia de la fotosíntesis una vez terminado el crecimiento del fruto e iniciado el llenado de grano, por lo que una situación de estrés durante dicho periodo no redundaría de manera importante en un descenso de la tasa fotosintética, explicando por qué el periodo de llenado de grano resulta ser el menos sensible a la falta de agua.

Por otra parte, algunos trabajos han comparado estrategias de riego deficitario sostenido y riego deficitario controlado empleando el mismo volumen de riego, comprobándose que, aunque los resultados con ambas estrategias eran satisfactorios, se lograba una mayor productividad del agua de riego (definida como los kilos de cosecha producidos por m<sup>3</sup> de riego aplicado) bajo las estrategias de riego deficitario controlado. En este sentido, atendiendo a los resultados obtenidos por López-López et al. (2018c) y Moldero et al. (2021), fue posible determinar las funciones de producción para una plantación adulta de almendro (cv. Guara) situada en Córdoba; en función del riego aportado, la evapotranspiración y la transpiración estacional (Figura 1).

De acuerdo con las aportaciones hídricas empleadas por López-López et al (2018c) y Moldero et al. (2021), se pudo comparar la respuesta productiva de almendros adultos a cuatro estrategias de riego: riego óptimo (RO), riego deficitario sostenido moderado (RDSM), riego deficitario controlado moderado (RDCM) en los que se aplicó el 65% del riego óptimo, pero con diferente distribución espacial, y un riego deficitario severo (RDS) en el que solo se aplicó un 35% del riego óptimo. Los resultados ponían de manifiesto el papel decisivo del almacenamiento de agua en el suelo y la importancia de considerar la transpiración del almendro (T) como el principal factor de la productividad. En este sentido, el agua del suelo compensaba parcialmente la reducción de riego impuesta con estrategias de riego deficitario, generando diferencias no significativas entre tratamientos de riego. Las funciones de producción (cosecha vs. Riego aplicado y cosecha vs. ET<sub>c</sub>) no muestran diferencias significativas cuando se comparaba el primer periodo de ensayos (2014-2016) con el segundo (2017-2019). Esto nos indica que no existe extenuación o adaptación de la plantación al riego deficitario que pudiera comprometer la sostenibilidad del cultivo bajo este tipo de estrategias de riego deficitario a largo plazo.

A pesar de toda la información disponible hoy en día (Mirás-Avalos et al., 2023), existen muy pocos trabajos orientados a definir la estrategia de RD óptima para dotaciones hídricas por debajo de los 2.000 m<sup>3</sup>/ha, siendo por tanto necesario seguir avanzando en este sentido, especialmente para poder hacer frente a situaciones como la existente actualmente, o en futuros escenarios prolongados de escasez severa de agua.

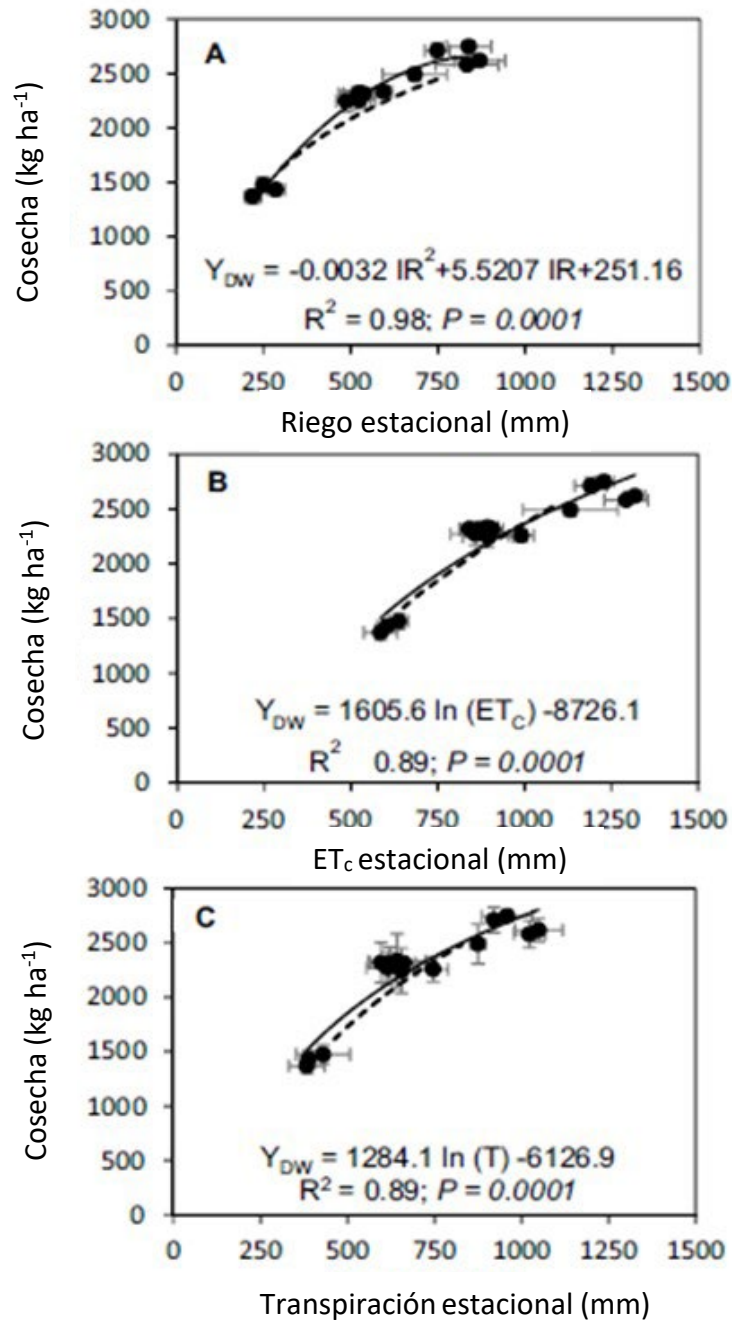


Figura 1. Cosecha en peso seco (en kg ha<sup>-1</sup>) frente a riego aplicado, evapotranspiración y transpiración estacionales. Los puntos son las observaciones en el periodo 2017-2019 mientras que la línea discontinua muestra las funciones de producción obtenidas en el periodo 2014-2016 (Adaptado de Moldero et al., 2021).

### 2.3. Riego de supervivencia

La estrategia de riego de supervivencia se basa en un paradigma diferente al del riego deficitario. Así, el riego de supervivencia no busca la maximización de la producción con la dotación disponible definiendo un calendario de riego ajustado a los periodos fenológicos del cultivo más sensibles, sino que realiza un calendario para tratar de asegurar la supervivencia del árbol. Para lograr este fin, la programación de riegos se realiza para evitar niveles de estrés muy elevados, especialmente en verano.

La supervivencia del árbol de almendro no depende exclusivamente de las condiciones de estrés que sufre el cultivo, sino que también afecta la descompensación entre el volumen de copa y la disponibilidad de agua disponible para el árbol. Así, plantaciones de almendro tradicionalmente en secano y en suelos poco profundos presentan un volumen de copa adaptado a la disponibilidad de agua y por lo tanto son menos sensibles a periodos de sequía prolongados. De este modo el problema más serio ocurre en aquellas plantaciones las cuales han tenido alta disponibilidad de agua para riego y el volumen de copa está adaptado a esta disponibilidad. Si el volumen de riego aportado se reduce de forma significativa (o incluso se elimina) el árbol puede llegar incluso a morir.

Los resultados de este informe sobre riego de supervivencia del almendro se basan en los trabajos realizados por Moldero et al. (2022) en donde se estudian los efectos sobre componentes fisiológicos y cosecha en las 3 campañas siguientes (2017-2019) de la limitación del aporte de agua durante una única campaña de riegos (2017), en una plantación bien regada previamente de almendro. Se emplearon 3 tratamientos de riego durante 2017: riego óptimo, aplicando la cantidad de agua requerida para alcanzar máxima evapotranspiración del cultivo (RO), riego deficitario sostenido aplicando el 25% del riego óptimo (RDS), y secano el cual no recibió agua de riego (S). Durante los 2 años siguientes (2018 y 2019) todos los tratamientos fueron regados como en la estrategia de riego óptimo. Los resultados del estudio indican la gran vulnerabilidad de las plantaciones de almendro correctamente regadas en años anteriores al estrés hídrico severo, resultando en el tratamiento de secano una mortalidad del 92% de los árboles (Moldero et al., 2022). En relación con la cosecha y la calidad, comparado con el tratamiento de riego óptimo, ambos términos se redujeron en los tratamientos en secano y con riego deficitario por el negativo impacto del estrés hídrico sobre el peso del fruto y la formación de borregos durante la campaña de recorte de riego. En los dos años siguientes (2018 y 2019), los efectos negativos sobre las cosechas persistieron debido a la reducción de la carga de frutos a pesar de que en ambos ensayos los niveles de riego fueron totalmente restituidos. Considerando valores medios de cosecha para ambos tratamientos, estos fueron menores que aquellas esperadas por las funciones de producción de la plantación. Este hecho remarca los impactos a largo plazo del estrés hídrico severo como resultado de suspender o reducir considerablemente el riego en una única campaña de riego.

El ensayo de riego de supervivencia llevado a cabo en la finca IFAPA – Alameda del Obispo tuvo un porcentaje de cobertura de la plantación de aproximadamente el 60%, equivalente a una plantación en 7 x 6 (238 árboles por ha) con un diámetro de copa de unos 5.5-5.75 m. El inicio de la campaña de medidas fue el 7 de marzo, estando en esa fecha el perfil del suelo completamente lleno debido a las lluvias recogidas durante el invierno. Sin embargo, desde el 7 de marzo hasta el final de la campaña se registraron 230 mm de precipitación efectiva. En el ensayo se aplicaron 2 calendarios de riego diferentes: a) Riego deficitario sostenido en el que se aplicó un volumen de riego de 191 mm, llegando hasta los 421 mm al incluir la precipitación efectiva, y b) Estrategia de secano en la que no se aplicó riego estando disponible para el cultivo únicamente los 230 mm de precipitación efectiva. Tras un año con esta estrategia en los años 2018 y 2019 se aplicó en los 3 ensayos una estrategia de riego óptimo.

En cuanto a los valores de producción registrados, el tratamiento sin limitaciones en el suministro de riego obtuvo 2244, 2430 y 2318 kg/ha para el año 2017, 2018 y 2019, respectivamente, sin presencia de borregos. Por otra parte, la aplicación de una estrategia de riego deficitario severo (25% del óptimo) registró producciones de 1493, 2083 y 2124 kg/ha para los años 2017, 2018, y 2019, respectivamente, con una presencia de borregos del 74% durante 2017 (año en el que se aplicó el estrés severo). En cuanto al tratamiento de secano, tras la campaña de restricción se registró una mortalidad del 92% de los árboles, sin producción viable. En cuanto a los árboles que sobrevivieron al tratamiento de restricción total, en la campaña de 2018 obtuvo apenas una producción de 32 kg/ha (irrelevante); y una recuperación parcial (1303 kg/ha; alrededor del 55% de la producción recogida en el tratamiento control) en la última campaña de estudio (2019).

Estos datos ponen de manifiesto la importancia que tiene el manejo previo de una parcela cuando se aplican estrategias de riego muy severas, sobre todo en árboles que no han sido desarrollados bajo situaciones de restricción hídrica, pudiendo acontecer incluso la mortalidad de la mayoría de los árboles, y con daños en la producción en los árboles supervivientes que pueden prolongarse más allá de dos años tras la situación de estrés.

### 3. Metodología de cálculo de necesidades de riego

#### 3.1. Bases de la programación de riego óptimo

La programación de riego óptima de los cultivos se define como aquella que es capaz de suministrar agua al cultivo de forma que éste no sufra estrés durante todo su ciclo ni pérdidas de agua en forma de percolación o escorrentía. Para el cálculo de las necesidades de agua del cultivo ( $ET_c$ ) se requiere conocer dos términos, la demanda evaporativa de la atmósfera o evapotranspiración de referencia ( $ET_o$ ) y el coeficiente de cultivo ( $K_c$ ) que depende del tipo de cultivo y su ciclo:

$$ET_c = ET_o \cdot K_c$$

La evapotranspiración de referencia ( $ET_o$ ) se calcula a partir de datos diarios medidos en estaciones meteorológicas, como la Red de Información Agroclimática de Andalucía (RIA), que proporciona estos datos de forma gratuita en su página web: <https://www.juntadeandalucia.es/agriculturaypesca/ifapa/riaweb/web/>

De igual modo, el coeficiente de cultivo ( $K_c$ ) define las necesidades de agua de los cultivos en condiciones óptimas. Estos coeficientes caracterizan a un cultivo que no sufre ningún tipo de limitación en todo su ciclo. El término  $K_c$  incluye dos componentes, la transpiración del cultivo y la evaporación desde el suelo. La metodología más apropiada para su cálculo es empleando lisimetría de pesada permitiendo medir por diferencia de peso la cantidad de agua evapotranspirada por el cultivo (Lorite et al., 2012). Como método alternativo se emplean curvas de coeficientes de cultivo tabulados (Rallo et al., 2021) bajo diferentes condiciones de cultivo. Estos valores tabulados se corresponden a una plantación de almendros adulta por lo que los valores de  $K_c$  deben ser ajustados para plantaciones con menor tamaño/edad. Para lograr este ajuste se emplea el término  $K_{r,t}$  que se estima en función del porcentaje de cobertura de la



plantación, tal y como se describe en la Figura 2. El valor de  $K_{r,t}$  corrige la evapotranspiración de la plantación por medio de la siguiente fórmula:

$$ET_c = ET_o \cdot K_c \cdot K_{r,t}$$

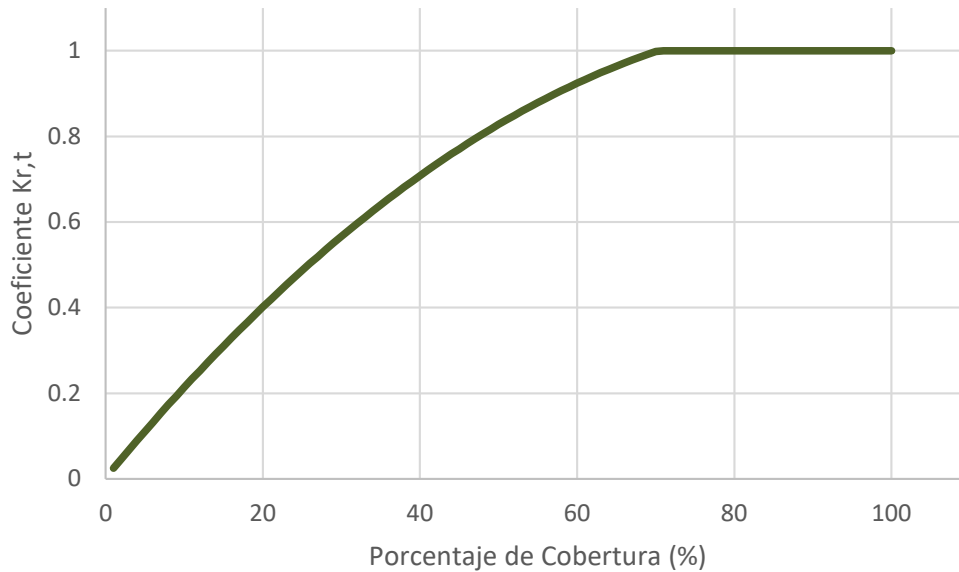


Figura 2. Determinación gráfica del coeficiente  $K_{r,t}$  en función del porcentaje de cobertura

Una vez definidas las necesidades de la plantación se realiza un balance de agua considerando las entradas (lluvia y riego) y salidas (evapotranspiración, escorrentía y percolación profunda) del sistema. Este balance de agua diario permite identificar el estrés hídrico que sufre el cultivo a lo largo de su ciclo. Este estrés hídrico es la variable clave para generar los calendarios de riego óptimo. Para la realización de este informe al considerar una estrategia de riego óptimo, el riego se aplica cuando más del 30% del volumen máximo de agua almacenada en el suelo se agota. Cuando se supera este umbral se aplica un riego. Con esta estrategia de riego se consigue que en ningún momento del ciclo el cultivo sufra un estrés hídrico tal que afecte a la producción.

Una programación de riegos óptima ajustada a las características específicas de plantaciones de almendro ubicadas en Andalucía puede ser obtenida empleando la herramienta App Riego Almendro, desarrollada por IFAPA.

### 3.2. Bases de la programación de riego deficitario

Frecuentemente el volumen de agua disponible no permite regar con una estrategia de riego óptima, por lo que se tiene que establecer una estrategia de riego deficitario. Las estrategias de riego deficitario reducen el volumen de riego aplicado, y en función de si esta reducción se realiza de forma homogénea o no a lo largo del ciclo del cultivo, se denominan estrategias de riego deficitario sostenido o controlado.

El riego deficitario sostenido reduce el volumen de riego aportado de forma proporcional durante toda la campaña, sin atender al estado fenológico del cultivo. Por el contrario, el riego deficitario controlado sí requiere conocer el estado fenológico, puesto que el volumen de agua disponible se reservará para aplicarlo en las fases fenológicas del cultivo más sensibles al estrés hídrico. En el caso del almendro estas fases son la floración y postcosecha, teniendo una menor sensibilidad la fase de llenado de fruto.

Con estas estrategias de riego deficitario se emplea el coeficiente de estrés,  $K_s$ , definido con la siguiente ecuación:

$$K_s = \frac{DAS_{max} - DAS}{DAS_{max} - RAW}$$

en donde  $DAS$  es el déficit de agua en el suelo obtenido del balance de agua,  $DAS_{max}$  es el déficit de agua máximo en el suelo, y  $RAW$  se define por la siguiente ecuación:

$$RAW = DAS_{max} \cdot p$$

en donde  $p$  para el cultivo del almendro es igual a 0.3.

Una vez definido el término  $K_s$ , la evapotranspiración de la plantación se ve modificada de la siguiente forma:

$$ET_c = ET_o \cdot K_{r,t} \cdot K_c \cdot K_s$$

Para el desarrollo de la programación de riegos con estrategia de riego deficitario se emplea como base la programación de riegos realizada con estrategia óptima, la cual se reduce en función de la fase fenológica y la dotación de riego disponible.

La generación de calendarios de riego deficitario controlado ajustados a las disponibilidades de riego y a las características específicas de plantaciones de almendro ubicadas en Andalucía puede realizarse empleando la herramienta App Riego Almendro.

### 3.3. Bases de la programación de riego de supervivencia

Cuando la disponibilidad de riego es muy baja, la aplicación de calendarios de riego deficitario puede ocasionar estreses hídricos muy severos en verano que pueden poner en peligro la supervivencia de la plantación. En estas situaciones se requiere el desarrollo de calendarios de riego de supervivencia en los que se priorice el mantenimiento de la plantación frente a la producción de almendra.

El ensayo de eliminación/reducción del riego en una plantación de almendro llevado a cabo en 2017 (Moldero et al., 2022) fue la base para la programación de estos riegos de supervivencia. En este trabajo se determinó el umbral de estrés al que una plantación de almendro bien regado llega tras la eliminación del riego o la implantación de un riego deficitario severo. Así, el balance de agua determinó un umbral de  $K_s$  igual a 0.18 con la estrategia de riego deficitario severo, la cual generó una caída de la producción, pero no puso en riesgo la supervivencia de la plantación. Dado que este valor fue obtenido de un único ensayo experimental, definimos valores umbral de entre 0.2 y 0.25 como aquellos que no deben sobrepasarse para asegurar la supervivencia de plantaciones de almendro tradicionalmente en riego. Este umbral es la base de la programación de riego de supervivencia. Y así, cuando se realiza un calendario de riego con estrategias de riego deficitario controlado en el que se llega a este umbral, se estima que la

supervivencia de la plantación está en riesgo. Para mitigar este riesgo, la base del nuevo calendario de riego denominado de supervivencia cambia, siendo ahora el único fin que el estrés hídrico de la plantación no llegue a valores que podrían poner en peligro a la plantación.

Así, con una estrategia de riego de supervivencia la dotación disponible se distribuye a partir del momento en el que el estrés hídrico llega a 0.25, y se distribuyen los riegos de forma uniforme. El número y periodo entre riegos depende de la dotación disponible y la dosis por riego, y tratará de evitar que el coeficiente de estrés  $K_s$  llegue a valores por debajo de 0.2 que supondrían un grave riesgo para la supervivencia de la plantación.

A la hora de realizar recomendaciones sobre la programación de riegos de supervivencia se debe de considerar la suma de 2 términos de gran relevancia: la lluvia efectiva y el riego neto aplicado. La lluvia efectiva se define como la cantidad de lluvia realmente aprovechada por el cultivo tras haber quitado la escorrentía y la percolación profunda. El riego neto aplicado es aquel que realmente puede ser aprovechado por el cultivo, sin considerar pérdidas asociadas a la eficiencia del sistema de riego. Para el cálculo de ambos términos es preciso conocer el tipo y profundidad de suelo, pendiente, y sistema de riego. El empleo de estos dos términos hace que cualquier recomendación esté supeditada a la alta variabilidad espacial presente en Andalucía debido a diferencias en la precipitación, tipo de precipitación, tipo de suelo, y características de la plantación, presentes en Andalucía. En este informe, para simplificar los cálculos se ha considerado una lluvia efectiva igual al 80% de la lluvia total.

La programación de riegos de emergencia, ajustada a las disponibilidades de riego y a las características específicas de plantaciones de almendro ubicadas en Andalucía, solo es necesaria en condiciones específicas de disponibilidad de agua para riego, y puede ser generada empleando la herramienta App Riego Almendro.

## 4. Resultados

### 4.1. Necesidades de riego y estrés hídrico generado para el cultivo del almendro en comarcas representativas del Valle del Guadalquivir bajo diferentes estrategias de riego

Empleando la metodología descrita en la Sección 3, se determinaron diferentes calendarios de riego para una plantación tipo con las siguientes características:

- Marco de plantación: 7 x 6 m
- Diámetro de copa: 5 m
- Profundidad de suelo: 1.5 m
- Capacidad de almacenamiento de agua en el suelo: 150 mm/m
- Porcentaje de cobertura: 47%

Se realizó un balance de agua durante 10 campañas (desde 2012-13 hasta 2021-22) para 5 localidades representativas del cultivo del almendro en Andalucía (Córdoba, Lora del Río, Antequera, Granada y Úbeda), empleando información diaria de la Red de Información Agroclimática de Andalucía (RIA). Para cada año y localidad se consideraron 4 estrategias de riego:

- Óptimo: 0% reducción en periodos no críticos; 0% reducción en periodos críticos
- RDC\_1: 50% reducción en periodos no críticos; 0% reducción en periodos críticos
- RDC\_2: 70% reducción en periodos no críticos; 15% reducción en periodos críticos
- RDC\_3: 85% reducción en periodos no críticos; 40% reducción en periodos críticos

Las necesidades de riego óptimas medias oscilaron entre los 452 mm (4520 m<sup>3</sup> / ha) para Úbeda hasta los 596 mm (5960 m<sup>3</sup> / ha) para Córdoba. Esta diferencia de necesidades se debió a la menor demanda evaporativa en Úbeda y modificaciones en la fenología de la plantación en zonas frías. De igual modo, se apreció una significativa variabilidad entre campañas de riego para una misma localidad, mayor en las zonas más secas como Úbeda o Granada (Tablas 1-5).

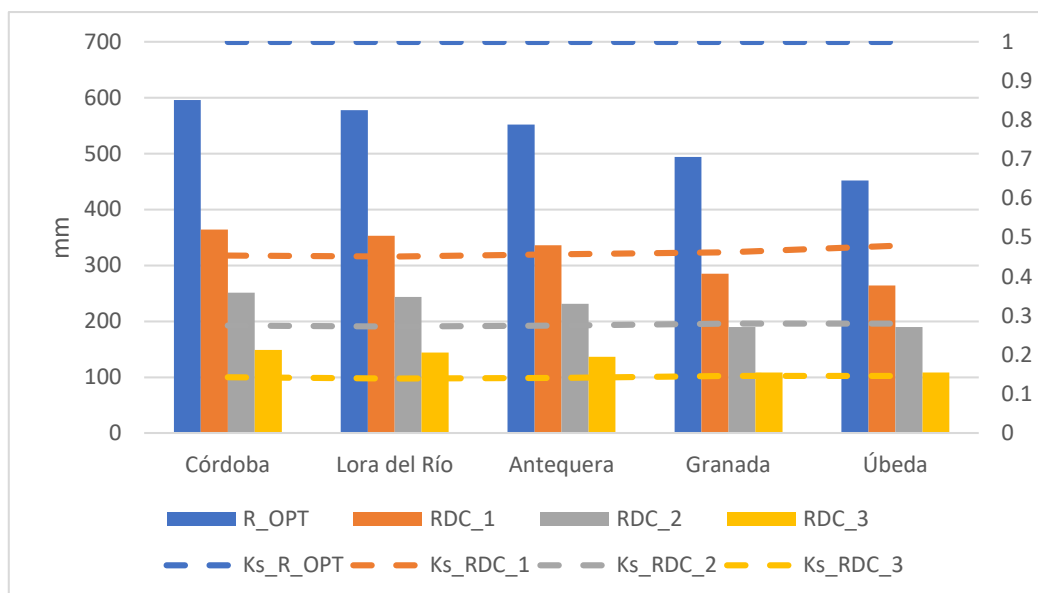


Figura 3. Necesidades de riego medias y coeficiente de estrés K<sub>s</sub> para una plantación de almendros tipo empleando 4 estrategias de riego (óptimo, R\_OPT; riego deficitario controlado ligero, RDC\_1; riego deficitario controlado medio, RDC\_2; riego deficitario controlado severo, RDC\_3) para 5 localidades representativas de Andalucía.

Cuando se aplicó una estrategia de riego deficitario controlado ligero (RDC\_1) los volúmenes de riego oscilaron entre los 364 y 264 mm en las localidades analizadas, generándose un valor mínimo de coeficiente de estrés que osciló entre 0.45 y 0.48 (Tablas 1-5). Para una estrategia de riego deficitario controlado medio (RDC\_2) las necesidades bajaron y oscilaron entre 251 y 190 mm, generándose un coeficiente de estrés menor que fue aproximadamente igual a 0.28 (Tablas 1-5), por encima de los niveles peligrosos para la supervivencia de la plantación. Finalmente, con una estrategia de riego deficitario controlado severo (RDC\_3) los volúmenes de riego fueron menores (entre 149 y 108 mm) pero los niveles de estrés se situaron en torno a 0.14 (Tablas 1-5), valores que ponen en riesgo grave la supervivencia de la plantación.

Tabla 1. Volúmenes de riego netos medios, máximos y mínimos, y coeficiente de estrés ( $K_s$ ) mínimo alcanzado con estrategia de riego óptima y deficitaria para la comarca de Córdoba.

<b>Córdoba</b>	<b>Media</b>	<b>Máximo</b>	<b>Mínimo</b>
Riego recomendado óptimo (mm)	596	660	540
Riego recomendado RDC_1 (mm)	364	390	330
Riego recomendado RDC_2 (mm)	251.4	274	228
Riego recomendado RDC_3 (mm)	148.8	165	135
$K_s$ MIN RDC_1	0.45	0.48	0.43
$K_s$ MIN RDC_2	0.28	0.30	0.26
$K_s$ MIN RDC_3	0.14	0.18	0.13
Lluvia (mm)	540	915	409
$ET_o$ (mm)	1409	1461	1305

Tabla 2. Volúmenes de riego netos medios, máximos y mínimos, y coeficiente de estrés ( $K_s$ ) mínimo alcanzado con estrategia de riego óptima y deficitaria para la comarca de Lora del Río.

<b>Lora del Río</b>	<b>Media</b>	<b>Máximo</b>	<b>Mínimo</b>
Riego recomendado óptimo (neto)	578	640	500
Riego recomendado RDC_1 (neto)	353	390	310
Riego recomendado RDC_2 (neto)	243.8	274	216
Riego recomendado RDC_3 (neto)	144.3	165	129
$K_s$ MIN RDC_1	0.45	0.47	0.44
$K_s$ MIN RDC_2	0.27	0.28	0.26
$K_s$ MIN RDC_3	0.14	0.15	0.13
Lluvia	542	822	430
$ET_o$	1344	1418	1273

Tabla 3. Volúmenes de riego netos medios, máximos y mínimos, y coeficiente de estrés ( $K_s$ ) mínimo alcanzado con estrategia de riego óptima y deficitaria para la comarca de Antequera

<b>Antequera</b>	<b>Media</b>	<b>Máximo</b>	<b>Mínimo</b>
Riego recomendado óptimo (neto)	552	620	480
Riego recomendado RDC_1 (neto)	336	380	280
Riego recomendado RDC_2 (neto)	231.6	263	188
Riego recomendado RDC_3 (neto)	136.8	156	108
$K_s$ MIN RDC_1	0.46	0.50	0.44
$K_s$ MIN RDC_2	0.27	0.30	0.26
$K_s$ MIN RDC_3	0.14	0.16	0.13
Lluvia	422	803	264
$ET_o$	1276	1338	1175

Tabla 4. Volúmenes de riego netos medios, máximos y mínimos, y coeficiente de estrés ( $K_s$ ) mínimo alcanzado con estrategia de riego óptima y deficitaria para la comarca de Granada

<b>Granada</b>	<b>Media</b>	<b>Máximo</b>	<b>Mínimo</b>
Riego recomendado óptimo (neto)	494	560	420
Riego recomendado RDC_1 (neto)	285	330	230
Riego recomendado RDC_2 (neto)	190	223	148
Riego recomendado RDC_3 (neto)	108.3	129	81
$K_s$ MIN RDC_1	0.46	0.50	0.44
$K_s$ MIN RDC_2	0.28	0.30	0.26
$K_s$ MIN RDC_3	0.15	0.17	0.13
Lluvia	385	737	269
$ET_o$	1244	1355	1124

Tabla 5. Volúmenes de riego netos medios, máximos y mínimos, y coeficiente de estrés ( $K_s$ ) mínimo alcanzado con estrategia de riego óptima y deficitaria para la comarca de Úbeda

<b>Úbeda</b>	<b>Media</b>	<b>Máximo</b>	<b>Mínimo</b>
Riego recomendado óptimo (neto)	452	520	360
Riego recomendado RDC_1 (neto)	264	300	200
Riego recomendado RDC_2 (neto)	190	223	148
Riego recomendado RDC_3 (neto)	108	129	81
$K_s$ MIN RDC_1	0.48	0.52	0.45
$K_s$ MIN RDC_2	0.28	0.30	0.26
$K_s$ MIN RDC_3	0.15	0.17	0.13
Lluvia	412	735	263
$ET_o$	1148	1243	1047

#### 4.2. Comportamiento de una plantación de almendro situada en la comarca de Úbeda en la campaña 2022-23 bajo diferentes estrategias de riego

Se ha realizado un segundo estudio para determinar el comportamiento de una plantación de almendro tipo con diferentes estrategias de suministro de riego. En este caso el ensayo se realizó sobre una plantación de almendro situada en Úbeda durante la campaña actual 2022-2023, con las siguientes características:

- Marco de plantación: 7 x 6 m
- Diámetro de copa: 5.75 m
- Profundidad de suelo: 1.5 m
- Capacidad de almacenamiento de agua en el suelo: 150 mm/m
- Porcentaje de cobertura: 61.8 %
- Precipitación: 178 mm (hasta 15 de mayo)

Se establecieron 5 estrategias de suministro de riego:

- Secano
- RDC con 500 m<sup>3</sup>/ha
- RDC con 1500 m<sup>3</sup>/ha
- RDC con 2500 m<sup>3</sup>/ha
- Óptimo

Los calendarios de riego se realizaron con información meteorológica hasta el 15 de mayo por lo que las lluvias posteriores no fueron consideradas.

a. Estrategia de Secano

El valor mínimo de  $K_s$  fue de 0, indicando que la plantación llegará a niveles de estrés no compatibles con la supervivencia de esta (Figura 4).

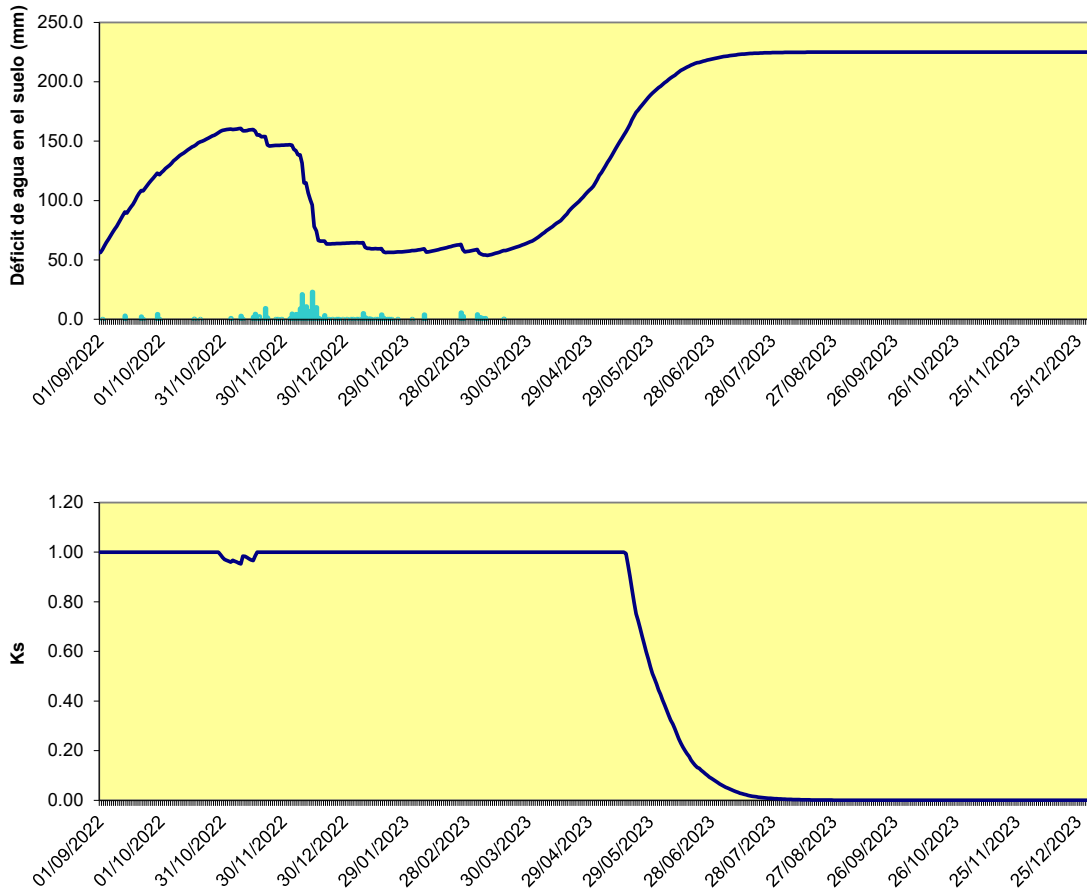


Figura 4. Déficit de agua en el suelo y coeficiente de estrés  $K_s$  para una plantación tipo bajo una estrategia de secano, ubicada en la comarca de Úbeda durante la campaña 2022-23.



b. Estrategia de riego deficitario controlado con 500 m<sup>3</sup>/ha

Se definió un calendario de riego aplicando 500 m<sup>3</sup>/ha y requiriendo disminuciones del 92% del volumen de riego óptimo tanto en la fase crítica como en la no crítica. Esto hizo que el coeficiente de estrés alcanzara valores de 0.07. Este nivel de estrés no es compatible con la supervivencia de la plantación (Figura 5).

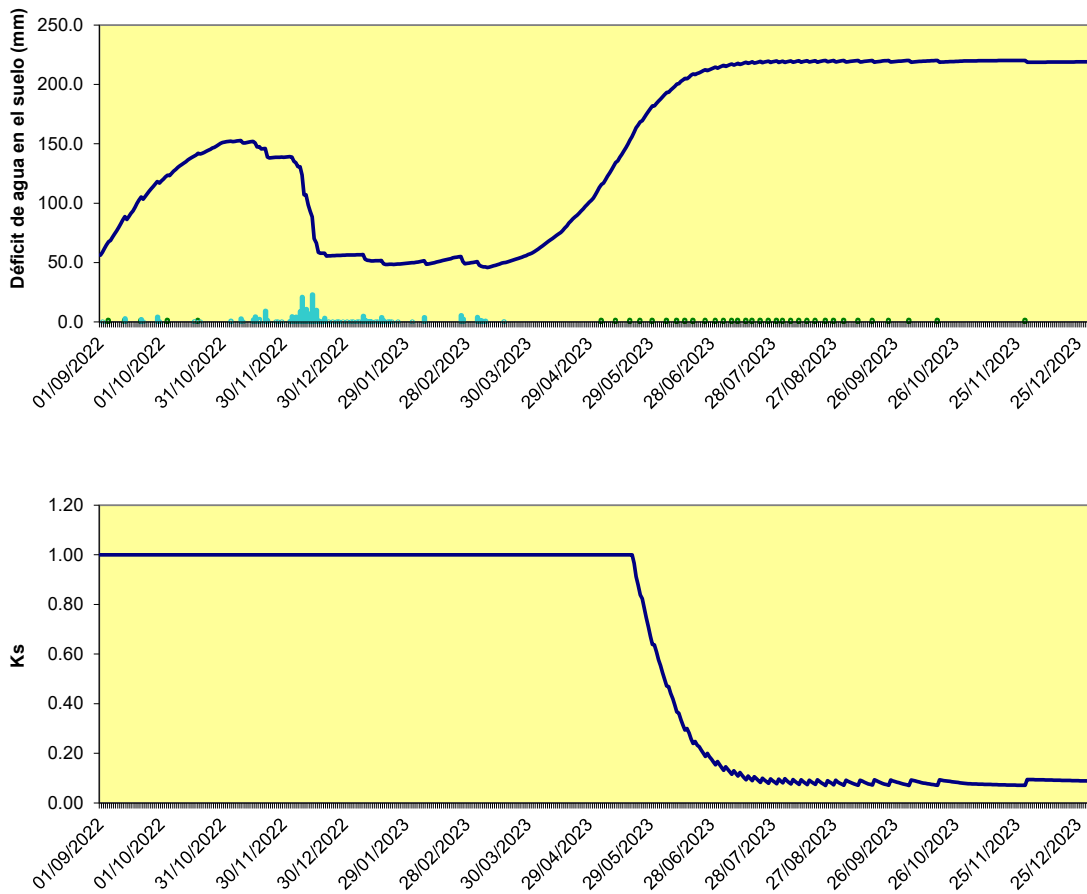


Figura 5. Déficit de agua en el suelo y coeficiente de estrés  $K_s$  para una plantación tipo aplicando una estrategia de riego deficitario controlado con 500 m<sup>3</sup>/ha, ubicada en la comarca de Úbeda durante la campaña 2022-23.

c. Estrategia de riego deficitario controlado con 1500 m<sup>3</sup>/ha

Se definió un calendario de riego aplicando 1500 m<sup>3</sup>/ha y disminuciones del 80% del volumen de riego óptimo en la fase no crítica y del 60% en la fase crítica. Esto hizo que el coeficiente de estrés K<sub>s</sub> alcanzara valores de 0.18 (Figura 6). Este nivel de estrés es similar al alcanzado en la finca experimental de Alameda del Obispo durante el año 2017 y no tendría por qué comprometer la supervivencia de la plantación, pero sí generaría importantes caídas en la producción.

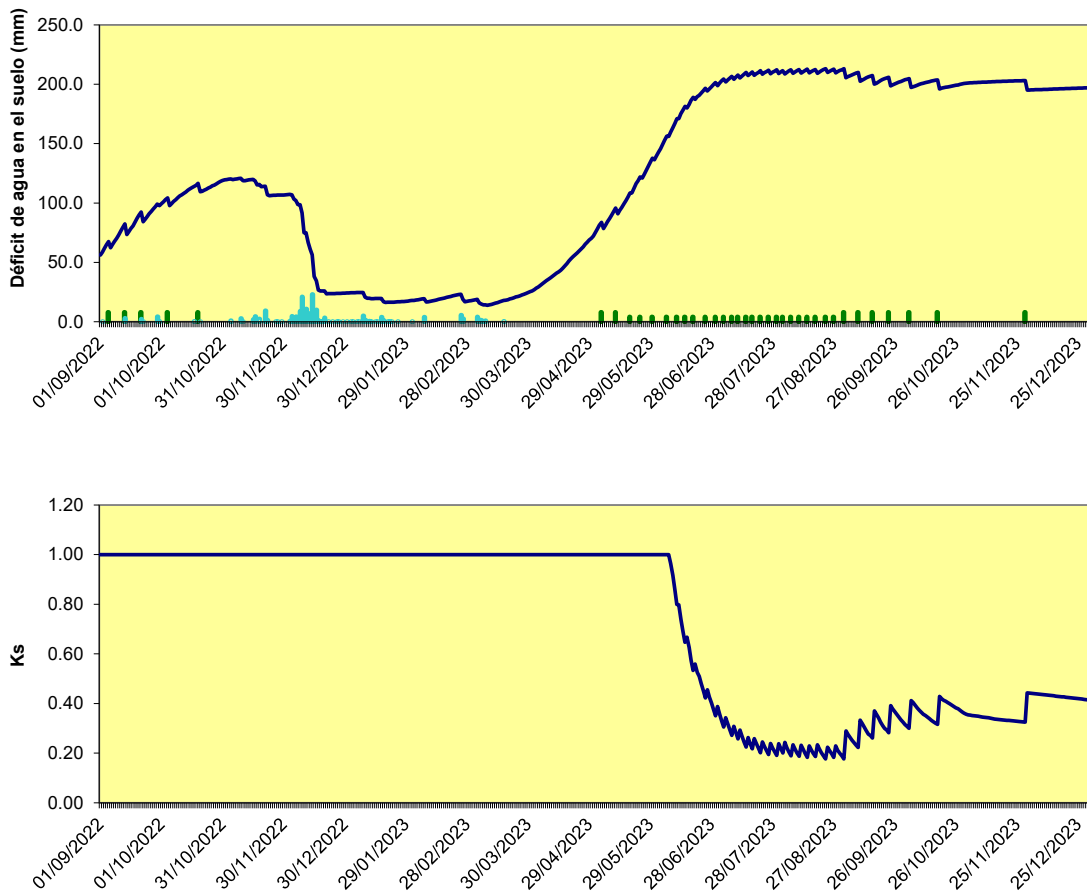


Figura 6. Déficit de agua en el suelo y coeficiente de estrés K<sub>s</sub> para una plantación tipo aplicando una estrategia de riego deficitario controlado con 1500 m<sup>3</sup>/ha, ubicada en la comarca de Úbeda durante la campaña 2022-23.

d. Estrategia de riego deficitario controlado con 2500 m<sup>3</sup>/ha

Se definió un calendario de riego aplicando 2500 m<sup>3</sup>/ha y requiriendo disminuciones del 70% del volumen de riego óptimo en la fase no crítica y del 25% en la fase crítica. Esto hizo que el coeficiente de estrés alcanzara valores de 0.27 (Figura 7). Este nivel de estrés no pone en riesgo la supervivencia de la plantación y la caída en la producción no llegaría a niveles excesivamente elevados.

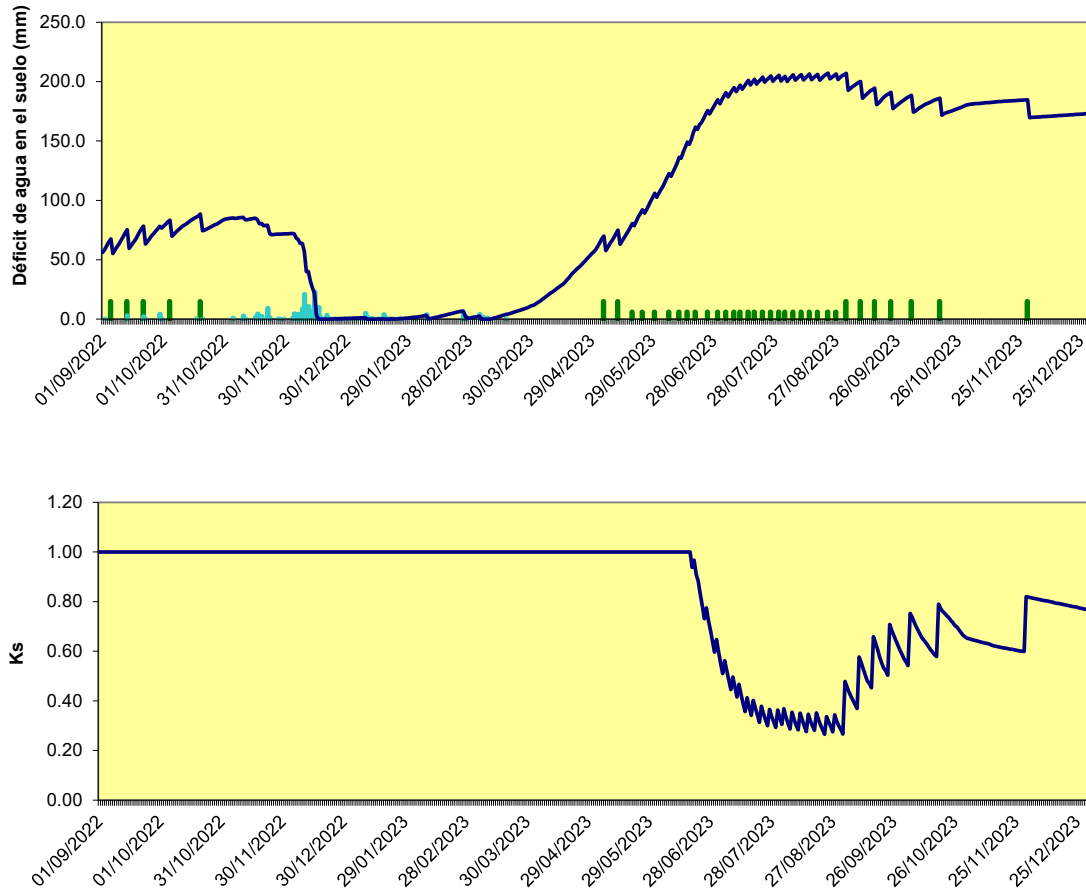


Figura 7. Déficit de agua en el suelo y coeficiente de estrés  $K_s$  para una plantación tipo aplicando una estrategia de riego deficitario controlado con 2500 m<sup>3</sup>/ha, ubicada en la comarca de Úbeda durante la campaña 2022-23.

e. Estrategia óptima

Se definió un calendario de riego aplicando 6200 m<sup>3</sup>/ha para lograr que el cultivo no sufriera estrés hídrico en ningún momento de su ciclo y por lo tanto el coeficiente de estrés permaneció a 1, logrando producciones potenciales (Figura 8).

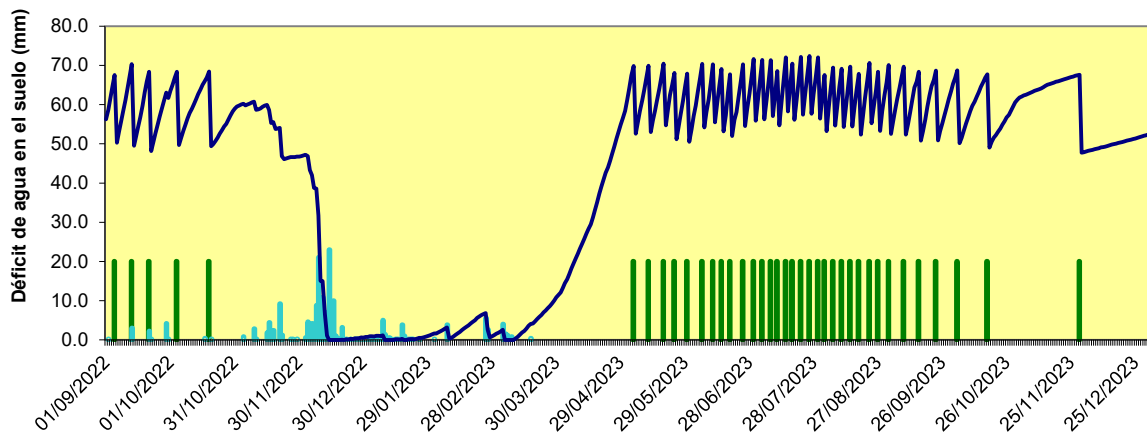


Figura 8. Déficit de agua en el suelo para una plantación tipo aplicando una estrategia de riego óptimo con 6200 m<sup>3</sup>/ha, ubicada en la comarca de Úbeda durante la campaña 2022-23.

#### 4.3. Variabilidad interprovincial de las necesidades de riego para la campaña 2022-23

Empleando los resultados obtenidos en los ensayos experimentales en la finca IFAPA - Alameda del Obispo durante 2017 (ver Sección 3), se determinó el porcentaje de necesidades de agua de la plantación que fueron cubiertas únicamente con la lluvia efectiva (Nivel 0, que supuso la muerte de la plantación) y con la suma de la lluvia efectiva y el riego deficitario severo (Nivel 1, que generó pérdidas de cosecha, pero no afectó a la supervivencia de la plantación) para la campaña actual (2022-23). Así, en el Nivel 0 se cubrieron el 27.6% de las necesidades, mientras que en el Nivel 1 se cubrieron el 50.5% de las mismas. Empleando estos porcentajes y la cantidad de agua de lluvia necesaria para llenar el perfil del suelo al comienzo de la campaña (tal y como ocurrió en el ensayo de 2017), se calculó el aporte de lluvia/riego necesario durante la primavera-verano de 2023 para cada comarca del Valle del Guadalquivir. En este estudio se consideró un suelo profundo y que a 1 de septiembre almacenaba un 50% de agua de su máxima capacidad.

El umbral exacto a partir del cual se produce la muerte de la plantación presenta un gran nivel de incertidumbre, afectando una gran cantidad de factores como el estado y características de la plantación, o el tipo de suelo. En cualquier caso, el umbral de riego para que la plantación analizada sobreviva debería estar entre los valores determinados para el Nivel 0 y el Nivel 1. A título ilustrativo se incluye el valor medio de ambos. En cualquier caso, es preciso indicar que los resultados mostrados son totalmente orientativos, basados en un único trabajo experimental en 2017, requiriéndose estudios específicos detallados para poder dar resultados precisos y fiables.

a. Provincia de Jaén

El volumen de riego neto (y/o lluvias a partir del 15 de mayo) requerido para alcanzar los niveles 0 y 1 varió significativamente en la provincia. Así, para alcanzar el nivel 1 (reducciones en la producción sin afectar a la supervivencia) los volúmenes de riego requerido oscilaron entre 1657 y 3773 m<sup>3</sup> / ha (Figura 9 y Tabla 6), valores muy alejados de las dotaciones de riego disponibles en 2023.

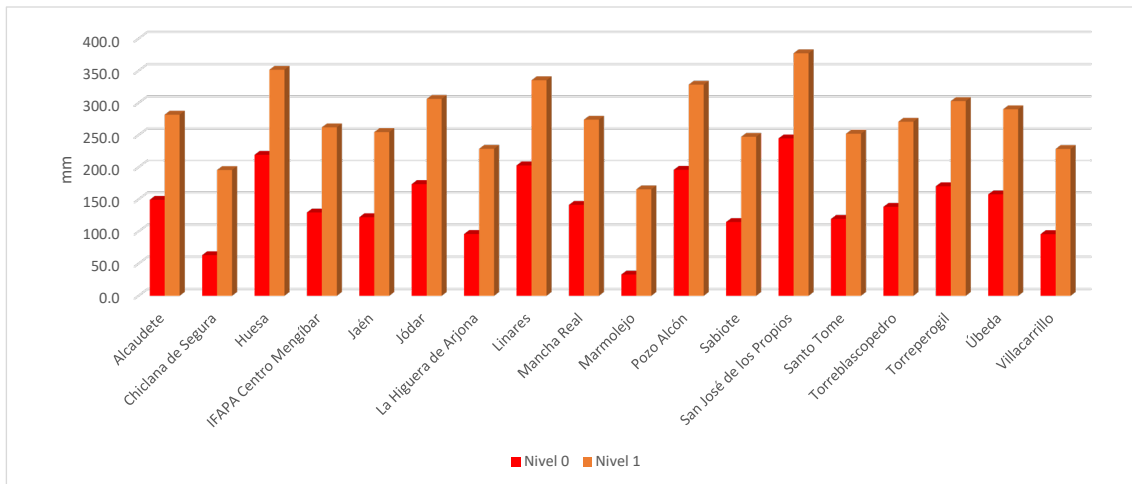


Figura 9. Volúmenes de riego necesarios para alcanzar los valores de estrés del nivel 0 (muerte de la plantación) y nivel 1 (reducción de la producción sin afectar a la supervivencia de la plantación).

Tabla 6. Volumen de riego necesario (en mm) para alcanzar el nivel 0 (muerte de la plantación), el nivel 1 (riego deficitario con caídas en la producción, pero sin afectar la supervivencia de esta), y un nivel intermedio entre ambos.

	<b>Nivel 0</b> (mm)	<b>Nivel 1</b> (mm)	<b>Media</b> (mm)
Alcaudete	149.4	281.8	215.6
Chiclana de Segura	63.3	195.7	129.5
Huesa	219.3	351.7	285.5
IFAPA Centro Mengíbar	129.7	262.1	195.9
Jaén	122.3	254.8	188.6
Jódar	173.9	306.3	240.1
La Higuera de Arjona	96.3	228.7	162.5
Linares	202.9	335.3	269.1
Mancha Real	141.5	274.0	207.8
Marmolejo	33.2	165.7	99.4
Pozo Alcón	196.1	328.5	262.3
Sabiote	114.9	247.3	181.1
San José de los Propios	244.9	377.3	311.1
Santo Tome	119.7	252.1	185.9
Torreblascopedro	138.4	270.9	204.6
Torreperogil	170.5	302.9	236.7
Úbeda	157.9	290.3	224.1
Villacarrillo	96.0	228.5	162.2

b. Provincia de Granada

Al igual que para la provincia de Jaén, el volumen de riego neto requerido para alcanzar los niveles 0 y 1 varió entre las diferentes comarcas de la provincia de Granada. Así, para alcanzar el nivel 1 (reducciones en la producción sin afectar a la supervivencia) los volúmenes de riego requerido oscilaron entre 2327 y 4501 m<sup>3</sup> / ha (Figura 10 y Tabla 7), valores muy alejados de las dotaciones de riego disponibles en 2023.

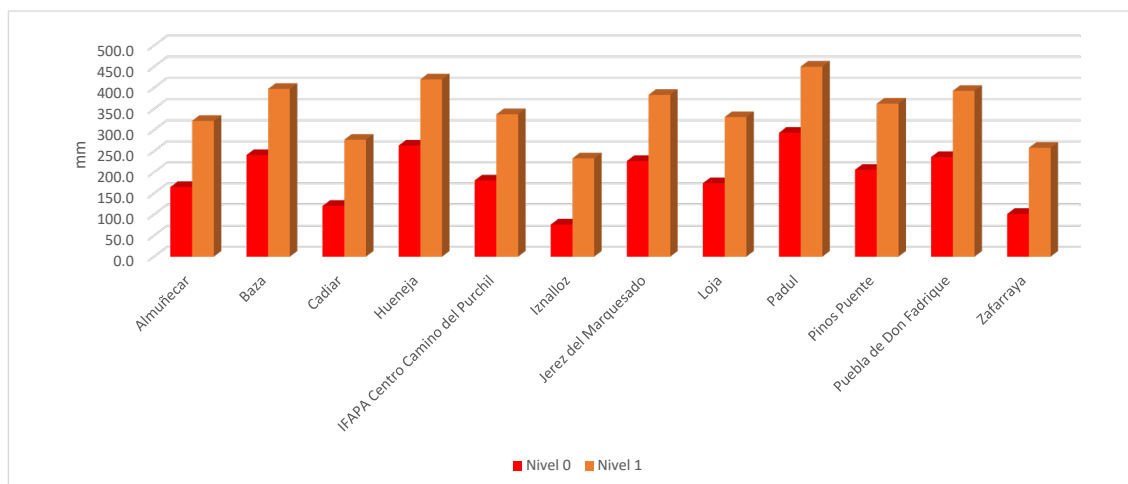


Figura 10. Volúmenes de riego necesarios para alcanzar los valores de estrés del nivel 0 (muerte de la plantación) y nivel 1 (reducción de la producción sin afectar a la supervivencia de la plantación).

Tabla 7. Volumen de riego necesario (en mm) para alcanzar el nivel 0 (muerte de la plantación), el nivel 1 (riego deficitario con caídas en la producción, pero sin afectar la supervivencia de esta), y un nivel intermedio entre ambos.

	Nivel 0 (mm)	Nivel 1 (mm)	Media (mm)
Almuñecar	165.0	321.7	243.3
Baza	240.7	397.3	319.0
Cadiar	120.2	276.9	198.5
Hueneja	263.2	419.9	341.6
IFAPA Centro Camino del Purchil	180.6	337.3	258.9
Iznalloz	76.0	232.7	154.4
Jerez del Marquesado	226.6	383.3	304.9
Loja	173.9	330.6	252.3
Padul	293.5	450.1	371.8
Pinos Puente	205.8	362.5	284.1
Puebla de Don Fadrique	236.0	392.7	314.4
Zafarraya	101.1	257.8	179.5

c. Provincia de Córdoba

El volumen de riego neto requerido para alcanzar los niveles 0 y 1 varió significativamente en la provincia. Así, para alcanzar el nivel 1 (reducciones en la producción sin afectar a la supervivencia) los volúmenes de riego requerido oscilaron entre 2778 y 4748 m<sup>3</sup> / ha (Figura 11 y Tabla 8), valores muy alejados de las dotaciones de riego disponibles en 2023.

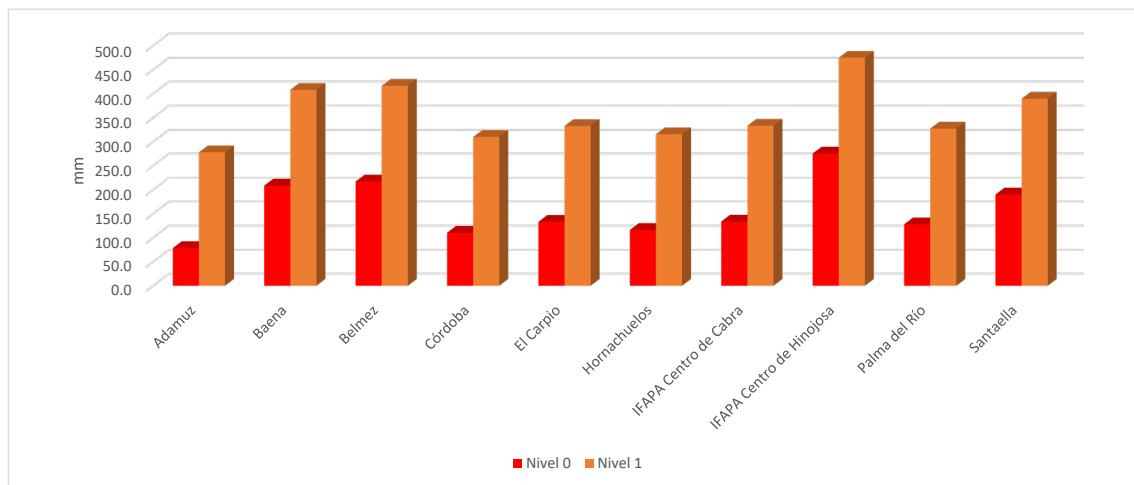


Figura 11. Volúmenes de riego necesarios para alcanzar los valores de estrés del nivel 0 (muerte de la plantación) y nivel 1 (reducción de la producción sin afectar a la supervivencia de la plantación).

Tabla 8. Volumen de riego necesario (en mm) para alcanzar el nivel 0 (muerte de la plantación), el nivel 1 (riego deficitario con caídas en la producción, pero sin afectar la supervivencia de esta), y un nivel intermedio entre ambos.

	Nivel 0 (mm)	Nivel 1 (mm)	Media (mm)
Adamuz	78.4	277.8	178.1
Baena	208.5	407.9	308.2
Belmez	216.9	416.4	316.6
Córdoba	110.4	309.8	210.1
El Carpio	133.2	332.6	232.9
Hornachuelos	116.1	315.6	215.8
IFAPA Centro de Cabra	133.7	333.2	233.4
IFAPA Centro de Hinojosa	275.3	474.8	375.0
Palma del Río	127.8	327.2	227.5
Santaella	190.1	389.5	289.8



d. Provincia de Sevilla

Por último, para la provincia de Sevilla se observa una menor variabilidad entre comarcas, y así, para alcanzar el nivel 1 (reducciones en la producción sin afectar a la supervivencia) los volúmenes de riego requerido oscilaron entre 3108 y 4147 m<sup>3</sup> / ha (Figura 12 y Tabla 9). En cualquier caso, estos valores están muy alejados de las dotaciones de riego disponibles en 2023.

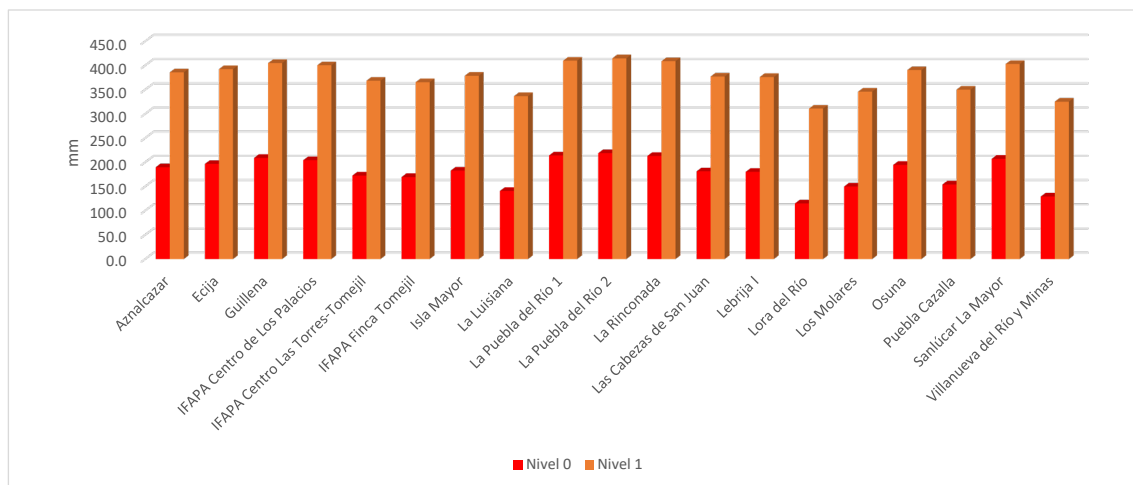


Figura 12. Volúmenes de riego necesarios para alcanzar los valores de estrés del nivel 0 (muerte de la plantación) y nivel 1 (reducción de la producción sin afectar a la supervivencia de la plantación).

Tabla 9. Volumen de riego necesario (en mm) para alcanzar el nivel 0 (muerte de la plantación), el nivel 1 (riego deficitario con caídas en la producción, pero sin afectar la supervivencia de esta), y un nivel intermedio entre ambos.

	<b>Nivel 0</b> (mm)	<b>Nivel 1</b> (mm)	<b>Media</b> (mm)
Aznalcazar	189.8	385.7	287.7
Écija	196.5	392.4	294.4
Guillena	209.0	404.9	306.9
IFAPA Centro de Los Palacios	204.3	400.2	302.3
IFAPA Centro Las Torres-Tomejil	172.5	368.4	270.4
IFAPA Finca Tomejil	169.5	365.3	267.4
Isla Mayor	182.8	378.7	280.8
La Luisiana	140.7	336.5	238.6
La Puebla del Río 1	214.0	409.9	312.0
La Puebla del Río 2	218.8	414.7	316.8
La Rinconada	213.0	408.9	310.9
Las Cabezas de San Juan	181.2	377.1	279.2
Lebrija I	180.2	376.1	278.1
Lora del Río	114.9	310.8	212.8
Los Molares	149.9	345.8	247.9
Osuna	194.5	390.4	292.5
Puebla Cazalla	154.1	350.0	252.0
Sanlúcar La Mayor	207.1	402.9	305.0
Villanueva del Río y Minas	129.3	325.2	227.2

## 5. Recomendaciones generales

### 5.1. Actuaciones en la fase de diseño de la plantación

- Una alta densidad de plantación incrementará su sensibilidad al estrés hídrico (Lovera y Arquero, 2023) por lo que la densidad y el volumen de copa deberán ajustarse a la disponibilidad de agua prevista a medio – largo plazo.
- Las plantaciones en caballón presentan menores riesgos de asfixia de raíces, pero se incrementa la sensibilidad a la falta de agua.
- En una plantación muy superficial se está penalizando la profundidad que alcanzará el sistema radical en el futuro y por lo tanto se propicia una mayor sensibilidad a estreses hídricos futuros.
- Respecto a la elección del material vegetal, los patrones híbridos de almendro x melocotonero y los francos de almendro, son los más resistentes a condiciones de estrés hídrico (Lovera y Arquero, 2023).
- Sin embargo, no se tienen referencias claras de la existencia de diferencias varietales respecto a la resistencia a la sequía, no siendo recomendables variedades que sean muy productivas y veceras, como Ferraduel.

### 5.2. Prácticas de manejo de la plantación

- En situaciones de severa limitación de recursos hídricos, durante el periodo invernal se realizarán podas de aclareo fuertes para disminuir el volumen de copa y cosecha, que será acompañada, al año siguiente, con poda en verde de eliminación de chupones.
- En situaciones críticas, se podría llegar a hacer una poda en verde de aclareo severo, aunque se requieren trabajos experimentales adicionales para conocer en detalle el comportamiento de este tipo de intervenciones.
- Aunque se produjera una pérdida total o parcial de la cosecha por la falta de agua, habrá que mantener los tratamientos fitosanitarios para no empeorar el estado vegetativo de la plantación.
- Sin embargo, sí habrá que modificar el aporte de fertilizantes, adecuándolo a las condiciones de falta de agua en el suelo y de estrés hídrico en la planta.
- La implantación de cubiertas vegetales vivas supone claros beneficios en relación con la reducción de escorrentía y erosión, así como un incremento de la biodiversidad, pero puede suponer mermas en la cosecha, especialmente en condiciones de sequía y riegos muy limitados.
- Sino se considera una cubierta espontánea habrá que llevar a cabo un control estricto de las malas hierbas, siendo también aconsejable la realización de labores superficiales en caso de la aparición de grietas para reducir pérdidas de agua por capilaridad.
- En cualquier caso, una correcta gestión de las cubiertas es imprescindible, asegurándose de realizar la siega de estas en el momento adecuado para no compitan con el cultivo por los recursos hídricos.
- La implantación de cubiertas inertes tiene grandes beneficios en relación con la reducción de escorrentía y erosión, sin suponer una competencia para el cultivo.

### 5.3. Actuaciones relacionadas con la gestión del riego

- Al analizar el estado de las plantaciones con riegos deficitarios se identificaron caídas en la producción, pero no se detectaron problemas de supervivencia, determinándose en estas circunstancias valores de  $K_s$  mayores a 0.2.
- Por este motivo, la consideración de umbrales de estrés ( $K_s$ ) de entre 0.2 y 0.25 son valores razonables para evitar daños severos en las plantaciones de almendro.
- El riego deficitario controlado proporcionó resultados muy satisfactorios siempre que el nivel de estrés ( $K_s$ ) durante el verano no alcance valores por debajo de 0.2, y los estreses durante las fases de floración y postcosecha sean reducidos.
- El riego deficitario sostenido proporcionó también resultados muy satisfactorios siempre que el nivel de estrés ( $K_s$ ) durante el verano no alcance valores por debajo de 0.2.
- Considerando estrategias de riego deficitario controlado, estas son las reducciones generales propuestas en función de la disponibilidad de riego:
  - 3500 m<sup>3</sup> / ha: 50% de reducción del riego respecto al óptimo en periodos no críticos, y 0% de reducción en periodos críticos.
  - 2500 m<sup>3</sup> / ha: 70% de reducción en periodos no críticos y del 15% en periodos críticos.
  - 1500 m<sup>3</sup> / ha: 85% de reducción en periodos no críticos y del 40% en periodos críticos.
- Se ha demostrado que estreses hídricos severos en el cultivo del almendro comprometen seriamente la supervivencia de las plantaciones, por lo que el desarrollo de estrategias de riego de supervivencia es imprescindible en condiciones de sequía severa.
- Si es preciso recurrir al riego de supervivencia, los eventos de riego se deberán aplicar especialmente durante el verano para evitar que el coeficiente de estrés  $K_s$  baje de 0.2, y con dosis de riego altas para evitar evaporación desde el suelo y lograr una más extensa distribución del sistema radical del árbol.
- Dadas las condiciones meteorológicas de 2023 se precisarían volúmenes de riego superiores a los 1500 m<sup>3</sup>/ha para asegurar la supervivencia de las plantaciones, si bien se detectan grandes diferencias entre comarcas.
- A la hora de la realización de calendarios de riego deficitario severo y de supervivencia el papel del suelo es crítico.
- El sistema de riego recomendado para plantaciones adultas de almendro es la doble línea de goteros, evitando el empleo de una línea de goteros simple.
- Se recomienda el uso de la App Riego Almendro, herramienta desarrollada por IFAPA para la realización de calendarios de riego óptimo, deficitario y de supervivencia, y accesible de forma gratuita desde las plataformas Google Play y App Store.
- Todos los resultados proporcionados en este informe han sido obtenidos de forma preliminar para ofrecer soluciones generales al problema de la limitación de recursos hídricos en plantaciones de almendro en Andalucía, pero para la obtención de calendarios de riego específicos se requiere una caracterización detallada de la plantación.

## 6. Referencias

Espadafor M, Orgaz F, Testi L, Lorite IJ, García-Tejera O, Villalobos F, Fereres E (2018) Almond tree response to a change in wetted soil volume under drip irrigation. *Agricultural Water Management* 202:57-65

ESYRCE (2021). Encuesta sobre Superficies y Rendimientos de Cultivos.

García-Tejero IF, Moriana A, Rodríguez PCR, Durán ZVH, Egea G (2018a) Sustainable deficit-irrigation management in almonds (*Prunus dulcis* L.): different strategies to assess the crop water status. En: *Water Scarcity and Sustainable Agriculture in Semiarid Environment: Tools, Strategies and Challenges for Woody Crops*. Academic Press Elsevier, pp. 271-298. London, UK.

García-Tejero IF, Rubio AE, Viñuela I, Hernández A, Gutiérrez GS, Rodríguez PCR, Durán ZVH (2018b) Thermal imaging at plant level to assess the crop-water status in almond trees (cv. Guara) under deficit irrigation strategies. *Agricultural Water Management* 208: 176-186.

Goldhamer DA, Fereres E (2017) Establishing an almond water production function for California using long-term yield response to variable irrigation. *Irrigation Science* 35: 169-179.

Gutiérrez GS (2022) New approaches to Hydrosustainable almonds production: agronomical, physiological and quality effects. 237 pp. Tesis Doctoral con acceso en: <https://idus.us.es/handle/11441/136019>

Gutiérrez-Gordillo S, García-Tejero IF, Durán-Zuazo VH, Díaz-Espejo A, Hernández-Santana V (2023) The effect of nut growth limitation on triose phosphato utilization and downregulation of photosynthesis in almond. *Tree Physiology* 43:288-300.

López-López M, Espadafor M, Testi L, Lorite IJ, Orgaz F, Fereres E (2018a) Water requirements of mature almond trees in response to atmospheric demand. *Irrigation Science* 36: 271-280.

López-López M, Espadafor M, Testi L, Lorite IJ, Orgaz F, Fereres E (2018b) Water use of irrigated almond trees when subjected to water deficits. *Agricultural Water Management* 195: 84-93.

López-López M, Espadafor M, Testi L, Lorite IJ, Orgaz F, Fereres E (2018c) Yield response of almond trees to transpiration deficits. *Irrigation Science* 36: 111-120.

Lorite IJ, Santos C, Testi L, Fereres E (2012) Design and construction of a large weighing lysimeter in an almond orchard. *Spanish Journal of Agricultural Research* 10(1):238-250.

Lovera M, Arquero O (2023) Densidad de plantación en almendro. *Fruticultura Profesional* 93: 2-23.

Mirás-Avalos JM, González-Dugo V, García-Tejero IF, López-Urrea R, Intrigliolo D, Egea G (2023). Quantitative analysis of almond yield response to irrigation regimes in Mediterranean Spain. *Agricultural Water Management* 279: 108208.

Moldero D, López-Bernal A, Testi L, Lorite IJ, Fereres E, Orgaz F (2021) Long-term almond yield response to deficit irrigation. *Irrigation Science* 39: 409-420.

Moldero D, López-Bernal A, Testi L, Lorite IJ, Fereres E, Orgaz F (2022) Almond responses to a single season of severe irrigation water restrictions. *Irrigation Science* 40: 1-11.

Rallo G, Paço TA, Paredes P, Puig-Sirera A, Massai R, Provenzano G, Pereira LS (2021) Updated single and dual crop coefficients for tree and vine fruit crops. *Agricultural Water Management* 250: 106645.



**Junta de Andalucía**

