

DIGITALITZACIÓ



La digitalització en l'agricultura de regadiu

El regadiu i l'agricultura travessen una etapa de profunda transformació. Aquest canvi està relacionat amb l'augment de la nostra capacitat per a captar, transmetre, emmagatzemar, processar i interpretar informació procedent de l'activitat agrària a partir de tecnologia digital.

En la història humana, el trànsit de les societats nòmades cap a la sedentarització va tindre com a principal catalitzador el desenvolupament de l'agricultura. Ja en aquestes etapes tan primerenques, l'ésser humà va ser conscient de la importància de la disposició d'aigua per a la supervivència i productivitat de les seues collites.

Històricament el regadiu ha sigut utilitzat com a factor de progrés econòmic i social, i ha merescut una especial atenció per part dels diferents governants. A hores d'ara, la transcendència del reg en la vertebració del territori no ha perdut un àpex de la seua rellevància; no en va les produccions de regadiu són la base d'un dinàmic entramat empresarial amb una important participació en la generació de riquesa.

En tot aquest trànsit, el regadiu ha sigut objecte de les seues particulars revolucions. Potser la més rellevant és la que va suposar l'aparició del reg pressuritzat durant la «revolució verda». D'aquesta manera, les transformacions de secà en regadiu van ampliar notablement la superfície regada i els regadius tradicionals van patir un procés de modernització que encara perdura.

Hui, el regadiu, com l'agricultura mateixa, està travessant de nou una etapa de profunda transformació. Aquest canvi està directament relacionat amb el substancial augment de la nostra capacitat per a captar, transmetre, emmagatzemar, processar i interpretar informació procedent de l'activitat agrària a partir de tecnologia digital, d'ací ve que un dels termes que intenta englobar aquest procés siga el de digitalització.

Imatge superior. Dron captant imatges per a l'avaluació de l'estat hidric en cultiu d'olivera superintensiu (Villena).

NOVES TÈCNIQUES PER A L'EFICIÈNCIA EN L'ÚS DE L'AIGUA

L'agricultura és la major consumidora d'aigua dolça del planeta. Només a la Comunitat Valenciana, el regadiu és responsable del 77,5% de l'aigua total consumida. Per això, un adequat ús del recurs és fonamental per a garantir les necessitats alimentàries en equilibri amb les creixents demandes per a uns altres usos. A més, el canvi climàtic, unit a l'augment de la població mundial, planteja un escenari de cada vegada major pressió sobre el recurs, i determina que les **previsions auguren un agreujament de l'estrés hídric** a la conca mediterrània en vora un 200% per a 2030.

En aquest context tan complex, el desenvolupament actual de les tècniques de reg, amb l'impuls donat per la digitalització, ofereix tota una sèrie de procediments tecnològics per a optimitzar l'ús de l'aigua, millorar l'eficiència de l'aplicació i proporcionar guanys de productivitat, sense comprometre'n ni la disponibilitat ni la qualitat.

Això té el seu obligat punt de partida en una adequada estimació de les quantitats d'aigua que requereixen els cultius i, per a això, existeixen diverses eines que permeten un ajust bastant precís de les dosis de reg i la correcta aplicació en parcel·la, elements fonamentals per a una major eficiència en l'ús de l'aigua. Aquestes eines, habitualment, recorren a l'anàlisi del continu sòl-planta-atmosfera (SPA) com a font d'informació de base per a l'establiment d'una programació de reg eficient.

Imatge 1. Estació agroclimàtica de la Xarxa SIAR (Moncada).

El desenvolupament de les tècniques de reg, amb l'impuls de la digitalització, permet optimitzar l'ús de l'aigua, millorar l'eficiència de l'aplicació i augmentar la productivitat sense comprometre ni la disponibilitat ni la qualitat del recurs.

A Atmosfera: Metodologia del Balanç d'Aigua (FAO 56)

La metodologia coneguda com del Balanç d'Aigua potser és a hores d'ara la més estesa per al càlcul de les necessitats hídriques. Aquest mètode proposa l'estimació del consum d'aigua d'un cultiu o evapotranspiració del cultiu (ETc) mitjançant el producte de dos paràmetres. El primer d'ells, denominat evapotranspiració de referència (ETo), reflecteix el potencial extractiu d'unes condicions meteorològiques donades en un període concret, expressant-se en altura de làmina d'aigua (mm). El segon, denominat coeficient de cultiu (kc), pondera i ajusta el valor d'ETo a les condicions concretes del cultiu, especialment el seu moment fenològic. Les bases definitives d'aquesta sistemàtica van ser establides per l'Organització de la Nacions Unides per a l'Alimentació i l'Agricultura (FAO) mitjançant l'estudi **Reg i drenatge, publicació núm. 56**, d'ací que la metodologia siga coneguda com FAO 56.

Per al càlcul de l'ETo existeixen diferents metodologies, de les quals la més utilitzada és la FAO Penman-Monteith, per la seua precisió major en les diferents condicions. Per a la seua determinació, és necessari el registre de les variables meteorològiques temperatura i humitat relativa de l'aire, velocitat del vent i radiació solar. La digitalització, en aquest aspecte, entra en joc en els avanços en la sensorització ambiental. Mitjançant les **estacions agroclimàtiques de registre automàtic (Imatge 1)**, és possible un registre precís d'aquestes variables i una molt ajustada determinació de l'ETo. Amb aquest objectiu, a Espanya es va crear en 1999 el **Sistema d'Informació Agroclimàtica per al Regadiu (SIAR)** que, amb més de 500 estacions, ofereix el càlcul de l'ETo i el mesurament de la precipitació com a base per a l'aplicació de la metodologia FAO 56. La informació de la xarxa i els serveis associats arriben a l'usuari final mitjançant les



tecnologies de la informació i les comunicacions (TIC), és a dir, les pàgines web dels serveis d'assessorament al regant (SAR), un altre exemple de digitalització. En la Comunitat Valenciana és el Servei de Tecnologia del Reg (STR) de l'**Institut Valencià d'Investigacions Agràries (IVIA)** l'encarregat de la gestió de les 56 estacions de la xarxa SIAR, la informació del qual publica el **portal de regs de l'IVIA**.

Les noves tendències en aquest apartat s'orienten cap a la substitució de la font de dades de base per al càlcul de l'ETO, passant d'observacions registrades per les estacions a la informació proporcionada pels diferents models de previsió meteorològica oferida per organismes públics, com l'**Agència Estatal de Meteorologia (AEMET)**,

i empreses privades. D'aquesta manera, gràcies a la millora dels models de previsió meteorològica, es pot obtenir una millor estimació de l'exigència atmosfèrica a la qual estarà sotmés el cultiu, així com de la precipitació, si escau, que pot determinar l'estalvi de regs.

Pel que fa al segon factor, el coeficient de cultiu (kc), la bibliografia científicotècnica conté multitud de propostes de coeficients aplicables a una àmplia gamma de **cultius en diverses condicions**. Tal és així que pot resultar àrdua la selecció del coeficient més adequat a les necessitats de l'usuari. De nou, **els SAR desenvolupen esta tasca** seleccionant aquells que millor poden arrebregar la realitat productiva de les seues zones d'influència. Tot això posa en relleu

que la determinació de coeficients de cultiu està subjecta a molts condicionants que en molts casos poden limitar-ne la transferibilitat i recomanen la contínua revisió. Els coeficients de cultiu tradicionalment s'han obtingut mitjançant lisimetria o més recentment per la metodologia de covariància de turbulència (Eddy Covariance, en anglès), que, mitjançant la mesura per sensorització digital dels fluxos de calor en una superfície de cultiu, obté el valor de l'ETc i, indirectament, per tant, els valors del coeficient de cultiu.

Als darrers temps, la digitalització acudeix a oferir una ajuda en l'estimació de coeficients de cultiu integrada en les tècniques de teledetecció que s'aborden en l'apartat dedicat a la planta.

B Sòl: Sensors d'Humitat

La programació de reg basada exclusivament en un balanç hídric del sòl tan sols proporciona informació sobre la quantitat d'aigua a aplicar en el cultiu durant un període concret, però no sobre com fraccionar aquesta quantitat, factor fonamental d'eficiència. Per tot això, complementàriament al ba-

lanç d'aigua, és recomanable utilitzar sensors d'humitat de sòl per a augmentar l'eficiència hídrica (**Imatge 2**). Els **sensors d'humitat del sòl** poden proporcionar informació en continu de l'evolució del contingut d'humitat en el perfil radicular de la planta i detectar episodis de drenatge, permetent una

Imatge 2. Diverses tipologies de sensors d'humitat del sòl.

Imatge 3. Bateria de tensiòmetres per a control del reg en pimentó (Pilar de la Horadada).



bona adaptació de la programació de reg a les característiques del sòl i del cultiu.

Actualment, els sensors d'humitat potser són el paradigma de la digitalització en el reg de cultius gràcies a que poden oferir una informació contínua, precisa i intuïtiva de l'evolució de l'aigua en el sòl, amb gran facilitat d'interpretació, la qual cosa els fa fàcilment intel·ligibles per a usuaris novells en aquesta mena de tecnologies de reg.

Els sensors preferentment utilitzats en el control de reg en agricultura comercial són de dos tipus: els que ofereixen la informació en potencial matricial, com tensiòmetres (**Imatge 3**) i equitensiòmetres, i els que ho fan en humitat volumètrica ($m^3 \cdot m^{-3}$) com els sensors dielèctrics FDR, TDR i TDT (**Imatges 4, 5 i 6**). El desavantatge d'aquests dispositius és que obtenen la informació d'un xicotet volum de sòl explorat (5-7 cm des del sensor), la qual cosa obliga a una adequada instal·lació de manera que es garantisca un bon contacte entre el sensor i el sòl, base per a disposar d'una informació de qualitat per a la presa de decisions.

A l'hora de plantejar una **xarxa de sensorització del sòl**, més que estimar una superfície a cobrir per sensor hem d'atendre els factors

que poden intervenir en la dinàmica de l'aigua en el sòl amb un cultiu en regadiu establert en ell. Aquests factors són els següents: textura del sòl, espècie cultivada, grau de desenvolupament del cultiu i sistema de reg. Per cada element diferencial dels indicats presents en la nostra explotació, hauríem d'instal·lar, almenys, dos equips de sensorització, quan no tres, per a garantir la representativitat de la informació oferida. D'altra banda, cadascun dels equips hauria d'estar compost de dos sensors: un que monitorara la zona radicular i un altre que servira per al control del drenatge.

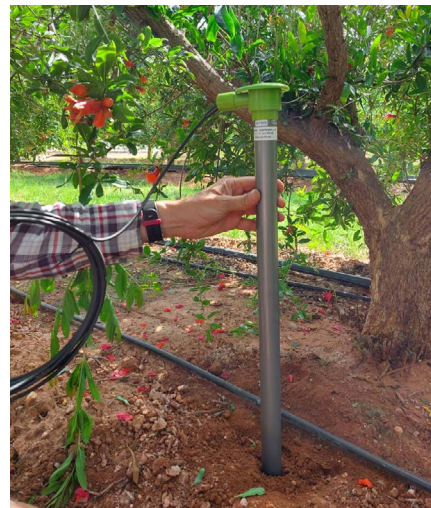
Els sensors d'humitat del sòl solen estar integrats actualment en plataformes web que ofereixen, amb major o menor encert, la informació de la humitat del perfil de sòl. La qualitat i claredat de la informació oferida, així com la seua versatilitat i adaptabilitat a les necessitats concretes de l'usuari, ha de ser un criteri d'elecció tant o més important que el mateix sensor, atès que d'això pot dependre la nostra decisió sobre quan, quant i com regar.

L'agricultura és la major consumidora d'aigua dolça del planeta. Només a la Comunitat Valenciana, el regadiu és el responsable del 77,5% de l'aigua total consumida. Per això, un adequat ús del recurs és fonamental per a garantir les necessitats alimentàries, en equilibri amb les creixents demandes per a altres usos.

Imatge 4. Ubicació de sensor FDR individual per a monitoratge d'activitat radicular en vinya (Requena).

Imatge 5. Sonda multisensor modular per a maneig del reg en garrofera (Santa Magdalena de Pulpis).

Imatge 6. Sonda multisensor compacta en magraner (Museros).



C Planta: Indicadors de l'estat hídric del cultiu

Els indicadors d'estrés hídric dels cultius haurien de ser d'ús preferent com a informació de base per a l'establiment d'una programació de reg, ja que la planta integra tot el conjunt del sistema SPA. En aquest apartat trobem els diferents potencials (Ψ_{alba} , Ψ_{fulla} y Ψ_{tija}), intercanvi de gasos, dendròmetres de tronc, flux de saba, turgència de fulla, etc. No obstant això, la falta d'automatització de molts d'ells, la laboriositat de la mesura, la necessitat de formació o la complexitat en la captació, processat de la informació i anàlisi de resultats fan que, encara, aquestes eines tinguin barreres en el seu ús pràctic en l'agricultura comercial.

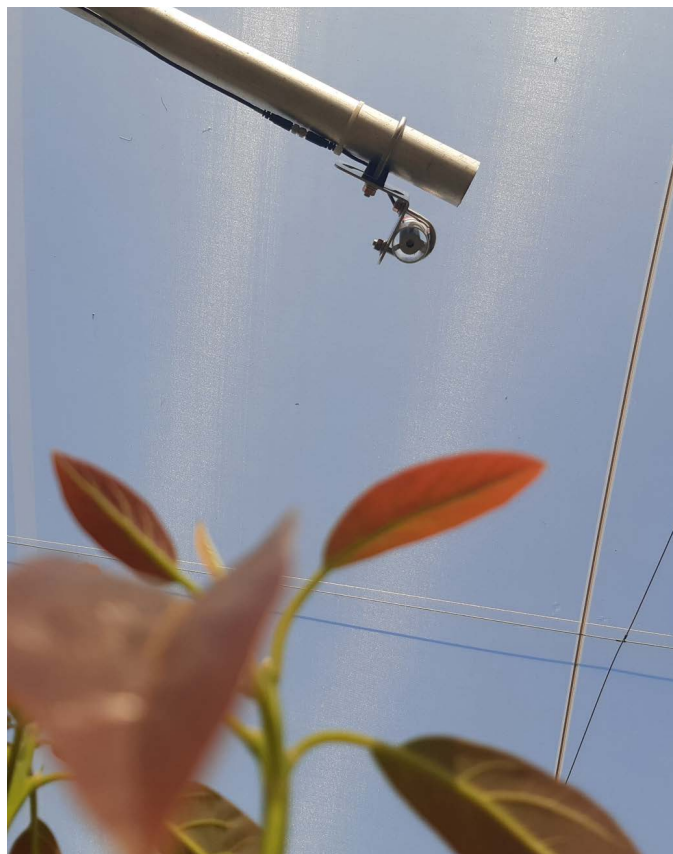
ús preferent la mesura de **potencial hídric de la tija** (Ψ_{tija}), una mesura manual, destructiva, incòmoda i no exempta de risc per al mesurador.

No obstant això, hi ha unes tècniques que s'estan obrint pas amb força en aquest apartat. Són les tècniques de teledetecció aplicades al reg dels cultius. Teledetecció fa referència a l'obtenció d'informació sobre el cultiu prenent i analitzant dades sense que els instruments emprats estiguin en contacte directe amb les plantes. La teledetecció se sol associar a l'ús de satèl·lits o de vehicles aeris no tripulats (drons o avions) per a la captació d'informació mitjançant imatges (**Imatge 7**), però també ha d'entendre's com a tal l'ús de càmeres termogràfiques, sensors infrarojos (**Imatge 8**), etc.

Imatge 7. L'ús de noves tecnologies, com els drons, millora l'eficàcia del reg i la rendibilitat de l'agricultura.

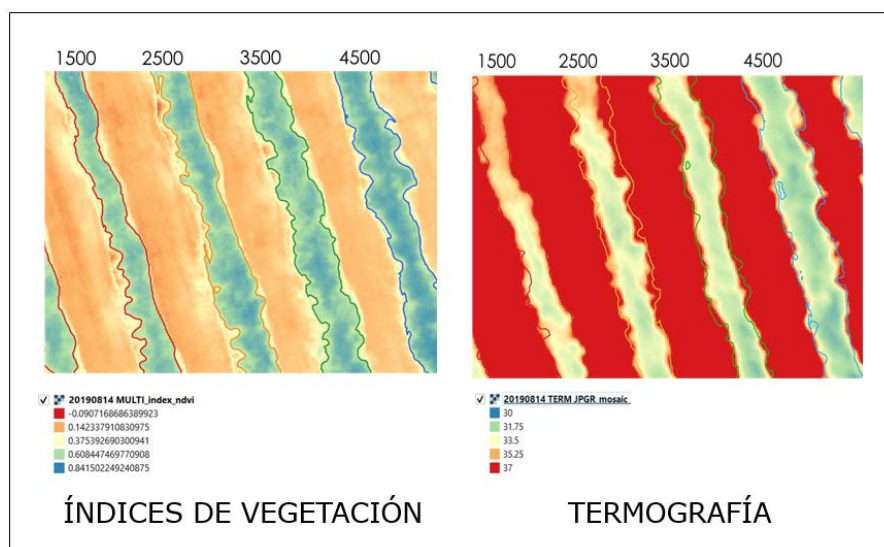
Imatge 8. Sensor infraroig per a mesura de temperatura de coberta en alvocat (Callosa d'en Sarrià).

La digitalització encara troba serioses limitacions pel que fa a l'avaluació de l'estat hídric dels cultius; tal és així que encara continua tenint



Els mètodes basats en teledetecció avaluen de diferent forma la radiació electromagnètica que reflecteixen o emeten els cultius mitjançant l'espectre electromagnètic, és a dir, de les seues diferents longituds d'ona. És aquest sentit hi ha dos grans blocs d'aplicació de la teledetecció aplicada al reg: els **índexs de vegetació** i la **termografia** (Imatge 9).

Els **índexs de vegetació** són el resultat d'una fórmula matemàtica que combina una o diverses bandes de l'espectre electromagnètic. Aquesta operació llança un índex que pot relacionar-se amb una variable de la planta a mesurar, en aquest cas l'estat hídric. L'índex més estès és l'Índex de Vegetació de Diferència Normalitzada (NDVI, per les seues sigles en anglés) que en essència estima el vigor de la planta. Hi ha multitud d'índexs, alguns d'ells també relacionats amb la biomassa, com SAVI, NDWI i EVI. Els índexs de vegetació mostren unes certes limitacions en la seua aplicació en la programació de reg en el sentit que, en estar associats al vigor de les plantes, expressen situacions prolongades en el temps, per la qual cosa poden passar per alt un estrès hídric puntual, cosa que en el maneig de reg volem intentar corregir. No obstant això, aquesta mateixa estreta vinculació amb el vigor vegetal obri les possibilitats d'utilitzar aquests índexs per a l'estimació de coeficients de cultiu.



Imatge 9. Teledetecció aplicada a l'avaluació d'estat hídric en oliver superintensiu. Valors de NDVI i temperatura de coberta en quatre dosis de reg, de 1.500 a 4.500 m³/ha any. Les bandes blavoses corresponen a les línies de cultiu. S'observa com, a mesura que augmenta la dosi de reg, descendeixen els valors de temperatura i es corresponen amb majors valors d'NDVI.

Per la seua banda, la **termografia** sí que sembla oferir una eina que possibilita una resposta ràpida. La termografia aplicada al reg dels cultius es basa a captar i analitzar la temperatura de la coberta vegetal partint del fet que les plantes sotmeses a estrès hídric presenten variacions en la temperatura dels seus teixits a causa de la regulació estomàtica. Es tracta, llavors, de detectar patrons de temperatura indicatius de situacions de déficit hídric. En termografia es defineixen també índexs, encara que no de manera tan prolífica com anteriorment. El més conegut és l'Índex d'Estrès Hídric del Cultiu (CWSI) que llança un valor de 0 a 1 en funció de l'estrès del cultiu. És una tècnica relativament recent molt associada al reg de precisió. En l'actualitat, pel seu interès, s'estan desenvolupant en molts cultius les bases per a establir els límits dels índexs d'estrès.

CONCLUSIONS



La digitalització ens ofereix una oportunitat inestimable per a la millora de l'eficiència en l'ús de l'aigua de reg dels nostres cultius. La utilització de les diferents eines digitals disponibles per a l'avaluació del continu sòl-planta-atmosfera permet un molt bon ajust de les quantitats d'aigua a aplicar, i aconseguir amb això les cotes de sostenibilitat que actualment s'exigeix a l'agricultura de regadiu.

>Autors de l'article:

Eloy Cámara Campos, Jorge Oliva Menoyo, Eduardo Badal Marín i Luis Bonet Pérez de León

Institut Valencià d'Investigacions Agràries (IVIA), Servei de Tecnologia del Reg. riegosivia@gva.es