



**Interreg  
Sudoe**



Co-funded by  
the European Union

**SMART GREEN WATER**

Junio 2024

Distribución pública

Entregable 2.5.I

Actividad: *Desarrollo conjunto de un método de caracterización de las soluciones disponibles en el mercado*

**Índice**

**Introducción**

**4**

## **CARACTERIZACIÓN DE SOLUCIONES DIGITALES EMPLEADAS EN EL REGADÍO**

Unión de Pequeños  
Agricultores y Ganaderos



<b>Distintos niveles de tecnificación en la digitalización del riego</b>	<b>6</b>
<b>Soluciones Digitales para el riego en agricultura</b>	<b>9</b>
Nivel 1. Programación del Riego	9
Nivel 2: Monitorización	9
Nivel 3: Riego de precisión	10
Nivel 4: Sistemas de riego inteligente	10
<b>Caracterización de las principales soluciones digitales para riego</b>	<b>11</b>
<b>    1. Sistemas de riego automatizado</b>	<b>12</b>
1.1 Programador de riego	12
1.2 Sensores	13
1.2.1 Sensores lejanos o remotos	13
Imágenes satelitales	14
Imágenes de dron	16
1.2.2 Sensores cercanos	17
<b>Sensores de planta</b>	<b>18</b>
Sensores de flujo de savia	20
Sensor de turgencia de hoja	22
Sensores de temperatura de planta	24
Registro continuo del potencial hídrico del tallo	24
<b>Sensores de suelo</b>	<b>26</b>
Sensores de contenido de humedad	26
Sensores de contenido de potencial matricial	32
Sensores resistivos y capacitivos en material poroso	33
Sensores de conductividad eléctrica	34
<b>Sensores de ambiente</b>	<b>34</b>
SiAR (Sistema de Información Agroclimática para el Regadío)	36
SAGRA (Sistema Agrometeorológico para la gestión del riego en Alentejo)	38
Otros	43
<b>Sensores de monitorización del sistema de riego</b>	<b>45</b>
Caudalímetro	45
Sensor de presión	45
Sensores de calidad del agua de riego	47
<b>    2- Software de gestión de riego</b>	<b>48</b>
<b>    3- Empresas del sector del regadío</b>	<b>50</b>
<b>    PLANTILLA PARA CARACTERIZAR SOLUCIONES DIGITALES EN REGADÍO</b>	<b>51</b>
<b>Bibliografía</b>	<b>54</b>

## Índice de ilustraciones

Ilustración 1: Aproximación muy simple a la supervisión y manejo de riego basado en datos.	6
Ilustración 2: Aproximación a la supervisión y manejo de riego basado en datos haciendo uso de un repertorio de herramientas y fuentes de datos disponibles online	7
Ilustración 3: Aproximación a la supervisión y manejo de riego haciendo uso de una plataforma integrada de prescripción de riego, que descarga al regante de las tareas rutinarias de descarga y procesamiento de datos	8
Ilustración 4: Principales programas con datos abiertos. Fuente: María José Checa Tragsatec	14
Ilustración 5: Principales programas comerciales. Fuente: María José Checa Tragsatec	14
Ilustración 6: Arquitectura agricultura 4.0. Fuente: Carmen Flores Cayuela, Universidad de Córdoba	17
Ilustración 7: Dendrómetro. Fuente Fernando Casares Universidad de Córdoba	18
Ilustración 8: Sensores de flujo de savia. Fuente Fernando Casares Universidad de Córdoba	21
Ilustración 9: Sensor de turgencia de hoja. Fuente: Francisco Casasres Universidad de Córdoba	21
Ilustración 10: Equipo de control continuo del potencial hídrico del tallo basado en microtensiómetros instalados en el tronco de las vides	23
Ilustración 11: Herramienta de la empresa “Vegetal signal”, HydroScore, Una aplicación para controlar en tiempo real el estado hídrico de las vides	24
Ilustración 12: Sensor capacitivo	25
Ilustración 13: Sensor FDR	26
Ilustración 14: Sensor TDR	26
Ilustración 15: Evolución del contenido de humedad en un suelo a distintas profundidades, en la que se aprecia el momento en que se aplica el riego	27
Ilustración 16: Instalación de sondas de humedad a distintas profundidades	27
Ilustración 17: Tensiómetros	30
Ilustración 18: Sonda Capacitiva de tensión matricial del suelo	31
Ilustración 19: Sonda resistiva de tensión matricial del suelo	31
Ilustración 20: Estación agroclimática completa	33
Ilustración 21: Red SIAR. Fuente: Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación	35
Ilustración 22: Ejemplos de información proporciona por una estación agroclimática de la red SIAR	36
Ilustración 23: Metodología de operación del servicio de aviso de riego	37
Ilustración 24: Red de Estaciones Meteorológicas Automáticas - SAGRA	38
Ilustración 25: Usuario SAGRA-NET para consultar datos diarios ( <a href="http://www.cotr.pt">www.cotr.pt</a> )	39
Ilustración 26: Usuario MOGRA	40
Ilustración 27: La red de estaciones meteorológicas actualmente en servicio en Francia	41
Ilustración 28: Herramientas de Sencrop	41
Ilustración 29: Estación meteorológica de Isagri	42
Ilustración 30: Herramienta de la gestión de la irrigación de Weenat	42
Ilustración 31: Ilustración Digimap. Plataforma Tierra. Búsqueda empresas regadio	48

## Introducción

Las soluciones digitales para las explotaciones agrícolas de regadío contribuyen a una gestión eficiente del recurso más crítico en la agricultura, **el agua**.

Cabe resaltar que el 70 por ciento del agua que se usa en España se destina a la agricultura; por ello, el papel del sector es clave para conseguir ahorro de este recurso en la producción de alimentos.

La tecnología es importante para maximizar los insumos en la agricultura, en particular del agua como recurso escaso. En el caso de España, los procesos de modernización de regadíos de los últimos veinte años han ido sustituyendo los sistemas tradicionales de riego mediante conducciones abiertas, por sistemas de conducción a presión (aspersión y localizado), más eficientes, lo que ha permitido reducir el consumo de agua en un 15% la última década.

Maximizar la eficiencia de aplicación del agua de los sistemas de riego actuales implica que tanto el diseño de la instalación como su manejo sean adecuados. El avance tecnológico está permitiendo que cada vez sea más factible medir, recopilar datos y analizar el manejo del riego. Mediante el uso de diferentes tipos de sensores y algoritmos se pueden calcular de forma automática las necesidades de riego de un cultivo, de manera que se le puede aplicar la cantidad de agua que éste necesita justo en el momento más indicado.

Así surge el concepto de riego de precisión, que se basa en la utilización de las tecnologías disponibles para conocer durante la campaña de riego el estado del sistema suelo-agua-planta y controlar la aplicación del riego, suministrando la cantidad de agua requerida por el cultivo en el momento adecuado.

Existe una gran variedad de soluciones tecnológicas que son componentes fundamentales de los sistemas de riego de precisión, tanto de aquellos en los que el regante toma la decisión final del riego, como de los sistemas del riego de precisión autónomos (riego inteligente), por ello se elabora el presente documento, en el

marco del proyecto europeo SUDOE **Smart Green Water**, como herramienta de apoyo a los agricultores en el proceso de selección de la tecnología más adecuada para su explotación.

En esta memoria se recogen las principales características de las tecnologías digitales aplicadas al regadío. El presente documento ha estado elaborado en el contexto de la actividad *“Desarrollo conjunto de un método de caracterización de las soluciones disponibles en el mercado”* de **Smart Green Water**. Elaborado por la Unión de Pequeños Agricultores y Ganaderos (España), ha contado igualmente con la colaboración de la Universidad de Córdoba (España), el Instituto de Investigación y Tecnología Agroalimentarias (España), el Centro Operativo e de Tecnologia de Regadio (Portugal), Agri Sud-Ouest Innovation (Francia) y la Eurorregión Pirineos Mediterráneo (Francia/España).

## Distintos niveles de tecnificación en la digitalización del riego

Básicamente, la gestión del riego consiste en supervisar el buen funcionamiento de la instalación de riego, para actuar rápidamente en caso de averías u otras anomalías, y en actualizar periódicamente las programaciones de riego, para adecuarlas a la meteorología y al desarrollo del cultivo. En este contexto, una gestión del riego basada en datos aporta objetividad a los procesos implicados.

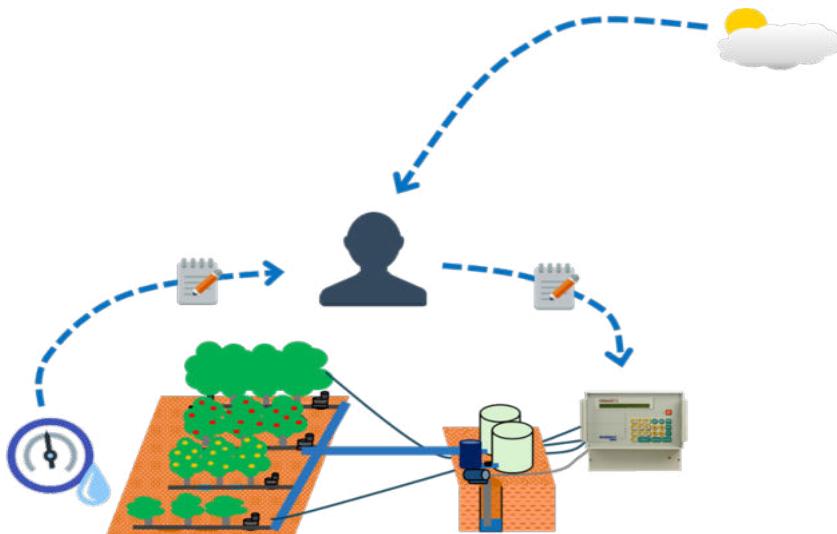


Ilustración 1: Aproximación muy simple a la supervisión y manejo de riego basado en datos.

Una aproximación más plenamente digital puede hacer uso de las telecomunicaciones para supervisar y manejar el riego a distancia, así como aprovechar un abanico más amplio de datos disponibles a través de diversas tecnologías. Por un lado, los programadores de riego suelen ser accesibles remotamente, a través de plataformas online o de aplicaciones de móvil. Ello permite una mejor interacción con el usuario, así como profundizar mucho más en una gestión basada en datos. El controlador de riego genera muchos datos que podrán usarse para supervisar el proceso, optimizarlo, así como para tener trazabilidad del manejo del riego. Por otro lado, los sensores instalados en campo suelen estar conectados a alguna plataforma online, que facilite el acceso a los

datos, su visualización, descarga y procesamiento por el usuario. Así mismo, existen plataformas online donde consultar o descargar datos meteorológicos. También de teledetección, que contribuyen a la supervisión del desarrollo de los cultivos. Igualmente, existen plataformas online de recomendación de riego. Todo ello permite una gran variedad de datos disponibles para el manejo del riego.

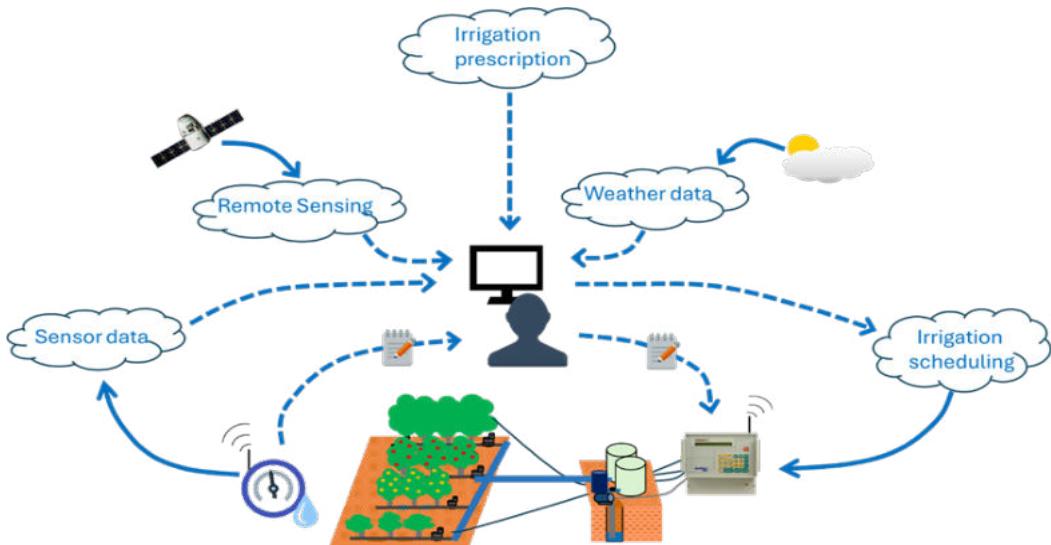


Ilustración 2: Aproximación a la supervisión y manejo de riego basado en datos haciendo uso de un repertorio de herramientas y fuentes de datos disponibles online

Una dificultad habitual es precisamente la gran variedad de plataformas y soluciones públicas o comerciales que, de una manera u otra, pueden contribuir a la supervisión y manejo del riego. Ello hace que el usuario a menudo acabe desbordado con la cantidad de datos y herramientas que tiene a su disposición. Sobre todo, puede resultar bastante complejo y tedioso si tiene que descargar datos de unas herramientas e introducirlos en otras.

Frente a la creciente variedad y complejidad de las tecnologías y fuentes de datos usables para el manejo de riego, aparece la posibilidad de plataformas que integren todo el circuito de datos, liberando al regante de las tareas rutinarias de descarga, procesamiento, etc. Estas plataformas se encargan de acceder y procesar los datos meteorológicos, los sensores instalados en campo y/o teledetección, para generar prescripciones de riego que pueden enviar de máquina a máquina directamente al programador de riego.

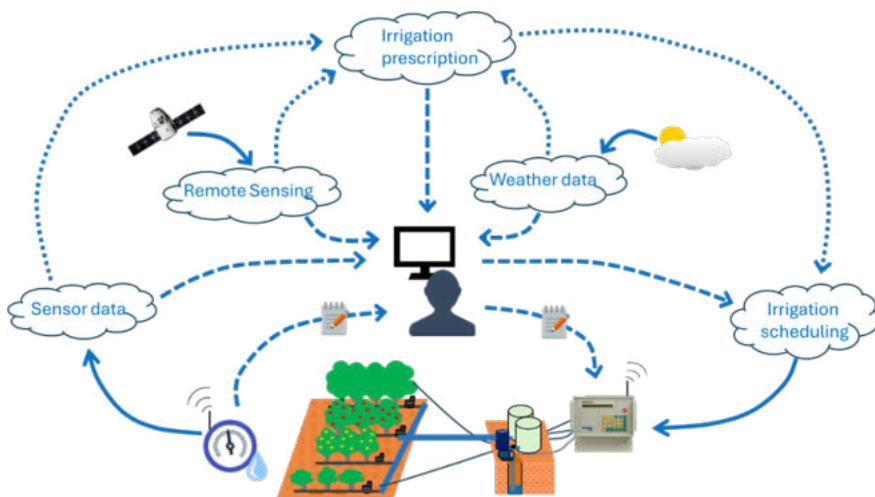


Ilustración 3: Aproximación a la supervisión y manejo de riego haciendo uso de una plataforma integrada de prescripción de riego, que descarga al regante de las tareas rutinarias de descarga y procesamiento de datos

De esta manera, que requiere mucha menos dedicación de tiempo por parte del regante, el proceso de supervisión y control puede ser mucho más escalable a un gran número de parcelas y puede actualizarse de manera mucho más frecuente.

## Soluciones Digitales para el riego en agricultura

Como se ha citado, las soluciones digitales en el regadío son fundamentales para aumentar la eficiencia del uso del agua en la agricultura, una necesidad crítica en muchas partes del mundo debido a la creciente escasez de agua. Estas tecnologías permiten a los agricultores optimizar sus recursos hídricos, mejorando la productividad de los cultivos y reduciendo el impacto ambiental.

Teniendo en cuenta los distintos niveles de tecnificación en la digitalización del riego, explicados anteriormente, se pueden diferenciar los siguientes niveles de digitalización en la gestión del agua:

### Nivel 1. Programación del Riego

Mediante programadores de riego los agricultores pueden programar su calendario de riego y automatizar el riego. El manejo del programador puede hacerse de forma manual o bien de forma remota a través de dispositivos móviles u ordenadores, brindándoles flexibilidad y control en tiempo real, sin necesidad de estar físicamente en el campo.

### Nivel 2: Monitorización

Consiste en registrar información sobre las variables clave en la gestión del riego mediante sensores (dispositivos de medida) localizados bien en la explotación (por ejemplo, sensores de humedad del suelo, climáticos o de planta) o en una ubicación remota (satélites y drones). Estos dispositivos, registran la información en tiempo real enviando los datos mediante sistemas de comunicación inalámbricos basados en Internet de las Cosas (IoT), bien a un ordenador, o teléfono móvil/tableta o a la nube. De este modo, el gestor del riego puede conocer cómo evolucionan las distintas variables relacionadas con el riego en su explotación.

### Nivel 3: Riego de precisión

Integrando la información recogida por el sistema de monitorización, el conocimiento del comportamiento hidráulico del sistema de riego, las

características del cultivo y del suelo, la estrategia de riego a seguir, entre otros aspectos, se realiza la programación del riego, de modo que, se aplique la cantidad de agua estrictamente necesaria para el cultivo en el momento adecuado durante la campaña de riego, reduciendo los flujos de retornos de agua por escorrentía y por percolación.

#### Nivel 4: Sistemas de riego inteligente

Son sistemas de riego de precisión avanzados que analizan de forma automática la información registrada por los distintos tipos de sensores (cercanos y remotos) para decidir de forma autónoma cuánto, cuándo y durante cuánto tiempo regar, e incluso hacer que el riego varíe espacialmente en la parcela teniendo en cuenta la heterogeneidad de esta. Controlan de forma automática el inicio y fin de cada evento de riego.

Estos sistemas pueden incorporar incluso modelos predictivos de las necesidades de riego a distintas escalas temporales, basados en el análisis de los registros históricos de las variables relacionadas con las necesidades de riego del cultivo almacenados en el sistema de monitorización. Estos sistemas ayudan a los agricultores a usar eficientemente los recursos hídricos a lo largo de la campaña de riego en función de su disponibilidad de agua, adaptándose a las condiciones ambientales e incluso pueden incorporar otros factores como son los energéticos.

Teniendo en cuenta los distintos niveles de digitalización del riego, a continuación, se caracterizan las principales soluciones digitales para riego, comercializadas en la actualidad.

## Caracterización de las principales soluciones digitales para riego

### I. Sistemas de riego automatizado

#### 1.1 Programador de riego

El programador de riego es un dispositivo electrónico especializado en las funcionalidades de dosificar el agua y los fertilizantes que se aplican a los cultivos. Suele ser un equipamiento imprescindible en las explotaciones agrícolas con riego presurizado y puede ser más o menos sofisticado según el sector, las dimensiones de la explotación y su nivel tecnológico. El programador de riego es el cerebro de un cabezal de riego que comprende un conjunto de componentes hidráulicos (válvulas, bombas, tanques de fertilizantes, dosificadores, etc.), coordinados por el programador de riego.

A nivel práctico, los programadores de riego se encargan de ejecutar los programas de riego y de fertirrigación, lo que supone activar a las horas convenidas las válvulas de riego, coordinando sistemas de bombeo y de inyección de fertilizante. Típicamente, los regantes especifican las horas de arranque del riego y su duración, así como la cantidad de fertilizante a inyectar. A lo largo de una campaña de riego, los regantes deben revisar periódicamente la programación de riego y fertirrigación para adecuarlas a la meteorología y al desarrollo del cultivo.

Los programadores de riego presentan un elevado nivel de autonomía de funcionamiento, que incluye la respuesta programada a distintos tipos de sensores locales (sondas de nivel, pH, conductividad eléctrica, humedad del suelo, etc.). En la práctica, los programadores de riego pueden estar conectados a Internet y la interacción del usuario con los programadores de riego suele ser a través de una aplicación web. De esta forma, las capacidades de los programadores de riego para el control con cierta autonomía local pueden complementarse con la interoperabilidad con sistemas remotos más complejos, que marquen las decisiones tácitas y estratégicas en una gestión del riego basada en datos,

ofreciendo la oportunidad de hacer uso de un amplio abanico de tecnologías en las que basar la toma de decisiones.

## 1.2 Sensores

Son los componentes principales del sistema de monitorización, siendo, por tanto, una herramienta fundamental en la agricultura de precisión, ya que logran una gestión eficaz del riego para optimizar el uso de los recursos hídricos utilizados en agricultura.

También son grandes aliados para mejorar la salud de los cultivos y aumentar la productividad de manera sostenible.

Los sensores los podemos dividir según su proximidad al objeto de estudio, en lejanos (Remote Sensing) y cercanos (Proximal Sensing):

### 1.2.1 Sensores lejanos o remotos

Los sensores remotos recopilan datos desde una distancia considerable al estar instalados en satélites o drones equipados con tecnología avanzada de captura de imágenes. Estos sensores pueden abarcar grandes áreas de terreno. El análisis de las imágenes obtenidas proporciona información sobre la variabilidad espacial de las variables medidas, permitiendo identificar áreas de estrés hídrico, desarrollo de cubierta vegetal, existencia de plagas, o deficiencias nutricionales. Distinguiremos entre imágenes de satélite y de dron.

#### Imágenes satelitales

Utilizan diferentes bandas del espectro electromagnético para capturar información sobre el estado de los cultivos, contenido de humedad del suelo, el uso del agua, y otros factores ambientales. Son útiles para monitorear grandes extensiones de tierra de forma regular.

A través de estas imágenes, se puede obtener información de la variación de humedad en diferentes partes de la parcela agrícola. Las imágenes pueden mostrar ineficiencias en los patrones de riego existentes, como la distribución irregular del

agua, y ayudar a optimizar los sistemas de riego para asegurar una cobertura uniforme.

Cabe resaltar, por su utilidad en el regadío, el NDVI (Normalized Difference Vegetation Index (Rouse et al., 1973). El NDVI puede utilizarse para detectar el estrés hídrico en los cultivos antes de que se manifieste visualmente. Una disminución en los valores de NDVI (sus valores varían entre -1 y 1) puede indicar una necesidad insatisfecha de agua, lo que permite a los agricultores ajustar sus prácticas de regadío para abordar específicamente las áreas que muestran signos de estrés. Esto es particularmente útil en grandes explotaciones donde el monitoreo visual directo no es práctico.

La principal limitación de este índice es que tiende a saturarse cuando la cubierta vegetal es muy densa.

Existen una serie de programas de datos abiertos para la visualización de las imágenes satelitales:



Proveedor	Sensor	Cobertura	Resolución espectral	Resolución espacial	Resolución temporal
NASA	MODIS	2330 Km	Ms: 36 bandas (visible e infrarrojo cercano a térmico)	250, 500 y 1000 m	2 diarias (4 combinada TERRA/AQUA)
NASA	LANDSAT 8, 9	185 Km	Pan y Ms 10 bandas (visible, infrarrojo cercano a térmico)	15 (Pan), 30 y 100 m	16 / 8 días
NASA	ASTER	60 Km	Ms 14 bandas (visible, infrarrojo cercano a térmico)	15, 30, 90 m	16 días
ESA	SENTINEL1	80, 250, 400 Km	Banda C-SAR (polarizaciones VV, HH, VV+VH, HH+HV)	5*5, 5*20, 20*40 m.	6 días
ESA	SENTINEL2	290 Km	Ms 13 bandas (visible e infrarrojo cercano y medio)	10, 20, 60 m	10 / 5 días
ESA	SENTINEL3	1270 Km	Ms 21 bandas (OLCI), SLSTR y SRAL	300 m	1 día

Ilustración 4: Principales programas con datos abiertos. Fuente: María José Checa Tragsatec



Proveedor	Sensor	Cobertura	Resolución espectral	Resoluc. espacial	Resoluc. temporal
Airbus	Spot6- Spot7	60 Km	Pan y Ms: 4 bandas (visible, nir)	Pan 1,5 m y 6 m	4 días
Airbus	Pléiades 1A-1B	20 Km	Pan y Ms: 4 bandas (visible, nir)	Pan 50 cm Ms 2 m	4 días (2 días const.)
Airbus	Pléiades NEO	14 Km	Pan y Ms: 6 bandas (visible, nir)	Pan 30 cm Ms 1,2 m	2 veces al dia
European Space Imaging (EUSI)	Maxar Worldview Constellation (4 activos)	16 Km	Pan y Ms: hasta 16 bandas (visible a irc)	Pan 30 cm	3 días
				Ms 1,2 m	
European Space Imaging (EUSI)	GeoEye	15 Km	Pan y Ms: 4 bandas (visible, nir)	Pan 50 cm	3 días
				Ms 2 m	
Planet	SkySat	8-5,5 Km	Pan y Ms: 4 bandas (visible, nir)	Pan 57 cm	<1 día
				Ms 75 cm	

*Ilustración 5: Principales programas comerciales. Fuente: María José Checa Tragsatec*

Asimismo, el programa *Copernicus* ofrece servicios de información basados en datos de observación de la Tierra por satélite (utiliza el satélite Sentinel) y en datos in situ (no espaciales).

Los servicios y los datos de Copernicus se proporcionan a los usuarios de forma gratuita <https://www.copernicus.eu/es>.

### Imágenes de dron

Los drones son vehículos aéreos no tripulados (UAV) de pequeño o mediano tamaño, que deben ser operados por personal cualificado.

Los drones pueden transportar distintos tipos de sensores como cámaras multiespectrales, térmicas, y LiDAR (Light Detection and Ranging), sensores de infrarrojo cercano (NIR). Proporcionan información semejante a la de las imágenes satelitales, aunque se trata de imágenes de alta resolución, y con frecuencia variable, dependiendo de cuándo se realicen los vuelos.

En agricultura pueden tener distintas aplicaciones:

- Los drones equipados con sensores de infrarrojo cercano (NIR) o cámaras térmicas pueden identificar zonas de campo que tienen diferentes niveles de humedad.
- También pueden incorporar sensores capaces de medir indicadores clave de la salud del suelo y del cultivo. Esta información puede ser utilizada para aplicar agua y fertilizantes de manera más eficaz, maximizando la absorción de nutrientes y minimizando el desperdicio.
- En algunos sistemas más avanzados, los datos recopilados por los drones pueden integrarse directamente con sistemas de riego inteligentes. Esto permite que el riego se active automáticamente en áreas que los datos indican que son deficientes en humedad.

Cabe resaltar que el uso de drones está condicionado por una serie de permisos y normativa que requiere de su consulta previa a su utilización.

### 1.2.2 Sensores cercanos

Los sensores cercanos son aquellos que se encuentran en contacto directo con el suelo, las plantas, el sistema de riego, o están ubicados en un entorno cercano. Proporcionan mediciones detalladas y específicas del sitio que son cruciales para las decisiones de manejo a nivel de campo.

En la actualidad la mayoría de los sensores cercanos son sensores inalámbricos tipo IoT porque transmiten la información registrada en tiempo real a través de internet. La información se almacena en servidores a los que se accede a través de internet, o la nube, a la que los usuarios pueden acceder con sus ordenadores, tabletas o móviles.

La siguiente figura muestra la arquitectura de la red de monitorización de una explotación de riego compuesta por sensores de ambiente, suelo, planta y del sistema de riego, que envían la información a “la nube” para que con el software oportuno se analice y proporcione al usuario recomendaciones de riego, para que las introduzca en el programador, siendo posible que el programador/controlador de riego actúe de forma automática aplicando las instrucciones recibidas del software de gestión de riego.

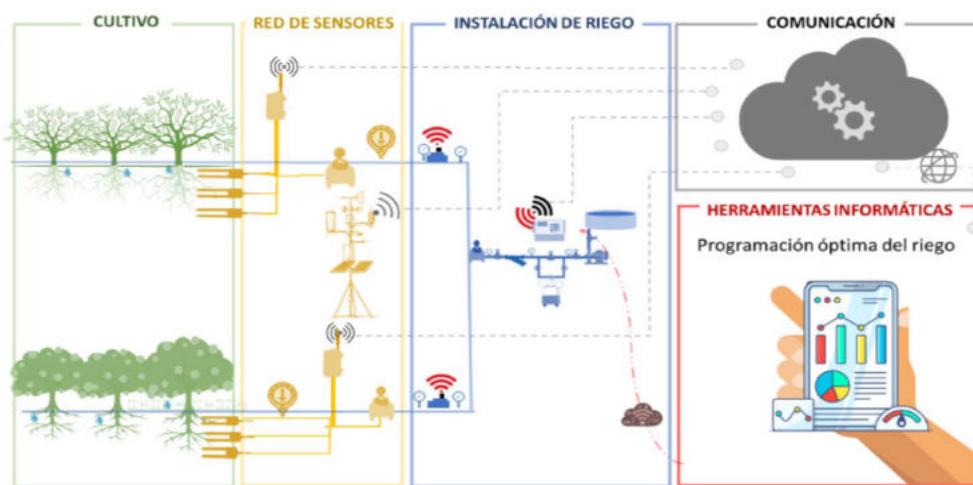


Ilustración 6: Arquitectura agricultura 4.0. Fuente: Carmen Flores Cayuela, Universidad de Córdoba

A continuación, se describen las características principales y aplicaciones de los sensores cercanos.

### Sensores de planta

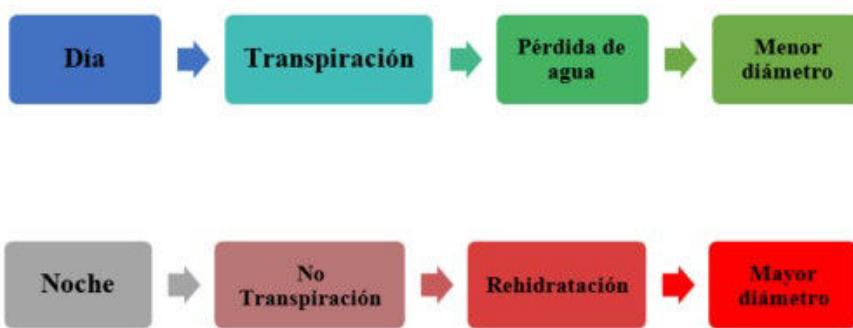
En cuanto a los sensores cercanos de planta, podemos destacar:

Dendrómetro: sensor que mide de forma continua el diámetro del tronco o de cualquier otra parte de la planta (tallo, rama, fruto, etc).

Las variaciones del diámetro del tronco entre el día y la noche están relacionadas con el estado hídrico de la planta. Durante el día el árbol transpira perdiendo agua, haciendo que el tronco se contraiga. Durante la noche, en cambio, no hay transpiración, pero sí absorción de agua por las raíces. De este modo el árbol se rehidrata, aumentando el diámetro del tronco durante las horas nocturnas.

Los dendrómetros de precisión pueden medir las variaciones diarias del diámetro del tronco, aunque sean muy pequeñas (del orden de cientos de micras). Con esta información es posible saber si el árbol está más o menos estresado (mayor variación diaria del diámetro, mayor estrés hídrico) y programar el riego.

En general, puede buscarse la siguiente correlación:



Se colocan en el tronco o parte de la planta a medir, como puede observarse en la siguiente imagen.



Ilustración 7: Dendrómetro. Fuente Fernando Casares Universidad de Córdoba

Dendrómetro de banda o perimetrales: consta de una banda de acero inoxidable (o cable) que se rodea firmemente alrededor de la circunferencia del tronco del árbol.

La banda se conecta al sensor de forma que convierte la expansión o contracción del perímetro del árbol en una variable eléctrica proporcional a este cambio. Se recomienda la utilización de bandas o cables de acero inoxidable con un coeficiente térmico lineal lo más bajo posible para minimizar la influencia de la temperatura en la calidad de la medida.

Es un sensor no invasivo, adecuado para diámetros superiores a 5 cm. Pueden reutilizarse en distintos árboles con sólo cambiar la banda.

Dendrómetros de punto o radiales: mide la variación del radio del tronco en un punto concreto.

Este dispositivo consta de dos varillas: una que perfora en el tallo para dar estabilidad y la segunda que se coloca firmemente contra el xilema del tallo. La

segunda varilla es donde está el sensor que registra la expansión y contracción de un vástago que toca la superficie del tronco y lo convierte en una señal eléctrica. La tecnología del sensor es de muchos tipos: LVT, Potenciométrico, de galgas extensiométricas, etc.

### Sensores de flujo de savia

Estos sensores miden de forma continua la velocidad del flujo de savia en tronco y ramas para estimar de forma indirecta la transpiración. Permiten el cálculo de necesidades hídricas del cultivo basadas en coeficientes de cultivo determinados para las diferentes etapas de desarrollo del cultivo a partir de la estimación de la transpiración.

El funcionamiento de estos sensores consiste en aplicar una fuente de calor constante en la corriente de savia bruta (sensor invasivo) o en su proximidad (sensor externo), mediante una resistencia eléctrica insertada en una sonda

y alimentada con una batería. La temperatura en las proximidades de esta fuente se ve afectada por la mayor o menor intensidad del flujo de savia, siendo la pérdida de calor directamente proporcional a este flujo (caudal).

Con dos o más sondas insertadas radialmente en el xilema, se miden las variaciones de temperatura que, con la correlación oportuna, permiten obtener el valor de la transpiración en forma continua y en tiempo casi real. Esta correlación está influida por el tipo de planta y varias variables climáticas (radiación solar, etc.), por lo tanto, hay que calibrar la salida del sensor para que la medida sea proporcional al flujo de savia. Sin calibración, el error en la estimación de la transpiración puede ser del orden del 34 %.

Es necesario desligar el efecto de la demanda evaporativa de la atmósfera de la información de flujo de savia, para obtener información real del estado del cultivo

Pueden usarse en cultivos leñosos y algunas plantas herbáceas de tallo grueso y recio (maíz y girasol).

Existen distintos procedimientos para determinar las variaciones de la temperatura en función del flujo de savia. En condiciones mediterráneas, el más adecuado es el método del Cociente Calórico, variante del método del pulso de calor.

Hasta ahora el uso de este tipo de sensores se concentra en el ámbito de investigación y desarrollo siendo muy limitado a nivel comercial.



*Ilustración 8: Sensores de flujo de savia. Fuente Fernando Casares Universidad de Córdoba*

#### Sensor de turgencia de hoja

Miden permanentemente el estado del agua del árbol a través de la variación de presión que el jugo celular de la hoja genera en la pared celular.

El registro diario de la variación de presión en las hojas y la temperatura ambiente, permite conocer si el árbol está correctamente hidratado o estresado por falta de agua, pudiendo incluso discriminar tres estados de la planta:

- Bien regado
- Estrés suave
- Estrés severo



*Ilustración 9: Sensor de turgencia de hoja. Fuente: Francisco Casasres Universidad de Córdoba*

## Sensores de temperatura de planta

La diferencia de temperatura que existe entre la hoja y el aire está relacionada con el nivel hídrico de la hoja, por lo que se puede usar esta diferencia para medir el estado de agua en las plantas.

### Inconvenientes de los sensores cercanos de planta:

- Precisión: Las respuestas que dan este tipo de sensores, a veces, pueden ser similares ante una situación de estrés hídrico, como de exceso de agua. Por este motivo, es necesario recibir información adicional de otro tipo de dispositivos como sensores de humedad de suelo.
- Coste: la instalación de este tipo de dispositivos puede ser costosa, especialmente en grandes extensiones de terrenos.
- Complejidad técnica: La configuración y el mantenimiento de los sensores requieren conocimientos técnicos específicos. Esto puede ser un desafío para los agricultores o técnicos que no estén familiarizados con estas tecnologías.
- Daño y durabilidad: Los sensores en campo están expuestos a condiciones ambientales que pueden dañarlos o disminuir su vida útil, como lluvia, viento, y exposición solar directa.

## Registro continuo del potencial hídrico del tallo

Recientemente han aparecido en el mercado sensores que permiten controlar el potencial hídrico del tallo en un registro continuo, basado en microtensiómetros.



*Ilustración 10: Equipo de control continuo del potencial hídrico del tallo basado en microtensiómetros instalados en el tronco de las vides*

El microtensiómetro para la monitorización continua del potencial hídrico del tallo de los cultivos frutales proporciona una comprensión mucho mayor de las variaciones en el estado hídrico de la planta, ya que integra el entorno del aire y del suelo, así como la fisiología y el manejo del cultivo (Lakso et al., 2022). La información continua sobre este parámetro mejora significativamente la capacidad de determinar las prácticas de gestión del riego, especialmente en cultivos con déficit hídrico, como la uva de vinificación, o en situaciones en las que la disponibilidad de agua para el riego es limitada. Los datos de seguimiento están disponibles en tiempo real en una plataforma de fácil manejo para los gestores del riego.

Otras innovaciones se están llevando a cabo en Francia con el resultado de las señales eléctricas en las plantas. Se trata del sensor de biointerfaz VS8 para registrar la actividad eléctrica de las plantas. Esta actividad de las plantas permite el intercambio de información en todo el organismo vegetal. Está asociada a la capacidad de adaptarse rápidamente a los estímulos externos, en particular a los factores de estrés ambiental.

Actualmente, se considera que desempeña un papel clave en la adaptación de la planta al estrés biótico y abiótico (empresa Vegetal signal, France).

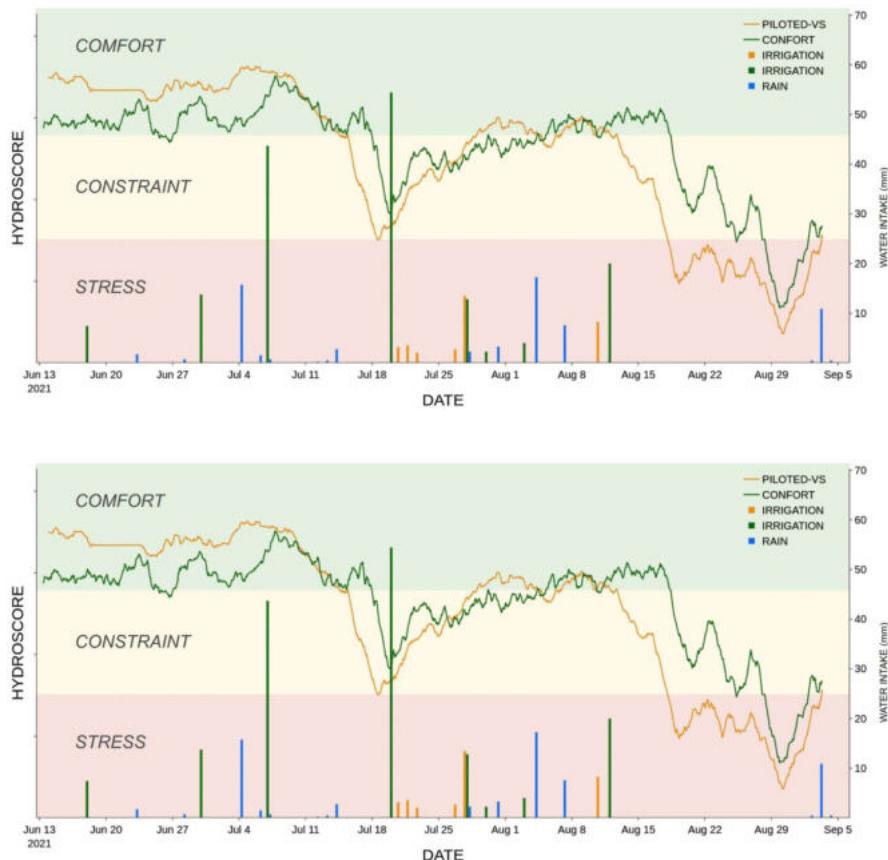


Ilustración II: Herramienta de la empresa “Vegetal signal”, Hydroscore, Una aplicación para controlar en tiempo real el estado hídrico de las vides

### Sensores de suelo

Estos sensores miden distintas variables que intervienen en el riego y en el abono, tales como el contenido de humedad, potencial matricial, temperatura, conductividad eléctrica y contenido NPK. La información que proporcionan ayuda en la toma de decisiones para realizar riegos y fertiriegos de precisión.

#### Sensores de contenido de humedad

Permiten medir el contenido volumétrico de agua, información que se utilizará en la programación del riego. Existen diferentes tipos de sensores según su principio de funcionamiento, siendo los más utilizados las sondas dieléctricas (capacitivo, TDR (reflectometría de dominio temporal) y FDR (Reflectometría en el dominio de la frecuencia).

Los distintos tipos de sondas dieléctricas, determinan por diversos procedimientos la constante dieléctrica del suelo (como medio que no posee conductividad eléctrica) La constante dieléctrica de un suelo cambia cuando varía el porcentaje de aire y agua, así los cambios de esta variable están relacionados con el contenido volumétrico de agua.

Proporcionan el contenido volumétrico de humedad del suelo a lo largo del tiempo. Normalmente se utiliza el valor del contenido de humedad registrado a una cierta hora del día para calcular el déficit de agua en el suelo, dato necesario para la programación del riego.



Ilustración 12: Sensor capacitivo

*Ilustración 13: Sensor FDR**Ilustración 14: Sensor TDR*

El contenido de humedad del suelo varía con la profundidad, por ello se toman medidas a distintas profundidades para conocer la evolución del contenido de humedad en la zona más superficial, en la zona donde se concentran las raíces del cultivo y en la zona fuera del alcance de las raíces para observar la ocurrencia o no de percolación como se observa en la siguiente figura.

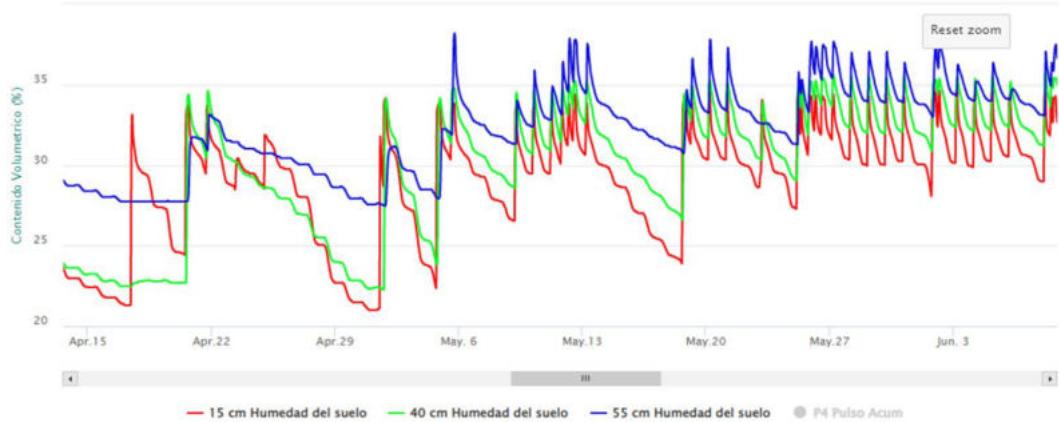


Ilustración 15: Evolución del contenido de humedad en un suelo a distintas profundidades, en la que se aprecia el momento en que se aplica el riego

En la imagen anterior puede observarse que el sensor capacitivo es de forma tubular, que permite medir el contenido de humedad a diferentes profundidades, mientras que los otros dos tipos de sensores requieren la instalación de una sonda a cada profundidad que se desee medir. El tipo de suelo y prácticas agrícolas que se realicen en la parcela en la que se instale la sonda, deben tenerse en cuenta a la hora de su elección, siendo cualquiera de ella dispositivos fiables.



Ilustración 16: Instalación de sondas de humedad a distintas profundidades

Es importante tener en cuenta a la hora de utilizar la información de los sensores de humedad del suelo, que se trata de medidas puntuales del contenido de humedad. Lo ideal sería disponer de al menos una sonda en cada sector de riego.

Estos dispositivos son robustos y resistentes a condiciones climáticas adversas, como altas temperaturas y humedad, lo que garantiza su fiabilidad y vida útil prolongada en el campo (pueden utilizarse durante varias campañas).

Están diseñados para ser fáciles de instalar y requerir mantenimiento mínimo, lo que los hace convenientes para su uso en una amplia gama de entornos agrícolas.

Para que proporcionen una información adecuada, se aconseja seguir estos criterios de instalación:

- Instalar el dispositivo bajo la vertical de un gotero para monitorizar correctamente el contenido de agua en el suelo tras los aportes de riego.
- En la zona de mayor volumen radicular del cultivo para detectar los cambios de humedad en el suelo debido a la absorción del cultivo. En cultivos leñosos en torno a los ≈ 50 cm.
- A varias profundidades (≈ 15, 30 y 45 cm según el cultivo):
  - ⇒ 15 y 30 cm → disponibilidad de agua para la planta.
  - ⇒ 45 cm → pérdidas por percolación
- Buen contacto con el suelo
  - ⇒ Tener precaución para no alterar estructura del suelo.

## Sensores de contenido de potencial matricial

Los sensores de potencial matricial del suelo (PMS) son los que miden directa o indirectamente la fuerza con la cual el suelo retiene el agua. Este potencial refleja el estado hídrico del suelo: cuanto más bajo (más negativo) es el valor, mayor es la fuerza con la cual el suelo retiene el agua y viceversa. La función que relaciona el potencial matricial del suelo con el contenido hídrico, se denomina “curva de característica del suelo”. Con esta información es posible determinar el valor de la capacidad de campo y del punto de marchitez permanente del suelo de cultivo y poder calcular con precisión el balance de humedad del suelo y por tanto la dosis de riego.

Permiten identificar el momento del riego, aunque no detectan riegos en exceso.

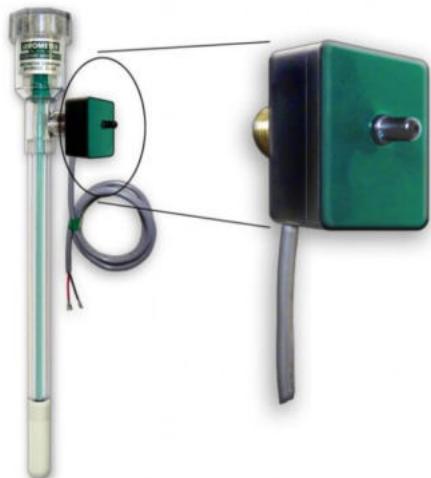
La capacidad de campo, independientemente de la textura o el tipo de suelo es conocida, encontrándose en valores entre los -5 y -33 KPa y el punto de marchitez permanente sobre los -1500 kPa. No todos los equipos que miden potencial matricial sirven para todo tipo de suelos, por eso es muy importante saber en qué rango nos encontramos y elegir bien el equipo adecuado.

Existen distintos tipos de sensores matriciales.

*Tensiómetros.* El sensor consiste en un tubo lleno de agua con una cápsula de cerámica porosa en uno de sus extremos que se entierra en el suelo a la profundidad de medición deseada; el otro extremo del tubo está conectado a un sensor de presión negativa (vacuómetro).

Cuando el suelo se seca se produce un incremento de la tensión matricial (la lectura absoluta del tensímetro sube), mientras que cuando se humedece se produce un descenso (la lectura absoluta del tensímetro baja), pudiéndose alcanzar valores cercanos a cero cuando el suelo se satura de agua. A partir de esta propiedad es posible estimar el contenido de agua en el suelo. Para suelos hortícolas normalmente se utilizan este tipo de sensores, ya que, son suelos que tienen

niveles de humedad bastante altos, entre saturación y capacidad de campo, y es más interesante medir la tensión del suelo que la humedad de éste.



**TENSIOMETROS** con Salida: 4-20 mA  
(Necesita alimentación, 24 Vcc)



**TENSIOMETROS** con Salida: 0 - 4,5 V  
(Necesita alimentación, 5 Vcc)

*Ilustración 17: Tensiómetros*

#### Sensores resistivos y capacitivos en material poroso

Suelen utilizarse en cultivos leñosos o estrategias de riego deficitario controlado, ya que pueden alcanzarse niveles de potencial de -230 KPa. Aplican bien el principio de la resistencia eléctrica variable debido a los cambios en la humedad del suelo o bien calculan la constante dieléctrica del suelo para determinar la tensión de agua en el suelo.



*Ilustración 18: Sonda Capacitiva de tensión matricial del suelo*



*Ilustración 19: Sonda resistiva de tensión matricial del suelo*

#### Sensores de conductividad eléctrica

Miden la salinidad del suelo, que puede afectar la absorción de agua y nutrientes por parte de las plantas.

#### Sensores de ambiente

Estos sensores registran las variables climáticas necesarias para el cálculo de la evapotranspiración de referencia, ETo, información básica en programación de riegos (temperatura del aire, humedad relativa y presión relativa del aire, radiación, velocidad y dirección del viento, precipitación). El registro de las variables es continuo.

Dentro de este tipo de sensores destacan:

- Sensor de radiación (piranómetro)
- Sensor de temperatura ambiente

- Sensor de humedad relativa
- Sensor de precipitación
- Sensor de velocidad del viento
- Sensor de dirección del viento, etc.

Estos sensores pueden estar integrados en una estación agroclimática (Ilustración 18).

Equipados con capacidades de comunicación inalámbrica, como Wi-Fi, Bluetooth o conectividad celular, estos sensores pueden enviar datos en tiempo real a un sistema central o directamente a dispositivos móviles, permitiendo un monitoreo continuo y ajustes rápidos en la gestión del riego.

Suelen ofrecer alta precisión en sus mediciones, y son robustos lo que les confiere una alta durabilidad y resistencia.

Pueden integrarse con sistemas de riego inteligente para automatizar el riego basado en las condiciones climáticas y las necesidades específicas de las plantas, mejorando la eficiencia del uso del agua y reduciendo el desperdicio.

Generalmente, los sensores ambientales son fáciles de instalar y mantener. Su diseño permite una rápida configuración en el campo y un mantenimiento mínimo, lo que los hace prácticos para uso agrícola a gran escala.



Ilustración 20: Estación agroclimática completa

### **SiAR (Sistema de Información Agroclimática para el Regadío)**

El Ministerio de Agricultura del Gobierno de España, a través de la Subdirección General de Regadíos e Infraestructuras Rurales, pone a disposición de los usuarios de forma gratuita toda la información recogida a través de la Red de estaciones Agrometeorológicas de SiAR.

Se trata de una infraestructura que **captura, registra y divulga** los **datos climáticos** necesarios para el cálculo de la demanda hídrica en las zonas de riego.

Aporta información **útil, rigurosa y de calidad**, que permite a técnicos y agricultores calcular las necesidades de agua de los cultivos y programar sus riegos.

Con esta herramienta se puede obtener una mejor planificación, gestión, manejo y control de las explotaciones de regadío para fomentar el ahorro de agua y de energía, y atender las demandas tecnológicas por parte de los profesionales del sector.

Consta de más de 500 estaciones meteorológicas, que representan una cobertura aproximada del 90% de la superficie regable de España y proveen de la información necesaria para la determinación de la evapotranspiración de referencia y el posterior cálculo de las necesidades hídricas de los cultivos en regadío.

Se trata de una red colaborativa que combina estaciones propias del Ministerio y de las 12 comunidades autónomas que participan, las cuales aportan también el contacto directo con el regante, usuario final de la información del sistema.

<https://eportal.mapa.gob.es/websiar/Inicio.asp>



Ilustración 21: Red SIAR. Fuente: Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación

**Seleccionar estaciones:**

Comunidad Autónoma: **Andalucía**

Filtrar por provincias  Filtrar por Comunidad de Regantes

Provincia: **Córdoba**

Estación: **Adamuz**

**Estaciones seleccionadas:**  
**Córdoba**

**Seleccionar el tipo de dato de la consulta:**

Tipo de dato: **Diaría**

**Seleccionar rango de fechas:**

Fecha inicial: **22/03/2022**

Fecha final: **29/03/2022**

**Seleccionar parámetros de consulta:**

Temperatura  Humedad  Vel. Viento  Dir. Viento  Precipitación  Radiación  Temp. Suelo  Eto

**Seleccionar todo Deseleccionar todo**

<input checked="" type="checkbox"/> Temp Media (°C)	<input checked="" type="checkbox"/> Temp Max (°C)	<input checked="" type="checkbox"/> Hora Temp Max	<input checked="" type="checkbox"/> Temp Minima (°C)	<input checked="" type="checkbox"/> Hora Temp Min
<input checked="" type="checkbox"/> Humedad Media (%)	<input checked="" type="checkbox"/> Humedad Max (%)	<input checked="" type="checkbox"/> Hora Hum Max	<input checked="" type="checkbox"/> Humedad Min (%)	<input checked="" type="checkbox"/> Hora Hum Min
<input checked="" type="checkbox"/> Velviento (m/s)	<input checked="" type="checkbox"/> VelVientoMax (m/s)	<input checked="" type="checkbox"/> Hora VelMax		
<input checked="" type="checkbox"/> DirViento (°)	<input checked="" type="checkbox"/> Dir viento Vel Max (°)			
<input checked="" type="checkbox"/> Precipitación (mm)	<input checked="" type="checkbox"/> P.Efect (mm)			
<input checked="" type="checkbox"/> Radiación (MJ/m <sup>2</sup> )				
<input type="checkbox"/> Temp Suelo 10 cm (°C)	<input type="checkbox"/> Temp Suelo 30 cm (°C)			
<input checked="" type="checkbox"/> Eto (mm)				

#### Consulta de datos diarios

Exportar el informe de datos a un archivo CSV.

##### Córdoba

Fecha	Temp Media (°C)	Temp Max (°C)	Hora Tº Max	Temp Min (°C)	Hora Tº Min	Hum Media (%)	Hum Max (%)	Hum Min (%)	Hora Hum Max	Horas Hum Min	Vel Viento (m/s)	Dir Viento (°)	Vel V. Max (m/s)	Hora Vel V. Max	Dir V. Vel Max (°)	Rad (MJ/m <sup>2</sup> )	Precip (mm)	P.Efect (mm)	Eto (mm)
22/03/2022	14,26	19,42	15,24	11,92	05,56	56,90	99,40	82,08	52,74	14,06	1,16	42,30	5,97	16,34	281,90	13,65	11,20	6,48	2,31
23/03/2022	13,99	18,63	18,52	11,51	04,52	78,60	99,40	85,22	54,24	16,04	2,73	47,13	7,68	17,02	77,98	8,43	0,40	0,00	2,23
24/03/2022	14,94	18,23	13,06	12,05	07,40	70,20	94,00	88,00	50,94	16,14	2,91	48,26	8,56	13,08	38,71	6,75	0,00	0,00	2,29
25/03/2022	13,98	18,48	13,34	10,03	23,58	73,40	99,50	22,54	52,51	01,56	2,07	61,77	7,91	01,33	48,31	6,15	1,00	0,00	1,88
26/03/2022	13,99	18,96	14,06	8,54	07,04	77,80	99,50	90,30	48,91	15,12	1,13	58,58	4,25	14,97	34,49		0,40		
27/03/2022	14,65	21,18	15,49	8,15	06,24	89,21	95,30	96,30	39,79	16,12	1,52	60,17	5,67	12,36	67,24		0,00		
28/03/2022	15,10	21,24	13,22	10,17	04,56	72,10	97,76	23,20	42,29	12,52	1,26	98,10	5,39	09,92	61,91		0,00		

Ilustración 22: Ejemplos de información proporcionada por una estación agroclimática de la red SIAR

#### SAGRA (Sistema Agrometeorológico para la gestión del riego en Alentejo)

El Centro Operativo e de Tecnología de Regadio (COTR), en Portugal, ha estado involucrado en la transferencia de tecnología en riego, en servicios relacionados con el uso eficiente del agua de riego. La aplicación de la agrometeorología ha sido una de las grandes áreas de trabajo con el principal objetivo de estimar las necesidades hídricas de los cultivos, ya que se considera es una actividad fundamental para el desarrollo de una agricultura de regadío sostenible y competitiva, buscando no sólo aumentar la eficiencia en el uso del agua, sino

también para lograr la mayor precisión posible en la oportunidad de aplicación, respondiendo no sólo a las cuestiones técnicas del sector sino también a las presiones ambientales.

La determinación de las necesidades hídricas de los cultivos tiene dos objetivos principales:

- Dimensionamiento - que normalmente se realiza cuando se planifica implementar el riego. Su objetivo principal es la estimación del consumo anual, con el fin de establecer la superficie máxima regada en relación con la disponibilidad existente, y las necesidades durante el período de punta, que permitan dimensionar la red de riego.
- Gestión (Avisos de Riego) - que normalmente se realiza durante la operación de un área irrigada. Su principal objetivo es determinar, con la mayor precisión posible, la cantidad de agua a aplicar en función del estado fenológico del cultivo.

#### *Información básica para crear un servicio de aviso de riego*

- Información agrometeorológica de calidad, necesaria para estimar la Evapotranspiración de Referencia de los Cultivos (ET<sub>0</sub>): temperatura del aire, humedad relativa del aire, velocidad del viento a 2 m y radiación solar global. A estos parámetros se suma la importancia de monitorear las precipitaciones para crear un balance hídrico.
- Cultivo: se utiliza información existente en bases de datos de cultivos (Allen et al., 1998), con caracterización de las principales etapas de desarrollo vegetativo del cultivo (duración) e identificación de los períodos en los que el cultivo es más o menos sensible al estrés. Esta información está ajustada a las condiciones reales de la región.

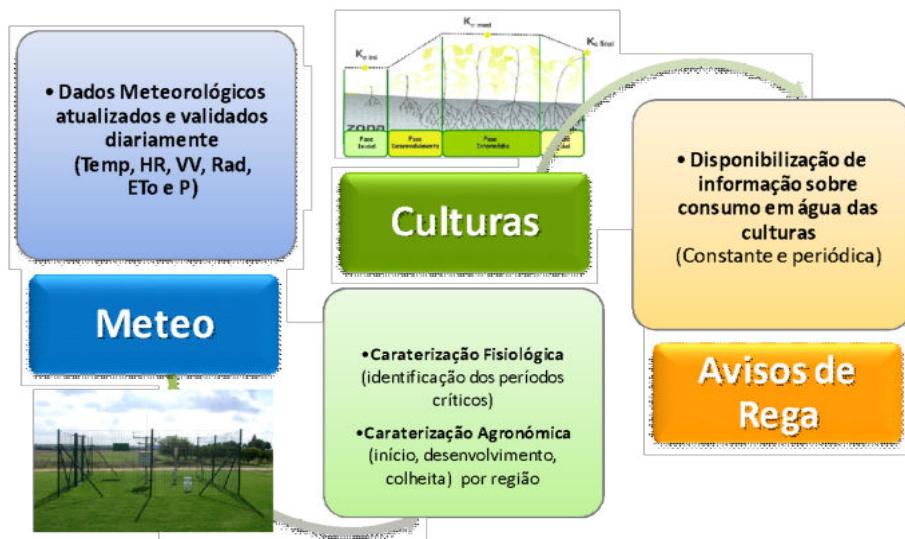


Ilustración 23: Metodología de operación del servicio de aviso de riego

Para garantizar el servicio de aviso de riego en el Alentejo, el COTR tiene en funcionamiento desde 2001 la red SAGRA (Sistema agrometeorológico para la gestión del riego en el Alentejo), compuesta por 14 estaciones meteorológicas automáticas, que caracterizan las principales zonas de riego del Alentejo.

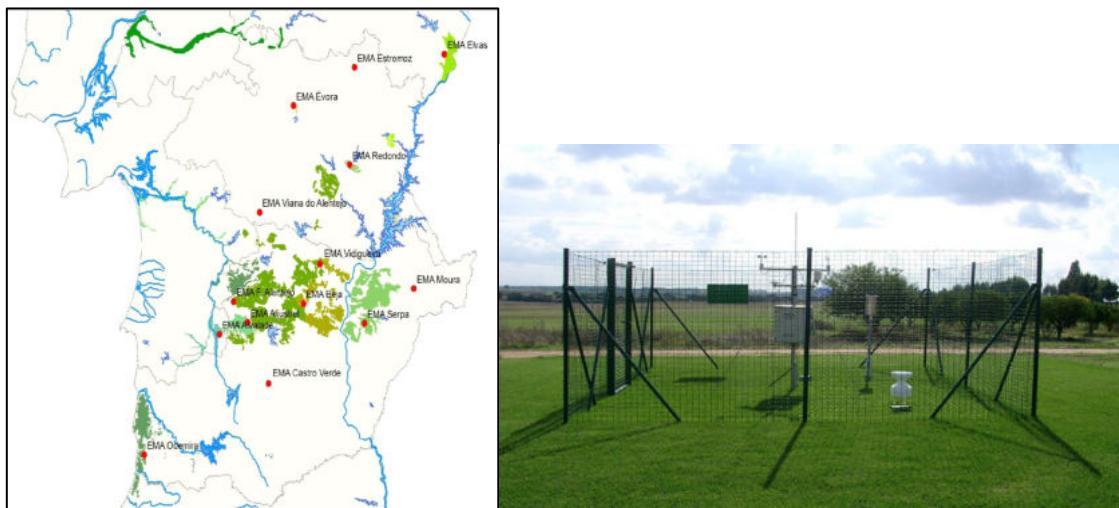


Ilustración 24: Red de Estaciones Meteorológicas Automáticas - SAGRA

The screenshot shows two views of the SAGRA-Net system. The top view is the search interface with fields for station selection (Quinta da Saúde), start date (06/12/2016), end date (23/05/2018), and a 'Pesquisar' button. The bottom view shows the results table for the selected period, listing various meteorological parameters like temperature, humidity, and precipitation for each day from December 6, 2016, to May 23, 2018.

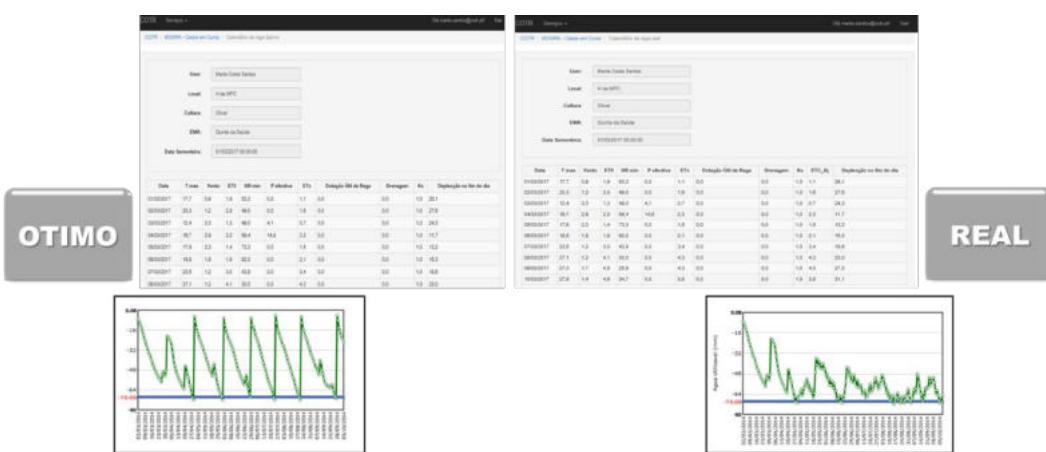
Data	Tmed (°C)	Tmax (°C)	Tmin (°C)	HRmed (%)	HRmax (%)	HRmin (%)	RSG* (KJ/m²)	DV (graus)	Vmmed (m/s)	Vvmax (m/s)	P (mm)	Tmed Relva(°C)	Tmax Relva(°C)	Tmin Relva(°C)	ET0 (mm)
06/12/2016 23:58:59	14,53	22,85	9,73	81,50	92,44	55,07	9741,03	110,31	1,43	4,05	0,00	13,42	17,26	11,03	1,74
07/12/2016 23:58:59	13,68	19,44	8,48	85,45	95,90	66,02	8586,71	112,32	1,40	4,14	0,10	13,46	17,13	10,64	1,48
08/12/2016 23:58:59	11,69	16,96	7,86	82,48	95,21	60,62	7725,78	101,98	1,85	5,43	0,10	12,47	15,36	10,08	1,35
09/12/2016 23:59:00	12,90	19,10	7,20	81,30	92,20	62,10	9525,40	127,60	2,70	8,00	0,00	12,80	16,20	9,90	1,60
10/12/2016 23:59:00	13,40	19,10	8,60	85,60	95,90	66,90	9383,00	132,90	1,90	6,20	0,10	13,60	17,10	11,00	1,60
11/12/2016 23:59:00	12,70	19,00	9,60	83,20	94,40	57,90	9302,20	88,00	1,20	3,10	0,10	12,60	16,20	9,80	1,50
12/12/2016 23:59:00	12,00	19,10	7,00	81,20	94,50	56,20	9612,40	98,40	0,80	2,60	0,00	11,00	15,00	8,40	1,60
13/12/2016 23:58:59	10,31	14,93	3,97	88,97	95,07	77,42	9543,26	132,24	1,62	4,49	0,10	11,19	14,60	7,75	1,33

Ilustración 25: Usuario SAGRA-NET para consultar datos diarios ([www.cotr.pt](http://www.cotr.pt))

A partir de información estacional también es posible caracterizar climáticamente una región, lo que puede servir como base para estudiar la adaptabilidad de nuevos cultivos. También es posible desarrollar productos agrometeorológicos como

grados día que indican desarrollo fenológico, unidades frías que son indicador del surgimiento de reposo vegetativo en función de la temperatura promedio horaria y la identificación de fenómenos meteorológicos extremos (trombas de agua, tornados, entre otros).

Paralelamente al servicio de aviso de riego, COTR desarrolló el servicio MOGRA - Modelo de Gestión del Riego para el Alentejo ([www.cotr.pt/mogra](http://www.cotr.pt/mogra)), apoyado en la red de estaciones meteorológicas automáticas y basado en la técnica del balance hídrico, que permite acceder a un servicio en línea. Servicio de programación de riego de acuerdo con la metodología propuesta por la FAO y utilizando bases de datos de suelos, cultivos y tecnologías de riego. El modelo proporciona un calendario de riego óptimo (la estrategia es regar cuando se acaba el agua de fácil aprovechamiento) y un calendario de riego real permite al usuario visualizar el comportamiento de su gestión del riego, con la introducción de los riegos realizados, y así, decidir en la oportunidad de riego. Para complementar esta información se pueden utilizar equipos de seguimiento de suelos o plantas.



meteorológicas locales. Las cooperativas también están creando estaciones meteorológicas colaborativas, y la Union des Coopératives Agricoles de l'Allier (UCAL) cuenta actualmente con más de 40 estaciones conectadas.



Ilustración 27: La red de estaciones meteorológicas actualmente en servicio en Francia

La empresa francesa ISAGRI ofrece incluso una plataforma de estaciones meteorológicas agrícolas conectadas, al igual que weenat, que permite a los agricultores seguir el tiempo en directo desde sus parcelas mediante redes meteorológicas conectadas.



Ilustración 28: Herramientas de Sencrop



Ilustración 29: Estación meteorológica de Isagri



Ilustración 30: Herramienta de la gestión de la irrigación de Weenat

## Sensores de monitorización del sistema de riego

La implantación de riegos de precisión implica la monitorización de las variables hidráulicas clave: el caudal y volumen de agua usado y la presión en la red de riego. Así mismo es conveniente conocer la calidad del agua.

La figura adjunta muestra una red de riego en la que se puede observar con detalle los puntos de monitorización de caudales y presiones.

### Caudalímetro

Se trata de un sensor que mide el paso de un fluido a través de una superficie. En adelante, solo se hablará de los Caudalímetros que se usan para medir el caudal de agua que pasa a través de una tubería. En redes de riego a presión suelen utilizar los siguientes tipos de caudalímetros:

- Caudalímetros electromagnéticos
- Caudalímetros ultrasónicos
- Contadores mecánicos con emisores de pulsos.

### Sensor de presión

Mide la presión (fuerza por unidad de superficie) que ejerce el agua en un punto de una instalación hidráulica. La unidad de medida de presión en el sistema internacional es el Pascal ( $N/m^2$ ), pero en la práctica se utilizan otras unidades como el bar, la atmósfera o el PSI (libras por pulgada cuadrada).

Los sensores de presión para agua normalmente son transductores, es decir transforman la presión medida por el elemento sensor en una salida análoga eléctrica normalizada y estándar. Principalmente nos encontraremos sensores con salida 4-20 mA ó 0-10 V, aunque últimamente debido a los requerimientos de adaptación para los nodos IoT se están utilizando otras salidas eléctricas: 1-5 V, 0-5 V, 0,5-4,5 V y salida RS-485 con ModBus. La señal eléctrica proporcionada es análoga al valor de presión medido, menos lo que nos dan el valor por comunicaciones, los transmisores, que nos dan directamente la presión en la unidad elegida.

Los rangos de presión de medida son muy amplios, lo mismo ocurre con las características del sensor como las conexiones eléctricas, conexiones a procesos, tipo de salida eléctrica, tipo de medida, etc. Por lo que en el mercado nos podremos encontrar con multitud de variantes.

El conocimiento de la presión en distintos puntos de una red permite:

- Conocer cómo se está desarrollando el proceso de la distribución e impulsión de agua.
- Mejorar la calidad del riego: si se monitoriza la presión en parcela se podrá obtener la mejor uniformidad en el riego posible al controlar la presión de este.
- Estudio de la eficiencia en la distribución de agua: Con varios sensores podemos determinar las pérdidas de presión que se producen en elementos singulares de la distribución de agua (calderines, filtros, etc.) y en tramos de esta. Con la recopilación de estos datos y su análisis, se puede prever posibles fallos futuros y buscar soluciones y remedios antes de que esto ocurra, minimizar las pérdidas de agua.
- Estudio de la eficiencia de las bombas: Si se monitoriza el rendimiento del sistema de bombeo y se tienen históricos, se puede establecer unos umbrales de eficiencia mínima de forma que si la eficiencia baja por debajo estos valores se generen alarmas y se puedan tomar medidas correctivas.
- Indirectamente se puede medir el nivel de agua en un depósito (sensores de presión hidrostáticos) y también el caudal circulante por una tubería (Medidores de Flujo por presión Diferencial).

#### Sensores de calidad del agua de riego

Es necesario conocer la calidad del agua de riego para determinar si el agua de riego disponible es adecuada a las características del cultivo. La principal fuente de acumulación de sales en el suelo es el agua de riego.

El sensor de conductividad eléctrica del agua de riego mide la conductividad eléctrica del agua, factor que condiciona la producción del cultivo.

La conductividad eléctrica superior a 1.5 dS/m presenta un riesgo moderado de salinidad.

La información que nos aporta el sensor de conductividad eléctrica permite calcular la fracción de lavado de sales.

Una descripción amplia de los sistemas de monitorización descritos así como sus aplicación en la gestión del riego, está disponible en la plataforma E-learning del sitio web del proyecto Interreg España-Portugal Hub Iberia Agrotech (HIBA), <https://learningdata.hubiberiaagrotech.eu/> y en la documentación de la jornada organizada por el Ministerio de Agricultura del Gobierno de España, denominado Uso de big data, sensórica y teledetección para el cálculo de la dosis de riego (23 de abril de 2024).

<https://www.mapa.gob.es/es/desarrollo-rural/temas/gestion-sostenible-regadios/formacion-difusion/documentacion/detalle.aspx?id=tcm:30-682067-16>

## 2- Software de gestión de riego

Proporcionan una plataforma para integrar todos los datos de sensores y controladores, permitiendo a los agricultores visualizar, analizar y gestionar sus operaciones de riego. Estos programas ofrecen análisis avanzados que pueden predecir las necesidades de agua y ajustar los planes de riego en consecuencia.

Principales características de estos programas:

- Pueden integrar datos de una variedad de fuentes, incluyendo sensores en el campo, estaciones meteorológicas, imágenes satelitales y drones. Esto proporciona una visión holística del estado del campo y las necesidades de riego.
- Automatización del Riego: Permiten la programación y control automático de los sistemas de riego basados en las condiciones del suelo, el clima y las necesidades específicas de los cultivos. Esto incluye la capacidad de ajustar los horarios de riego y la cantidad de agua aplicada, optimizando así el consumo de agua.
- Ofrecen capacidades de monitoreo en tiempo real que permiten a los agricultores ver el estado actual de su sistema de riego, la humedad del suelo, el clima y otros factores relevantes directamente desde sus dispositivos móviles u ordenadores.
- Proporcionan herramientas de análisis que ayudan a los agricultores a entender el rendimiento de sus prácticas de riego, identificar tendencias y áreas problemáticas, y tomar decisiones informadas para mejorar la eficiencia.
- Algunos softwares avanzados incluyen capacidades predictivas que utilizan modelos meteorológicos y de cultivos para pronosticar las necesidades futuras de agua, permitiendo a los agricultores planificar con anticipación y ajustar sus estrategias de riego.
- Los sistemas suelen incluir configuraciones de alertas que notifican a los usuarios sobre condiciones críticas que requieren atención, como posibles

fallos en el sistema, condiciones de estrés hídrico en los cultivos o recomendaciones para ajustes de riego basados en el clima pronosticado.

- Están diseñados con interfaces intuitivas que facilitan su uso por parte de los agricultores y técnicos, independientemente de su nivel de experiencia tecnológica.
- Son compatibles con una amplia gama de sistemas de riego y dispositivos de hardware, y pueden escalar desde pequeñas operaciones hasta grandes explotaciones agrícolas.
- Los proveedores de estos softwares suelen ofrecer soporte técnico y actualizaciones regulares para asegurar que el sistema funcione correctamente y esté equipado con las últimas tecnologías y características.

**Algunos ejemplos de software de gestión del riego.**

Irridesk <https://irridesk.com/>

Irriolea

[https://play.google.com/store/apps/details?id=com.rafacode.hiba\\_app&pcampaignid=web\\_share](https://play.google.com/store/apps/details?id=com.rafacode.hiba_app&pcampaignid=web_share)

Reutivar

<https://play.google.com/store/apps/details?id=com.rafacode.reutivarapp&hl=es>

### 3- Empresas del sector del regadío

En cuanto a las empresas que proveen soluciones digitales para el regadío, existe un buscador, propiedad del Ministerio de Agricultura del Gobierno de España, que merece la pena destacar por su importancia para los profesionales del sector agrario. Se trata de la herramienta **digimap**, alojada en la plataforma Tierra. Es una herramienta de búsqueda de empresas *agrotech*:  
<https://digimap.plataformatierra.es/>

Si aplicamos el filtro de “regadío” la búsqueda nos devuelve un resultado de 117 empresas.

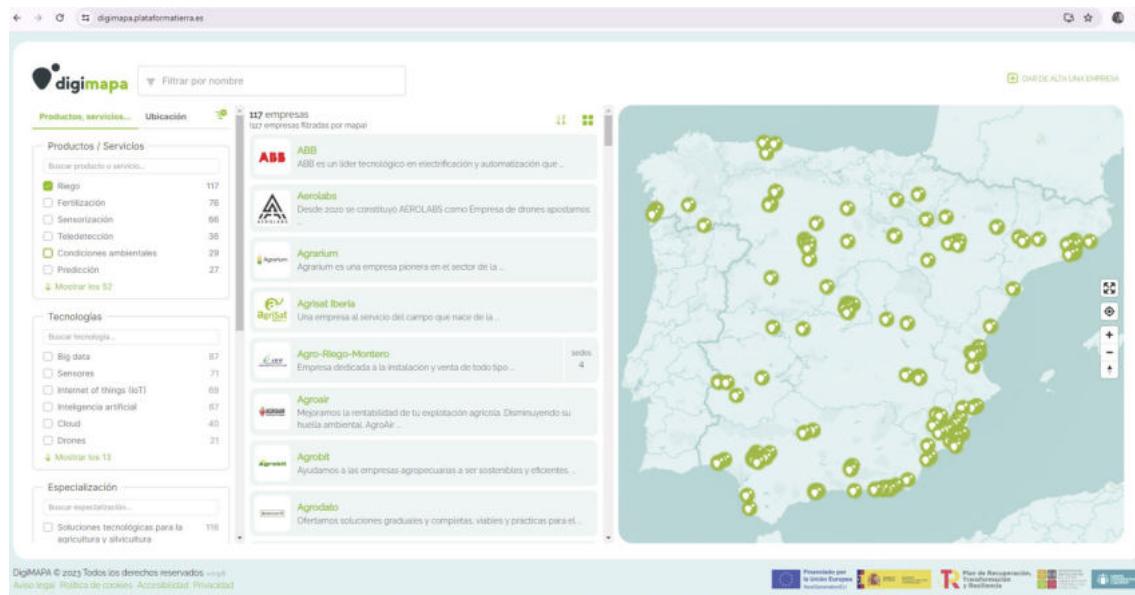


Ilustración 31: Ilustración Digimap. Plataforma Tierra. Búsqueda empresas regadío

Además, con el fin de ayudar a alcanzar todos los objetivos del proyecto **Smart Green Water**, se ha elaborado la siguiente plantilla para caracterizar algunas soluciones digitales concretas que existen en el mercado, con el fin de ayudar a agricultores y profesionales del sector en la búsqueda de información de estas soluciones. La idea es que la plantilla sea cumplimentada por empresas del sector del riego, y se ponga esta información a disposición de los agricultores.

**PLANTILLA PARA CARACTERIZAR SOLUCIONES DIGITALES EN  
REGADÍO****Nombre de la empresa:****CIF:****Nombre Solución comercializada:**

**Por favor, indique si su empresa desarrolla la solución digital que comercializa o se enfoca en comercializar soluciones creadas por terceros, como ocurre en el caso de las consultorías.**

**La solución comercializa:**

- ¿Automatiza el riego?
- ¿Utiliza sensores?
- ¿Utiliza modelos predictivos?

**Si utiliza sensores, éstos son:**

- Remotos
  - Satélites
  - Drones
  - Otros
- Cercanos
  - De suelo
  - De ambiente
  - De planta

**Parámetros que tienen en cuenta la solución**

- Franjas horarias
- Datos directos del cultivo (seguir la prescripción según estudios publicados)
- Datos indirectos del cultivo (previsiones lluvia, datos observatorio...)

**¿Permite la solución una gestión remota del riego?**

**¿Se trata de una herramienta a la ayuda a la toma de decisión del regante? (Si/No) Y en caso afirmativo, ¿respecto a qué aporta información?:**

- Cuándo regar
- Cuánto regar
- Dónde regar

**Por favor, explique si la herramienta permite la programación de varias parcelas al mismo tiempo, o es necesario establecer diferentes planes de riego.**

**¿Puede ser utilizada en riego deficitario?**

**Cite los cultivos para los que está optimizada:**

**¿Está la solución testada en alguna región agroclimática?**

**¿Es interoperable con otros sistemas y soluciones?**

**¿Cómo se garantiza la autenticidad, integridad y disponibilidad de los datos de los usuarios?**

**Titularidad de los datos. ¿Tras la recolección de datos de riego, estos datos pasan a ser propiedad de la empresa o siguen siendo exclusivamente del agricultor?**

**Si se trata de soluciones predictivas, ¿realiza la herramienta una adaptación del algoritmo a las condiciones del agricultor, a partir de los datos proporcionados de las parcelas, o, por el contrario, utiliza el mismo algoritmo para todos los agricultores?**

**Interfaz de Usuario:**

- Aplicación móvil
- Plataforma web
- Otras interfaces (especificar)

**Soporte y Mantenimiento****Opciones de Soporte:**

- Soporte técnico (24/7, horario comercial, etc.)
- Canales de soporte (teléfono, email, chat, etc.)

**Mantenimiento:**

- Servicios de mantenimiento preventivo y correctivo
- Actualizaciones de software

**Precio y Modelos de Financiación****Modelo de Precios:**

- Suscripción.
- Pago único
- Modelos híbridos

**Rango de Precios:**

- Coste aproximado o rangos de precios

**Opciones de Financiación:**

- Financiación propia
- Colaboración con entidades financieras

## Bibliografía

- Colegio Oficial de Ingenieros Agrónomos de Levante. (2023). Catálogo de Soluciones de Digitalización del Regadío en el marco de la convocatoria del PERTE de digitalización del ciclo del agua. Recuperado de <https://www.coial.org/catalogo-de-soluciones-de-digitalizacion-del-regadio-en-el-marco-de-la-convocatoria-del-perte-de-digitalizacion-del-ciclo-del-agua/>
- Comisión Económica para América Latina y el Caribe. (2020). Las oportunidades de la digitalización en América Latina: Desafíos y estrategias. Recuperado de <https://repositorio.cepal.org>
- ISAGRI (2024). <https://www.isagri.fr/meteus/meteus-la-station-meteo-au-coeur-de-vos-champs>
- Lamo, J., & Garrido, A., (2024). Regadío y Seguridad Alimentaria. La situación en España. Edición: Cajamar Caja Rural.
- Lakso, A.N.; Santiago, M.; Stroock, A.D. (2022). Monitoring Stem Water Potential with an Embedded Microtensiometer to Inform Irrigation Scheduling in Fruit Crops. *Horticulturae* 8(12), 1207; <https://doi.org/10.3390/horticulturae8121207>
- Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación. Secretaría General Técnica. Centro de Publicaciones & Cajamar Caja Rural. (2023). Observatorio para la Digitalización del Sector Agroalimentario Análisis del estado actual de la digitalización del sector agroalimentario español.
- Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación. Subsecretaría de Agricultura, Pesca y Alimentación. Subdirección General de Análisis, Coordinación y Estadística. (2022). Encuesta sobre superficies y rendimientos de cultivos. Análisis de los regadíos en España.
- Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación (2023). Estrategia de digitalización del sector agroalimentario y forestal y del medio rural. [https://www.mapa.gob.es/es/ministerio/planes-estrategias/estrategia-digitalizacion-sector-agroalimentario/ii-plan-accion-estrategia-digitalizacion-2021-2023\\_tcm30-583049.pdf](https://www.mapa.gob.es/es/ministerio/planes-estrategias/estrategia-digitalizacion-sector-agroalimentario/ii-plan-accion-estrategia-digitalizacion-2021-2023_tcm30-583049.pdf)
- Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación (2024). Estrategia de digitalización del sector agroalimentario y forestal y del medio rural. <https://www.mapa.gob.es/es/ministerio/planes-estrategias/estrategia-digitalizacion-sector->

[agroalimentario/estrategia\\_digitalizacion\\_sector\\_agroalimentario\\_forestal\\_me  
dio\\_rural\\_ve\\_tcm30-509645.pdf](#)

- Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico. (2023). Las bases del PERTE de digitalización del ciclo del agua para regadío. Recuperado de <https://www.camaradeaguas.com>
- SENCROP (2024). <https://sencrop.com/fr/>
- Trillo Guardia, C. (2023). Hacia una digitalización sostenible del regadío. Cámara Insular de Aguas de Tenerife. Recuperado de <https://www.camaradeaguas.com/hacia-una-digitalizacion-sostenible-del-regadio/>
- Union des Coopératives Agricoles de l'Allier (2024). <https://www.ucal.coop/>
- WEEENAT (2024). <https://weenat.com/>