



## MÒDUL 5: Xarxa de sensors de mesura de l'estat hídric del sòl i dels cultius que nodriran el sistema de recomanació de reg accessible a través de dispositius mòbils

### RESUM

En aquesta fitxa introduïm un dels aspectes significatius de l'operació d'implementació d'estratègies demostratives per millorar l'eficiència del reg agrícola al Baix Ter: l'ús de sensors d'humitat al sòl per millorar la gestió del reg. La implantació d'aquestes tecnologies, cada vegada més utilitzades, versàtils i essencials en la Internet de les coses, permet conèixer l'estat hídric del sòl, obtenir aquesta informació a distància i utilitzar-la per dur a terme recomanacions de reg ajustades. En aquest mòdul parlarem dels principals avantatges d'aquests sistemes, de quins tipus de sensors i enregistradors de dades disposem i de com s'envia i es gestiona aquesta informació per aconseguir més eficiència en el reg agrícola.

### 1. INTRODUCCIÓ

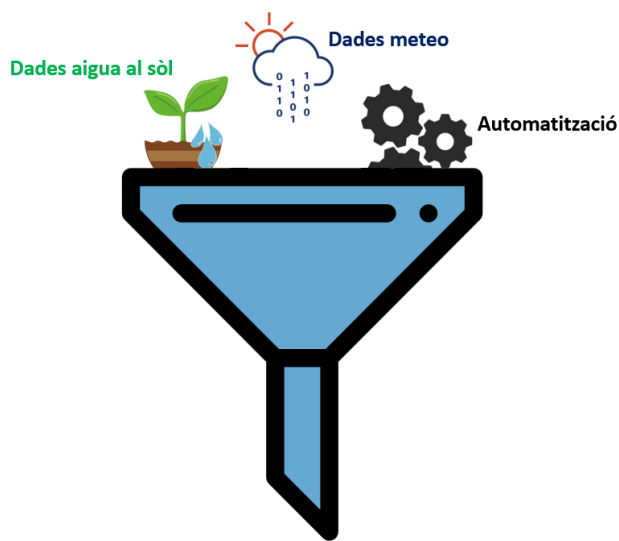
Un dels objectius del projecte i en concret de l'operació d'aquest mòdul 5 és desenvolupar un sistema de gestió sostenible dels recursos hídrics en l'agricultura al Baix Ter utilitzant les TIC i el potencial de la Internet de les coses. Aquestes eines permeten desenvolupar estratègies per millorar l'eficiència del reg agrícola a partir d'informació subministrada per diferents tipus de sensors, amb els quals es pot mesurar el contingut volumètric d'aigua al sòl. Aquesta informació es recull de manera continuada al camp i s'incorpora a un sistema expert (Watercrop) que està preparat per integrar-la i generar recomanacions de reg actualitzades i ajustades a la demanda dels cultius principals de la zona. Quins equips i sistemes s'estan utilitzant en el projecte? Com s'envien les dades? En què es basen les recomanacions de reg?

### 2. QUÈ ENS APORTEN

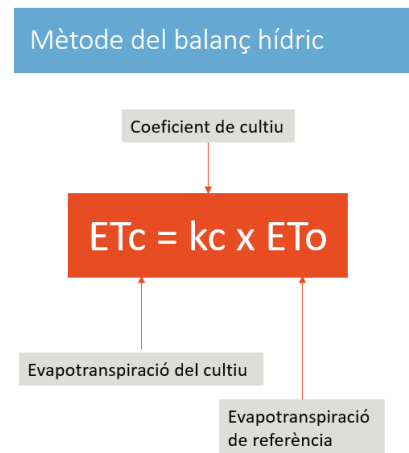
Podem estimar les necessitats de reg d'un cultiu a partir únicament del balanç hídric, però sabem que fer-ho amb mètodes basats en la mesura d'aigua al sòl permet estalviar aigua de reg. Conèixer, doncs, l'estat hídric d'una parcel·la és clau per ajustar les recomanacions de reg.

Aquesta informació facilita mantenir el sòl en condicions òptimes d'humitat per al cultiu; adquirir coneixements sobre l'ús de l'aigua que fa la planta i a quines profunditats el fa; ajudar a determinar quan (freqüència) i quant (quantitat) regar, i, consegüentment, evitar un excés o un dèficit de reg.

Gràcies a la utilització d'equips per mesurar l'aigua del sòl podem disposar d'aquesta informació a temps real; ens aporten, per tant, immediatesa en la informació. Aquests equips no només enregistren les dades, sinó que també les envien al núvol fent ús de la Internet de les coses, de manera que puguem consultar-les a l'ordinador i al dispositiu mòbil sense necessitat de desplaçar-nos al camp[ABC1].



MILLORA DE L'ÚS DE L'AIGUA DE REG



Es tracta d'equips preparats per estar a la intempèrie i aguantar llargues temporades al camp. Són robustos i estan dissenyats perquè la bateria (normalment funcionen amb piles) duri com a mínim la campanya de reg, tot i que habitualment pot durar bastant més.

En resum, si es col·loquen en punts representatius de la parcel·la, poden donar informació ajustada i fiable de forma immediata i telemàtica. I aquesta informació és essencial per estalviar aigua de reg.

### 3. PUNTS DE CONTROL

Cadascun d'aquests punts de control es compon de tres elements: els sensors d'humitat del sòl, l'enregistrador de dades, que a més d'enregistrar-les les envia al núvol, i un comptador volumètric.

Les sondes d'humitat del sòl, que poden ser de diferents tipus (vegeu **TIPUS DE SENSORS D'HUMITAT DEL SÒL**), són els sensors que mesuren el contingut volumètric d'aigua al sòl. S'instal·len enterrats seguint el perfil del sòl a diferents profunditats i entre l'arbre i el degotador. En fruiters, per exemple, s'acostumen a posar tres sondes a profunditats de 20, 40 i 60 cm, de manera que puguem conèixer la dinàmica de l'aigua a tot el perfil del sòl. En cultius extensius també és habitual usar-ne tres, però sovint a menys profunditat (15, 30 i 45 cm), tot i que pot dependre del cultiu i del desenvolupament radicular que tingui.

Les dades que recullen els sensors s'enregistren a l'enregistrador de dades, que envien les dades al núvol directament o a través d'una passarel·la o *gateway* en forma d'estrella. Aquestes capses estanques on es connecten els sensors funcionen normalment amb piles (alguns també tenen plaques solars i bateria) i permeten configurar la freqüència de registre o d'enviament de dades, entre altres aspectes. Presenten un funcionament robust al camp i tenen diferents prestacions segons el fabricant.

El comptador volumètric de reg permet saber l'aigua que s'ha aplicat a la parcel·la. S'instal·la tan al principi de la fila de reg com es pugui i, sabent la superfície que rega, pot estimar el volum de reg de la parcel·la. És essencial per saber si estem regant el que es recomana i detectar possibles desviacions. Aquest aparell també es connecta a l'enregistrador de dades[ABC2].



### Punt de control (parcel·la)



- Mesura del contingut volumètric d'aigua en el sòl a **20, 40 i 60 cm**



- **Sensors** de capacítància: DECAGON 10HS, Teros 10, Aquachek, etc.



- **Comptador volumètric** a la capçalera de la línia.

La zona del Baix Ter, des de ja fa alguns anys, compta amb una alta densitat d'aquests equips de mesura d'aigua al sòl, de manera que forma una malla de punts de control de les més altes per unitat de superfície. La cooperació amb el sector i les empreses de tecnologia (amb millores constants) fa que cada vegada s'incrementi més el nombre de punts de control existents (>100).

Aquesta monitorització, que cada vegada es pot automatitzar més perquè hi ha menys barreres tecnològiques, permet supervisar l'aigua al sòl i estalviar fins a un 30 % de

l'aigua de reg, sense que això comporti efectes ni en la qualitat ni en la producció. Tot plegat converteix aquesta zona en una regió sensible a l'aigua.

#### 4. TIPUS DE SENSORS D'HUMITAT DEL SÒL

Hi ha diversos paràmetres físics i químics del sòl que es poden mesurar i que afecten el desenvolupament de la planta, com per exemple la seva humitat, la seva temperatura o la conductivitat elèctrica. Per mesurar la humitat del sòl podem fer servir diferents sistemes.

##### SENSORS D'HUMITAT

Bàsicament existeixen dos tipus de sensors segons la tecnologia que utilitzen: la tecnologia TDR o bé l'FDR.

**Sensor amb tecnologia TDR** (*time domain reflectometry*). Funciona sobre la base del principi físic que la presència d'aigua al sòl afecta la velocitat de propagació d'una ona electromagnètica (la fa més lenta). El sensor envia una ona electromagnètica a través d'unes varetes i mesura l'eco que es produeix quan l'ona penetra en el terreny. Mesurant el temps de retorn es pot calcular la humitat mitjana del terreny en què l'ona s'ha propagat. Com més humit es trobi el sòl, més temps necessitarà l'ona electromagnètica per fer el recorregut.



**Sensor amb tecnologia FDR** (*frequency domain reflectometry*). És un aparell similar a l'anterior amb la diferència que aquest és de tipus capacitatiu. Permet determinar el grau d'humitat volumètric a partir de la mitjana de la capacítància elèctrica de sòl. La capacítància elèctrica del sòl varia fonamentalment segons la humitat i es determina per la variació que produeix en la freqüència d'una ona prèviament emesa pel sensor. Aquest tipus de sensors van connectats a un enregistrator de dades.



### TENSIÒMETRES

Els tensiòmetres no mesuren directament la humitat al sòl, sinó que indiquen l'esforç que ha de fer l'arrel de la planta per extreure'n la humitat que necessita. L'aparell consisteix en un tub de plàstic que en un extrem té una càpsula de ceràmica porosa i en l'altre un vacuòmetre o indicador de la succió que es produeix dins el tub de plàstic. Aquest tub s'introdueix al terreny a una determinada profunditat.

Quan la humitat del sòl és baixa, la humitat de l'interior del tub s'extreu a través de la càpsula de ceràmica porosa i això causa una diferència de pressió que registra el vacuòmetre. Com més seca és la terra, més gran és el valor enregistrat pel lector del vacuòmetre (perquè més gran és l'esforç per extreure aigua del sòl). En humitejar-se el sòl per pluja o reg, l'aigua torna a l'interior del tensiòmetre absorbida a través de la ceràmica porosa i això redueix la pressió. Quan el valor arriba a 0, significa que la terra ha assolit la capacitat màxima de retenció d'humitat, cosa que es coneix com a *capacitat de camp*.



De sensors d'humitat del sòl fa molts anys que se n'utilitzen. Amb el pas dels anys han experimentat una ràpida evolució i són cada vegada més versàtils, més robustos pel que fa a funcionament i més fiables i precisos.

En el projecte s'han utilitzat principalment sensors del tipus FDR, com els 10HS, Teros 10 o Aquachek.

### 5. ENREGISTRADORS DE DADES

Un enregistrator de dades (*datalogger*) és un dispositiu electrònic que recull informació en el temps o en relació amb la ubicació per mitjà d'instruments i sensors propis o connectats externament.

Alguns dels sensors que s'hi poden connectar ens permeten mesurar aspectes com la humitat del sòl, la temperatura, etc., i enregistrar les mesures que es realitzen. Normalment admeten un cert grau de configuració i deixen escollir la freqüència de registre i d'enviament de dades (si és que estan equipats per fer-ho).

Es tracta d'aparells robustos i pensats per aguantar llargues temporades al camp i suportar les inclemències meteorològiques (són estancs). La majoria funcionen amb piles, tot i que també en podem trobar amb bateria, que es carrega amb una placa solar que porta incorporada. Sigui com sigui, consumeixen poc i aquests sistemes d'alimentació n'asseguren el funcionament durant, com a mínim, tota la campanya del cultiu. Amb els avenços tecnològics de connectivitat és probable que ben aviat puguin passar diversos anys al camp sense haver-se de preocupar per la seva autonomia.

En el projecte s'han utilitzat principalment enregistradors de dades de dos proveïdors diferents: SAF i MODPOW.



### 6. ENVIAMENT DE DADES

No fa gaire, alguns enregistradors de dades permetien recollir-ne però calia descarregar-les al camp amb un ordinador. Això limitava fortament la immediatesa de la informació i, per tant, l'agilitat en les recomanacions i la dependència d'algú per recollir-la. Actualment la majoria d'enregistradors de dades poden enviar-les al núvol per diferents vies i amb la freqüència que es configura. Quins són aquests sistemes de comunicació?

Un dels ítems principals que defineixen la Internet de les coses (IdC) són les xarxes de comunicacions, que permeten connectar dispositius, màquines, sensors o «coses» que generen dades des de qualsevol ubicació del planeta. Les xarxes de comunicació han anat evolucionant cap a aquest sector de la IdC, que, tot i que actualment no competeix



amb el sector de la telefonia mòbil des del punt de vista comercial, sí que ha despertat l'interès de nombroses empreses, que hi han invertit.

Els principals punts que podrien definir una xarxa de comunicació d'IdC són:

- Baixa velocitat de les dades
- Baixa freqüència de transmissió
- Mobilitat i serveis de localització
- Connexions bidireccionals segures
- Baix consum d'energia
- Llarg abast de comunicació

## M2M



Les xarxes de comunicacions del sistema M2M (de màquina a màquina) han estat des dels inicis la principal aposta de la IdC per part de les grans empreses del sector de les telecomunicacions. Sempre vinculades a la targeta SIM, aquesta connectivitat ha nascut del model de negoci GPRS, és a dir, del pagament per megabyte (MB) enviat o transmès, tal com es coneixen ara, amb tecnologies 3G/4G.

De tota manera, el concepte d'IdC (connectar molts dispositius que enviïn poques dades) és un dels enemics de l'M2M per la seva difícil escalabilitat, la necessitat d'una cobertura associada a un operador i el cost respecte a les dades enviades. A més, l'alt cost energètic que suposen les transmissions amb tecnologia 3G/4G suposa un peatge important, moltes vegades limitant en equips que s'han d'instal·lar al camp i alimentats amb bateria o piles.

La xarxa M2M és la més comercialitzada al món per la IdC, sobretot pel suport de les operadores de comunicacions, però està destinada a perdre protagonisme a favor de la banda estreta (*narrow band*) els propers anys.

## BANDA ESTRETA



La banda estreta de la Internet de les coses (BE-IdC o NB-IoT en anglès) és l'aposta del 3GPP (*3rd generation partnership project*), una col·laboració de grups d'associacions de telecomunicacions, per donar resposta a les necessitats de comunicació de la IdC. Apareix com una solució a l'augment de les xarxes d'àrea local de baix consum (LPWAN). És una tecnologia mòbil que fa servir les xarxes mòbils de comunicació i que s'ha



dissenyat per operar de diferents maneres, incloent-hi l'ús de la banda GSM per substituir el desplegament actual.

A diferència de les LPWAN, neix condicionada per l'arquitectura LTE (evolució a llarg termini), que és un estàndard per a comunicacions sense fils de transmissió de dades d'alta velocitat per a telèfons mòbils i terminals de dades, i ha de coexistir amb aquesta tecnologia sense que es puguin introduir modificacions en l'estructura o en l'arquitectura de la xarxa mòbil. Per tant, això es tradueix en una complexitat molt més elevada que la de la seva competidora, LPWAN.

### LPWAN

El concepte LPWAN no denota cap tecnologia en concret, sinó que serveix com a terme genèric per referir-se a una xarxa dissenyada per comunicar-se sense fils amb una potència més baixa que altres xarxes.

Amb l'explosió de noves tecnologies com l'LPWAN s'ha dinamitzat encara més la connectivitat. Aquest protocol d'enviament de dades està dissenyat per transportar sense fils dades entre dispositius separats a grans distàncies. La idea de l'LPWAN és transportar petites quantitats de dades i de forma no constant. Això també incideix en el consum elèctric, i per tant és fonamental per a l'eficiència dels dispositius que amb bateries podrien durar molt més (anys). El fet és que permet enviar paquets petits de dades (com les dades que s'enregistren d'humitat al sòl), a grans distàncies (perfecta per a equips instal·lats al camp) i sent energèticament més eficient. Totes aquestes característiques estan fetes a mida per a aquests punts de control d'humitat al camp i, per tant, l'enviament amb aquest sistema, que ja és una realitat, apareix com una opció molt vàlida i que encaixa perfectament amb moltes de les necessitats de la IdC.

### SIGFOX



Sigfox és la xarxa de comunicacions tipus LPWAN més extensa mundialment, amb una cobertura propera al 98 % del territori europeu i americà. Un dels motius principals per fer-ne ús a dia d'avui, a banda de tenir un desplegament i una cobertura quasi globals, és que molts dels fabricants de dispositius IdC s'han adaptat a la seva tecnologia i faciliten la pujada de dades al núvol de Sigfox per deixar-ne disponible l'accés a través de qualsevol connexió a Internet.

El baix cost d'aquesta tecnologia, la seva acceptació per part dels fabricants de dispositius o el fet que sigui una xarxa bidireccional són més punts a favor seu. Per altra banda, en tractar-se d'una freqüència sense llicència podria trobar-se amb problemes



de mercat, ja que podria ser regulada pels organismes públics i adquirida pel sector de les grans empreses de comunicacions, les quals aposten per l'M2M o la BE-IdC.

### LoRa



LoRa és una altra xarxa LPWAN amb un model de negoci molt similar a Sigfox, tot i que amb una tecnologia lleugerament diferent, ja que, entre altres coses, utilitza un espectre de comunicacions una mica més ampli que Sigfox. LoRa és una xarxa LPWAN més ben preparada per a una comunicació bidireccional en temps real amb els dispositius IdC. A més, les especificacions per a fabricants que vulguin comunicar els seus equips amb LoRa són més obertes i menys estrictes que Sigfox. Per altra banda, la cobertura LoRa és molt menor que la de Sigfox, ja que actualment només es troba en alguns països (França, Bèlgica, Suïssa...). Un factor, sens dubte, determinant a l'hora de plantejar un projecte d'IdC.

En la taula següent es mostra un resum de diferents tecnologies i aspectes bàsics del seu funcionament, com el consum, l'abast o la usabilitat, per exemple.

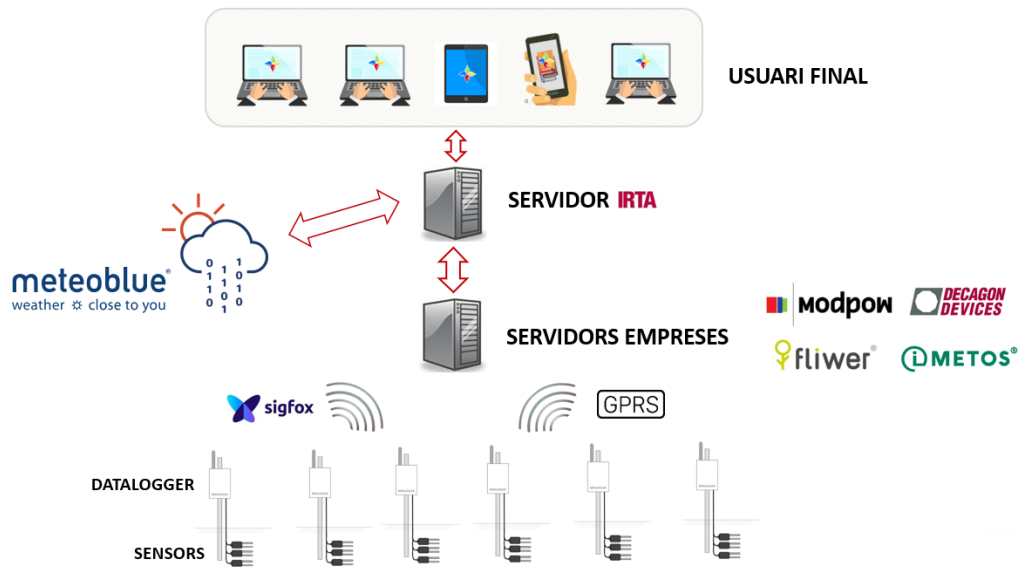
TECNOLOGÍA	CONSUMO	ALCANCE	MADUREZ	DISPONIBILIDAD	SEGURIDAD	USABILIDAD	TASA DE DATOS
GSM/GPRS	Muy alto	Alto	Muy Alto	Muy alto	Alta	Alta	Alta
SigFox	Bajo	Medio	Alto	Medio	Media	Alta	Muy baja
LoRa	Bajo	Medio	Bajo	Muy bajo (ad hoc)	N A	Baja	Muy baja
NB IoT							
WiFi	Alto	Bajo	Muy alto	Alto	Baja	Alta	Muy alta

[ABC3]

TECNOLOGIA	CONSUM	ABAST	MADURESA	DISPONIBILITAT	SEGURETAT	USABILITAT	TAXA DE DADES
GSM/GPRS	Molt alt	Alt	Molt alta	Molt alta	Alta	Alta	Alta
Sigfox	Baix	Mitjà	Alta	Mitjana	Mitjana	Alta	Molt baixa
LoRa	Baix	Mitjà	Baixa	Molt baixa (ad hoc)	N. A.	Baixa	Molt baixa
BE-IdC							
WiFi	Alt	Baix	Molt alta	Alta	Baixa	Alta	Molt baixa

## 7. INTEGRACIÓ DE DADES A LA PLATAFORMA WATERCROP

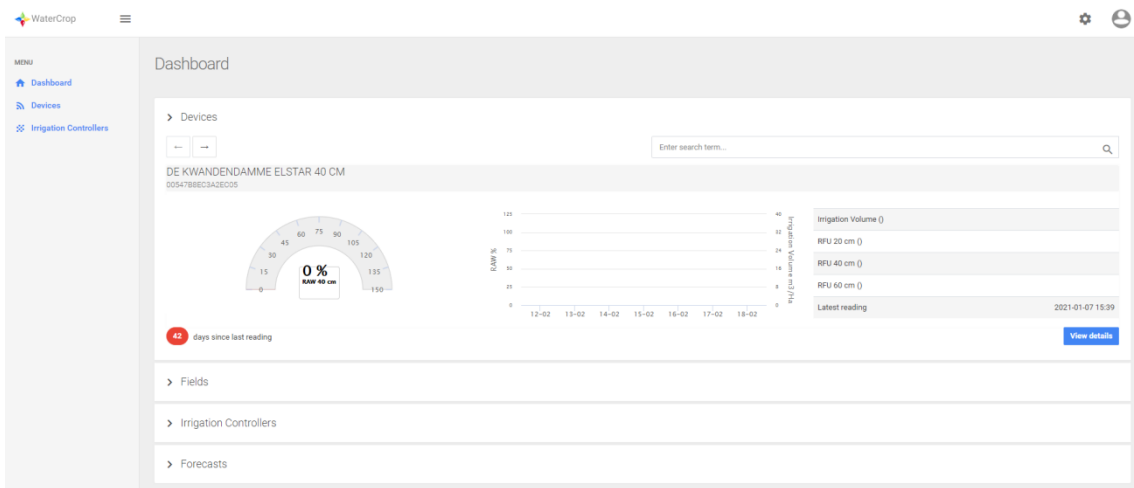
Les dades recollides pels diferents sensors (punts de control) s'envien al servidor de cada proveïdor o empresa de servei i és a través d'una API (interfície de programació d'aplicacions) que es recullen a la plataforma WaterCrop. En aquesta plataforma s'agafa la informació real de l'estat hídric del sòl i també s'hi integra informació de predicció meteorològica, proveïda en aquest cas pel servei meteorològic suís **Meteoblue** [ABC4].



Dins de la plataforma es duen a terme els càlculs necessaris per a les recomanacions de reg. A banda del càlcul del balanç hídric essencial, s'incorpora, sempre que estan disponibles, les dades reals d'humitat del sòl obtingudes amb les sondes i també la previsió meteorològica per a cada zona. D'aquesta manera, es pot generar una recomanació de reg ajustada a les necessitats reals sobre la base de les necessitats genèriques del cultiu, el coneixement de les dades reals al camp i el pronòstic que s'espera els propers dies.

## 8. PLATAFORMA WATERCROP I RECOMANACIONS DE REG

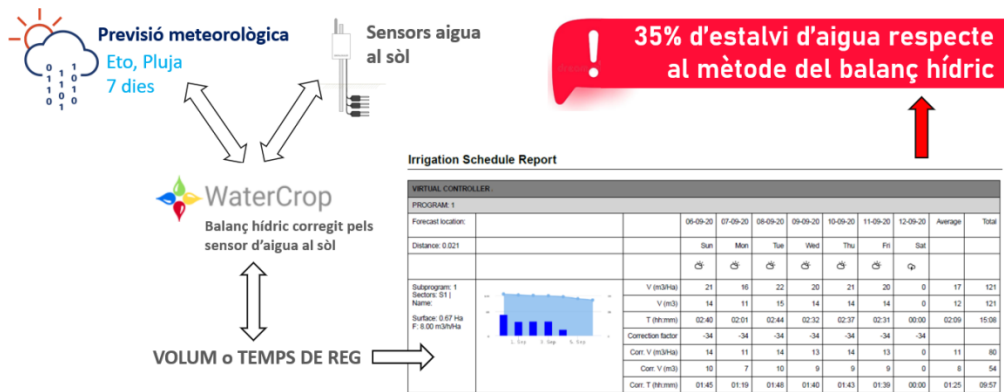
La plataforma WaterCrop és una plataforma per a la recomanació de regs en fruiters i blat de moro basada en sensors i previsions meteorològiques. Aquest programari en línia, a l'abast d'agricultors i tècnics, funciona com una eina de programació de regs que permet fer recomanacions més ajustades. Programar el reg utilitzant sensors d'aigua al sòl implica un estalvi d'aigua (35 % respecte al mètode del balanç hídric) i, si automatitzem la programació de regs, pot comportar un estalvi d'aigua addicional.



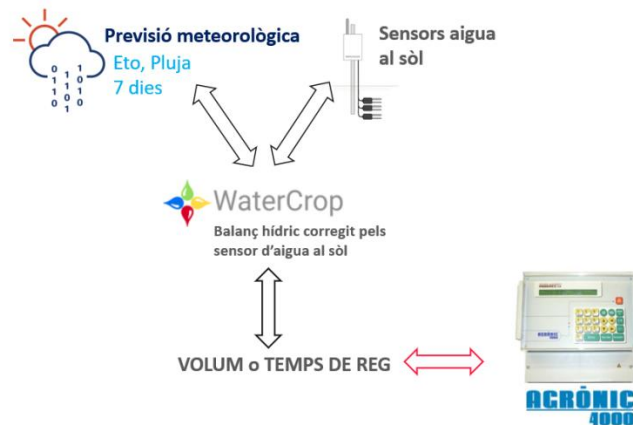
A la plataforma es poden visualitzar les dades que els sensors d'humitat mesuren i recullen al camp. Aquesta informació, molt visual, ens permet detectar anomalies en els regs i determinar quan estem regant en excés o, al contrari, quan hi ha dèficit hídric.



A més d'aquesta informació, el veritable potencial d'aquesta eina és la capacitat de generar recomanacions de reg. Aquesta aplicació permet determinar el volum o el temps de reg basant-se en el balanç hídric i en la previsió meteorològica. Aquesta informació es pot corregir i millorar incorporant-hi les dades dels sensors d'aigua del sòl. La informació sobre el volum de reg o el temps de reg que cal aplicar es gestiona després de forma manual a la parcel·la o incorporant-la al programador de reg. Això representa un 35 % d'estalvi d'aigua respecte al mètode del balanç hídric. [ABC5]



El càlcul de la dosi de reg i la recomanació poden anar encara un pas més enllà. Si la infraestructura ho permet, es pot automatitzar el sistema perquè la recomanació de reg s'envii automàticament al programador de reg. D'aquesta manera, el sistema és pràcticament autònom i només requereix supervisió. La informació al camp i la previsió s'actualitzen diàriament, i això corregeix constantment el volum o el temps ajustant-lo als canvis que pugui haver-hi al camp o a la previsió meteorològica (increment de la probabilitat de pluja, per exemple), i fa que cada dia el reg s'ajusti a les necessitats del cultiu. Automatitzar la programació de regs pot comportar un estalvi d'aigua addicional.



Com hem vist, doncs, totes aquestes tecnologies i sistemes ens poden ajudar a conèixer l'estat hídric d'una parcel·la, i això és clau per ajustar les recomanacions de reg i ser més eficients en l'ús dels recursos hídrics.

## 9. BIBLIOGRAFIA

EFOR. «Tecnologías de comunicación para IoT» [en línia]

<<https://www.efor.es/sites/default/files/tecnologias-de-comunicacion-para-iot.pdf>>

MONGE REDONDO, M. Ángel. «Sensores para la agricultura de regadío (I)». *I Agua* [en línia]

<<https://www.iagua.es/blogs/miguel-angel-monge-redondo/sensores-agricultura-regadio-i>>