Manual de Buenas Prácticas para la gestión del riego

PROYECTO | CIT CONTROL INTELIGENTE DE TERMOGRAFÍA

Europa invierte en las zonas rurales



Financian:

UNIÓN EUROPEA
Fondo Europeo Agrícola de Desarrollo Rural

Junta de Andalucía
Consejería de Agricultura, Ganadería, Pesca y Desarrollo Sostenible

Miembros beneficiarios:

SAJA SEVILLA

258 INNOVA24

CSIC Consejo Superior de Investigaciones Científicas

IRNAS Instituto de Recursos Naturales y Agrobiología de Sevilla

Comunidad de Regantes Valle Inferior del Guadalquivir

Colabora:

ASAJA ANDALUCÍA

Ayudas al funcionamiento de los grupos operativos de la Asociación Europea para la Innovación (AEI) en materia de productividad y sostenibilidad agrícolas en el sector Agroalimentario en general (16.1.2.)



Manual de Buenas Prácticas para la gestión del riego

Sevilla, mayo 2020

PROYECTO | CIT CONTROL INTELIGENTE DE TERMOGRAFÍA

Dirección:
ASAJA-Sevilla

ISBN: 978-84-09-22411-1

José Enrique Fernández Luque
Doctor ingeniero agrónomo
Responsable del Grupo de Riego y Ecofisiología de Cultivos
Director del Instituto de Recursos Naturales y Agrobiología de Sevilla (IRNAS, CSIC)

Julio Frías
Doctor ingeniero agrónomo
Director de 258INNOVA24H

Diseño y Maquetación: 2grcolor Diseñó Gráfico

ÍNDICE

1. Uso del agua en la agricultura 7

2. La gestión del riego 9

3. Estrategias de riego 11

4. Programación del riego 15

4.1. Programación del riego con medidas de agua en el suelo 16

4.2. Programación del riego con medidas de meteorológicas 18

4.3. Programación del riego con medidas en la planta 22

4.4. El método CIT 24

4.4.1 Fundamento del método: monitorización del estado hídrico mediante termografía de infrarrojos 26

5. El riego de precisión 31

Glosario 35

Agradecimientos 38


PROYECTO
CIT
CONTROL
INTELIGENTE
DE TERMOGRAFÍA

PREÁMBULO

El proyecto CIT (Control Inteligente de Termografía) tiene como objetivo principal mejorar la sostenibilidad de los agroecosistemas mediterráneos mediante un sistema de gestión del riego capaz de garantizar la productividad de los cultivos de la zona en un contexto de limitación de los recursos hídricos existentes. Se pretende, en suma, optimizar el consumo de los recursos hídricos, con el consecuente ahorro energético y la reducción de la contaminación de aguas subterráneas por agroquímicos. El proyecto CIT, por tanto, contribuye a una nueva agricultura intensiva sostenible que optimiza los recursos naturales, favorece la productividad de la explotación agrícola y preserva el ambiente.

En concreto, el proyecto pretende desarrollar el método CIT, un método de medición termográfico, inteligente y único en el mercado, que informa en tiempo prácticamente real del estado hídrico de los cultivos y que permite la programación efectiva del riego de precisión.

Para la evaluación del método se han seleccionado parcelas con cultivos frutales representativos de la zona, de olivo, almendro y cítricos. En dichas parcelas se han establecido distintos tratamientos de riego, desde el suficiente para reponer las necesidades del cultivo hasta riegos deficitarios con distintos niveles de restricción de agua. En árboles representativos de cada parcela y tratamiento se está llevando a cabo el seguimiento del estado hídrico del cultivo, mediante el uso de indicadores de estrés hídrico de probada fiabilidad, tanto convencionales (potencial hídrico foliar, conductancia estomática, fotosíntesis neta) como derivados de medidas del diámetro del tronco con dendrómetros electrónicos de alta precisión. Se podrá cotejar, así, la información obtenida por el método CIT con la obtenida a partir del uso de una variedad de sensores de estrés hídrico con distinto fundamento, lo cual permitirá una evaluación robusta del método.

Se han elegido parcelas en distintas localizaciones geográficas de la provincia de Sevilla, concretamente de las comarcas de la Vega, La Campiña y Marismas, varias de ellas pertenecientes a la RED NATURA 2000. La finalidad de la RED NATURA es asegurar la supervivencia a largo plazo de especies y tipos de hábitat, paliando la pérdida de biodiversidad. Esto coincide con uno de los principales objetivos del proyecto CIT: el uso eficiente del agua mediante el desarrollo de métodos para la programación del riego adecuados para la mitigación y adaptación al Cambio

Climático, la conservación de la biodiversidad de la flora y fauna locales y la disminución del riesgo de contaminación del agua subterránea por nitratos y otros agroquímicos.

Los trabajos realizados por los participantes en el Grupo Operativo (Asociación Agraria Jóvenes Agricultores de Sevilla –ASAJA-, la empresa 258INNOVA24H, Comunidad de Regantes del Valle Inferior del Guadalquivir, y el Instituto de Recursos Naturales y Agrobiología de Sevilla –IRNAS, CSIC), permitirán generar una herramienta para una agricultura intensiva sostenible, adaptada a escenarios diversos de cambio climático, que contribuya a mantener la biodiversidad en las explotaciones agrícolas y a optimizar los recursos naturales, contribuyendo a mejorar la rentabilidad de la explotación a la par que preserva el ambiente.



USO DEL AGUA EN LA AGRICULTURA

De toda el agua que hay en nuestro planeta, el 97 % es salada y el 2 % está congelada, por lo que tan solo se dispone del 1 % para uso humano. Esta agua potable disponible puede tener un uso doméstico (para beber y para el riego de parques y jardines), industrial o agrícola (riego de cultivos). Como media se destina el 9% del agua disponible al uso doméstico, el 20 % a la industria y el 71 % a la agricultura, pero en países semiáridos como España el consumo de agua en la agricultura supera el 80 % del agua potable disponible.

A pesar del elevado porcentaje de agua para uso agrícola, la práctica del riego resulta imprescindible. En primer lugar, porque hay que asegurar alimento suficiente para la población de nuestro planeta, que no deja de aumentar. Se espera, de hecho, que la población mundial aumente de los 7.770 millones de personas en la actualidad (2020) a unos 10.000 millones en 2050. La importancia del regadío para asegurar alimento suficiente para todos se refleja en el hecho de que, aunque tan solo se riega el 17 % del suelo total cultivado, esta fracción produce el 40 % del alimento total que se obtiene de la agricultura.

En segundo lugar, el riego bien manejado puede ayudar a la producción de alimento allá donde se necesite. En 2030, un 20 % de la población del planeta (1.800 millones de personas) vivirá en regiones con escasez de agua. La disponibilidad de técnicas adecuadas de riego será imprescindible para asegurar la producción de alimento en esas zonas, reduciendo la dependencia de la población de las no siempre eficaces políticas de transporte y distribución de alimentos.

El uso inadecuado del riego, sin embargo, puede dar lugar a problemas ambientales como la salinización del suelo o la contaminación del agua subterránea. También hay que considerar que, aunque el agua es barata en la mayor parte de las zonas regables, el aumento del precio de la energía necesaria para bombearla hace que los excesos de riego sean cada vez menos asumibles.

Está claro, por tanto, que la práctica del riego plantea retos derivados de la necesidad de aplicarlo con el menor impacto posible en el ambiente y de forma que se obtenga la mayor rentabilidad del cultivo. La comunidad científica viene respondiendo a estos retos desde siempre, pero especialmente tras el inicio de la "Revolución Verde", a mediados del siglo pasado. Se pretendió entonces aumentar

las producciones de los cultivos mediante el uso de variedades más productivas y mayores aportes de agua, plaguicidas y fertilizantes. Aunque los resultados fueron buenos, pronto aparecieron problemas derivados del deterioro del suelo, del agotamiento de acuíferos y de la contaminación de aguas subterráneas, entre otros. Esto impulsó el desarrollo de técnicas de manejo del cultivo más inocuas para el ambiente.

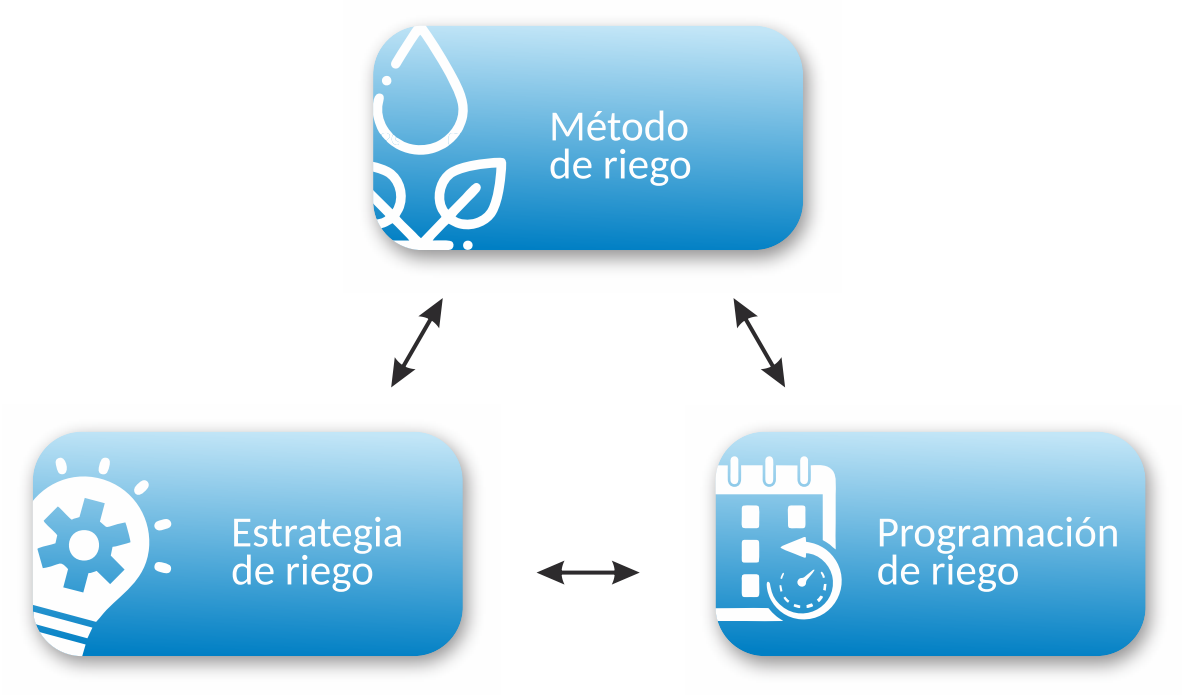
En lo que al ahorro de agua para el riego se refiere, se han hecho tres grandes avances en las últimas décadas. El primero fue el aumento del uso del riego localizado. Por ejemplo, de los 3,5 millones de hectáreas que se riegan hoy día en España (el 20 % de la superficie total cultivada), en casi la mitad (1,7 millones de hectáreas) se aplica riego localizado. Se consiguen así grandes ahorros de agua y un control mucho más efectivo del riego, ya que el agua se aplica donde se quiere y cuando se quiere, reduciendo drásticamente las pérdidas por evaporación, escorrentía y drenaje. El segundo gran avance ha sido el desarrollo de estrategias de riego deficitario, con las que se reducen marcadamente el consumo de agua de riego con un impacto reducido en la producción. El tercer avance consiste en el desarrollo de nuevos métodos de programación del riego, que tienen su máximo exponente en los métodos usados para el riego de precisión, que forma parte de lo que se conoce como Agricultura 4.0.

En este contexto se ha desarrollado el Proyecto CIT, del cual se ha derivado este Manual de Buenas Prácticas para la Gestión del Riego.



LA GESTIÓN DEL RIEGO

El agricultor debe decidir sobre tres aspectos fundamentales para la gestión del riego:



El método de riego puede ser por surcos, por aspersión, localizado, etc. Dependerá del cultivo y del agua disponible, entre otras circunstancias. En cuanto a la estrategia de riego, se han definido varias. Las más usadas se describen en el apartado siguiente. También son varios los métodos disponibles para la programación del riego, es decir, para determinar la dosis y el momento de riego. Se analizan en el Apartado 4.

Como se deduce de la figura anterior, hay que considerar conjuntamente estos tres aspectos a la hora de tomar decisiones para la gestión del riego. También se deben tener en cuenta los **aspectos legales**. Se debe contar con el permiso, derecho o concesión de aguas emitido por la Administración competente, y explotar los recursos hídricos dentro de los márgenes autorizados.

PROYECTO | CIT CONTROL INTELIGENTE DE TERMOGRAFÍA



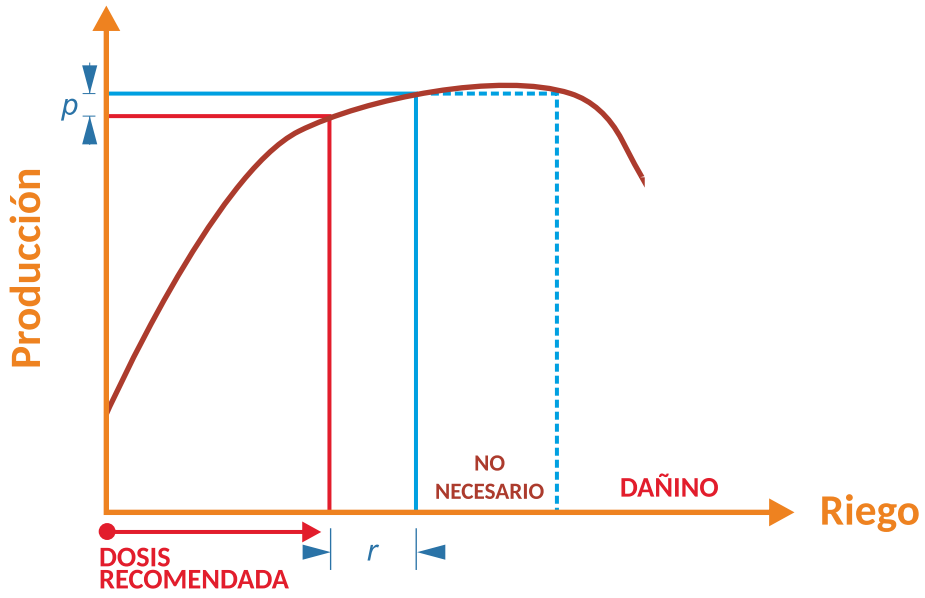
ESTRATEGIAS DE RIEGO

La siguiente figura nos muestra cómo responde la producción de la mayoría de los cultivos al agua aplicada con el riego.

La producción aumenta rápidamente al principio y más lentamente al aproximarnos a la producción máxima. A partir de ahí ya no se registra ningún aumento de producción aunque aumentemos la dosis de riego. Si ésta sigue aumentando la producción disminuye, por problemas relacionados con el exceso de agua en suelo.

Se podría asumir que la dosis de riego óptima es aquella con la que se consigue la producción máxima, es decir, la que repone el 100 % de las necesidades del cultivo. El objetivo del agricultor, sin embargo, no suele ser lograr la máxima producción, sino la máxima rentabilidad, y esto puede lograrse con producciones inferiores a la máxima potencial. Esta modalidad de riego, con el que no se llega a reponer las necesidades del cultivo para alcanzar la producción máxima potencial, se llama riego deficitario.

Con el riego deficitario suele lograrse una mayor rentabilidad del cultivo, ya que llega un momento en el que lo que nos cuesta regar (*r* en la figura) no compensa el aumento de producción (*p*). El riego deficitario tiene, además, otras ventajas:



- Con los riegos excesivos el agua penetra hasta capas profundas del suelo, más allá de la capa de suelo explorada por las raíces, arrastrando a herbicidas y fertilizantes. Esto provoca un perjuicio económico y un riesgo de contaminación de aguas subterráneas. Estos problemas se reducen con el riego deficitario.
- Se evita el crecimiento excesivo de las plantas, lo cual es particularmente importante en plantaciones frutales de alta densidad. El riego deficitario, de hecho, facilita el manejo de este tipo de plantaciones y prolonga su vida útil.
- Mejora la calidad de ciertos productos, como el aceite de oliva y el vino.

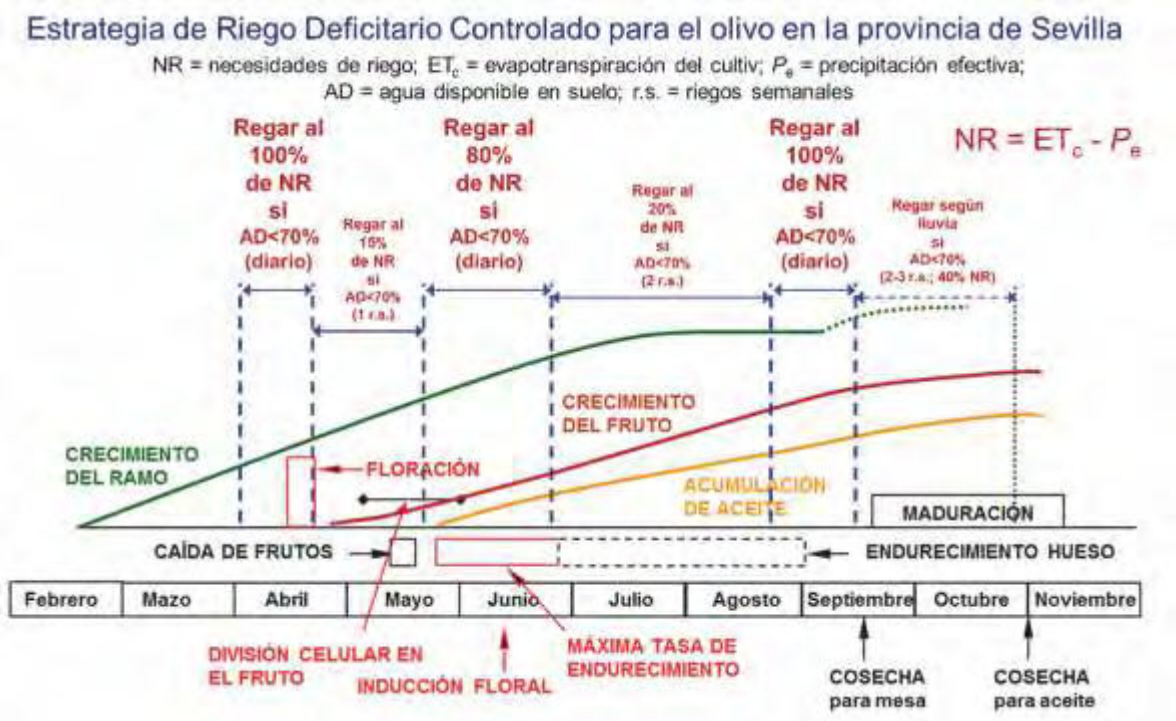
Estas ventajas hacen que no siempre sea aconsejable una estrategia de riego máximo con el que se aporte el 100 % de las necesidades del cultivo. Se da la circunstancia, además, de que en muchas de las zonas regables no se dispone de agua suficiente para aplicar un riego máximo, por lo que no hay más remedio que aplicar una estrategia de riego deficitario.

Se han diseñado varias estrategias de riego deficitario. La elección de una u otra dependerá de factores como el tipo cultivo, la disponibilidad de agua y el sistema de riego del que se disponga. A continuación se mencionan las más utilizadas:

- **Riego suplementario o complementario.** Se dan muy pocos riegos en todo el periodo de cultivo (2 o 3), si es posible en momentos en los que el cultivo más los necesita. Esta estrategia se aplica en zonas con muy poca agua para el riego.
- **Riego deficitario de baja frecuencia.** Se deja que el cultivo agote el agua acumulada en el suelo, hasta el nivel de agotamiento permisible. Es decir, hasta justo antes de que la falta de agua en el suelo produzca una reducción inaceptable del rendimiento del cultivo. Entonces se da un riego abundante hasta reponer el agua perdida por el suelo, quedando este al máximo de su capacidad de retención de agua. El número de riegos que se den a lo largo del ciclo del cultivo dependerá de la capacidad del suelo para almacenar agua.
- **Riego parcial y alternante (PRD**). Esta estrategia de riego, cuyas siglas provienen de su denominación inglesa *Partial Root-Zone Drying Irrigation*, se aplica a cultivos en línea y con riego por goteo. Consiste en regar deficitariamente la mitad del suelo explorado por las raíces, durante 2 o 3 semanas. Después se riega la otra mitad durante el mismo tiempo, y así sucesivamente.

- **Riego deficitario sostenido (RDS).** Se riega frecuentemente pero con una fracción tan solo de lo que necesita el cultivo para alcanzar la producción máxima. Por ejemplo, con un riego RDS del 60 % se aplica el 60 % de las necesidades de riego. En el Apartado 4 se explica cómo se calculan dichas necesidades. A lo largo del ciclo de cultivo las necesidades de riego van cambiando, por lo que también cambiará la dosis de riego, pero siempre será el 60 % de esas necesidades.
- **Riego deficitario controlado (RDC)**. Esta estrategia de riego se aplica a cultivos en los que se ha estudiado su tolerancia a la falta de agua y se conocen los momentos del ciclo del cultivo en los que son más sensibles a la sequía. El RDC consiste en aplicar riegos próximos al 100 % de las necesidades de riego en los momentos de mayor sensibilidad del cultivo a la sequía, como por ejemplo durante la floración o el engorde del fruto. El resto del tiempo, en los que una falta de agua no penaliza tanto la producción, el riego se reduce o incluso se interrumpe.

La figura siguiente muestra una estrategia de RDC diseñada por el Grupo de Riego y Ecofisiología de Cultivos (Grupo REC, www.irnas.csic.es/rec) para el olivar en seto de alta densidad, u olivar superintensivo, en la provincia de Sevilla.



Se sabe que este cultivo tiene tres periodos en los que es sensible a la sequía: durante la floración, al principio de la fase de endurecimiento del hueso (unas tres semanas antes de que el fruto muestre resistencia al corte con navaja) y a finales de verano (unas tres semanas antes de maduración). En estos tres periodos se aconseja regar diariamente, con dosis iguales o próximas a las necesidades de riego con las que se lograría la producción máxima potencial (NR). Durante el resto del ciclo el cultivo es menos sensible a la sequía, por lo que se aconseja regar 1 o 2 días por semana tan solo, con el 100 % de las necesidades del cultivo para ese día. El riego total aportado con esta estrategia, a lo largo de todo el ciclo del cultivo, supone el 45 % de NR, aproximadamente.

La producción de aceite disminuye un 30 % aproximadamente con respecto a árboles regados con el 100 % de NR, pero los costes de manejo del riego son menores y el aceite obtenido es de mayor calidad. Por otro lado, con esta estrategia de riego se consigue evitar un crecimiento excesivo de los árboles, por lo que se reducen las necesidades de poda y se alarga la vida útil de la plantación.



ROGRAMACIÓN DEL RIEGO

Una vez que se elige la estrategia de riego más adecuada para el cultivo, hay que proceder al cálculo de la dosis y frecuencia de riego que permitan aplicarla correctamente. Esta operación se denomina programación del riego.

La programación del riego puede hacerse a partir de medidas en el suelo, en la atmósfera en torno a la planta o en la propia planta.

La programación del riego se puede hacer a partir de:



Medidas Meteorológicas



Medidas en la Planta







Medidas en el Suelo





Para cada uno de los casos se han desarrollado diversos métodos de programación del riego. Los más usados se mencionan en los apartados siguientes. No hay un método mejor que otro, sino que cada uno tiene sus ventajas y sus inconvenientes. Hay que elegir el que más convenga para cada caso, teniendo en cuenta las características de la finca y las condiciones socioeconómicas del agricultor.

4.1 Programación del riego con medidas de agua en el suelo

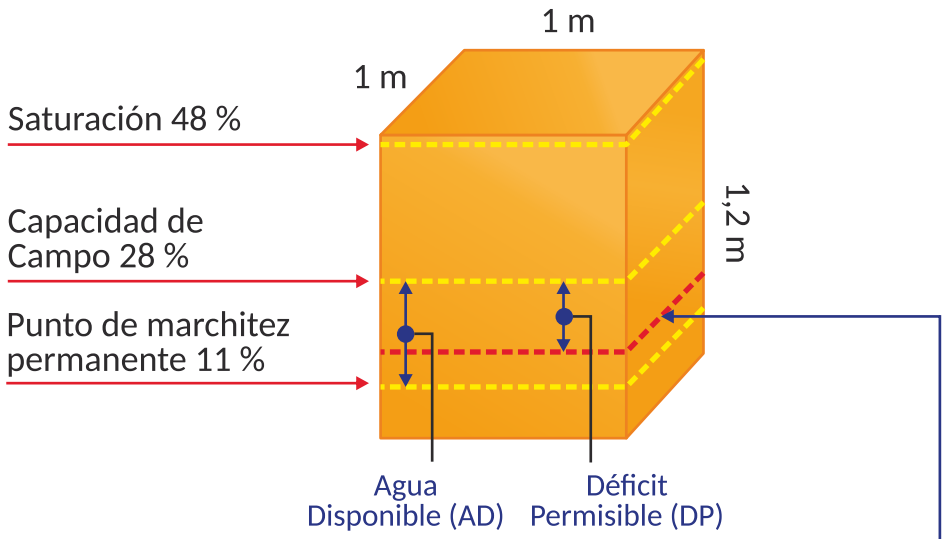
Hay una gran variedad de sensores para medir la humedad del suelo. Los más usados son los que miden el contenido volumétrico de agua en el suelo, aunque también los hay que miden el potencial mátrico o succión, es decir la energía con la que el suelo retiene el agua. Entre los primeros figuran las sondas capacitivas y, entre los segundos, los tensiómetros.

La mayor ventaja de los sensores de agua en suelo es que son baratos y fáciles de usar. Su mayor inconveniente es la gran variabilidad espacio-temporal del suelo, que limita la representatividad de las medidas.

Para poder usar las medidas de agua en suelo para la gestión del riego, es necesario conocer las propiedades hidráulicas básicas del suelo. Entre ellas destaca el contenido de agua a capacidad de campo y para el punto de marchitez permanente. Este último depende no solo del tipo de suelo, sino también de la especie cultivada. La conductividad hidráulica y la capacidad de retención de agua por el suelo también son propiedades hidráulicas que hay que conocer.

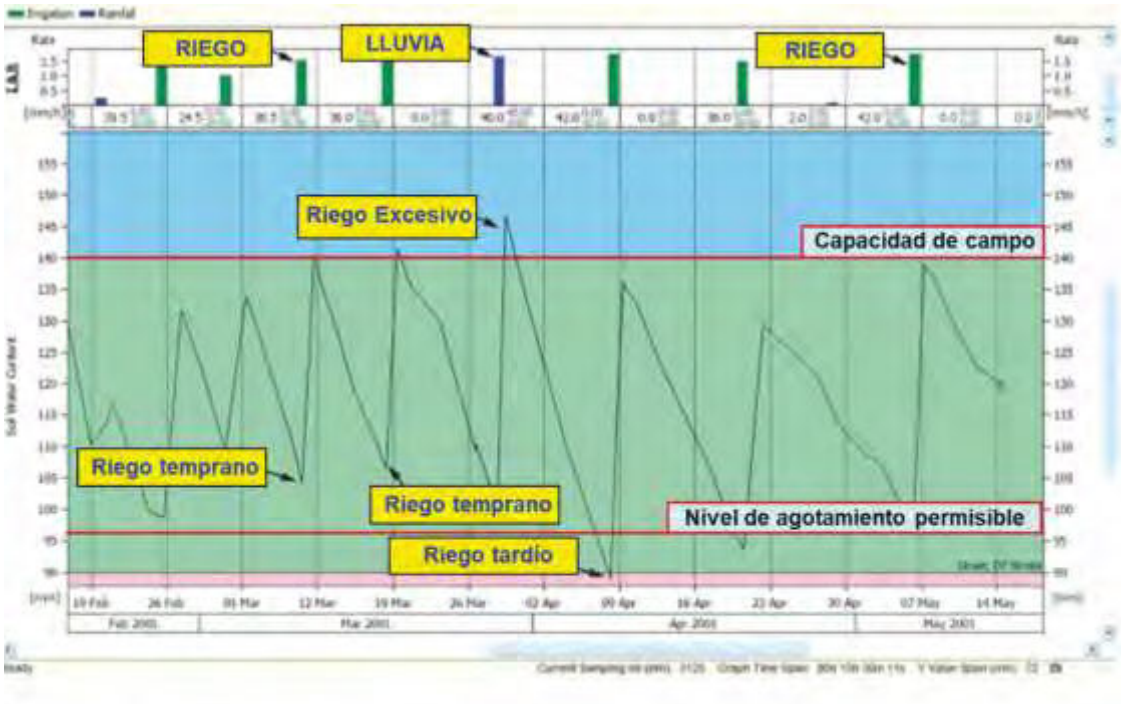
Es igualmente necesario saber el nivel de agotamiento permisible, es decir, hasta qué punto se puede dejar que se agote la reserva de agua en el suelo antes de que se afecte significativamente el rendimiento del cultivo. La figura siguiente refleja estas variables para el caso de un cultivo con una profundidad radicular de 1.2 m y con un nivel de agotamiento permisible del 75 %. El contenido de agua a saturación es cuando todos los poros del suelo están llenos de agua, es decir, tras una lluvia o riego abundantes. A las pocas horas el suelo pierde el exceso de agua y se queda a capacidad de campo.

La figura siguiente representa un ejemplo del uso de los valores de capacidad de campo y de agotamiento permisible de un suelo para ajustar la frecuencia y duración de los riegos.



Nivel de Agotamiento Permisible (NAP). Para encontrar este valor hay que cotejar las medidas de agua en suelo con alguna variable que indique el estado hídrico de la planta, como puede ser el potencial hídrico del tallo.

AD= (0.28 - 0.11) x 1200 = 204 mm = 2040 m³/ha
DP= AD x NAP = 204 x 0.75 = 153 mm = 1530 m³/ha



4.2 Programación del riego con medidas meteorológicas

El método del coeficiente de cultivo, o método FAO, se publicó en las monografías 24 y 56 de la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, o FAO (ftp://ftp.fao.org/docrep/fao/009/x0490s/x0490s00.pdf).

Las necesidades de riego (NR) de un cultivo en el que se busque alcanzar la producción máxima potencial se calculan como:

$$NR = ETc - Pe + Psr + L$$

En este caso, la evapotranspiración del cultivo (ETc) es el agua necesaria para que el cultivo alcance su máximo desarrollo y producción. La variable Pe se refiere a la precipitación efectiva, o agua aportada por precipitación que es aprovechada por el cultivo. La precipitación incluye el agua aportada por la lluvia, nieve y granizo. Parte cae en zonas del suelo alejadas de las raíces, o en la propia copa del cultivo y se evapora antes de caer al suelo o de ser absorbida por la parte aérea del cultivo. Para determinar Pe se instala un pluviómetro en la finca y se considera que el valor de Pe equivale a un cierto porcentaje de la precipitación que mida. Por ejemplo, para un olivar tradicional con unos 200 árboles/ha, Pe se considera que es el 75 % de la precipitación medida con pluviómetro.

La variable Psr se refiere a las pérdidas del sistema de riego. Se consideran nulas en el caso de usar un sistema de riego localizado. La variable L son las necesidades de lavado, que habrá que tener en cuenta si el agua es salina o de baja calidad. Suelen ser despreciables en un clima como el nuestro, en el que las lluvias de invierno suelen lavar las sales acumuladas en la rizosfera durante el período de riego.

Para el caso del riego localizado aplicado en Andalucía, y en otras zoans de clima árido y semiárido, la ecuación anterior suele simplificarse:

$$NR = ETc - Pe$$

Según el método del coeficiente del cultivo, el valor de ETc se calcula a partir del valor de la evapotranspiración potencial (ETo) en la zona. La ETo es la cantidad de agua consumida por una pradera vegetal (normalmente gramíneas, aunque puede haber otras especies) que cubre totalmente el suelo, que crece sin limitaciones de agua y nutrientes, libre de plagas y enfermedades y con una altura de unos 15 cm.

Es decir, en el caso de una pradera de estas características, ETo = ETc. Pero en el caso de otros cultivos de especies diferentes a las de una pradera, y en los que no ocurre una cobertura total del suelo por la planta, hay que introducir en la ecuación un coeficiente de cultivo (*Kc*) que corrige lo primero, y uno de reducción (*Kr*) que corrige lo segundo.

Así, las necesidades hídricas del cultivo, o evapotranspiración del cultivo (ETc), se calculan con el método del coeficiente de cultivo con la ecuación

$$ETc = Kc\ Kr\ ETo$$

El valor de ETo para una finca concreta depende de su localización, y se puede calcular por el agricultor o bien tomarlo de internet. En nuestra zona, por ejemplo, se puede acceder a la red de estaciones agrometeorológicas de la Junta de Andalucía. Para ello se visita la página web:
www.juntadeandalucia.es/agriculturaypesca/ifapa/ria
y se busca la estación meteorológica más cercana a la finca. Para cada estación se muestran los datos de las variables meteorológicas más importantes, y los de ETo.

El valor del **coeficiente de cultivo**, *Kc*, se obtiene tras realizar pruebas de riego en el campo, en condiciones de cultivo reales. Estas pruebas suelen hacerse por personal especializado, tales como investigadores o divulgadores, que publican después los resultados para que estén a disposición de los agricultores. De hecho, hay numerosas publicaciones, libros y páginas web que facilitan valores de Kc para casi todos los cultivos.

Hay que tener en cuenta, sin embargo, que los valores de Kc dependen de la localización de la finca, de sus características y de su manejo, por lo que no son directamente extrapolables a una finca diferente.

Es recomendable, por ello, elegir valores de Kc que se hayan obtenido en una finca lo más parecida posible a la que nos interese. Para ver si son adecuados, se aplican a lo largo de una estación de riego completa, a la par que se va registrando la evolución del agua en el suelo. Si el agua almacenada en el suelo tiende a aumentar, sabremos que los valores elegidos son elevados y hay que reducirlos. Si, por el contrario, el agua en el suelo disminuye, los valores elegidos son escasos y habrá que aumentarlos. Actuando de esta manera pueden llegar a ajustarse a las

particularidades de nuestra finca, y al cabo de una estación de riego, los valores de Kc que hayamos encontrado.

El valor del coeficiente de reducción, Kr, depende del porcentaje de superficie de suelo cubierto por el cultivo. Si se trata de un cultivo herbáceo, el cultivo cubrirá pronto todo el suelo, por lo que no habrá que tener en cuenta el coeficiente Kr o, dicho de otra manera, Kr = 1.

En el caso de plantaciones de árboles frutales, sin embargo, el cultivo cubrirá un cierto porcentaje del suelo, y entonces hay que tener en cuenta el valor de Kr.

Se han determinado valores específicos de Kr para muy pocas especies. Es por ello que no es raro usar valores de Kr obtenidos para especies similares a la que nos interese. Por ejemplo, para el olivar se usan con frecuencia valores de Kr obtenidos para almendro, que se calculan de la siguiente manera:

$$Kr = 2\,Sc / 100, \text{ siendo } Sc = (\pi D^2 N) / 400$$

En estas ecuaciones Sc es el porcentaje de suelo cubierto por la copa de los árboles, π es el número pi (3,1416), D (m) es el diámetro medio de la copa y N es la densidad de plantación (número de árboles por hectárea).

El método del coeficiente de cultivo es barato y fácil de usar, por lo que resulta adecuado para fincas pequeñas y para fincas grandes pero homogéneas, y para las que se conocen con fiabilidad los valores de Kc y Kr. En las tablas siguientes se muestran los resultados de aplicar el método a una plantación de olivar de la comarca de El Aljarafe (Sevilla), y los coeficientes de cultivo que el grupo REC ha calculado para una plantación de olivar superintensivo en Utrera (Sevilla).



Necesidades de riego (NR) calculadas con el método del coeficiente del cultivo para un olivar 'Manzanilla' en el Aljarafe, con árboles de 30 años plantados a 7 m x 5 m, con un diámetro medio de copa de 3.9 m, un índice de área foliar de 1.7 al final del período de crecimiento y un grado de cobertura de la superficie del suelo del 34 %. Los valores de evapotranspiración potencial (ETo) se calcularon con la ecuación de Penman-Monteith FAO56, a partir de datos meteorológicos medios para un período de 30 años (1971 a 2000). Kc = coeficiente de cultivo; Kr = coeficiente reductor; ETc = evapotranspiración del cultivo.

Mes	Semana	K_r	K_c	ET_o (L/m²/día)	ET_c (L/m²/día)	P_e (L/m²/día)	NR (L/m²/día)	NR (L/árbol/día)
Marzo	1	0.7	0.88	1.99	1.23	0.76	0.47	16.33
	2	0.7	0.88	2.31	1.42	1.00	0.42	14.80
	3	0.7	0.88	2.55	1.57	0.81	0.76	26.60
	4	0.7	0.88	2.95	1.82	0.88	0.94	32.73
Abril	1	0.7	0.84	2.85	1.68	1.02	0.66	22.93
	2	0.7	0.84	3.23	1.90	0.77	1.13	39.61
	3	0.7	0.84	3.31	1.95	0.79	1.16	40.49
	4	0.7	0.84	3.47	2.04	1.20	0.84	29.31
Mayo	1	0.7	0.76	4.10	2.18	1.23	0.95	33.30
	2	0.7	0.76	4.42	2.35	0.50	1.85	64.73
	3	0.7	0.76	4.42	2.35	0.43	1.92	67.18
	4	0.7	0.76	4.57	2.43	0.22	2.21	77.46
Junio	1	0.7	0.70	4.83	2.36	0.22	2.14	75.05
	2	0.7	0.70	4.90	2.40	0.39	2.01	70.46
	3	0.7	0.70	5.06	2.48	0.50	1.98	69.32
	4	0.7	0.70	5.14	2.52	0.00	2.52	88.18
Julio	1	0.7	0.63	5.47	2.41	0.00	2.41	84.48
	2	0.7	0.63	5.71	2.52	0.00	2.52	88.16
	3	0.7	0.63	5.87	2.59	0.00	2.59	90.61
	4	0.7	0.63	5.71	2.52	0.00	2.52	88.16
Agosto	1	0.7	0.63	5.67	2.50	0.00	2.50	87.54
	2	0.7	0.63	5.43	2.40	0.00	2.40	83.84
	3	0.7	0.63	5.19	2.29	0.00	2.29	80.14
	4	0.7	0.63	4.79	2.11	0.00	2.11	73.98
Sept.	1	0.7	0.72	4.65	2.35	0.00	2.35	82.11
	2	0.7	0.72	4.24	2.14	0.00	2.14	74.78
	3	0.7	0.72	3.82	1.93	0.00	1.93	67.45
	4	0.7	0.72	3.32	1.68	0.53	1.15	40.10
Octubre	1	0.7	0.77	3.03	1.63	0.78	0.85	29.82
	2	0.7	0.77	2.27	1.22	1.76	-	-
	3	0.7	0.77	2.10	1.13	1.35	-	-

Valores del coeficiente de cultivo (Kc) y del coeficiente reductor en función del grado de cobertura del suelo por la copa de los árboles (Kr), calculados para un olivar 'Arbequina' en el término municipal de Utrera (Sevilla), con árboles adultos plantados a 4 m x 1.5 m. Se trata de una plantación en seto, con árboles de unos 2.8 m de altura y 2.1 m de anchura, con un grado de cobertura del suelo del 38 %.

Mes	K_c	K_r
Enero	1.044	0.75
Febrero	0.954	0.75
Marzo	0.792	0.75
Abril	0.756	0.75
Mayo	0.684	0.75
Junio	0.630	0.75
Julio	0.567	0.75
Agosto	0.567	0.75
Septiembre	0.648	0.75
Octubre	0.693	0.75
Noviembre	0.963	0.75
Diciembre	1.026	0.75

4.3 Programación del riego con medidas en la planta

Estos métodos tienen la ventaja de usar a la planta como un biosensor, ya que registran variables relacionadas con su estado hídrico, el cual depende de la cantidad de agua en el suelo, de la demanda atmosférica (ver Glosario) y del comportamiento de la propia planta ante la falta de agua. Integran, por tanto, lo que ocurre en el suelo, en la atmósfera que rodea a la planta y en la planta en sí, por lo que aportan información muy valiosa para el cálculo preciso de la dosis y frecuencia de riego. El cuadro siguiente muestra las medidas en planta más habituales.

Medidas en la planta para la programación del riego

Medidas puntuales, hechas manualmente

- Potencial hídrico a mediodía, en hoja o en tallo
- Conductancia estomática

Medidas automáticas y continuas

- Flujo de savia
- Variaciones del diámetro del tronco (dendrometría)
- Presión de turgencia en hoja
- Temperatura de la copa (termometría y termografía)

Para el riego de precisión se requieren medidas automáticas y continuas, hechas por sensores dotados de sistemas para la transmisión de datos. Las medidas de **flujo de savia** se usan sobre todo con plantas leñosas, aunque también pueden hacerse en plantas herbáceas de tallos recios y de cierto diámetro, como el maíz o el girasol. El método permite determinar el consumo de agua de la planta in situ, es decir, en condiciones reales.

Se han desarrollado varios métodos para determinar el flujo de savia a través del órgano conductor de una planta. El fundamento de estos métodos puede consultarse en http://www.ishs.org/sites/default/files/documents/methods.pdf.

El diámetro del tronco varía continuamente, debido a razones de distinta naturaleza. Las hay que dan lugar a variaciones a medio y largo plazo, como el estado nutricional y la carga de fruto. El estado hídrico, sin embargo, da lugar a variaciones a muy corto plazo, de manera prácticamente continua. Durante el día el árbol transpira, por lo que pierde agua y su tronco se contrae. Durante la noche los estomas, o poros por los que las hojas transpiran, se cierran y no hay pérdidas de agua por transpiración, aunque sí absorción de agua por las raíces. Esto hace que el árbol se rehidrate, aumentando el diámetro del tronco durante las horas nocturnas.

Aunque estas variaciones de diámetro entre el día y la noche son tan solo de unos cientos de micras (la micra es la milésima parte de un milímetro), pueden medirse

con unos sensores llamados **dendrómetros**. A partir de los registros dendrométricos, pues, puede saberse si el árbol está más o menos estresado. Esta información se usa para programar el riego.

Por otro lado, cuando una planta está bien hidratada, las células de los tejidos vegetales que forman la hoja, como las del mesófilo, se mantienen turgentes. A medida que a la planta le va faltando agua, las células se van deshidratando y perdiendo turgencia, como un globo que se deshincha. El **potencial de turgencia de la hoja** está, pues, estrechamente relacionado con el grado de estrés hídrico de la planta, por lo que es un indicador útil para la programación del riego.

Hasta hace poco, el potencial de turgencia se podía medir únicamente en condiciones de laboratorio, pero recientemente se ha desarrollado un sistema para la medida en campo de una variable relacionada con el potencial de turgencia, lo que ha posibilitado su uso para la programación del riego en fincas comerciales.

En la figura siguiente se muestran sistemas de medida de estas tres variables que acabamos de comentar, diseñados para su instalación en plantaciones comerciales de árboles frutales.

4.4 El método CIT

El método CIT (Control Inteligente de la Temperatura) ofrece información en tiempo real del estado hídrico de los cultivos, cubriendo así la necesidad, por parte


Flujo de savia


Dendrómetro


Potencial de turgencia

del sector de la agricultura y jardinería, de saber el estado hídrico de las plantaciones, lo que permite la optimización de los recursos hídricos, contribuyendo al uso eficiente del agua con el consecuente ahorro energético, así como a un mayor respeto por el ambiente.

El método CIT permite que cualquier agricultor o persona relacionada con la gestión del riego agrícola pueda saber de forma sencilla, rápida, eficaz y en tiempo real, el estado hídrico del cultivo pudiendo:



- Analizar el nivel de estrés de las plantas
- Mejorar la gestión del riego
- Analizar la distribución del riego
- Evaluar los parámetros de humedad
- Mejorar la calidad de las cosechas
- Respetar el medio, mejorando y evitando lixiviaciones de abono
- Mayor eficacia en el uso de la energía
- Este método es aplicable a cualquier tipo de cultivo (cultivos extensivos, intensivos...) así como a áreas verdes (campos de golf, parques y jardines)

El método se basa en el uso de los siguientes dispositivos y aplicaciones:

① Dispositivo térmico: cuenta con una cámara termográfica y sensores ambientales (temperatura y humedad ambiental). El dispositivo puede ser usado manualmente o instalarse en cualquier dispositivo móvil de la finca, realizándose una captura automática de imágenes, las cuales se envían a los servidores mediante una conexión 3G/4G. Es recomendable realizar la toma de imágenes en horas de máxima demanda hídrica y en el lado soleado del árbol.



② *Software* de análisis y proceso de la información: las imágenes capturadas son recibidas, analizadas y procesadas por los algoritmos desarrollados dependiendo del cultivo. Tras su análisis, el sistema envía información detallada relativa al estado hídrico del cultivo, así como instrucciones para la programación de los riegos. La toma de imágenes se puede realizar por bloques (sectores de riego) o de forma individual, por lo que se puede disponer desde una visión global de la finca a una individualizada a escala de árbol.

③ Aplicación Web y móvil: los agricultores dispondrán de la información del nivel de estrés del cultivo de una forma sencilla, sin necesidad de interpretar ningún dato y en tiempo real.

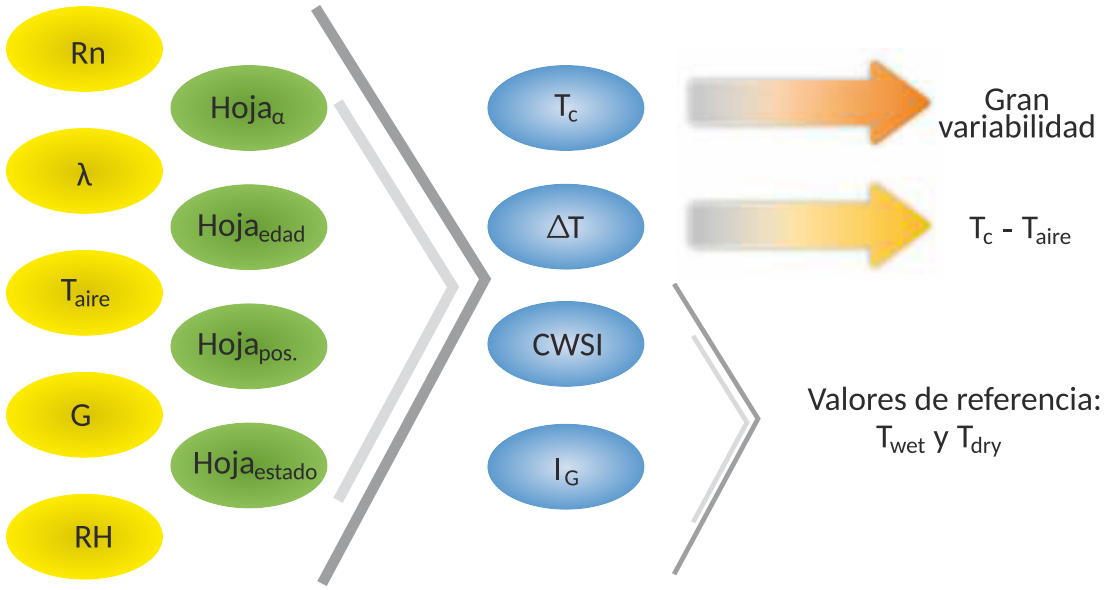


4.4.1 Fundamento del método: monitorización del estado hídrico mediante termografía de infrarrojos

La gestión adecuada del riego no pasa solamente por un diseño apropiado de la estrategia a seguir, sino por la posibilidad del seguimiento del estado hídrico del cultivo, con objeto de poder comprobar si la estrategia definida es adecuada para evitar situaciones de estrés indeseables para la planta, y poder desarrollar una adecuada toma de decisiones y la programación del riego en tiempo real. La termografía de infrarrojos emerge como una técnica fiable, rápida, no invasiva y no destructiva, que permite realizar un seguimiento del estado hídrico del cultivo en base a la posible relación con otras medidas fisiológicas.

En el caso de los cultivos, la forma de interactuar con el ambiente consiste fundamentalmente en un intercambio de materia (CO_2, H_2O, y nutrientes) y de energía lumínica en el proceso de fotosíntesis y en forma de calor. La principal respuesta de la planta a la escasez de agua es un descenso en los niveles de transpiración, fundamentalmente por un cierre parcial de los estomas, lo que determina un descenso en la entrada de CO_2 y en la salida de H_2O. Asociado a este descenso en los niveles de transpiración, se produce un aumento de la temperatura foliar, normalmente varios grados por encima de la temperatura del aire. Estas relaciones son las que permiten establecer la base del seguimiento del estado hídrico de los cultivos en base a su temperatura foliar, puesto que un déficit hídrico más o menos prolongado va a traducirse en un incremento significativo de esta variable.

Son muchos los factores que van a determinar el valor final de la temperatura foliar y que, por tanto, han de ser tenidos en cuenta a la hora de realizar una evaluación del estrés hídrico. Así, el nivel de radiación, la temperatura atmosférica, el déficit de presión de vapor, la humedad relativa del aire o el ángulo de la radiación incidente sobre la superficie foliar van a influir de manera decisiva sobre el valor absoluto de ésta. Se han desarrollado, por ello, diversos índices de estrés destinados a minimizar el efecto de estas variables en los estudios relacionados con la temperatura de los cultivos y su relación con la respuesta de los mismos al



Variables atmosféricas y relativas al estado foliar que determinan el valor final de la temperatura absoluta del cultivo; así como los principales índices térmicos más usados.

estrés hídrico. En la figura siguiente se muestran las variables atmosféricas y de la planta que determinan la temperatura del cultivo, y los principales índices térmicos usados en este método.

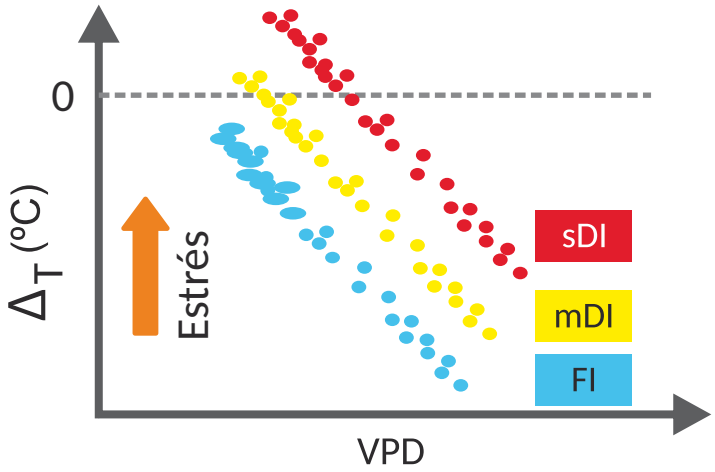
Tanto el índice de estrés hídrico del cultivo (CWSI) como el de conductancia estomática relativa (IG) precisan del uso de valores de referencia (T_{wet} y T_{dry}), que corresponderían con los valores hipotéticos de temperatura de una hoja con los estomas completamente abiertos y cerrados respectivamente. Para conseguir estos valores de referencia, en numerosas ocasiones se realizan medidas artificiales que tratan de simular dichas situaciones. Para el caso de Tdry, se suelen cubrir una o dos hojas con vaselina en ambas caras (haz y envés), al menos unos 20 minutos antes de la toma de las imágenes; mientras que para el caso de Twet se pueden realizar pulverizaciones con agua a temperatura ambiente sobre una o varias hojas en el instante de la medida, o utilizar materiales porosos humedecidos como referencia.

A diferencia de los dos primeros índices, que requieren de la toma de medidas artificiales para la normalización de los datos de temperatura, el ΔT (diferencia entre la temperatura de la copa del cultivo y la del aire) tan sólo requiere del registro adicional de la temperatura atmosférica en el momento de medida.

Un paso más en el uso del índice térmico ΔT es la definición de las líneas base. Se trata de funciones lineales que relacionan los valores de ΔT con el déficit de presión de vapor (VPD) existente en el momento de la medida de la temperatura foliar. Estas funciones permiten establecer los valores umbrales de T en función de las condiciones climáticas y de las dotaciones hídricas recibidas por el cultivo. Son, por tanto, fáciles de aplicar e interpretar, y permiten tomar decisiones en función del estado hídrico de la planta. En la figura siguiente se representan líneas base que relacionan ΔT con el déficit de presión de vapor del aire que rodea al cultivo (VPD). FI, mDI y sDI son las funciones de tratamientos bien regados, con estrés moderado y con estrés severo, respectivamente.

La definición de las líneas base varía con cada cultivo y variedad, pudiendo incluso cambiar según el periodo fenológico o la edad del árbol. Hay que definirlas, por tanto, para las diferentes condiciones de manejo.

Llegados a este punto, la pregunta fundamental es si existe una relación entre la respuesta fisiológica del cultivo estudiado a las distintas dotaciones hídricas



Representación esquemática de líneas base de DT. FI, mDI y sDI corresponderían a funciones de tratamientos bien regados, bajo estrés moderado y estrés severo; respectivamente.

impuestas y su respuesta productiva final, además de definir la función óptima de ΔT para la gestión conveniente del riego. En este sentido, es importante tener en cuenta los valores de producción obtenidos en cada tratamiento estudiado.

Teniendo en cuenta las relaciones entre las producciones obtenidas en diferentes tratamientos de riego y las líneas base asociadas a cada uno de ellos, es posible establecer unos umbrales según las diferentes dotaciones hídricas y la producción final obtenida, ofreciendo un asesoramiento fiable sobre el aumento o disminución del riego en función de dichos umbrales. Esto es, las líneas base permiten establecer los valores límites de ΔT para cada una de las estrategias, y así poder realizar una toma de decisiones de una manera más acertada, evitando posibles efectos negativos en los valores finales de producción.



PROYECTO CIT CONTROL INTELIGENTE DE TERMOGRAFÍA



EL RIEGO DE PRECISIÓN

En los capítulos anteriores se ha destacado que una gestión óptima del riego incluye tres aspectos:

① La elección correcta del método de riego (por goteo, por aspersión, por surcos…).
② La aplicación de la estrategia de riego más adecuada para las características de la finca y para el objetivo de producción perseguido (riego suficiente para alcanzar la máxima producción del cultivo, riego deficitario controlado, riego deficitario sostenido…).
③ El uso de un método para la programación del riego que permita aplicar la estrategia elegida correctamente (método del coeficiente de cultivo, dendrometría, potencial de turgencia en hoja…).

Si se acierta en estos tres aspectos, se conseguirán evitar tanto los riegos excesivos que desperdician agua como los demasiado reducidos que ocasionan niveles de estrés hídrico excesivos en momentos inadecuados del ciclo del cultivo.

El riego de precisión considera los tres aspectos. Consiste en aplicar, en cada zona de la finca, la cantidad de agua correcta en cada momento. Es decir, si la finca no es homogénea (casi ninguna lo es), el riego de precisión conlleva regar de forma diferente cada zona, en función de las condiciones de suelo, del cultivo y del microclima. El riego de precisión conlleva, por tanto, modificar la dosis y frecuencia de riego según el momento del ciclo del cultivo, adaptando los aportes de agua a las exigencias de la planta y al objetivo del agricultor.

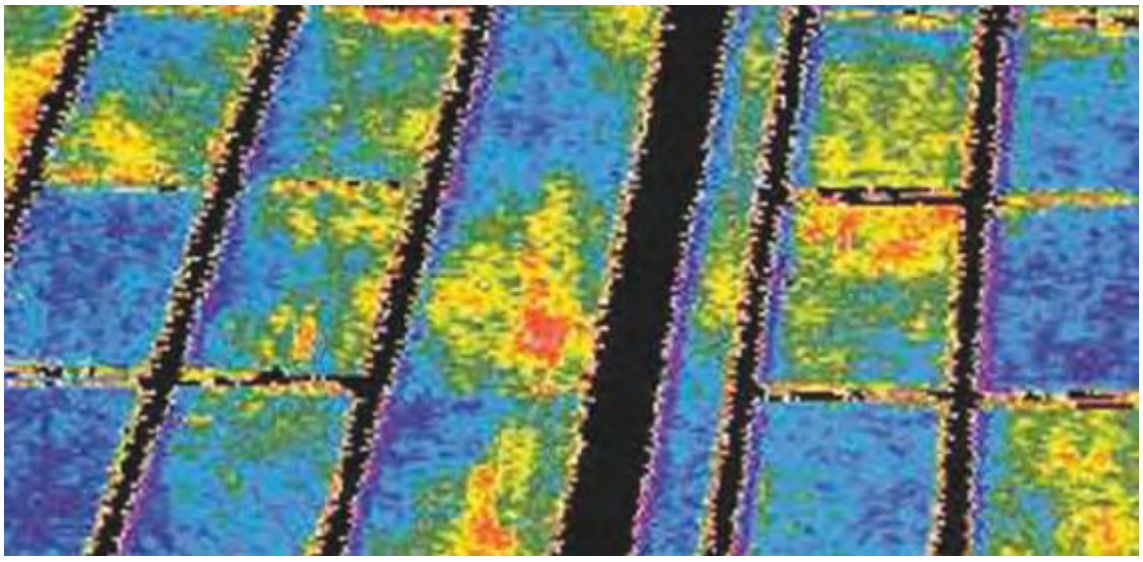
Hay empresas que trabajan con métodos para la programación del riego como los descritos en el Apartado 4.3. A cambio del pago de una cuota, estas empresas instalan y mantienen los sensores y equipos relacionados, y proporcionan información al agricultor a través de un dispositivo conectado a Internet, normalmente el teléfono móvil.

Cualquier finca, por pequeña que sea, suele mostrar una **variabilidad** notable en las condiciones de suelo, orografía y microclima, de manera que no suele ser aconsejable regar toda la finca de la misma manera. Es habitual, por ejemplo, que

en una finca haya zonas con suelos más ligero y de menos profundos que otras. Puede convenir, en estos casos, aplicar una mayor frecuencia de riego en esas zonas, ya que su capacidad de retención de agua será menor. La cantidad de agua aplicada a las distintas zonas de la finca puede que sea la misma, pero en las zonas de suelo ligero habrá que dar riegos menos abundantes y con mayor frecuencia.

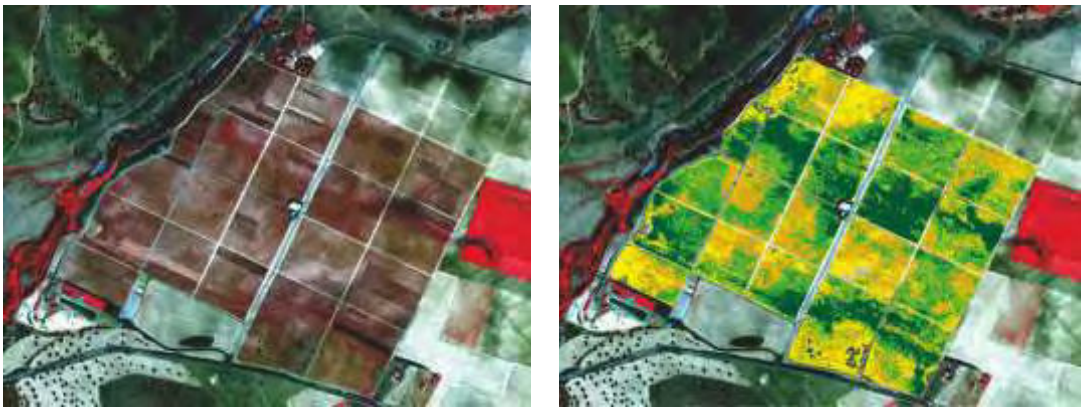
El riego de precisión exige, de hecho, que se identifique la **variabilidad** existente en la finca. Para ello se usan, entre otros elementos, mapas de suelos de la finca y las apreciaciones que el agricultor vaya haciendo sobre el estado y desarrollo del cultivo en cada zona de la finca, incluido el tiempo tras el riego en el que aparecen los primeros síntomas de estrés hídrico.

También pueden usarse **fotografías aéreas de infrarrojos**, muy útiles a la hora de identificar la variabilidad ante el estrés hídrico existente en una finca, como se ha detallado en el apartado 4.4.1. Las plantas disipan calor cuando transpiran. En este proceso, el agua líquida que viaja desde las raíces a las hojas se transforma en vapor en la superficie de estas últimas, justo antes de pasar al aire. En este paso de líquido a vapor se absorbe calor, de manera que las hojas mantienen una temperatura relativamente baja aunque estén al sol. Si hay poca agua en el suelo la transpiración se reduce y la temperatura de las hojas aumenta. La temperatura de un cultivo puede medirse fácilmente con fotografías de infrarrojos. Si queremos ver la distribución de la temperatura del cultivo en toda la finca, o en una buena parte de ella, estas fotografías deben tomarse desde el aire, de ahí que se llamen fotografías aéreas de infrarrojos.



Estas fotografías pueden tomarse con satélites, aviones o vehículos no tripulados que se controlan desde tierra, como aviones y helicópteros de aeromodelismo y drones.

Las fotografías aéreas suministran información de distinto tipo, no solo de la temperatura del cultivo. Pueden informar también de su grado de desarrollo, estado sanitario, etc. Son de gran ayuda, por tanto, para mejorar no solo el riego, sino también otras prácticas de cultivo. Al informarnos de la variabilidad existente en la finca nos permiten trabajar en cada zona de forma distinta, por lo que el manejo de la finca resulta más adecuado y mejor adaptado a sus características.



Fotografías aéreas de una finca de frutales. A la izquierda se muestra una imagen normal y a la derecha la misma imagen con un tratamiento que nos indica el grado de actividad fotosintética del cultivo. Se aprecian zonas con cuatro colores distintos, de claros (menor actividad) a oscuros (mayor actividad). (Cortesía de SM Geodim.)

En lo que al riego se refiere, las fotografías aéreas de infrarrojos permiten:

- Identificar las zonas de la finca en las que el estrés hídrico aparece antes o después. Esto nos permitirá saber si con el riego que aplicamos logramos mantener el cultivo en las condiciones hídricas requeridas, o si, por el contrario, hay zonas de la finca que no se riegan bien.
- Mejorar el sistema de riego. Una vez conocida la sensibilidad al estrés hídrico que tiene el cultivo en cada zona de la finca, el agricultor puede plantearse rediseñar el sistema de riego para que cada zona de la finca se riegue de acuerdo a su sensibilidad al estrés hídrico.
- Detectar averías en el sistema de riego que hayan dado lugar a escapes de agua o a que determinadas zonas se hayan quedado sin regar.

- Determinar las zonas a instrumentar con sensores para la programación del riego. Conocer cuáles son las zonas de la finca con distinta sensibilidad al estrés hídrico ayudará a elegir acertadamente el número y localización de sensores a instalar en la finca. Esto abarata mucho el uso de los nuevos métodos para la programación del riego como los descritos en el Apartado 4.

Resulta recomendable, de hecho, c**ombinar el uso de los nuevos métodos para la programación del riego con fotografías aéreas**. No solo ayudarán a programar el riego con un número reducido de sensores, sino que nos permitirán ver si el manejo del riego que estamos haciendo es correcto.

Existen empresas especializadas en la toma de fotografías aéreas y en el análisis de la imagen resultante, que pueden facilitarle al agricultor, a un precio asequible, información útil sobre los puntos mencionados arriba.

Combinando ambas tecnologías se logra aplicar eficientemente estrategias de riego que no son fáciles de aplicar, como el riego deficitario controlado, lográndose un notable ahorro en el manejo del riego a la par que se evita que haya zonas mal regadas en la finca. Estos beneficios suelen dar lugar a una amortización rápida de lo invertido en la tecnología mencionada.



Glosario

Control del riego. Este término se refiere a las actuaciones sobre el sistema de riego para que las dosis de agua calculadas con los métodos de programación del riego se apliquen al cultivo. Es decir, se refiere al encendido y apagado de la bomba, la apertura y cierre de electroválvulas, limpieza de filtros y tuberías, etc. A veces, control y programación se usan indistintamente, pero no deben confundirse.

Cultivo bien regado. Este término es confuso, ya que se suele entender como cultivo bien regado aquél que se desarrolla en condiciones no limitantes de agua en el suelo, es decir, que el riego es suficiente para reponer las necesidades de agua del cultivo. Esto, sin embargo, no es correcto. Un cultivo bien regado es aquél al que se le aplica el riego óptimo (ver abajo), el cual dependerá del objetivo de producción perseguido.

Demanda atmosférica. Con este término nos referimos a la capacidad que tiene la atmósfera de absorber agua de un cultivo. Viene condicionada, sobre todo, por la temperatura y humedad del aire. Así, cuando el aire es seco y caliente, la demanda atmosférica es mayor que cuando el aire es húmedo y frío. El valor de la evapotranspiración potencial (ETo, ver más abajo) refleja la demanda atmosférica que hay en cada momento.

Diseño del riego. Con este término nos referimos al cálculo de las características del sistema de riego, es decir, al tipo de goteros o de aspersor, a las características hidráulicas de las tuberías, a la potencia del sistema de bombeo, etc.

Estrategia de riego. Describe la modalidad de riego que hemos elegido, en lo que se refiere a la dosis y frecuencia de riego. Hay dos estrategias de riego principales: riego para cubrir las necesidades del cultivo, que consiste en regar con frecuencia, incluso a diario, y con agua suficiente para cubrir las necesidades del cultivo (full irrigation, en inglés); y riego deficitario, con el que se aporta menos agua de la necesaria para reponer las necesidades del cultivo. Dentro del riego deficitario se han definido, a su vez, varias estrategias diferentes, que se describen en el Capítulo 3.

Estrés hídrico. Es el estrés sufrido por una planta cuando le falta agua. Cuando una planta empieza a deshidratarse por falta de agua, se alteran muchos de sus procesos fisiológicos y de desarrollo.

Se denomina estrés hídrico al conjunto de estas alteraciones. Cuando el estrés hídrico es severo, aparecen síntomas que se aprecian a simple vista, como por ejemplo la marchitez de las hojas y el arrugamiento de los frutos.

Cuando el estrés hídrico es leve, se alteran una serie de variables de la planta pero sin síntomas visuales. Estas variables son las que conviene medir para la programación del riego, ya que, como decimos, responden rápidamente a la falta de agua y nos permiten reaccionar ante niveles bajos de estrés hídrico, evitando así episodios de estrés hídrico excesivo. Ejemplos de estas variables de rápida respuesta son el potencial hídrico del tallo a mediodía, que se mide con la cámara de Scholander (Apartado 5.2), y el flujo de savia, diámetro del tronco y potencial de turgencia de la hoja, que han dado lugar al desarrollo de los nuevos métodos de medidas continuas y automáticas para la programación del riego (Apartados 4.2, 4.3 y 4.4).

Evapotranspiración del cultivo (ETc). Es el agua consumida por un cultivo. Se llama así por ser la suma de las pérdidas de agua por evaporación desde la superficie del suelo y por transpiración de las plantas. Cuando no se especifica lo contrario, este término equivale a la evapotranspiración máxima potencial, es decir, la del cultivo sano, bien fertilizado y sin limitaciones de agua en el suelo.

Evapotranspiración potencial (ETo). Evapotranspiración de una pradera vegetal (normalmente gramíneas, aunque puede haber otras especies) que cubre totalmente el suelo, que crece sin limitaciones de agua y nutrientes, que no padece de plagas y enfermedades y bien desarrollado, con una altura de unos 10-15 cm. Indica la demanda evaporativa de la atmósfera y se usa como evapotranspiración de referencia en el cálculo de ETc con el método del coeficiente del cultivo (Apartado 4.1).

Fertirrigación. Práctica que engloba la aplicación de agua y fertilizante al cultivo. Consiste en aplicar los nutrientes necesarios para el cultivo mediante la inyección de una solución líquida fertilizante en el sistema de riego.

Indicador de estrés hídrico. Es una variable que se deduce de las medidas hechas con el método para la programación del riego que estemos usando. Dicha variable debe estar estrechamente relacionada con el estrés hídrico que sufre la planta, lo que permite que pueda usarse para programar el riego. En el Capítulo 4 se explican los indicadores de estrés hídrico más usados para cada uno de los tres métodos de programación del riego basados en medidas en la planta que se han considerado en el Hito 1.3.2 del Proyecto Recupera 2020.

Método o técnica de riego. Las palabras "método" y "técnica" se diferencian en que un método está compuesto por varias técnicas. Cuando se aplican al riego, se refieren a la forma de aplicar el agua: riego por surcos, por aspersión, por goteo, etc.

Necesidades de riego (NR). Es el agua con la que hay que regar el cultivo para aplicar la estrategia de riego elegida. Si hemos elegido un riego para reponer las necesidades del cultivo, es decir, para mantenerlo en condiciones no limitantes de agua en el suelo, NR coincide con la evapotranspiración máxima potencial menos la precipitación efectiva (ver "Necesidades hídricas del cultivo").

Necesidades hídricas del cultivo. Es el agua que necesita un cultivo para reponer su consumo hídrico, es decir, su evapotranspiración o ETc. No suele ser necesario aportar toda esta agua con el riego, ya que parte la aporta la lluvia (ver Apartado 4.1).

Precipitación efectiva (Pe). Es el agua aportada por precipitación que es aprovechada por el cultivo. El término precipitación se refiere al agua aportada por la lluvia, nieve y granizo. Los aportes debido a la niebla o a que se alcance el punto de rocío no están englobados en este término, ya que son aportes por condensación, no por precipitación. No toda el agua aportada por precipitación es aprovechada por el cultivo. Por ejemplo, parte de la lluvia cae en zonas del suelo alejadas de las raíces, o en la propia copa del cultivo y se evapora antes de caer al suelo o de ser absorbida por la parte aérea del cultivo. Por lo tanto, en el cálculo de NR no se debe considerar la precipitación total, que se mide con pluviómetros situados sobre el cultivo, sino una fracción de ella. Como no es fácil calcular la fracción de la precipitación realmente aprovechada por el cultivo, se usan valores estimados.

Por ejemplo, para un olivar tradicional, con no más de 200 árboles/ha, Pe se considera que es

el 75% de la precipitación medida con pluviómetro.

Productividad del agua. Se entiende por tal la cantidad de producto obtenido dividido por el volumen o de agua consumida. El producto obtenido puede expresarse como producto cosechado (kg de fruta, por ejemplo) o producto elaborado (kg de aceite, por ejemplo). A veces no se usan las cantidades de producto y de agua, sino su valor económico, de manera que la productividad del agua puede expresarse, por ejemplo, como "kg de fruta/m3 de agua aplicada" o bien como "valor neto de la cosecha en euros/coste del agua aplicada en euros). La productividad del agua suele calcularse por unidad de superficie cultivada, normalmente por hectárea.

Programación del riego (*irrigation scheduling*). Este término se refiere al cálculo de la dosis y frecuencia del riego. No debemos confundirlo con la estrategia de riego. La estrategia de riego define con qué frecuencia e intensidad queremos regar, mientras que la programación del riego consiste en calcular la dosis a aplicar y el momento en que se debe regar, para que la estrategia de riego se aplique de forma correcta. Tampoco debe confundirse con el control del riego (ver arriba). En el Capítulo 4 se describen algunos de los métodos de programación de riego más eficaces.

Riego de precisión. Se trata del uso de estrategias y métodos de programación de riego adecuados para que cada zona de la finca reciba un riego óptimo. El riego de precisión implica que las dosis y frecuencia de riego vayan cambiando en función de las necesidades del cultivo y según su localización en la finca. Se ajustarán, por ejemplo, en función de los momentos del ciclo del cultivo en los que la planta es más sensible a la sequía y en función de la capacidad de retención de agua que haya en distintas zonas de la finca.

Riego óptimo. Es aquél con el que se consiguen los mayores beneficios netos, es decir, la máxima rentabilidad del cultivo. Suele conllevar aportes de agua inferiores a los necesarios para conseguir la máxima producción del cultivo, por lo que no debe confundirse con el riego necesario para mantener al cultivo en condiciones no limitantes de agua en el suelo. El riego óptimo dependerá del objetivo del productor. Para el aceite de oliva, por ejemplo, el riego óptimo dependerá de que se busque mejorar la cantidad o la calidad del aceite. En el primer caso el riego óptimo será probablemente más abundante que en el segundo, ya que el riego deficitario mejora la calidad del aceite.

Rizosfera. Volumen de suelo explorado por las raíces de una planta.

Sistema de riego. Se refiere a los componentes físicos que nos permiten regar: tuberías, cabezal de riego, filtros, reguladores de presión, válvulas, emisores, etc.

PROYECTO | CIT CONTROL INTELIGENTE DE TERMOGRAFÍA



AGRADECIMIENTOS

Este trabajo se ha realizado en el marco de las Ayudas al funcionamiento de los grupos operativos de la Asociación Europea de Innovación (AEI) en materia de productividad y sostenibilidad agrícolas (Convocatoria 2016. Orden de 28 de Julio de 2016) e integradas en el Programa de Desarrollo Rural de Andalucía (operación 16.1.2).

Queremos mostrar nuestro especial agradecimiento a las fincas colaboradoras en este proyecto:

- Finca Cartuja. La Rinconada
- Finca Hato Ratón. Aznalcazar
- Finca La Palmitera. La Rinconada
- Finca Montoro. Écija
- Finca Ojen. Osuna
- Finca Sanabria. Utrera
- Finca Trinidad Nueva. Carmona

Asimismo, agradecemos la colaboración ofrecida por la Consejería de Agricultura, Ganadería, Pesca y Desarrollo Sostenible en el desarrollo de este proyecto.


PROYECTO
CIT
CONTROL
INTELIGENTE
DE TERMOGRAFÍA

PROYECTO CIT CONTROL INTELIGENTE DE TERMOGRAFÍA



Manual de Buenas Prácticas para la gestión del riego