



A-08-2025

Comunicación científico-técnica

Efecto de la dosis de riego sobre el estado hídrico y la producción del pistachero (cv. Kerman) en Valladolid

Effect of the irrigation dose on the water status and yield of pistachio trees (cv. Kerman) in Valladolid

Núñez, L.¹, Martín, H.¹, Mirás-Avalos, J.M.², Álvarez, S.¹

- 1 Instituto Tecnológico Agrario de Castilla y León (ITACYL), Ctra. Burgos, 119, 47071, Valladolid
- 2 Misión Biológica de Galicia (MBG-CSIC), Sede Santiago, Avda. de Vigo s/n, Campus Vida, 15705, Santiago de Compostela, jmmiras@mbg.csic.es

Resumen: En España, la superficie dedicada al cultivo del pistachero ha aumentado notablemente en los últimos años, estableciéndose como una alternativa agrícola de gran potencial para numerosas zonas áridas o semiáridas del interior de la península. Sin embargo, es necesario conocer el comportamiento fisiológico y productivo de este cultivo bajo las condiciones de estas zonas para informar a los agricultores sobre el manejo del mismo. En este sentido, el objetivo de este trabajo fue evaluar el impacto de distintas estrategias de riego sobre el estado hídrico y la producción de la variedad *Kerman* en una plantación de 10 años situada en La Seca (Valladolid). Se establecieron dos dosis de riego diferenciadas, donde el tratamiento Riego Alto (A) recibió un 50% más de la cantidad de agua aportada al control (C) durante tres campañas: 2021, 2022 y 2023. Durante 2023 se midió el potencial hídrico de tallo a mediodía, así como la humedad volumétrica del suelo y se hizo un seguimiento de las características productivas de la cosecha (cantidad y calidad). El contenido de agua en el suelo de ambos tratamientos de riego estuvo claramente diferenciado a lo largo del ensayo, observándose los valores más elevados en el tratamiento A. Durante el verano, los árboles mostraron una ligera deshidratación, descenso del potencial hídrico de tallo, siendo los árboles de C los que presentaron los valores más negativos (-1,2 MPa). El potencial hídrico se recuperó en septiembre, con las primeras lluvias, en ambos tratamientos. En 2023, la producción de pistacho fue de 9,8 y 11,3 kg de peso fresco por árbol en C y A, respectivamente, pero esta diferencia no fue estadísticamente significativa debido a la gran variabilidad entre árboles. Sin embargo, sí se aprecian diferencias en la producción acumulada hasta esa fecha (de 2021 a 2023). El peso seco de pistacho abierto acumulado hasta 2023, con más valor comercial, fue superior en A en comparación con C. En general, no hubo diferencias en la composición



XL Congreso Nacional de Riegos ALBACETE

11, 12 y 13 de junio de 2025



mineral de los frutos de los dos tratamientos de riego (excepto en hierro y fibra, siendo la presencia de hierro mayor en las producciones obtenidas en árboles C, mientras que la fibra obtuvo valores superiores en árboles A). Esta información es importante para establecer la estrategia de riego más adecuada para la variedad *Kerman* en las condiciones de Castilla y León.

Palabras clave: Composición nutricional; humedad del suelo; *Pistacia vera* (L.); potencial hídrico.

Abstract: In recent years, the area devoted to pistachio cultivation in Spain increased noticeably, thus emerging as an agricultural alternative with considerable potential for arid and semi-arid regions within the country. However, in order to provide farmers with the necessary information regarding the management of this crop, it is essential to ascertain its physiological and productive behaviour under the conditions prevalent in these areas. In this sense, the current study aimed to evaluate the impact of different irrigation strategies on the water status and yield of the *Kerman* cultivar in a 10-year-old orchard located in La Seca (Valladolid). Two different irrigation doses were established, where the high irrigation treatment (A) received 50% more water than the control (C) during three seasons: 2021, 2022 and 2023. In 2023, the midday stem water potential, the volumetric soil moisture and crop yield characteristics (quantity and quality) were monitored. The irrigation treatments exhibited marked variations in soil water content throughout the experimental period, with treatment A showing the highest values. During the summer months, a slight decline in stem water potential was observed, with trees in treatment C exhibiting the most negative values (-1.2 MPa). This indicated a state of slight dehydration in the trees. Stem water potential recovered in September in both irrigation treatments, coinciding with the onset of the first rainfall events. In 2023, pistachio yield was 9.8 and 11.3 kg fresh weight per tree in C and A, respectively. However, this discrepancy was not statistically significant due to the considerable variability observed between individual trees. Nevertheless, disparities in the cumulative production were evidenced up to that point (from 2021 to 2023). The dry weight of open pistachio nuts, with a higher commercial value, accumulated until 2023 was higher in A compared to C. In general, there were no differences in the nutritional composition of the fruits of the two irrigation treatments (except for iron and fibre, with iron content being higher in nuts from C trees, while fibre content was higher in nuts from A trees). This information is relevant to establish a suitable irrigation strategy for the *Kerman* variety in the conditions of Castilla y León.

Keywords: Nutritional composition, soil moisture, *Pistacia vera* (L.), water potential.

1. Introducción

El pistachero es resistente a la sequía y se ha convertido en una opción estratégica para diversificar la agricultura en zonas de interior de clima semiárido, caracterizadas por inviernos relativamente fríos y veranos secos y calurosos. Sin embargo, el sector se enfrenta a retos importantes, como la necesidad de mejorar en el conocimiento de variedades y patrones y optimizar las técnicas de cultivo, en especial las estrategias de riego [1]. Castilla y León cuenta con 1.646 hectáreas de pistachero plantadas, según el último informe de la Encuesta sobre Superficies y Rendimientos, de las cuales 882 hectáreas están en regadío y 764 en secano [2]. Esta cifra sitúa a Castilla y León como la cuarta comunidad autónoma en superficie de pistachero en España, por detrás de Castilla-La Mancha, Andalucía y Extremadura.

A pesar de la adaptación del cultivo al secano, el riego suplementario mejora significativamente el rendimiento y la calidad del fruto, especialmente en etapas fenológicas críticas como el llenado del fruto [3]. En este contexto, resulta prioritario comprender la respuesta fisiológica y productiva del pistachero frente a diferentes niveles de riego aportado. La integración de tecnologías de monitoreo (sensores de humedad, cámaras de presión) con modelos predictivos basados en la evapotranspiración del cultivo (ET_c) está permitiendo optimizar los calendarios de riego, particularmente en sistemas con riego localizado [4]. Variables fisiológicas como el potencial hídrico de tallo (Ψ_t) y la humedad volumétrica del suelo constituyen indicadores clave para evaluar el estado hídrico del cultivo. Estos parámetros, junto con variables productivas como el rendimiento, el número de racimos y la proporción de frutos abiertos, cerrados y vacíos, permiten caracterizar el efecto de diferentes estrategias de riego sobre el comportamiento agronómico del pistachero [5]. Esto permitirá formular recomendaciones más ajustadas sobre el manejo del riego, orientadas a maximizar la eficiencia hídrica sin comprometer la calidad ni la sostenibilidad del cultivo. En este contexto, el objetivo de este trabajo fue evaluar el impacto de dos estrategias de riego sobre el estado hídrico y la producción de la variedad *Kerman* en una plantación de 10 años situada en La Seca (Valladolid).

2. Materiales y métodos

La parcela en la que se ha llevado a cabo el ensayo está situada en La Seca, Valladolid (41° 26' N 4° 43' W, 757 m s.n.m.), bajo un clima Mediterráneo con una precipitación media anual de 309 mm. El suelo es de textura franco-arenosa, con un pH de 6,0, una conductividad eléctrica de 2,42 mS m⁻¹ y un porcentaje de materia orgánica de 0,35.

El material vegetal utilizado fue árboles de pistachero de la variedad *Kerman* sobre patrón UCB-1 con un marco de plantación de 7 x 6 m. En 2021 se establecieron dos tratamientos de riego con dosis diferenciadas, denominados riego control (C) y riego alto (A). La infraestructura de riego de la parcela se compone de una instalación fotovoltaica que alimenta un cabezal de riego que suministra caudal a dos sectores diferenciados, el programador de riego automático permitió modificar los tiempos de riego para establecer las dosis aplicadas. La Tabla 1 refleja las cantidades de agua recibidas en cada tratamiento de riego durante el

ensayo, aportándose en el tratamiento A una cantidad 50% mayor que la aplicada en C. Las variables meteorológicas (evapotranspiración y precipitación efectiva) se obtuvieron de una estación automática situada en Rueda, a 5 km de la parcela experimental. En la estimación de la ET_c se usó un coeficiente de cultivo (K_c) para cada período de crecimiento del fruto [6] y un coeficiente corrector (K_r) de 0,5 teniendo en cuenta el marco de plantación y el tamaño de copa [7]. La ET_c calculada en la campaña de riego 2023 fue 320 mm. En el año 2023, el tratamiento C recibió el 67% de la ET_c , mientras que en A se aplicó un 87% de la ET_c calculada.

Tabla 1. Evapotranspiración de referencia (ET_0), evapotranspiración del cultivo (ET_c) y precipitación efectiva (P_{ef}) registrada en la estación meteorológica de Rueda (Valladolid) y cantidades de agua aportadas en cada uno de los tratamientos de riego durante la campaña de 2023 (de marzo a octubre)

Período tiempo (mayo-octubre)	Año 2023	
ET_0 (mm)	642	
ET_c (mm)	320	
P_{ef} (mm)	87	

Tratamiento riego	Control	Alto
Riego aportado (mm)	138	207
Riego + P_{ef} (mm)	225	294
Cantidad de agua aportada / ET_c (%)	67	87

En 2023 se midió el potencial hídrico de tallo a mediodía (Ψ_t) semanalmente, usando una cámara de presión (Model 3000; Soil Moisture Equipment) y se registró la humedad volumétrica del suelo con sensores de humedad (SMT-100) instalados a 40 cm de profundidad. En cosecha (octubre 2023) se registró la producción de 10 árboles por cada tratamiento de riego. Se determinaron los siguientes parámetros: peso fresco (PF) y peso seco (PS) de frutos cosechados por árbol, peso promedio del fruto, calibre del fruto y número de racimos por árbol. El calibre se determinó como el número de pistachos presentes en una onza (28,35 g). En cuanto a la calidad de la cosecha de pistacho, se determinaron los porcentajes de frutos abiertos, cerrados y vanos, y con estos valores se calculó el peso por árbol de cada tipo de fruto (y por ha). Se analizó la composición mineral de los pistachos (grasas, hidratos, proteínas, hierro, fibra, calcio, fósforo, magnesio, sodio, zinc y selenio). Los porcentajes de grasa se determinaron por gravimetría (previa extracción soxhlet), los de hidratos de carbono por gravimetría, los de proteínas por combustión directa DUMAS, los de fibra por el método enzimático-gravimétrico, los de fósforo por espectrofotometría UV-VIS (previa digestión ácida por vía seca), los de magnesio y calcio por espectrofotometría de absorción atómica (previa digestión ácida por vía seca) y la cantidad (mg/kg) de hierro, zinc, sodio y selenio por espectrofotometría de emisión atómica (previa digestión ácida por vía seca). En la evaluación de la cosecha acumulada hasta 2023, se concatenaron las cifras de cosecha de 2021 y 2022, para determinar el peso seco de frutos por árbol y el porcentaje de frutos abiertos, cerrados y vanos,

en las tres campañas sucesivas en las que los árboles fueron regados bajo los dos tratamientos diferenciados.

La significación de los efectos de los tratamientos de riego fue analizada mediante la prueba t de Student usando el software Statgraphics Plus.

3. Resultados y discusión

La humedad volumétrica de suelo medida en cada uno de los tratamientos de riego establecidos indica que estos fueron correctamente aplicados (Figura 1), el tratamiento C mostró un porcentaje de humedad inferior al registrado en A.

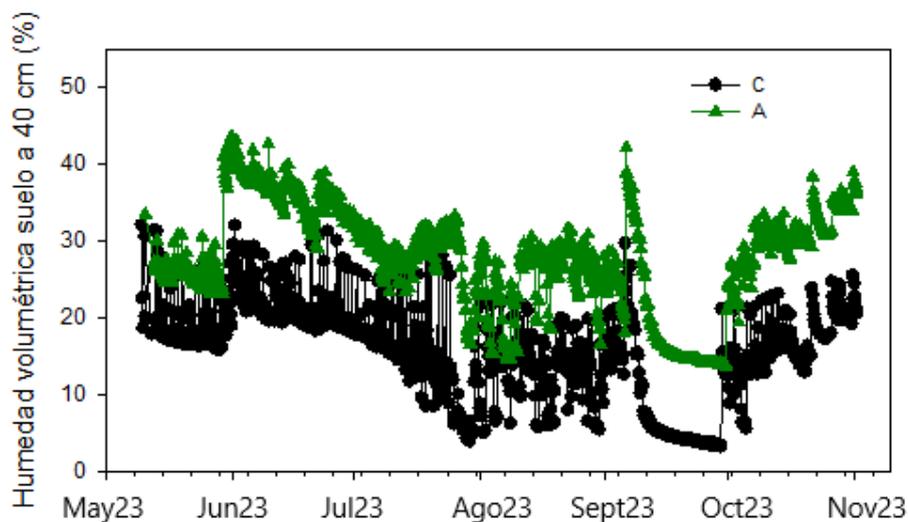


Figura 1. Humedad volumétrica del suelo a 40 cm de profundidad en árboles de pistacho sometidos a distintos tratamientos de riego (A: alto y C: control) en el año 2023 (mayo-octubre 2023)

El potencial hídrico de tallo medido al mediodía solar presentó una tendencia decreciente en función del ascenso de la demanda evaporativa a lo largo del ciclo vegetativo (Figura 2). Se registraron valores máximos (menos negativos) al inicio del período de mediciones (junio) y mínimos a finales de agosto, cuando las condiciones ambientales son más estresantes: temperaturas elevadas y DPV altos. En ese momento, los valores más positivos de Ψ_t (-1,0 MPa) fueron detectados en árboles del tratamiento A y los valores más negativos (-1,2 MPa) correspondieron a los árboles que recibieron menos agua (C). Estos valores se recuperaron en septiembre en ambos tratamientos por las lluvias. En general, valores más altos de Ψ_t correspondieron a los árboles A, aunque estas diferencias entre tratamientos no fueron significativas hasta primeros de julio. Los valores de Ψ_t descendieron de forma proporcional al nivel de déficit impuesto. El contenido en humedad del suelo en la zona de máxima

actividad radicular de los árboles, estuvo claramente diferenciado desde el inicio del ensayo (Figura 1). Sin embargo, las diferencias en el Ψ_t medido al mediodía solar no comenzaron a ser significativas entre tratamientos hasta el mes de julio (Figura 2c).

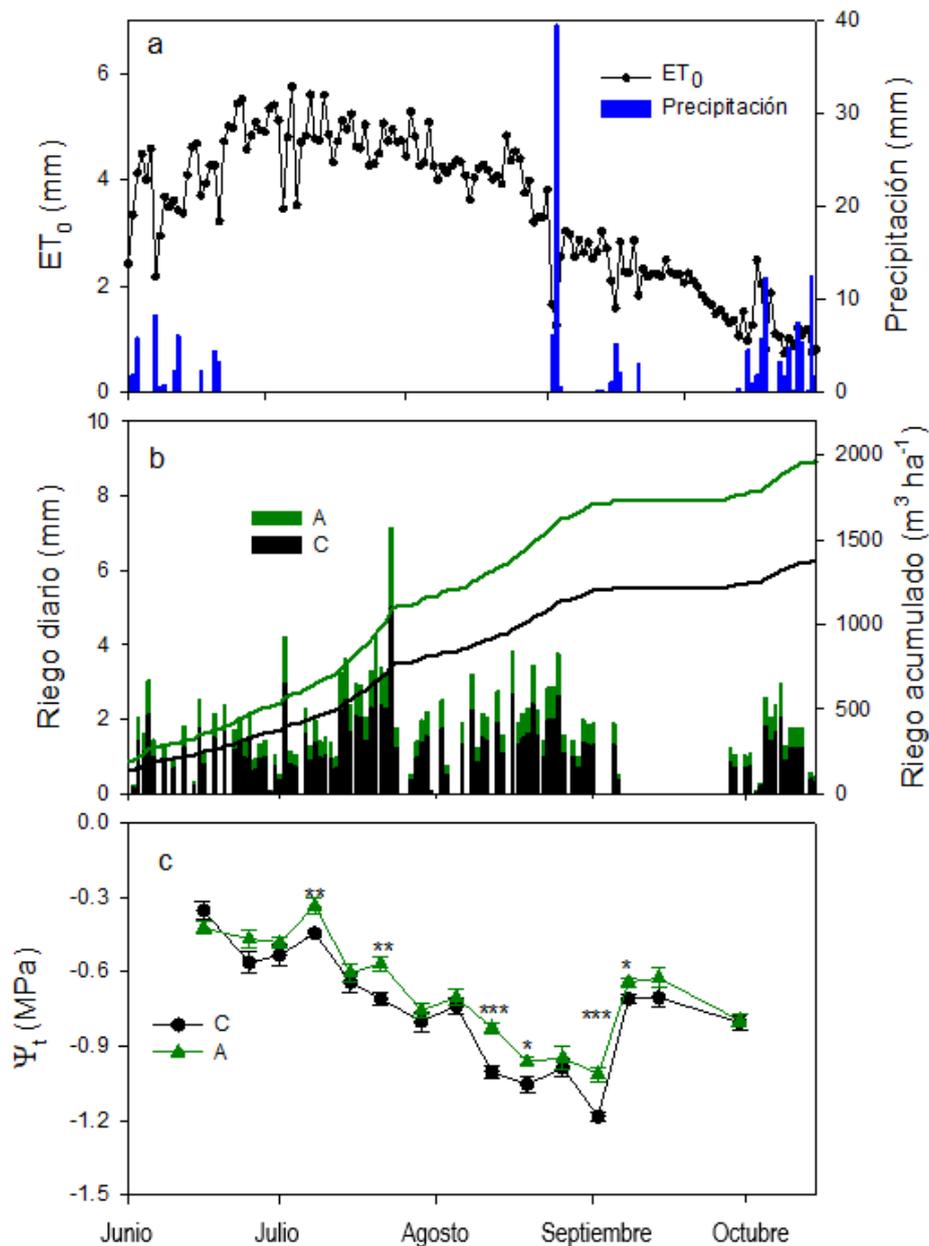


Figura 2. Evapotranspiración de referencia (ET_0) y precipitación, obtenidas en la estación meteorológica automática Rueda (a); Aplicación de riegos en cada uno de los tratamientos alto (A) y control (C) (b) y potencial hídrico de tallo (Ψ_t) (media \pm SE) en árboles de pistacho regados bajo dos dosis de riego diferenciadas (A y C) durante el período experimental (c). Los asteriscos indican diferencias significativas entre tratamientos de acuerdo a la prueba t-Student.

En cuanto a las características productivas, en 2023 la producción fue de 9,8 y 11,3 kg de peso fresco por árbol en los tratamientos C y A, respectivamente; sin embargo, esta diferencia no fue significativa debido a la alta variabilidad entre árboles (Tabla 2). Los árboles A tuvieron un mayor número de racimos por árbol que los árboles C. Respecto a calidad de cosecha, los árboles que recibieron una mayor dosis de agua generaron un porcentaje de pistachos abiertos superior y un menor porcentaje de pistachos cerrados en la campaña 2023, aunque esta tendencia no fue estadísticamente significativa y no se detectaron diferencias entre tratamientos (Tabla 2). La Tabla 3 muestra la composición mineral determinada en el análisis del fruto de pistacho, si bien no se detectaron diferencias entre los dos tratamientos de riego, excepto para los contenidos de fibra y hierro, el contenido de fibra fue más elevado y el contenido de hierro en el tratamiento A fue menor con respecto al tratamiento C.

Tabla 2. Parámetros de control de cosecha en árboles de pistacho (variedad *Kerman*) sometidos a dos tratamientos de riego durante la campaña 2023. Letras distintas en la fila indican diferencias entre tratamientos según la t de Student ($\alpha < 0,05$).

Año 2023	Tratamiento de riego		Significación estadística
	Control	Alto	
PF cosecha (kg/árbol)	9,8±1,0	11,3±1,3	ns
PS cosecha (kg/árbol)	3,7±0,4	4,1±0,5	ns
Nº racimos por árbol	209,5±26,7 a	322,5±33,7 b	**
Peso fruto (g)	1,3±0,0	1,3±0,0	ns
Calibre	21,0±0,5	20,6±0,4	ns
% Abiertos	45,6±6,5	51,0±4,1	ns
% Cerrados	40,0±5,4	35,8±3,8	ns
% Vanos	14,4±1,8	13,3±1,5	ns

Tabla 3. Composición mineral de pistachos variedad *Kerman* producidos bajo dos tratamientos de riego diferenciados en una parcela ubicada en La Seca (Valladolid), en la cosecha del 2023. Letras distintas en la fila indican diferencias entre tratamientos según la t de Student ($\alpha < 0,05$).

Parámetro analizado	Tratamiento de riego	
	Control	Alto
Grasas (%)	46,74±0,54	46,20±0,39
Hidratos (%)	21,88±0,51	22,55±0,30
Proteínas (%)	22,57±0,36	22,82±0,28
Hierro (mg/kg)	38,92±1,43 b	34,75±0,99 a
Fibra	11,58±0,21 a	12,39±0,22 b
Calcio (%)	0,11±0,0	0,11±0,0
Fosforo (%)	0,51±0,01	0,52±0,01
Magnesio (%)	0,12±0,00	0,11±0,0
Sodio(mg/kg)	6,20±0,62	5,29±0,5
Zinc (mg/kg)	16,83±0,37	17,17±0,59
Selenio (mg/kg)	<0,5	<0,5

Al considerar la cantidad de pistachos total acumulada en las 3 campañas, el peso seco total acumulado fue superior en el tratamiento A, pero estas diferencias no fueron significativas (Figura 3a).

Atendiendo a parámetros de calidad, la cantidad de pistacho abierto acumulado hasta 2023, con más valor comercial, fue superior en A en comparación con el de C (Figura 3b). Hasta la segunda campaña (2022) no se observaron diferencias entre tratamientos de riego en los parámetros de calidad evaluados en la cosecha. En las campañas 2022 y 2023, los árboles sometidos a un riego A produjeron mayor cantidad acumulada de pistacho abierto que los árboles de riego C. Es esencial evaluar el impacto a largo plazo de estas estrategias para optimizar el uso de los recursos hídricos en pistachero.

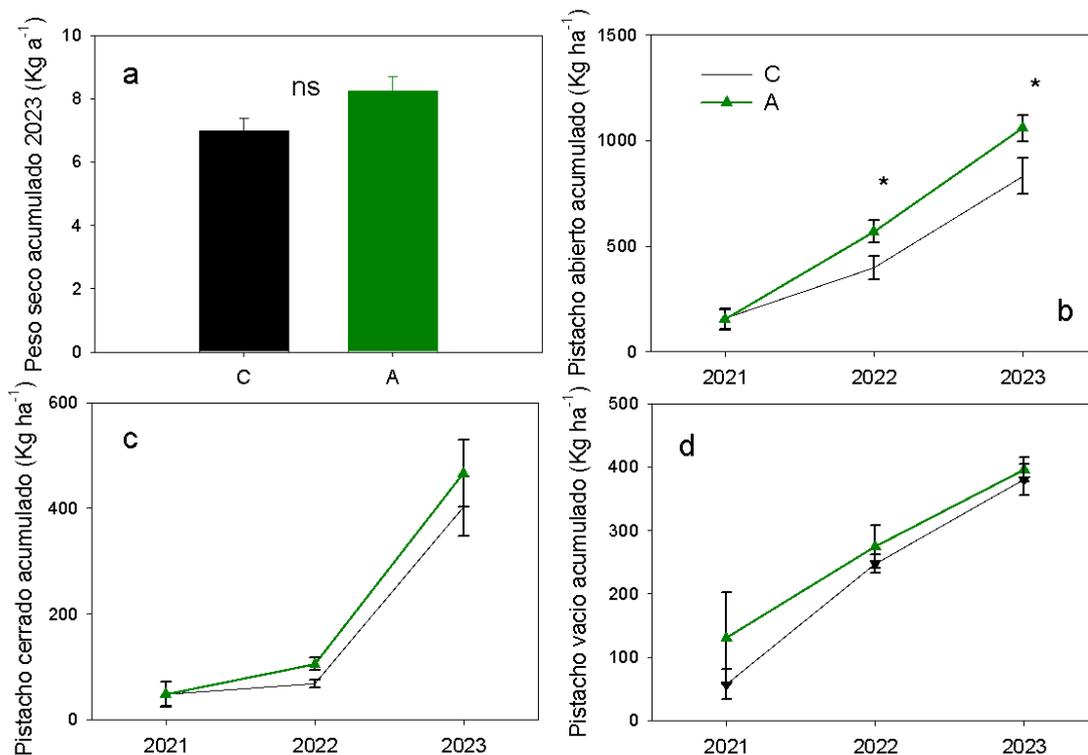


Figura 3. Evolución de peso seco pistacho acumulado (a) y distintos parámetros de calidad de cosecha: peso seco de pistacho abierto (b), pistacho cerrado (c) y pistacho vacío (d) en árboles de pistacho de la variedad *Kerman* sometidos a dos tratamientos de riego diferenciados durante el período experimental (2021-2023).

4. Conclusiones

Los resultados obtenidos en este ensayo, con una aplicación de dos dosis de riego diferenciadas en pistacheros de la variedad *Kerman* a lo largo de tres campañas consecutivas (2021-2023) revelaron que una mejora en el estado hídrico de los árboles bajo estrategias de riego con mayor dotación (tratamiento A) se traducen, a medio plazo, en una tendencia hacia una mayor producción acumulada y mayor proporción de frutos abiertos (comercialmente más



XL Congreso Nacional de Riegos ALBACETE

11, 12 y 13 de junio de 2025



valorados). Estos hallazgos subrayan la importancia de considerar el efecto acumulativo de las prácticas de riego sobre la cantidad y calidad de frutos cosechados a lo largo del tiempo, más allá de las fluctuaciones interanuales.

Desde un enfoque práctico, los datos obtenidos respaldan la necesidad de ajustar las estrategias de riego no solo en función de la evapotranspiración estimada, sino también atendiendo a la fase fenológica y a la dinámica hídrica del suelo, con el fin de maximizar la eficiencia en el uso del agua sin comprometer el rendimiento ni la calidad del fruto.

Los avances en el conocimiento de la fisiología del pistachero y en el uso de tecnologías de monitoreo permitirán diseñar estrategias de riego más ajustadas a las necesidades reales del cultivo en la Comunidad de Castilla y León.

5. Agradecimientos

Este trabajo ha sido financiado a través del proyecto “Estrategias encaminadas a la sostenibilidad y rentabilidad del cultivo del pistachero y del almendro en Castilla y León” con financiación del programa FEADER, la ayuda RYC2021-033890-I, financiada por MCIN/AEI/10.13039/501100011033 y la Unión Europea “NextGenerationEU”/PRTR y la ayuda para contratos predoctorales para la formación de doctores PRE2021-098641.

Referencias

- [1] Martínez-Burgos, E., Fariña-Flores D., Guerrero Villaseñor J., Martínez-Peña, R, y Mérida-García M.R., Tendencias y conceptos básicos de la poda del pistachero en España, *Vida Rural*, n.º 562, pp. 38-44, marzo de 2025.
- [2] ESyrCE, Encuesta sobre Superficies y Rendimientos de Cultivos. Año 2023. Subsecretaría de Agricultura, Pesca y Alimentación Subdirección General de Análisis Coordinación y Estadística, 2023. [En línea]. Disponible en: https://www.mapa.gob.es/es/estadistica/temas/estadisticas-agrarias/boletin20231_tcm30-690544.pdf
- [3] J. Guerrero, A. Moriana, D. Perez-Lopez, J. F. Couceiro, N. Olmedilla, y M. C. Gijon, Regulated deficit irrigation and the recovery of water relations in pistachio trees, *Tree Physiology*, vol. 26, n.º 1, pp. 87-92, ene. 2006, doi: 10.1093/treephys/26.1.87.
- [4] E. Fernández-Suela, Respuestas fisiológicas y productivas en árboles de pistacho de la variedad Kerman. Efectos del patrón y el estrés hídrico, Universidad Politécnica de Madrid. Escuela Técnica Superior de Ingeniería Agronómica, Alimentaria y de Biosistemas, Madrid, 2023.
- [5] G. Marino *et al.*, Sustainability of pistachio production (*Pistacia vera* L.) under supplemental irrigation in a Mediterranean climate, *Scientia Horticulturae*, vol. 241, pp. 260-266, nov. 2018, doi: 10.1016/j.scienta.2018.06.032.
- [6] H. Memmi, J. F. Couceiro, C. Gijón, y D. Pérez-López, Impacts of water stress, environment and rootstock on the diurnal behaviour of stem water potential and leaf conductance in pistachio (*Pistacia vera* L.), *Span. J. Agric. Res.*, vol. 14, n.º 2, p. 0804, jun. 2016, doi: 10.5424/sjar/2016142-8207.
- [7] E. Fereres y D. A. Goldhamer, Deciduous fruit and nut trees. In: *Irrigation of Agricultural Crops* (B.A. Stewart and D.R. Nielsen, Eds.), en *American Society of Agronomy Monograph*, Madison, Wisconsin, 1990, pp. 987-1017.