

Tecnologías digitales para planes de contingencia en caso de sequía.



Programa de formación para regantes

Informaciones del entregable

Número de entregable	E.2.2.2
Fecha de entrega establecida	
Fecha de entrega real	15/09/2026
Líder del proyecto	IRTA

Autores		
Nombre	Apellido/s	Entidad
Francesc	Camps	IRTA
Jordi	Oliver	IRTA

Tecnologías digitales para planes de contingencia en caso de sequía. 1

1.	Introducción.....	3
2.	Planes de contingencia por sequía.....	4
3.	Tecnologías digitales para planes de contingencia en caso de sequía.....	6
3.1.-	Digitalización de la gestión de la infraestructura.....	7

3.2.- Digitalización de la información.....	10
4. Resumen.....	17

I. Introducción

La sequía es un fenómeno recurrente que no es específico de ningún tipo particular de clima. Se produce en todos los continentes y puede variar en intensidad, duración y escala espacial. Las sequías comienzan con un déficit de precipitaciones y, si este déficit persiste, las sequías progresan a los suelos, ríos, acuíferos y embalses. Finalmente, todo el ciclo del agua se ve alterado y el uso del agua, tanto el natural como el forzado por las actividades humanas, se ven afectados. Por otro lado, la gravedad de la sequía también depende de las necesidades de agua para las actividades humanas y de la vegetación, tanto silvestre como cultivada, que tienen un gran impacto en el balance hídrico. El impacto y la gravedad de una sequía depende del nivel de vulnerabilidad de los sistemas afectados, ya que los impactos se percibirán de manera diferente en función de la pertenencia a grupos sociales y a diferentes sectores, incluso dentro del mismo evento de sequía. La sequía se distingue de la aridez por su limitación temporal y se distingue de la escasez de agua por ser un fenómeno exclusivamente natural.

La gestión de los riesgos asociados a la sequía es compleja, ya que implica múltiples sectores, escalas y temporalidades. Esto requiere, a nivel territorial, de la participación coordinada de instituciones y actores diversos, como ministerios, autoridades locales, sector privado, centros tecnológicos y de investigación y grupos vulnerables, en aspectos como la preparación, el seguimiento, la alerta temprana, la mitigación y la evaluación. La transición de una gestión reactiva a una proactiva implica rediseñar los marcos institucionales para anticiparse, en lugar de responder solo a las crisis.

Un plan de contingencia es un conjunto de procedimientos alternativos y medidas preventivas con el objetivo de asegurar la continuidad operativa y proteger los recursos de una organización frente a eventos adversos o emergencias. Para el riego agrícola, tanto de forma colectiva (comunidades de regantes, colectividades, ...) como de forma individual (finca, parcela, ...), la falta de disponibilidad de agua ocasiona un menor impacto económico si se puede prever. Su previsión permite la reordenación del riego en función de la disponibilidad de agua, de las distintas etapas fenológicas del cultivo y su sensibilidad al déficit hídrico, para reducir su impacto sobre la producción. Debe contemplar tanto medidas estratégicas como medidas eventuales.

2. Planes de contingencia por sequía.

Los planes de sequía, a nivel territorial, son un instrumento de gestión elaborado por las administraciones hidráulicas con el objetivo de prevenir, gestionar los recursos hídricos disponibles y mitigar los efectos de las situaciones de sequía. Estos planes territoriales están ya definidos en la Directiva Marco del Agua de la UE.

Además de estos planes territoriales, en España, y en función de la demarcación hidrográfica, solo son obligatorios la confección de planes de sequía para abastecimientos urbanos de circunscripciones superiores a los 20.000 habitantes. En cualquier caso, la planificación delante de escenarios adversos es la forma más inteligente de afrontar los nuevos retos, por lo que en situaciones en que la falta de disponibilidad de agua, que cada vez serán más frecuentes, es indispensable que se planifique como afrontar estas situaciones en vez de improvisarlas.

Por ello, las comunidades de regantes deben tener estos documentos elaborados y aprobados por sus juntas generales para mantener la cohesión y la disciplina en la gestión del agua con el objetivo de ocasionar el menor impacto económico al colectivo de agricultores-regantes. El plan de contingencia por sequía de una comunidad de regantes debe desarrollarse a partir de las especificaciones previstas en el plan de sequía de la demarcación hidrográfica y trasladar sus restricciones dentro de la comunidad con conocimiento, criterio y transparencia, procurando un reparto equitativo y eficiente del agua en función de los condicionantes de las infraestructuras de la comunidad.

Para ello, se debe disponer de un seguimiento de los indicadores de sequía que utiliza el plan de la demarcación hidrográfica con suficiente antelación para prever su activación dentro de la campaña de riego.

La transparencia en la gestión de las situaciones de escasez de agua debe ser un requisito indispensable, para ello es necesario la medición y el control de los consumos para garantizar la equidad en base a los criterios que en situación de normalidad la comunidad ha definido en su plan de sequía.

Es evidente que para afrontar situaciones de sequía y aumentar la eficiencia del agua en situaciones de escasez es importante hacerlo con conocimiento, precisión y rapidez. Para ello es

indispensable disponer de instalaciones de riego modernizadas (red de distribución del agua a presión para poder utilizar sistemas de riego por goteo o por aspersión) y con un perfecto conocimiento de esta.

3. Tecnologías digitales para planes de contingencia en caso de sequía.

Para gestionar con eficacia las restricciones de agua en caso de sequía en una zona regable es necesario disponer de información fidedigna, actualizada y completa para tomar con rapidez la mejor decisión en cada momento. En este sentido, los sistemas de Información geográfica (SIG) permiten mostrar la información repartida en un territorio geográfico.

Un sistema de información geográfica (SIG) es un sistema informático capaz de integrar, almacenar, editar, analizar, compartir y mostrar información con referencias geográficas. De forma más genérica, se trata de una herramienta a partir de la cual los usuarios pueden realizar consultas interactivas (búsquedas definidas por el usuario), analizar la información espacial, y editar sus datos. Cualquier objeto de un SIG se describe por su localización y disposición en la superficie terrestre por medio de unas coordenadas geográficas y su información alfanumérica asociada.

Para comunidades de regantes, el sistema de información geográfica debe contemplar como mínimo la siguiente información:

1. Censo de usuarios y parcelas del perímetro del área regable.
2. Infraestructura de captación, distribución de la comunidad.
3. Gestión de riego, con la posibilidad de realización de peticiones y gestión de tandas de riego.
4. Planes de cultivo.
5. Control de cupos o dotaciones

De una forma u otra estos sistemas de gestión de la información necesitan estar permanentemente actualizados con información veraz y cuantificable, por lo que su conexión con la información digital de sensores sobre el territorio y sensores de teledetección con la frecuencia de lectura idónea es indispensable.

Si esta información geolocalizada se actualiza de forma periódica y la toma de decisiones es lógica se puede desarrollar un sistema SCADA (combinación de hardware y software que permite

supervisar, controlar y automatizar procesos) con PLC (controladores lógicos programables) y tomar decisiones automáticas de gestión. Este sistema es habitual en procesos industriales. Es más difícil implementarlo en sistemas en que los componentes y apreciaciones de las personas tienen su influencia en los procesos y además si estos son cambiantes en el tiempo.

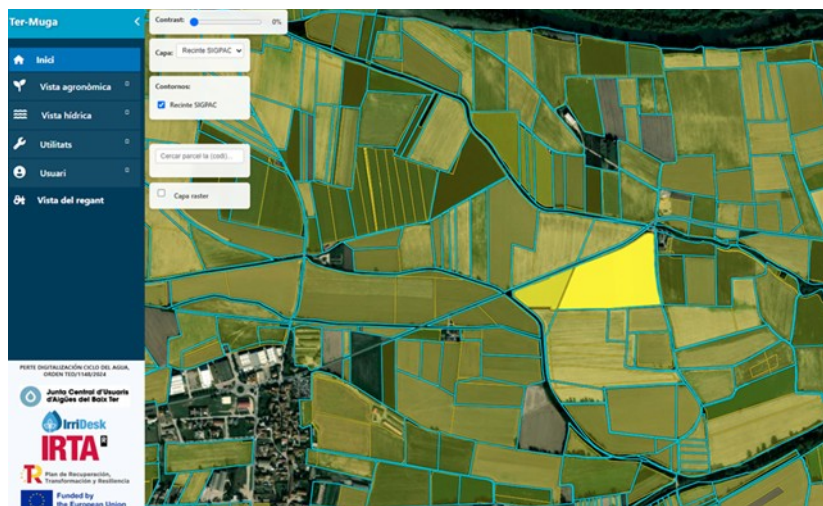


Figura 1.- Sistema de Información Geográfica, con censo de usuarios y parcelas, infraestructura de la comunidad de regantes y planes de cultivo.

3.1.- Digitalización de la gestión de la infraestructura.

3.1.1. Control del volumen y presión del agua.

El control del volumen de agua, tanto de la captación inicial, como en los diferentes tramos de distribución, retorno al medio natural y su entrega final a cada usuario, se debe poder cuantificar. Cuantificar la captación inicial es obligatoria en las disposiciones legales del espació SUDOE. Habitualmente este control se realiza a través de contadores. Los más usuales, son:

Electromagnéticos: se basan en la ley de inducción electromagnética de Faraday, por la que cuando un fluido conductor pasa a través de un campo magnético generado por el contador, se produce una tensión eléctrica directamente proporcional a la velocidad del fluido.

Ultrasónicos: El dispositivo emite pulsos ultrasónicos de forma alterna a favor y en contra de la corriente de agua y un contador de pulsos calcula la diferencia exacta de tiempo entre ambos trayectos. Esa variación permite determinar con absoluta precisión la velocidad y el caudal real del agua

La gestión de la presión de las tuberías se realiza a través de manómetros digitales, transductores de presión (convierte la presión en una señal eléctrica) o presostatos (cuando se alcanza un nivel de presión predeterminado, se activa o desactiva un circuito eléctrico).



Figuras: (2) Contadores ultrasónicos. (3) Contador electromagnético. (4) Transductor de presión de galga extensométrica.

3.1.2. Control de la calidad del agua.

En caso de utilizar aguas procedentes de Estaciones Depuradoras de Aguas Urbanas o acuíferos subterráneos próximos al mar y que sufren intrusión salina es aconsejable instalar sensores de conductividad para poder tomar decisiones en el caso de que la concentración de sales pueda perjudicar los cultivos a regar.

Estos sensores miden la capacidad del agua para conducir electricidad, calculando de forma directa la concentración de sales disueltas de forma sistemática y ajustando el valor de lectura automáticamente a los cambios térmicos del agua.

También, actualmente, se dispone de sistemas de medición continuada de iones (Cl^- ; Na^+ ; NO_3^- ; Br^- ; NH_4^+ ; Ca^{2+} ; Mg^{2+} ; K^+ ; etc.) en las aguas de riego, si es necesaria su implementación.



Figura 5. Ejemplo de medidor de la calidad de agua de riego.

3.1.3.- Control de nivel de balsas de riego o de aguas subterráneas.

Los regantes que tienen acceso directo a las acumulaciones de agua en superficie (balsas de riego) necesitan medir el nivel de agua en la balsa para poder tomar decisiones acertadas y predecir escenarios. En este caso, habitualmente se instrumentalizan con sensores de nivel. Existen diversa tipología de sensores para determinar a qué altura esta una balsa. Los más usuales son: sonda de presión hidrostática, sonda por radar y sonda ultrasónica.

Para el control de los niveles freáticos en el caso de explotar un acuífero, se miden con una sonda de presión hidrostática instalada en un piezómetro o pozo. Se introducen de forma permanente y mide la presión ejercida por la columna de agua situada encima del sensor, la cual es proporcional a su altura. El cable incluye un pequeño tubo capilar que permite restar automáticamente la presión atmosférica externa y garantizar que solo se mida la presión del agua.



Figuras 6: Tipologías de sensores para controlar nivel de agua de una balsa: (izquierda) Sonda de presión hidrostática, (centro) Sonda radar, (derecha) Sonda ultrasónica. Figura 7: Sensor de presión hidrostática, datalogger y sistema de transmisión de datos para instalar dentro del piezómetro.

3.2.- Digitalización de la información.

Para afrontar los retos de distribución de agua en situaciones de escasez es necesario disponer de información exacta y precisa sobre las previsiones de cultivo en las diferentes parcelas. Así, posteriormente se puede desarrollar la previsión de sus necesidades hídricas, que pueden ser corregidas con información de una red de sensores de medición del agua en el suelo a disposición de los cultivos y corroboradas con teledetección satelital de libre acceso y modelización del sistema. Actualmente, el desarrollo de tecnologías como los gemelos digitales permite integrar toda la información digital (sensores, teledetección y modelos) a tiempo real con un procesado automático y simular diferentes escenarios que ayuden como guía a la decisión inmediata y futura. Aunque existan tecnologías muy avanzadas y en permanente desarrollo que faciliten y afinen el diagnóstico, es necesario resaltar que el uso de dichas tecnologías requiere de personal

técnicamente muy solvente en el ámbito del regadío moderno para que sean eficaces, efectivas y resolutivas.

3.2.1. Inventario de parcelas y cultivos.

Si disponer de la información sobre las previsiones de cultivos a implantar en las diferentes parcelas en situaciones de normalidad ya es de utilidad en situaciones de normalidad, es indispensable disponer de esta información en situaciones de escasez, para poder distribuir el agua de acorde con el Plan de gestión de sequía aprobado por la Comunidad.

Esta información se puede obtener con una declaración del regante e implementada digitalmente en el propio sistema de información geográfica de la Comunidad. Posteriormente, se puede verificar con teledetección. En cultivos herbáceos, las herramientas de teledetección identifican los cultivos con precisión una vez estos cubren una superficie superior al 20%

Disponer de esta información permite a los técnicos de la Comunidad de Regantes diseñar un reparto del agua, a partir de los siguientes criterios:

- a) Prioridad a la supervivencia de los cultivos leñosos plurianuales, tal como determinan algunos Planes de Sequía de las confederaciones hidrográficas, estimadas en un 35 % de las necesidades productivas.
- b) Cuantificación de la superficie con cultivos de regadío y determinación del volumen por superficie de suelo de posible reparto después de descontar la eficiencia del transporte y distribución del agua en las infraestructuras comunales.

3.2.2. Estimación de las necesidades de riego. Programación de riego.

El cálculo del balance hídrico de un suelo se basa en estimar la diferencia entre las entradas de agua del sistema (riego y lluvia) las salidas de agua (básicamente evapotranspiración del cultivo, ETc), percolación profunda y escorrentía superficial).

La ETc se determina mediante el producto de la evapotranspiración de referencia (ETo) y un coeficiente de cultivo (kc). La ETo es un constructo que incluye la información climática y las características de un cultivo de pasto bien hidratado de 10 cm de altura y otros parámetros constantes que permiten determinar el agua transpirada por dicho pasto y evaporada del suelo.

En muchos sitios, la ETo se puede descargar directamente de estaciones meteorológicas públicas. Los kc son unos coeficientes empíricos específicos para cada cultivo (kc) ampliamente estudiados que convierten la ETo a ETc del cultivo. Existen diversas publicaciones con tablas de kc para diferentes cultivos como los monográficos FAO-56 y FAO-66.

Esta información se puede concretar según las características de cada explotación (estación meteorológica de referencia, datos y ciclos fenológicos de los cultivos, tipología del riego) con una subscripción gratuita y recibir semanalmente las recomendaciones de riego al sistema de comunicación que se elige, una vez definida las características de la parcela siguiendo el esquema siguiente:

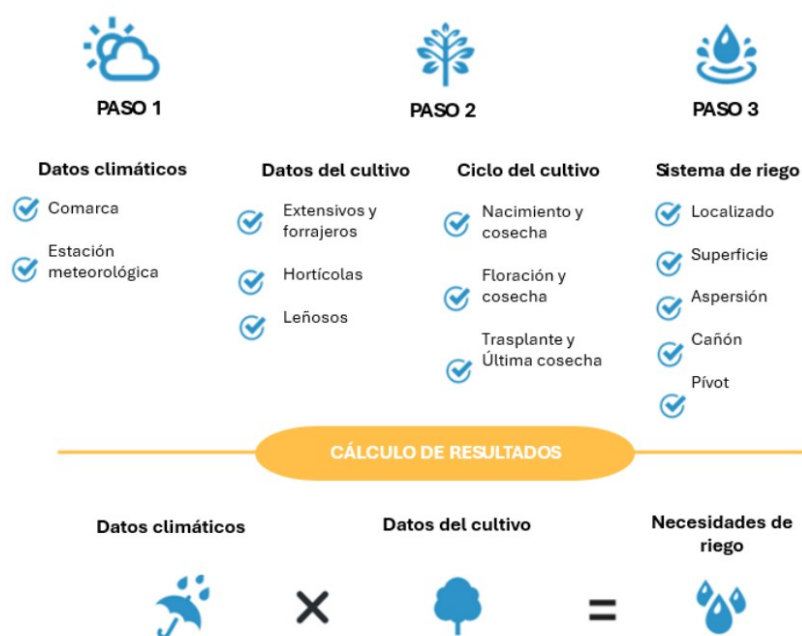


Figura 8: Esquema conceptual para la elaboración de la información de la programación de riegos

Para más información: <https://www.fao.org/4/xo490s/xo490s01.pdf>

3.2.3 Sensores de medición del agua en el suelo

Los sensores de humedad del suelo miden la humedad del suelo en tiempo real, permitiendo ajustes precisos en el riego para evitar el exceso o la falta de agua. A partir de las lecturas automatizadas de estos sensores y su análisis es posible mantener el agua del suelo a disposición de las raíces del cultivo entre unos límites que permitan reducir drásticamente las pérdidas de agua (drenaje, escorrentía, evaporación, ...) y con ello, aumentar la eficiencia, optimizando la producción. Estos límites dependen principalmente del tipo de cultivo, del estadio de desarrollo y crecimiento del cultivo, de las características del suelo y de la capacidad evaporativa del ambiente.



La evolución de las lecturas de los sensores en diferentes profundidades permite analizar el movimiento vertical del agua en el suelo minimizando las pérdidas de agua por drenaje mientras que una configuración de sensores horizontal permite analizar la variabilidad espacial de la humedad en el suelo, especialmente útil en sistemas por riego localizado.

Figura 9: Colocación de sensores de humedad integrados en un mismo instrumento en el suelo en cultivo hortícola.

Un buen análisis de sensores de humedad en el suelo permite restituir el agua transpirada de los días o horas anteriores en una franja hídrica de confort, que generalmente se ubica entre la capacidad de campo y el porcentaje de la fracción de agotamiento permisible de agua del suelo sin que afecte a la producción del cultivo.

Es evidente que estos sistemas de programación de riego se adecuan más a sistemas de riego a presión (aspersión, goteo, microaspersión, ...) que, al riego por superficie, puesto que permite restituir el agua consumida por el cultivo con una alta frecuencia y por consiguiente evitar las pérdidas habituales de agua que suelen suceder en el riego por superficie.

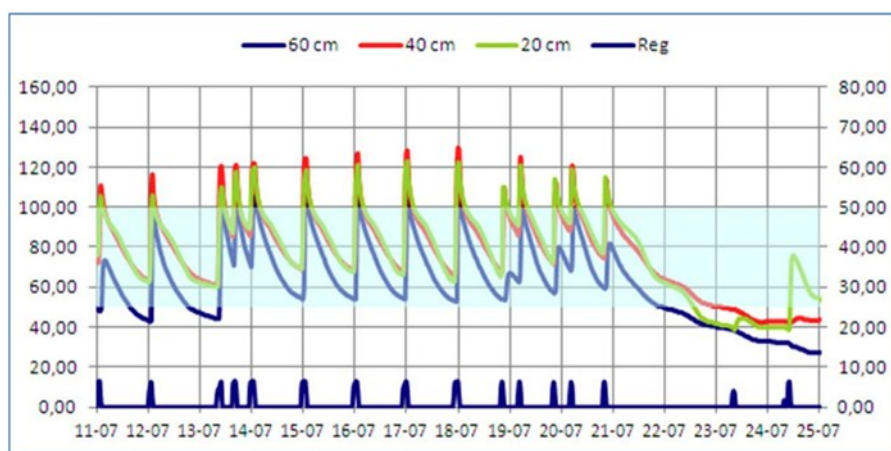


Figura 10: Evolución del contenido de agua a tres profundidades del suelo (20,40 y 60 cm) en porcentaje de la reserva de agua fácilmente utilizable por un cultivo de manzanos y dosis de riego localizado aplicadas.

Para más información: <https://interreg-sudoe.eu/proyecto-interreg/smart-green-water/>.

3.2.4 Teledetección. modelización de cultivos y gemelos digitales.

La teledetección es una herramienta que permite obtener información sobre objetos situados en la superficie terrestre sin necesidad de contacto físico directo. Esto se hace mediante la detección y el registro de la energía que los objetos reflejan o emiten, utilizando sensores especializados.

La teledetección puede ser pasiva o activa en función de si la captación de la radiación es natural (luz visible o las bandas del infrarrojo reflejado y térmico) o es emitida por el sensor y posteriormente reflejada por los objetos (radar, laser).

En teledetección va desde sensores instalados en parcela de gran resolución temporal y gran precisión, pero con una escala de superficie muy reducida y alto coste, cámaras espectrales instaladas en drones o avionetas con alta resolución y precisión y una escala de superficie óptima a nivel de parcela, pero con alto coste, a la utilización de imágenes satelitales de baja resolución espacio-temporal, pero con capacidad de analizar grandes superficies y de bajo o nulo coste.

La teledetección está en continuo avance y progresión y, hoy en día, permite determinar con una precisión que depende de la resolución espacio-temporal del sistema utilizado y con un grado de madurez tecnológico alto parámetros como el cultivo que está implantado en cada parcela, el vigor o parámetros biofísicos de los cultivos, si se está regando o no, estimar la evapotranspiración del cultivo o proporcionar información del estado hídrico de los cultivos.

Dichas determinaciones se realizan mediante el análisis de imágenes que miden la radiación reflejada o absorbida por los cultivos en distintas franjas del espectro tanto visible como infrarrojo cercano o térmico. Por ejemplo, la evapotranspiración de los cultivos se estima mediante el uso de la franja del infrarrojo térmico, que permite estimar el balance energético.

Dicha medida, se puede utilizar para restituir el volumen evapotranspirado en una parcela mediante el riego. Actualmente la teledetección permite estimar con cierta precisión el agua evapotranspirada de amplios territorios, como puede ser toda una comunidad de regantes y realizar un seguimiento automatizado y periódico de superficies de riego, superficies de cultivos y consumos totales de agua o zonas con tendencia al estrés hídrico.

La teledetección, además de ser usada directamente, puede ser una fuente robusta y de bajo coste de datos para la calibración y validación de la modelización en continuo de los parámetros biofísicos y de la demanda hídrica de los cultivos que permitan ajustar el balance de agua tanto de parcelas agrícolas, permitiendo una ajustada recomendación de riego, como de grandes sistemas lo que permite ajustar el agua que debe liberarse en alta con gran exactitud.

Los gemelos digitales para el riego representan una réplica virtual exacta de un sistema de riego, el suelo, el clima y los cultivos en una explotación agrícola. Esta tecnología, alimentada por datos en tiempo real mediante dispositivos del Internet de las Cosas (IoT), permite a los agricultores y gestores simular, predecir y optimizar el uso del agua antes de tomar cualquier decisión física sobre el terreno.

El sistema se compone de tres capas principales que trabajan en bucle continuo:

Captura de datos en campo: Sensores distribuidos por la parcela miden de forma constante la humedad y salinidad del suelo a diferentes profundidades, el caudal y la presión en las tuberías. Esto se complementa con estaciones meteorológicas locales e imágenes satelitales (como la evapotranspiración o el vigor del cultivo).

Procesamiento y simulación virtual: La réplica digital recibe estos datos en tiempo real. Utilizando algoritmos de inteligencia artificial y modelos agronómicos, predice cómo reaccionará el cultivo y el suelo en los próximos días.

Automatización y control remoto: El gemelo digital no solo analiza, sino que puede enviar órdenes de vuelta al mundo físico, activando o cerrando bombas, sectores y electroválvulas automáticamente o mediante una aplicación móvil.

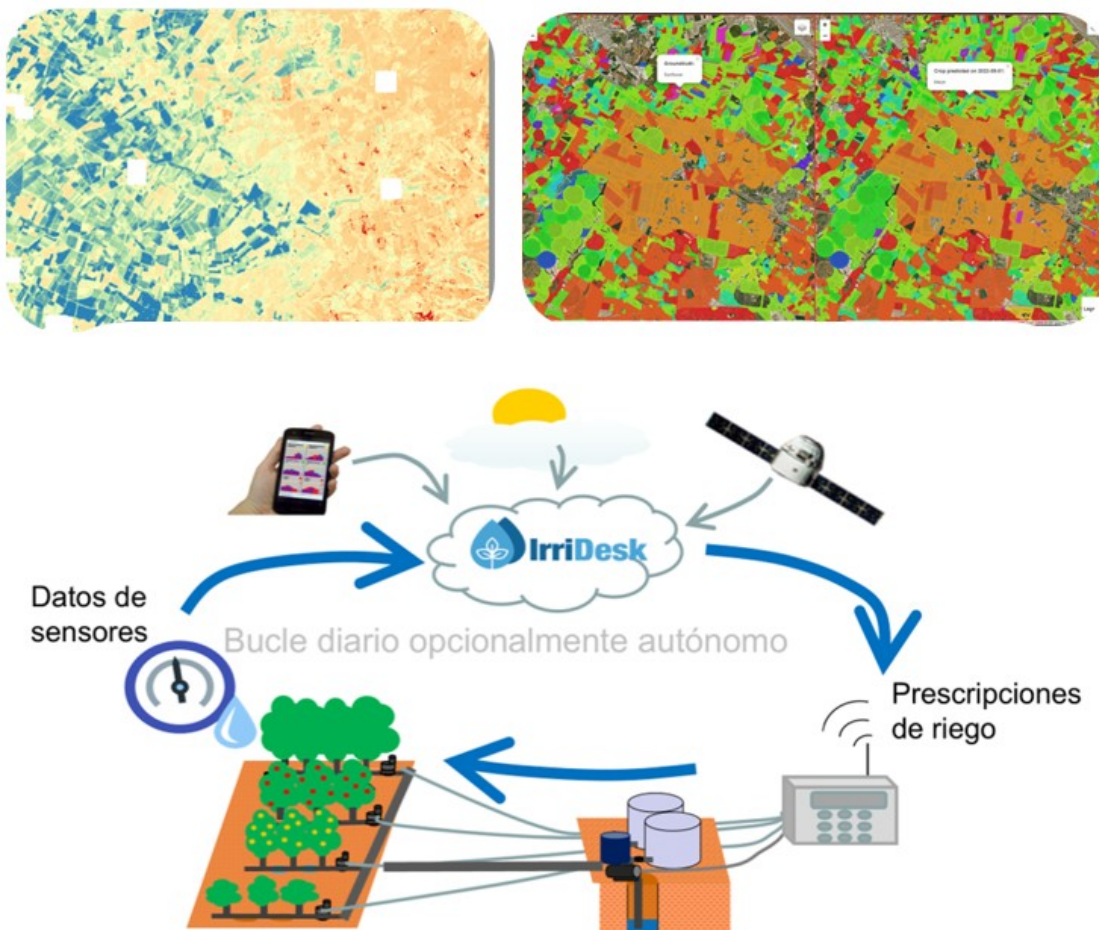


Figura 11: Esquema del funcionamiento de un sistema de recomendaciones de riego en función de la identificación de cultivos, previsiones meteorológicas, modelización de cultivos e información de teledetección por satélite, que alimenta un gemelo digital dando instrucciones a un programador de riego.

Para más información:

Teledetección: <https://www.mapa.gob.es/dam/jcr:8aba0f64-7fef-436d-9051-d2aac330d585/riegoyteledeteccionfernandodelacruz.pdf>

Gemelos digitales: <https://smartgreenwater.com/digital-twins/>

Modelización de cultivos: <https://www.fao.org/aquacrop/en> (modelo Aquacrop de la FAO)

4. Resumen

La estrategia territorial para afrontar episodios de sequía en el regadío debe contemplar aspectos tanto de gestión (contemplar las restricciones en las ordenanzas de la comunidad y el proceso de otorgamiento de agua) como de dotarse de infraestructuras y formación adecuada a los regantes y técnicos para permitir y controlar repartos de agua equitativos y transparentes en situaciones deficitarias.

Para ello, es necesario en muchos casos trabajar para disponer de regadíos modernizados, agua a presión para regar por aspersión o goteo a un mínimo coste energético y dotarse colectivamente de instrumentos digitales para la determinación de necesidades, consumos y control del agua, tanto a nivel comunitario como a nivel de explotación agrícola.

Las situaciones de déficit de las dotaciones de riego generan a toda la cadena de gestión del agua de riego (desde la administración hidráulica, hasta el regante, pasando por los diferentes niveles de la comunidad de regantes), unas situaciones de estrés, que en ocasiones pueden ser muy conflictivas. Para que estas situaciones generen el mínimo de tensión social es necesario prever estas situaciones y realizar las formaciones, jornadas técnicas y debates profundos necesarios para formar a los agricultores a superar estas situaciones.

La digitalización debe conllevar la transparencia y eficacia en la toma de decisiones en beneficio del conjunto de los regantes, para ello es necesario disponer y tener experiencia en tecnologías digitales que capturan variables físicas (estado del cultivo, presión de tuberías, caudales, ...) y las convierten en información útil para el gestor de la comunidad. El éxito de la buena redacción y ejecución de un plan de gestión de sequía en comunidades de regantes depende de disponer de datos fiables, robustos y transparentes para que los afectados puedan confiar en el correcto cumplimiento de los criterios del plan.

Actualmente, disponemos de sensores en campo, fiables y robustos, que nos permiten disponer de la información necesaria para implementar tecnologías digitales eficaces para gestionar el riego y afrontar los periodos de escasez con mucha más eficacia.