CLIMED-FRUIT

Prácticas innovadoras para la gestión del estrés hídrico y la agricultura de secano en cultivos perennes

La región mediterránea es conocida por su clima cálido y sus limitados recursos hídricos, lo que la hace vulnerable al estrés hídrico y a los efectos del cambio climático. En la región se han desarrollado y aplicado diversas prácticas innovadoras para hacer frente a estos retos de la gestión del estrés hídrico y la agricultura de secano. La agricultura de secano se basa en la humedad natural retenida en el suelo y en técnicas agrícolas específicas para garantizar que los cultivos reciban suficiente agua para crecer y producir. Sin embargo, requiere un alto nivel de conocimientos y experiencia, ya que los agricultores deben ser capaces de evaluar el estado del suelo y adaptar las técnicas a las cambiantes condiciones meteorológicas. Las estrategias clave incluyen el riego deficitario regulado (RDR) y el secado parcial de la zona radicular (SPR), que optimizan el uso del agua centrándose en las fases críticas del crecimiento o alternando la hidratación de la zona radicular. Las técnicas de gestión del suelo, como el *mulching*, la adición de materia orgánica y la plantación de cultivos de cobertura, mejoran la retención de humedad y la estructura del suelo. Tecnologías avanzadas como los sensores de humedad del suelo, la teledetección y los sistemas de control en tiempo real mejoran la precisión en la aplicación del agua.

Los agricultores están adaptando sus prácticas para hacer frente a la situación, pero muchas de estas soluciones siguen limitándose a regiones o sectores agrícolas específicos. El proyecto CLIMED-FRUIT [1] financiado por la UE trata de cubrir este desajuste recopilando y compartiendo prácticas innovadoras y adaptadas al clima de diversos grupos agrícolas europeos para mejorar la resiliencia y promover una adaptación y mitigación eficaces contra el cambio climático.

El presente artículo presenta una lista no exhaustiva de resultados experimentales de proyectos acometidos en toda Europa e identificados en el marco del proyecto CLIMED-FRUIT.

Instalación de un sistema tradicional de riego eficiente

Hay varias formas de mejorar la eficiencia del agua de riego. En primer lugar, la elección del sistema de riego es un factor crítico: la opción de un sistema de goteo localizado o de *bajo caudal* distribuye el agua lo más cerca posible de las raíces, con lo que así se evita la evaporación excesiva y se limita el crecimiento de malas hierbas. Sin embargo, una distribución muy localizada del agua no estimula el desarrollo de los sistemas radiculares en cuanto a su profundidad y en un horizonte amplio, lo que aumenta la dependencia de las plantas del riego. Por lo tanto, la elección del sistema de riego, su colocación y la sincronización de los aportes son factores que contribuyen a mejorar la eficiencia en el uso del agua.

El presente proyecto ha recibido financiación del programa de investigación e innovación Horizonte Europa de la Unión Europea en virtud del acuerdo de subvención n.º 101060474. La presente comunicación solo refleja la opinión del autor. La Agencia Ejecutiva de Investigación no se hace responsable del uso que pueda hacerse de la información facilitada. Los autores y editores declinan toda responsabilidad por posibles inexactitudes o daños derivados de la aplicación de las recomendaciones de este artículo.

Riego por goteo

Es uno de los sistemas más extendidos para el cultivo de plantas perennes (figura 1). En este sistema, se aplica una cantidad reducida de agua a las raíces de las plantas en forma de gotas continuas o discretas, pequeños chorros o sistemas de pulsos. Se suministran entre 2 y 20 litros por hora desde un tubo estrecho con varios orificios conocidos como *emisores* [2]. Es bien sabido que el riego por goteo aumenta la eficiencia en el uso del agua al tener una demanda de agua un 50 % menor que el riego por surcos y reducir el encharcamiento.

Figura 1. Sistema de riego por goteo aéreo en viticultura (autoría de la foto: IFV Sud-Ouest)

Riego deficitario

El riego deficitario (RD) es una estrategia de riego que solo se aplica durante las fases de crecimiento de los cultivos sensibles a la sequía para reducir el consumo de agua.
Existen diferentes tipos de RD (figura 2):

- *RD sostenido:* se basa en la distribución uniforme del déficit hídrico a lo largo de toda la campaña frutícola, con lo que así se evita que se produzca un déficit hídrico grave de la planta en cualquier fase del cultivo que pueda afectar al rendimiento comercializable o a la calidad de la fruta.
- *RD regulado:* se suministra el riego completo durante los periodos críticos de los frutales, mientras que es limitado o incluso innecesario si se suministra un mínimo de agua de lluvia durante los periodos críticos.
- *RD de secado parcial de las raíces:* se basa en regar solo una parte de la zona radicular, dejando que la otra parte se seque hasta alcanzar un determinado contenido de agua del suelo antes de volver a humedecerla desplazando el riego a la parte seca.

El presente proyecto ha recibido financiación del programa de investigación e innovación Horizonte Europa de la Unión Europea en virtud del acuerdo de subvención n.º 101060474. La presente comunicación solo refleja la opinión del autor. La Agencia Ejecutiva de Investigación no se hace responsable del uso que pueda hacerse de la información facilitada. Los autores y editores declinan toda responsabilidad por posibles inexactitudes o daños derivados de la aplicación de las recomendaciones de este artículo.

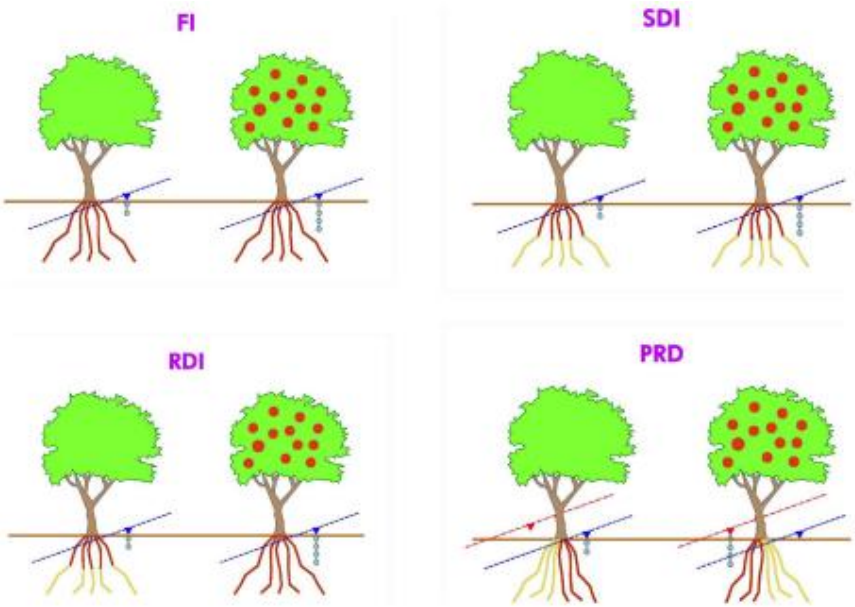

Figura 2. Patrón gráfico de las estrategias de riego completo (RC), riego deficitario sostenido (RDS), riego deficitario regulado (RDR) y secado parcial de raíces (SPR) en frutales [3]

Sistemas de riego inteligente

Huerto de aguacates

Debido a la mayor rentabilidad económica del aguacate y a las nuevas condiciones climáticas, los agricultores europeos están recurriendo a él como sustituto de otros cultivos. El aguacate es sensible a la sequía y a la asfixia radicular, por lo que necesita un volumen de agua exacto para crecer y producir frutos. Las raíces poco profundas limitan la capacidad de explotar grandes volúmenes de suelo y utilizar plenamente las precipitaciones almacenadas. Muchos agricultores necesitan familiarizarse con las técnicas agronómicas más adecuadas y adaptadas a las condiciones específicas. En este contexto, el grupo operativo GO AVOCADO [4] ha liderado el desarrollo de nuevas prácticas de cultivo, como el uso de sondas de capacitancia (figura 3) combinadas con drones y mapas agroclimáticos [5] (figura 4). Antes de la plantación, hay que consultar el mapa agroclimático para determinar si la parcela reúne las condiciones óptimas. Al mismo tiempo, un sistema de riego adecuado resulta esencial para la eficiencia hídrica, con independencia de la ubicación de la parcela. Se pueden elegir sondas de capacitancia para determinar las necesidades de riego en cada momento (algunas son autónomas y funcionan con un pequeño panel solar). Estas sondas pueden determinar el contenido de humedad, la salinidad y la temperatura del suelo a diferentes profundidades. La estimación del contenido de humedad del suelo se basa en la medición de la constante eléctrica del suelo mediante electrodos, que pueden detectar oscilaciones en la constante, ya que el suelo es un sustrato conductor de la electricidad. Estas variaciones

El presente proyecto ha recibido financiación del programa de investigación e innovación Horizonte Europa de la Unión Europea en virtud del acuerdo de subvención n.º 101060474. La presente comunicación solo refleja la opinión del autor. La Agencia Ejecutiva de Investigación no se hace responsable del uso que pueda hacerse de la información facilitada. Los autores y editores declinan toda responsabilidad por posibles inexactitudes o daños derivados de la aplicación de las recomendaciones de este artículo.

en el valor de la constante eléctrica se correlacionan con la capacitancia del suelo o el contenido de humedad. El mismo sistema se utiliza para estimar la salinidad del suelo.

Figura 3. Sonda de capacitancia en una plantación de cítricos, similar a las utilizadas en el grupo operativo GO AVOCADO

Figura 4. Mapa agroclimático: grupo operativo GO AVOCADO

Las sondas de capacitancia miden el contenido volumétrico de agua (VWC) del suelo con precisión y en tiempo real, lo que permite controlar los niveles de humedad en la zona radicular, detectar cambios o desviaciones tras los riegos o las precipitaciones e identificar patrones de secado entre riegos. Con esta información, el técnico puede ajustar la frecuencia y la duración de los riegos en función de las necesidades reales del cultivo del aguacate. Además, así se evita el riego excesivo y se previene el estrés hídrico. Por último, aunque el uso de sondas de capacitancia para la gestión del agua de los cultivos supone inicialmente un coste adicional debido al elevado precio de la tecnología, produce importantes ahorros de agua, fertilizantes y energía al aplicar solo las cantidades necesarias.

El presente proyecto ha recibido financiación del programa de investigación e innovación Horizonte Europa de la Unión Europea en virtud del acuerdo de subvención n.º 101060474. La presente comunicación solo refleja la opinión del autor. La Agencia Ejecutiva de Investigación no se hace responsable del uso que pueda hacerse de la información facilitada. Los autores y editores declinan toda responsabilidad por posibles inexactitudes o daños derivados de la aplicación de las recomendaciones de este artículo.

La figura 5 muestra la humedad detectada por las sondas a cuatro profundidades (negro 10 cm, rojo 30 cm, azul 50 cm, amarillo 70 cm). Después de cada riego, el contenido de agua del suelo aumenta en mayor medida en los primeros centímetros y es prácticamente imperceptible en los niveles más profundos. Los puntos rojos y negros muestran la actividad radicular, es decir, los momentos en que las raíces absorben agua.

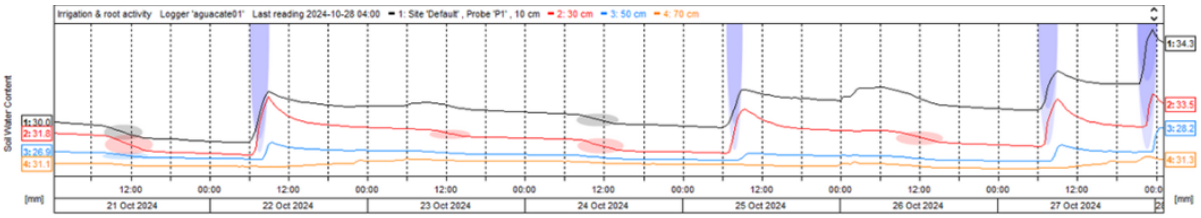

Figura 5. Gráfico de los datos de la sonda de capacitancia sobre la evolución del contenido de agua del suelo a diferentes profundidades y después de los riegos: grupo operativo GO AVOCADO

Para determinar el volumen exacto de agua que necesita el cultivo de aguacate, el grupo operativo GO AVOCADO [4] controla el consumo instantáneo y adapta el régimen de riego a las necesidades reales de la planta. Se calcula que una hectárea de aguacate consume unos 6300 m^3 al año (Manual de gestión práctica del cultivo del aguacate). Este cultivo necesita una humidificación constante en la zona radicular, con el 50 % de las raíces situadas en los primeros 30 cm del suelo. Así, se observó que el aumento del número de días de riego, pero aplicando un menor volumen de agua en cada riego, incrementaba los rendimientos en comparación con el riego durante más días con un mayor volumen de agua. Esto se debe a que los riegos cortos y continuos mantienen la superficie del suelo constantemente húmeda. Se ha observado que la instalación de goteros de ultrabajo caudal (0,6 l/h) dispuestos en 4 hileras de líneas de goteros genera una humectación constante en los primeros centímetros del suelo.

Huerto de cítricos

El grupo operativo GO CITRICS [6] realizó una prueba piloto del cultivo de cítricos mediante cámaras termográficas, drones, información por satélite y sensores de capacitancia para determinar las zonas con excesos o déficits de riego para equilibrar este aspecto. Con los datos obtenidos se ha podido determinar el agua disponible en el sistema de riego y, gracias a la aplicación de las correcciones oportunas, la información así adquirida puede darse a conocer a los agricultores para que la apliquen en sus explotaciones. Puede resultar difícil utilizar este método en algunas zonas de producción debido a los conocimientos necesarios para manejar este tipo de tecnología. Por este motivo, el grupo operativo GO CITRICS trabaja en la formación de los agricultores para facilitarles la interpretación de la valiosa información que proporcionan las sondas y otros sistemas de seguimiento. Las sondas de capacitancia sobre el terreno permiten programar el riego en función del momento óptimo y la cantidad de agua necesaria según la humedad del suelo detectada por los sensores (figura 6a). Asimismo, los datos obtenidos de los vuelos de drones equipados con una cámara hiperespectral (figura 6b) y de las imágenes por satélite

El presente proyecto ha recibido financiación del programa de investigación e innovación Horizonte Europa de la Unión Europea en virtud del acuerdo de subvención n.º 101060474. La presente comunicación solo refleja la opinión del autor. La Agencia Ejecutiva de Investigación no se hace responsable del uso que pueda hacerse de la información facilitada. Los autores y editores declinan toda responsabilidad por posibles inexactitudes o daños derivados de la aplicación de las recomendaciones de este artículo.

permitieron detectar fallos en los sistemas de riego, poniendo de relieve las zonas con exceso o falta de riego (figura 6c). Estas detecciones se llevan a cabo mediante el seguimiento de índices vegetativos como el índice de vegetación de diferencia normalizada (NDVI). Este parámetro se basa en la detección de longitudes de ondas infrarrojas y proporciona una valiosa información para prevenir el estrés de los cultivos antes de que aparezcan los síntomas en la planta. La detección del estrés permite su corrección temprana, la reparación de los posibles fallos y la adaptación de las estrategias de riego a las necesidades del cultivo. Además, el mulching de paja de arroz genera beneficios en lo referente a la reducción de las necesidades de riego en un 30 % y de un mayor rendimiento en un 10 % en comparación con las condiciones tradicionales con un riego de ETc al 100 % y sin mulching.

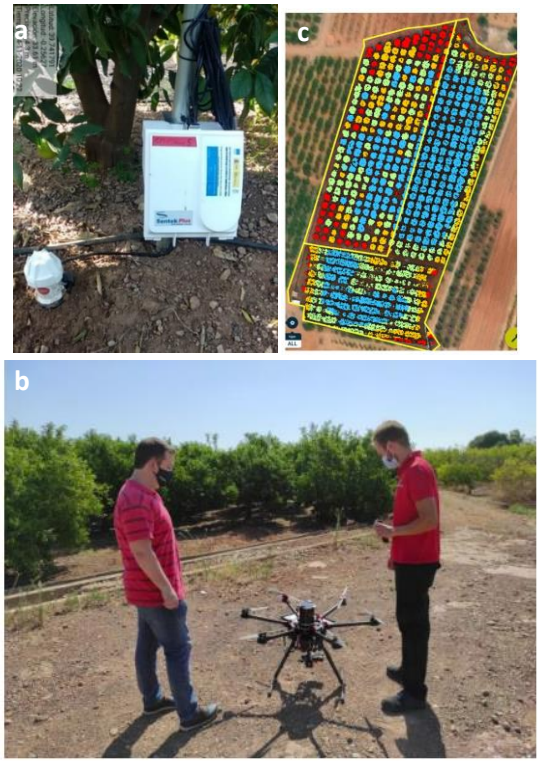

Figura 6 a) Sensor de capacitancia; b) plataforma digital con los resultados hidrológicos; c) dron equipado con cámaras termográficas: grupo operativo GO CITRICS

Huerto de olivos

El riego de precisión basado en el crecimiento diario del tronco mediante un dendrómetro (figura 7), instalado a 15 cm del suelo en el tronco principal de los árboles, se aplicó durante tres años en un olivar joven en superintensivo (variedad Arbequina) en el noreste de España [7]. Según los datos del dendrómetro, el riego en julio y agosto (parada del crecimiento vegetativo estival) se produjo tras dos días consecutivos de disminución del diámetro del tronco. El dendrómetro tomaba y enviaba mediciones cada 15 minutos por radio a un registrador de datos. La producción de aceite de oliva aumentó un 7 % y las

El presente proyecto ha recibido financiación del programa de investigación e innovación Horizonte Europa de la Unión Europea en virtud del acuerdo de subvención n.º 101060474. La presente comunicación solo refleja la opinión del autor. La Agencia Ejecutiva de Investigación no se hace responsable del uso que pueda hacerse de la información facilitada. Los autores y editores declinan toda responsabilidad por posibles inexactitudes o daños derivados de la aplicación de las recomendaciones de este artículo.

variables vegetativas no mostraron reducciones significativas, lo que se tradujo en un ahorro de agua del 31 % en comparación con la estrategia de control.

Figura 7. Dendrómetro

Agricultura de secano

Prácticas de gestión del suelo

Las prácticas sostenibles de gestión del suelo son cruciales para preservar su salud y mitigar los efectos adversos sobre el rendimiento de las plantas. El grupo operativo portugués Nuevas prácticas en los olivares de secano [8] evaluó los efectos de la labranza convencional y de la autosiembra de cultivos anuales de cobertura con leguminosas sobre el rendimiento fisiológico de las plantas y las propiedades del suelo [9]. Los cultivos de cobertura con leguminosas (altramuz blanco, veza, trébol subterráneo, trébol rojo, serradela amarilla) se sembraron en otoño y se terminaron en la primavera del año siguiente, tras la maduración de las semillas. Después se destruyeron con una desbrozadora rotativa y se dejaron en el suelo como *mulching*. Esta práctica redujo el riesgo de erosión del suelo, mejoró la fertilidad del suelo, evitó la pérdida de contenido de agua del suelo por evaporación e incrementó la capacidad de retención de agua. Por lo tanto, el uso de cultivos de cobertura con leguminosas es una estrategia prometedora para la gestión sostenible del suelo en olivares de secano, ya que puede proporcionar numerosos servicios ecosistémicos como la fijación de nitrógeno, el alojamiento de organismos beneficiosos y el aumento de la retención de agua.

Encontrará más información sobre otras prácticas de gestión del suelo en el capítulo *SUBTEMA 2 Mejora de la resiliencia a los riesgos climáticos: prácticas agrícolas de secano.*

El presente proyecto ha recibido financiación del programa de investigación e innovación Horizonte Europa de la Unión Europea en virtud del acuerdo de subvención n.º 101060474. La presente comunicación solo refleja la opinión del autor. La Agencia Ejecutiva de Investigación no se hace responsable del uso que pueda hacerse de la información facilitada. Los autores y editores declinan toda responsabilidad por posibles inexactitudes o daños derivados de la aplicación de las recomendaciones de este artículo.

Conclusión

Las prácticas innovadoras de gestión del estrés hídrico, como el riego deficitario, y las tecnologías de precisión, como las sondas de capacitancia y la teledetección, mejoran de forma considerable la eficiencia hídrica y la resistencia de los cultivos en las regiones mediterráneas y semiáridas. Estas estrategias, ejemplificadas en cultivos como los pistachos, las almendras, las aceitunas y los aguacates, optimizan el riego centrándose en las fases críticas de crecimiento y aprovechando sistemas avanzados de control para reducir el consumo de agua sin comprometer el rendimiento ni la calidad. La integración de una gestión sostenible del suelo, como los cultivos de cobertura, mejora aún más la retención de agua, la salud del suelo y el equilibrio ecológico, lo que ofrece soluciones prácticas para la adaptación al clima en los sistemas agrícolas de secano.

Bibliografía y fuentes

[1] Proyecto CLIMED FRUIT, https://climed-fruit.eu/

[2] Kumar, R., Maryam, M., Richa, R. (2023): En: Kumar, M., Kumar, R., y Singh, V.P. (Ed.) Advances in Water Management Under Climate Change (1.ª ed.). Micro-Irrigation: Potential and Opportunities in Hilly and Sloppy Areas for Doubling Farmer Income. CRC Press, Boca Raton. https://doi.org/10.1201/9781003351672-16

[3] Galindo, A., Collado-González, J., Griñán, I., Corell, M., Centeno, A., Martín-Palomo, M.J., Girón, I., Rodriguez, P.L., Cruz, Z.N., Memmi, H., Carbonell-Barrachina, Á.A., Hernández, F., Torrecillas, A., Moriana, A., López-Pérez, D.N. (2017): Deficit irrigation and emerging fruit crops as a strategy to save water in Mediterranean semiarid agrosystems. Agricultural Water Management, 202, 311-324. https://doi.org/10.1016/j.agwat.2017.08.015

[4] Proyecto de GO AVOCADO https://climed-fruit.eu/wp-content/uploads/2024/06/8.-EPA-GO-AVOCADO.pdf

[5] Mapas agroclimáticos https://goaguacatespain.com/mapa/

[6] Proyecto de GO CITRICS https://climed-fruit.eu/wp-content/uploads/2024/06/9.-EPA-GO-CITRICS.pdf

[7] Arbizu-Milagro, J., Castillo-Ruiz, F.J., Tascón, A., Peña, J.M., (2023): Effects of regulated, precision and continuous deficit irrigation on the growth and productivity of a young super high-density olive orchard. Agricultural Water Management, 286, 108393.

https://doi.org/10.1016/j.agwat.2023.108393

[8] Grupo operativo Nuevas prácticas en los olivares de secano

https://climed-fruit.eu/wp-content/uploads/2024/06/10.-EPA-New-Practices-in-Rainfed-Olive-Grovesl.pdf

[9] Rodrigues, M. Ângelo, Ferreira, I. Q., Freitas, S. L., Pires, J. M., y Arrobas, M. P. (2015). Self-reseeding annual legumes for cover cropping in rainfed managed olive orchards. Spanish Journal of Agricultural Research, 13(2), e0302. https://doi.org/10.5424/sjar/2015132-6252

El presente proyecto ha recibido financiación del programa de investigación e innovación Horizonte Europa de la Unión Europea en virtud del acuerdo de subvención n.º 101060474. La presente comunicación solo refleja la opinión del autor. La Agencia Ejecutiva de Investigación no se hace responsable del uso que pueda hacerse de la información facilitada. Los autores y editores declinan toda responsabilidad por posibles inexactitudes o daños derivados de la aplicación de las recomendaciones de este artículo.