

DOSSIERTÈCNIC

N04 | GESTIÓ EFICIENT DE L'AIGUA DE REG (I)

Juny 2005

P02 Presentació P03 Anàlisi de dades pluviomètriques P05 Càlcul del coeficient de cultiu P09 Gestió de l'aigua de reg P13 Cas pràctic P15 Sistemes de mesura d'aigua en el sòl P19 Eina de recomanacions de reg P21 Curs bàsic de reg P24 L'Entrevista



ruralCat

La comunitat virtual agroalimentària
i del món rural

www.ruralcat.net



Generalitat de Catalunya
**Departament d'Agricultura,
Ramaderia i Pesca**
www.gencat.net/darp





PRESENTACIÓ



Josep Pau i Pernau
Secretari General del Departament
d'Agricultura, Ramaderia i Pesca

A Catalunya, l'agricultura de regadiu és un sector estratègic per al creixement i l'equilibri econòmic i social del territori rural. Actualment, representa un 25% de la superfície cultivada, la qual s'incrementarà amb les transformacions del Canal d'Algerri-Balaguer, el Canal Segarra-Garrigues i l'adequació del Canal de Xerta-Sènia, que incorporaran al voltant de 80.000 ha de superfícies noves.

Tanmateix, en tots els sectors d'activitat hi ha una demanda creixent dels recursos hídrics del país. Al sector agrari li correspon gestionar amb eficiència els recursos que té per al regadiu. Aquesta és la principal conseqüència de la nova cultura de l'aigua que emergeix en el conjunt de la societat. Es tracta de fer-ne un ús respectuós amb el medi ambient i solidari envers el conjunt de demandants.

Gestionar amb eficiència l'aigua de reg vol dir destinar als conreus els volums d'aigua imprescindibles per garantir les produccions i obtenir la màxima qualitat dels productes agrícoles. La gestió eficient passa per la mobilització de recursos, ajustada a les necessitats i disponibilitats, per la disposició de xarxes modernes de distribució i per l'aplicació de l'aigua al cultiu amb els mitjans tècnics que proporcionin el màxim estalvi.

Per tant, cal conèixer les necessitats ajustades d'aigua dels cultius al llarg del seu cicle productiu i també, el disseny i la utilització adequada de les instal·lacions de reg, per tal de treure el màxim profit de la tecnologia. Tenir un bon coneixement tècnic i saber conjugar tots aquests elements és, doncs, imprescindible.

En aquest context, dediquem el quart número del DOSSIER TÈCNIC a la gestió eficient de l'aigua de reg. Així, pretenem donar la màxima utilitat a les actuacions del Departament d'Agricultura, Ramaderia i Pesca encaminades a augmentar l'eficiència dels nostres regadius: la recerca i desenvolupament de l'IRTA, l'impuls de la construcció i modernització dels regadius per part de la Direcció General de Desenvolupament Rural, l'assessorament i la formació impartida per la Direcció General de

Producció, Innovació i Indústries Agroalimentàries i la contribució de les empreses públiques REGSA i REGSEGA.

En la mateixa línia, disposem sovint de la cooperació d'altres institucions, com les universitats públiques, les comunitats de regants i les empreses tecnològiques, i també de moderns instruments de comunicació com el portal RuralCat (www.ruralcat.net), que permet als regants conèixer puntualment les dosis de reg necessàries per als diferents cultius i per a les diferents parcel·les de l'explotació.

Desitgem, doncs, que aquest primer DOSSIER TÈCNIC de la sèrie dedicada al reg sigui molt útil per als regants actuals i futurs, i que alhora contribueixi a difondre la tasca que la Conselleria està impulsant per fer dels nostres regadius un instrument de progrés i sostenibilitat del sector agrari.

Edita: Direcció General de Producció, Innovació i Indústries Agroalimentàries del Departament Agricultura Ramaderia i Pesca.

dossier@ruralcat.net
www.ruralcat.net
www.gencat.net/darp

Foto portada: Inici del canal Segarra-Garrigues. S. Planas

ANÀLISI DE LES DADES PLUVIOMÈTRIQUES RESPECTE AL REG. CÀLCUL DE L'ET₀



Vista general de l'estació agrometeorològica automàtica situada a Alcanar (Montsià). Totes els sensors són situats a les altures que marquen les normes, com per exemple els mesuradors de velocitat i direcció del vent que són a 2 metres del sòl.

Cal també fer esment al sensor situat a l'esquerra de la fotografia, es tracta d'un radiòmetre net, col·locat a un metre d'altura, orientat a sud. Foto: A. Gázquez.



Vista general de l'estació situada als terrenys de l'IRTA a Cabriils (Maresme). En primer terme i en color gris, es pot veure un pluviòmetre manual. Foto: A. Gázquez.

01 Les precipitacions i l'evapotranspiració. El balanç hídric. Primera aproximació.

L'aigua és imprescindible per a la subsistència dels éssers vius. També és un bé escàs i, per aquesta raó, cal prendre consciència de la seva importància i de la limitació de recursos.

Si centrem l'estudi en les necessitats d'aigua dels conreus que serveixen com a aliment i com a font de riquesa, deduïm que la quantitat d'aigua que cal aportar a un cultiu és el resultat de la diferència entre la de les precipitacions (incloses les aportacions com la rosada) i la del consum de la pròpia planta i del sòl que l'alberga. Aquest resultat és el **balanç hídric**, el qual serà positiu si les precipitacions superen les necessitats de consum de les plantes i, negatiu en el cas contrari.

En les terres on les necessitats hídriques de les plantes són superiors a les aportacions de les pluges convé afegir l'aigua que constitueix aquest dèficit, sobretot si es vol tenir una producció abundosa i rendible. Aquesta situació es dona en territoris on les pluges són escasses o irregularment repartides, com és el cas de la major part de les zones agrícoles de Catalunya.

02 Les precipitacions

Per poder avaluar les necessitats d'aigua dels conreus, cal mesurar les precipitacions amb un sistema que resulti fiable. El pluviòmetre és l'instrument meteorològic d'ús més estès, que

permet obtenir aquesta mesura de forma molt senzilla. Els pluviòmetres són cilindres amb un dipòsit en el fons, on s'acumula l'aigua caiguda. Els dipòsits tenen un estret orifici d'entrada, per tal d'evitar l'evaporació que hi pugui haver després de la pluja i abans de la seva recollida. Es tracta d'uns aparells fàcils d'utilitzar i que gairebé no requereixen manteniment.

A més de conèixer la quantitat de les precipitacions, també interessa saber el lapse de temps en què cauen, és a dir la seva intensitat. Aquest segon paràmetre de mesura té molta importància -no sempre prou valorada- a l'hora de calcular la capacitat de retenció d'aigua del sòl i la velocitat d'escolament de la mateixa aigua. Per mesurar la **intensitat de precipitació** cal aparells de registre continu disponible (pluviògrafs) o sensors automàtics.

03 L'evapotranspiració. Conceptes

Després de preveure les aportacions, s'ha d'estudiar el consum, aspecte que resulta més complex. Apareix aquí el **concepte d'evapotranspiració**, que es defineix com la suma de la pèrdua de vapor d'aigua, com a conseqüència de l'**evaporació** sobre el terra i sobre els vegetals, més la **transpiració** de la cobertura vegetal, que consisteix en l'eliminació per evaporació d'una part de l'aigua absorbida per les plantes.

El procés d'evapotranspiració, amb dos components, depèn de diversos factors, com ara són:

- Els meteorològics o climàtics: la radiació solar que rep la coberta vegetal, la velocitat del vent a l'altura dels conreus (s'ha pres com a mesura estàndard internacional la de dos metres sobre el terra), la temperatura de l'aire i de la superfície i el contingut de vapor d'aigua de l'atmosfera.
- Els factors de la planta, que poden ser segons el tipus de coberta vegetal (aspectes morfològics, mida, disposició i albedo de les fulles) o bé factors relacionats amb l'altura de la coberta vegetal que condiciona la quantitat d'energia absorbida i la seva transferència o dissipació.
- Els factors edàfics, com ara són el contingut i la disponibilitat d'aigua, el règim tèrmic i l'albedo.

04 Els càlculs per obtenir els valors d'evapotranspiració.

La millor manera de calcular el consum d'aigua de les plantes per evapotranspiració és la mesura directa, que es pot fer mitjançant lisímetres. Cal tenir en compte, però, que són instruments complexos, que volen atenció contínua, que són difícils d'instal·lar i, econòmicament, de mantenir.

D'altres sistemes de mesura directa (balanç hidrològic, cambres tècniques i mesures del flux de calor) també són costosos, complicats de mantenir i, en alguns casos, poc estudiats i avaluats. Per aquest motiu, s'ha imposat el càlcul de l'evapotranspiració mitjançant càlculs indirectes, basats en fórmules obtingudes després de multitud de proves de validació.

En conseqüència, s'ha establert una sèrie de mots, que cal conèixer, relacionats amb el consum d'aigua:

- **L'evapotranspiració potencial (ETp).** És la quantitat d'aigua evaporada per unitat de superfície, en un temps donat, per una vegetació que cobreixi totalment el terreny i que tingui les seves necessitats hídriques satisfetes. Aquest concepte va ser introduït per Thornwaite (1948) i per al seu càlcul només cal dades de temperatures mitjanes mensuals de l'indret concret; el mes és la unitat temporal habitualment utilitzada.
- **L'evapotranspiració de referència (ETo).** Es tracta de la quantitat d'aigua evaporada per unitat de superfície, en un temps donat, en un conreu considerat de referència i que concretament és un prat cobert de gespa o de raigràs amb una alçada compresa entre 10 i 15 cm i amb les necessitats satisfetes. Segons les diferents fórmules emprades, la dada es pot donar en hores, dies o totals mensuals.
- **L'evapotranspiració real (ET).** Cal multiplicar la dada d'ETo pels coeficients de conreu (Kc), que són propis de cada espècie i varietat i depenen també de l'estat fenològic de la planta; queda, així, palesa la dependència de l'ET respecte del creixement i del desenvolupament de la planta.

Referent al càlcul de l'ETo, s'han desenvolupat diverses fórmules empíriques que tenen en compte diversos paràmetres i variables, tant meteorològics com d'altres tipus (rugositat del terreny, alçada de la vegetació, ...). La fiabilitat exactitud d'aquestes formulacions tenen bastant a veure amb les variables que contemplan i el tipus de clima propi dels llocs concrets on es vulguin aplicar. Així, si es disposa tan sols de dades de temperatures extremes diàries (màximes i mínimes) es poden fer els càlculs continguts a la fórmula de Hargreaves. La de Blaney-Criddle fa servir dades de temperatura mitjana i diferents coeficients que depenen de la latitud de l'indret triat.

S'han estudiat d'altres fórmules que donen diferents graus d'exactitud, tanmateix la més utilitzada és la basada en l'original de Penman (1949), que ha estat millorada per diversos autors (Monteith, entre ells) i que en el darrer enunciat que apareix publicat per la FAO (Allen i d'altres, 1998 (*)) dona com a resultats valors que es mostren força ajustats a la realitat, concretament per al cas de Catalunya.

05 Les mesures meteorològiques

La darrera fórmula de Penman-FAO (1998) és la que es fa servir en l'entorn de programes de la Xarxa Agrometeorològica de Catalunya (XAC), que gestiona el Servei Meteorològic de Catalunya (SMC), entorn on els usuaris poden consultar les dades d'ETo sense haver de realitzar els complicats càlculs. Els avantatges d'aquesta formulació passen pel bon grau de correspondència amb la realitat, avalada per força experiències i calibracions, tot i que cal disposar de diverses dades meteorològiques que obliguen a instal·lar sensors de mesura de diverses variables, algunes força usuals, com la temperatura, però d'altres no tan habituals, com la radiació solar i la velocitat del vent a 2 metres d'altura.

Fins a la darrera revisió de la fórmula de Penman calia disposar de dades directes de radiació neta, però sorgia la dificultat de mantenir en bon funcionament els aparells de mesura d'aquesta variable i, un entorn amb gespa o gramínies en perfecte estat (cosa força difícil i cara en països semiàrids com és gran part del nostre), així com el seu cost. En la darrera fórmula, aquesta radiació neta es pot deduir de la global, i resulta molt més senzilla i fiable en la mesura.

S'ha de fer constar que, a diferència d'altres càlculs, la fórmula de Penman-FAO permet obtenir l'ETo horària diària i el total mensual.

Cal esmentar, per últim, que les unitats que es fan servir són els mm o els m³/ha (1mm = 10m³/ha)

06 Algunes dades del balanç hídric de les zones agrícoles de Catalunya

En el quadre adjunt, es poden consultar les dades de precipitació, ETo i la seva relació (balanç hídric) de diferents indrets situats a les principals zones agrícoles de Catalunya.

Els valors han estat obtinguts, pel que fa a l'ETo de les estacions automàtiques de la XAC; es tracta de sèries de 16 anys com a màxim. Tot i que una sèrie es considera fiable a partir dels 30 anys, s'ha comprovat que l'ETo no presenta grans variacions interanuals. El cas contrari és la precipitació i, per això, les dades que apareixen han estat obtingudes d'estacions pròximes a les automàtiques, però de sèries molt més llargues.

Si es fa una l'anàlisi ràpida del quadre es pot comprovar que:

- La major part de les zones agrícoles de Catalunya presenten un balanç hídric negatiu, excepte la Garrotxa i algun punt d'Osona, fet que palesa la necessitat de fer servir l'aigua de reg per completar les necessitats hídriques dels conreus.
- Les comarques de la demarcació de Girona són les que tenen el balanç hídric negatiu

PRECIPITACIÓ I EVAPOTRANSPIRACIÓ DE REFERÈNCIA TOTALS ANUALS				
Dades d'estacions situades a les principals zones agrícoles de Catalunya				
ESTACIÓ	COMARCA	PRECIPITACIÓ	EVAPOTRANSPIRACIÓ	BALANÇ HÍDRIC
		(en mm)		
Vallfogona de Balaguer	Noguera	420	850	-430
El Poal	Pla d'Urgell	400	835	-435
Raimat	Segrià	420	850	-430
La Granadella	Garigues	420	960	-540
El Canós - els Plans de Sió	Segarra	465	840	-375
Ulldecona	Montsià	600	890	-290
Amposta	Montsià	565	810	-245
Benissanet	Ribera d'Ebre	455	980	-525
Constantí	Tarragonès	540	905	-365
Vinyols i els Arcs	Baix Camp	540	880	-340
Viladecans	Baix Llobregat	600	830	-230
Caldes de Montbui	Vallès Oriental	640	855	-215
Perafita	Osona	830	835	-5
Cabrils	Maresme	620	900	-280
Sant Martí Sarroca	Alt Penedès	510	940	-430
Cassà de la Selva	Gironès	690	810	-120
Mas Badia - la Tallada d'Empordà	Baix Empordà	670	805	-135
Sant Pere Pescador	Alt Empordà	660	805	-145
La Vall d'en Bas	Garrotxa	1020	800	220

menys acusat (entre 100 i 150 mm anyals)

- A les comarques de Barcelona, els resultats són força irregulars; l'ETo és més alta en la Depressió Prelitoral (Alt Penedès) que arran de costa. Les pluges, però, tenen un comportament contrari, fet que reforça aquestes diferències (de 200 mm a la costa fins a més de 400 mm de balanç negatiu a l'interior).
- A la demarcació de Tarragona, la Ribera

d'Ebre presenta el balanç més negatiu, per efecte de les precipitacions poc abundants les evapotranspiracions més altes de tot Catalunya. A la resta, sobretot al Delta de l'Ebre, el balanç hídric, tot i ser negatiu, no assoleix valors tan àrids.

- A la demarcació de Lleida hi ha un màxim negatiu a les Garrigues, a continuació del de la Ribera d'Ebre (més de 500 mm de mitjana, molt superior als darrers anys, for-

ça secs en aquelles comarques). A la resta de zones agrícoles de les Terres de Ponent, l'ETo supera el total de precipitacions, amb més de 400 mm any de mitjana.

(*) ALLEN, R et al (1998): *Crop evapotranspiration. Guidelines for computing crop water requirements. Fao irrigation and drainage paper*, 56.

Antoni Gázquez Picón

Coordenador d'Agrometeorologia. Servei Meteorològic de Catalunya.
Departament de Medi Ambient i Habitatge
agazquez@meteocat.com

CÀLCUL DEL COEFICIENT DE CULTIU EN LISÍMETRES DE PESADA



Vista general del lisímetre. Foto: J. Girona.



Detall del sistema de reg del lisímetre. Foto: J. Girona.

01 Introducció

Un aspecte crucial en el reg de plantacions comercials de fruiters és la determinació del consum i requeriments d'aigua. El mètode de programació de regs basat en el balanç d'aigua (Doorenbos and Pruitt, 1977) proposa avaluar els requeriments dels cultius (ETc) utilitzant l'evapotranspiració de referència (ETo), la qual es pot determinar a partir de dades climàtiques i representa l'evapotranspiració (ET) d'una coberta de gespa de 4 a 10 cm d'alçada. L'evapotranspiració de cultiu és, per tant, el resultat de multiplicar ETo per un paràmetre que ajusta la ETo a cada condició específica de cultiu. Aquest paràmetre és el coeficient de cultiu (Kc).

$$ETc = ETo * Kc.$$

Els tracta d'un mètode que s'aplica habitualment en el món agrícola, però cal tenir en compte que presenta dos punts febles:

1. Les determinacions d'ETo obtingudes en estacions agroclimàtiques poden ser poc precises si les estacions no es troben instal·lades d'acord amb uns requeriments estandaritzats o si el manteniment i el calibratge dels sensors no es fa amb una periodicitat adequada.
2. Els coeficients de cultiu utilitzats (que varien temporalment, segons una escala setmanal o quinzenal) no s'ajusten prou bé a les condicions específiques de conreu: varietat utilitzada, marc de plantació, orientació del cultiu, mida i forma de l'arbre, maneig de sòl i càrrega de fruit, entre d'altres.

En aquest sentit, referent a la complexitat per determinar els Kc, la FAO va publicar un monogràfic específic sobre aquest tema (FAO-056) (Allen et al., 1998). Els Kc no específics per a arbres fruiters divulgats amb anterioritat (FAO-024) (Doorenbos y Pruitt, 1977) només diferenciaven dos grans grups, els fruiters de fulla caduca i els de fulla

perenne. Aquesta excessiva simplicitat en l'ús dels Kc va comportar en certs casos resultats insatisfactoris. En un experiment de camp amb pereres formades en palmeta, en el qual es va utilitzar els coeficients de cultiu segons FAO-024, les aportacions d'aigua de reg d'un 70% dels requeriments calculats donaven produccions significativament superiors a les regades segons el 100% dels requeriments hídrics (Marsal et al., 2002). En aquest estudi es va remarcar que la discrepància entre produccions màximes i l'aplicació dels requeriments hídrics podia ser deguda: 1) a un error en el càlcul dels consums d'aigua o 2) al fet que el màxim consum hídric no coincidís amb la màxima producció (Marsal et al., 2002).

Amb l'objectiu de clarificar aspectes tan bàsics, es va construir un lisímetre de pesada de gran capacitat per mesurar consums d'aigua reals de pereres formats en palmeta. Els resultats publicats en aquest article són les primeres dades rellevants obtingudes, referents a perera.



Vista general interior lisímetre. Foto: J. Girona..



Detall cèl·lula de càrrega. Foto: J. Girona..

02 Material i mètodes

02.01 Descripció del lisímetre

L'estació lisimètrica de l'IRTA, localitzada en els camps experimentals de l'EEL-IRTA a Mollerussa, consta de dos lisímetres i una estació climàtica automatitzada. L'equipament està situat en dos parcel·les diferents (perera i pomera), al centre de les quals es va construir els lisímetres. La parcel·la de perera es va plantar al 1999 utilitzant el cv. Conference sobre portaempelt M-A i els arbres es van plantar a un marc de 4 m x 1,6 m. L'estació climàtica es va situar sobre una coberta de gespa a 20 m de distància dels lisímetres. Tot el conjunt comprèn una àrea total de quasi 2 ha (figura 1).

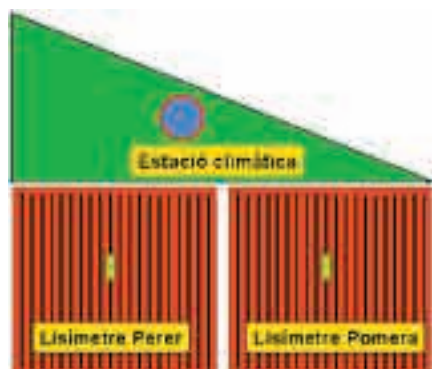


Fig. 1. Estació lisimètrica de l'IRTA. Distribució dels elements.

Els coeficients de cultiu (K_c) es varen determinar de la següent forma, ja que l' ET_c s'obté directament dels lisímetres i la ET_o a partir de l'estació climàtica (d'acord amb l'equació Penman-Monteith):

$$K_c = ET_c / ET_o$$

Cada lisímetre de pesada té un volum de contenidor de 17 m³, amb unes dimensions de 1,70 m de profunditat i una superfície real exterior de

9,5 m² (2 x 4,8 m). La profunditat de l'espai habitable és de 2,40 m. El sistema de pesada està format per 4 cèl·lules de càrrega, amb una capacitat de 15 tm, de tal forma que el conjunt pot pesar fins a un total de 60 tm. El sistema té una sensibilitat de 0,5 kg, que permet detectar consums d'aigua tan reduïts com 0,053 mm.

El conjunt es suporta sobre una construcció de ciment, amb un espai central obert dins el sòl on està situat el contenidor lisimètric, i una zona adjacent de proporcions inferiors permet l'accés a la zona habitable. La terra desplaçada per aquesta cavitat s'ha utilitzat per omplir i reconstruir el perfil del sòl en el contenidor lisimètric. La disposició de les capes de sòl originals es van preservar durant el procediment de càrrega del contenidor, però la densitat aparent del sòl original no es va reproduir per tal d'evitar problemes de compactació ulteriors. Cada contenidor té espai suficient per plantar tres arbres amb el mateix marc que els de la parcel·la (figura 2B).

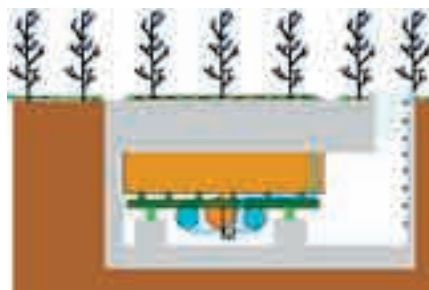


Fig. 2. Secció transversal del lisímetre. B). Accés a la zona no habitable.

Les cèl·lules de càrrega van connectades a un equip que controla i emmagatzema les dades, i que llegeix de forma contínua els valors de pes de cada contenidor. La diferència de pes entre hores seguides indica la quantitat d'aigua consumida en una hora concreta (inclou transpiració i evaporació). Ambdós valors, pes i consum d'aigua, es graven amb periodicitat horària.

L'aigua de drenatge i la destinada al reg estan emmagatzemades en recipients diferenciats (200 l en el recipient de drenatge, 100 l en cada un dels dos recipients de reg), que pengen del contenidor lisimètric. Els recipients de reg s'omplen diàriament, cada nit, segons la quantitat d'aigua consumida el dia anterior, que després s'utilitza per regar el lisímetre (figura 2A).

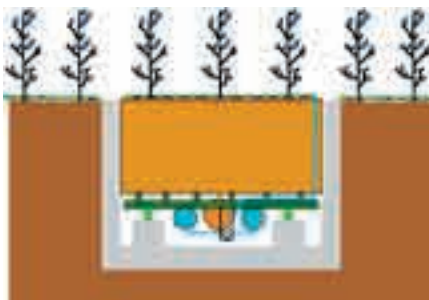


Fig. 2. Secció transversal del lisímetre. A). Detalls de l'equipament (contenidor, sistema de reg, cèl·lules de càrrega, recipients, etc.).

D'aquesta forma, el sistema permet la determinació dels consums d'aigua sense cap interferència de l'aigua drenada i l'aigua utilitzada per regar.

D'aquesta forma, el sistema permet la determinació dels consums d'aigua sense cap interferència de l'aigua drenada i l'aigua utilitzada per regar.

02.02 Procediments de control.

Les dades gravades es verifiquen diàriament i es comprova tot el sistema un cop a la setmana, per tal d'assegurar la precisió de les mesures. A més, es determina la intercepció de llum dels arbres en el lisímetre (LI) amb un ceptòmetre (Accupar, Decagon Devices Inc., Pullman, Wash., USA), també de forma setmanal. Es recullen les dades del ceptòmetre a partir de trenta-quatre lectures; trenta-dues en posicions pre-determinades a sota dels arbres i dues, a sobre de la coberta.

03 Resultats i discussió

L'evolució diürna dels valors observats d' ETC i d'ET_o en perera van resultar molt similars (figura 3), especialment quan part de la variabilitat en els valors d'ETc es va ajustar a una línia quadràtica. Els valors de Kc derivats dels càl-

culs diaris d'ETc i d'ET_o van presentar un patró estacional molt ben definit (figura 4). Aquest patró es va obtenir seguint el mètode d'Allen et al. (1998), segons el qual només s'inclouen en l'ajustament els valors inferiors de Kc, de forma que el component d'evaporació comprès en el consum total pel cultiu queda minimitzat. Els

dies de pluja l'evaporació del sòl augmenta, fet que comporta que també augmenti el Kc.

Els valors de Kc corresponents al període hivernal es van xifrar en 0,22 mentre que, a partir de la fase d'aparició de fulles i desenvolupament vegetatiu, es van incrementar paulatinament fins a

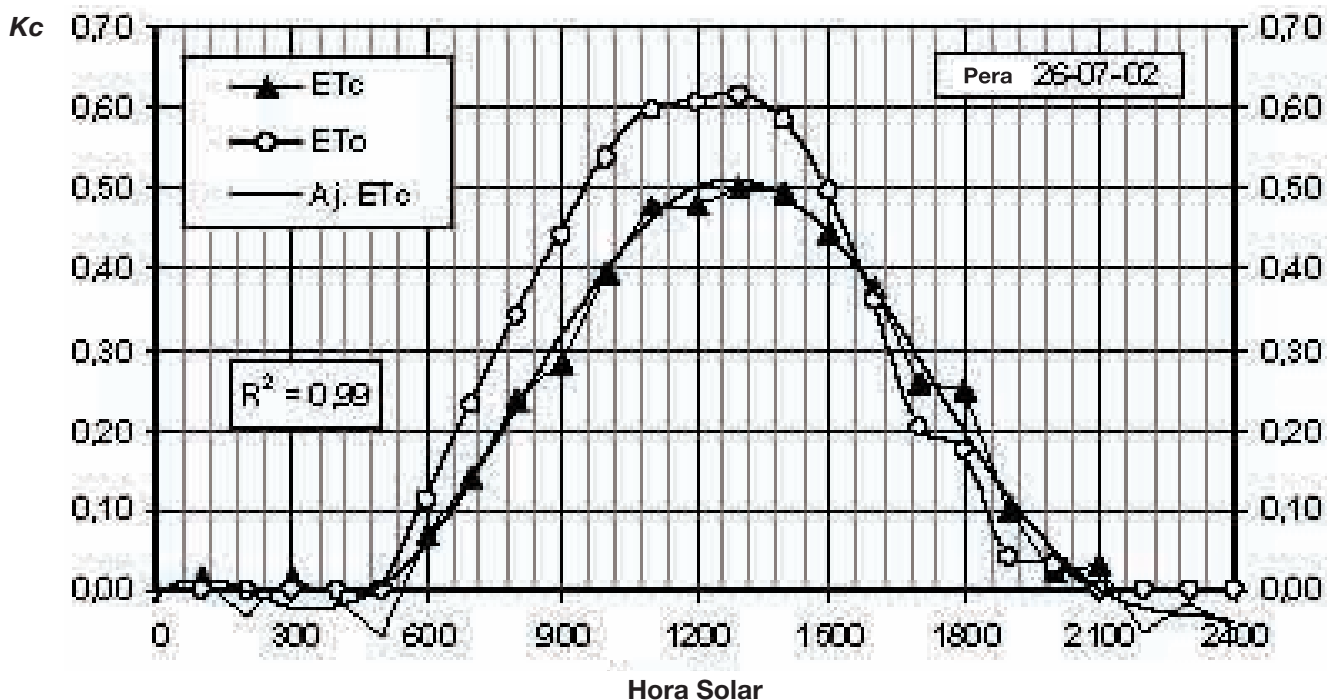


Fig. 3. Evolució diürna de l'evapotranspiració de referència (ET_o) (a partir de les dades de l'estació climàtica), evapotranspiració de cultiu (ET_c) (a partir de dades del lisímetre) i ET_c ajustada (Adj. ET_c).

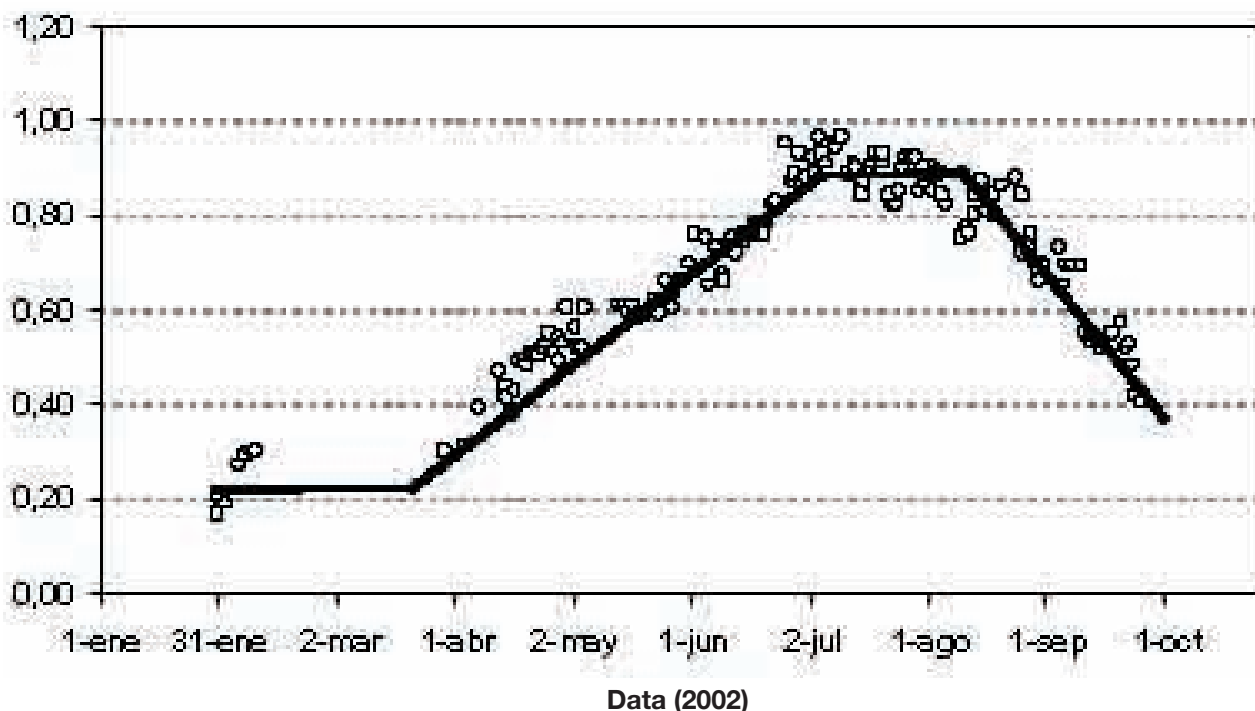


Fig. 4. Patrons estacionals dels Kc en perera segons les dades de l'any 2002. Valors obtinguts del lisímetre (cercles) i Kc (línies).

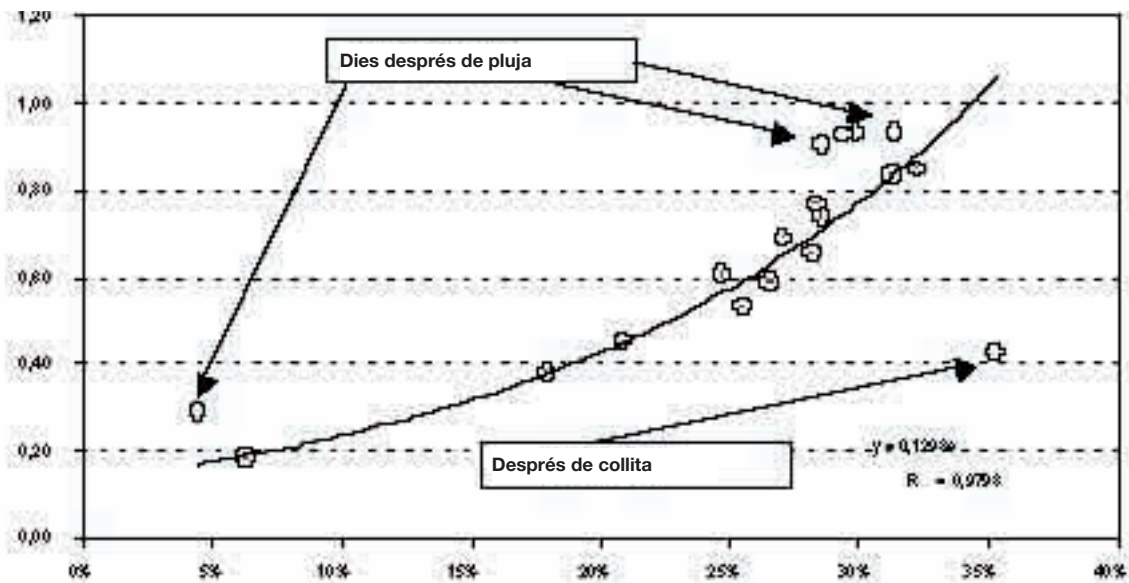


Fig. 5. Relació entre Kc i intercepció de radiació (IR) durant l'any 2002.

0,85. Durant el període d'estiu, amb els consums més alts d'aigua, els valors de Kc van resultar un 30% inferior al valor de 1,1 proposat per la FAO per al mateix període (Doorenbos and Pruitt, 1977). Aquests valors més baixos de Kc podrien ser deguts a la poca cobertura que normalment tenen els arbres formats en palmeta i també a les característiques d'arquitectura específiques d'una coberta d'aquest tipus, comparades amb d'altres com les d'un arbre format en vas. Encara que en el cultiu, durant l'any 2002, tingués uns valors d'intercepció de radiació (35%) molt similars als referenciats en parcel·les de perera formades en palmeta (38%) (Marsal et al., 2002), cal tenir en compte que els arbres eren de 4 anys i potser els valors màxims de Kc es podrien haver incrementat lleugerament durant l'estiu.

Un altra forma de considerar els efectes de la coberta sobre els valors de Kc és el sistema proposat per Johnson et al. (2000, 2002). Aquests autors han trobat en presseguir una correlació molt significativa entre la intercepció de radiació mesurada amb ceptòmetre i la Kc real mesurada amb lisímetre, vàlida per a diferents moments del desenvolupament del cultiu.

En el nostre estudi, el Kc i la intercepció de radiació han resultat també altament correlacionats (figura 5), tot i que en alguns dies específics, després de la collita i després de dies amb pluja, aquesta bona relació es trenca. Això passa perquè, després de la collita, quan no hi ha fruits a l'arbre, les fulles de perer baixen considerablement el seu ritme de treball i transpiren



Estació climàtica adjunta a l'estació lisimètrica. Foto: J. Girona.

menys aigua (baixen els Kc) però mantenen valors de superfície de fulla molt alts i, per tant, la intercepció de radiació continua essent alta. Quan els valors corresponents a dies plujosos i de postcollita no es consideren en la relació, s'obté una correlació altament significativa entre ambdós paràmetres, d'acord amb una funció exponencial ($R^2 = 0,9798$) $Kc = 0,1298 e^{5,9481 \cdot IR}$. Els resultats confirmen que la intercepció de radiació (IR) pot ser molt útil per estimar els Kc, tant per a presseguir com per a perera.

04 Bibliografia

- Allen, R.W., Pereira, L.S., Raes, D., and Smith, M., 1998. *Crop evapotranspiration. Guidelines for computing crop water requirements. FAO Irrigation and Drainage Paper 56. 300 pags.*
- Doorenbos and Pruitt, 1977. *Crop Evapotranspiration. FAO Irrigation and Drainage Paper 24. 180 pags.*

- Fereres, E., Pruitt, W.O., Beutel, J.A., Hemderson, D.W. Holzapfel, E., Schulbach, H., and Uriu, K., 1981. *Evapotranspiration and drip irrigation scheduling. En: Drip Irrigation Management. Fereres E. Tech. Ed., Division of Agricultural Sciences, University of California: (8-13).*
- Johnson, R.S., Ayers, J., Trout, T., and Hsiao, T. C., 2002. *Modelling young peach tree evapotranspiration. Acta Hort. 584:107-113.*
- Johnson, R.S., Ayers, J., Trout, T., Mead, R., and Phene, C., 2000. *Crop coefficients for mature peach trees are well correlated with midday canopy light interception. Acta Hort. 537:455-460.*
- Marsal, J., Mata, M., Arbonés, A., Rufat, J., and Girona, J., 2002. *Regulated deficit irrigation and rectification of irrigation scheduling in young trees: an evaluation based on vegetative and productive response. European Journal of Agronomie, 17: 111-122.*

J. Girona, J. Marsal, M. Mata, i J. del Campo
 Institut de Recerca i Tecnologia Agroalimentàries (IRTA)
 Àrea de Tecnologia Fructícola. Centre UdL-IRTA, Lleida.
 joan.girona@irta.es

LA GESTIÓ DE L'AGUA DE REG



Tanc evaporimètric i radiòmetre net per estimar la demanda evaporativa de l'ambient utilitzats per a la programació de regs. Foto: J. M. Villar.



Sistema de reg Pivot a la zona regada pel Canal d'Aragó i Catalunya amb problemes de uniformitat per l'ocurrència d'un vent moderat. Foto: J. M. Villar.

01 Les necessitats d'aigua dels cultius

En l'agricultura s'utilitza grans quantitats d'aigua de reg, necessària per augmentar l'obtenció d'aliments, de fibra i, cada cop més, d'energia. D'una banda, l'ús d'aigua de reg fa possible mantenir els nivells actuals de productivitat assolits a Catalunya; de l'altra, el sistema productiu, amb uns preus molt condicionats per l'economia mundial, es troba en fase de progressiva modernització i no podria suportar un encariment de l'aigua. Per aquest motiu, un dels principals reptes de l'agricultura actual és modernitzar els sistemes de reg i utilitzar tècniques de programació, amb l'ajut d'assessorament tècnic, per tal de fer un bon ús de l'aigua, que respongui a la demanda social.

Les directrius de l'Organització de les Nacions Unides sobre l'alimentació i l'agricultura, publicades ara fa 30 anys (Doorenbos i Pruitt, 1975) s'han utilitzat per estimar les necessitats d'aigua dels conreus a tot el món. La recent publicació de la FAO (Allen et al, 1998) és la referència actual sobre el tema.

La metodologia FAO permet fer estimacions de les necessitats d'aigua dels cultius conreats en camps grans, en condicions de disponibilitat d'aigua al sòl i de maneig excel·lents. Es basa en l'ús de l'evapotranspiració del cultiu de referència (ET_o) i d'un coeficient de cultiu (K_c).

L'ET_o és una mesura de la capacitat que té un ambient per evaporar l'aigua a través d'una coberta vegetal i està condicionada per la ra-

diació solar, la temperatura de l'aire, la humitat ambiental i la velocitat del vent. Actualment, el Servei Meteorològic de la Generalitat de Catalunya subministra aquesta informació, mitjançant la xarxa d'estacions meteorològiques automàtiques. L'ET_o es calcula a partir de l'equació de Penman-Monteith (Allen et al, 1998), segons la qual també s'ha recalculat les dades històriques del Servei Meteorològic anteriors a l'any 1998.

El coeficient de cultiu (K_c) representa una integració dels efectes de quatre característiques bàsiques: l'altura del cultiu, l'albedo (reflexió de la radiació solar) de la superfície sòl-planta, la resistència a la sortida del vapor d'aigua des de les fulles i l'evaporació directa de l'aigua des del sòl. És un valor que varia al llarg del cicle del cultiu i requereix una investigació local, contrastada pels serveis d'assessorament del reg. A Catalunya, la Unitat de Regs del Centre UdL-IRTA, que dirigeix el Dr. Girona, està realitzant aquesta tasca amb uns resultats molt interessants i de gran valor pràctic.

Per tant, la fórmula és:

$$ET_c = ET_o * K_c$$

El càlcul de l'evapotranspiració d'un cultiu (ET_c) proporciona una estimació de l'aigua que s'evapora a l'atmosfera des d'un camp de conreu, i inclou l'aigua transpirada (T) i l'aigua que s'evapora des del sòl (E). L'evapotranspiració (ET) s'expressa en mil·límetres d'altura d'aigua, igual que la pluja (mm o litres per metre quadrat) o en metres cúbics d'aigua per hectàrea (m³/ha).

Aquesta metodologia s'utilitza per conèixer les necessitats d'aigua dels cultius i fer programacions de regs setmanals (molt útil en sistemes de reg per aspersió i de reg localitzat) i també per fer calendaris de reg de l'any mitjà i per a diferents nivells de probabilitat d'ocurrència.

En anys excepcionalment secs, com aquest primer semestre de l'any 2005, on el subministrament d'aigua de reg pot ser limitat, les tècniques de programació ajuden a establir estratègies de reg o a decidir si cal disminuir la superfície de regadiu, com s'ha fet en algunes zones regables de la vall de l'Ebre.

02 La programació de regs

La programació de regs té per objectiu determinar:

1. Quanta aigua s'ha d'aplicar? És a dir, permet definir les quantitats d'aigua de reg a aportar (dosis de reg)
2. Quan s'ha de regar? Permet definir l'interval entre regs, és a dir, la freqüència dels regs.

En el moment de programar els regs, en els conreus i plantacions de Catalunya, és molt important tenir en compte els aspectes següents:

- **La salinitat.** Si la qualitat de l'aigua de reg no és l'adequada (per exemple, a partir de conductivitats elèctriques superiors a 0,6 dS/m) o hi ha sals solubles en el sòl (clorur sòdic o sulfat sòdic), cal preveure les necessitats de rentatge i eliminar aquest excés d'aigua mitjançant drenatges.

- **El contingut d'aigua al sòl en el moment de la germinació.** Per exemple, en l'emergència del panís o de la ceba, segons el tipus de sòl i les condicions ambientals de vent i humitat, cal regar amb dosis baixes, però molt sovint, per evitar l'encrostament.
- **El contingut d'aigua al sòl en el moment de la collita.** Per facilitar la recollida de l'alfals o del panís, o de qualsevol altre cultiu, el sòl ha d'estar en les condicions adequades i, per tant, cal adaptar la programació de regs.
- **El règim de pluges.** També cal adaptar la programació de regs al règim de pluges, ja que en els ambients semiàrids de Catalunya la variabilitat de la pluja és superior a la de l'Eto.
- **La textura del sòl.** En sòls de textures grosses i moderadament grosses (francarenosos) cal evitar un rentatge excessiu, que provocaria la pèrdua de nutrients. Convé, doncs, disminuir les dosis de reg i augmentar-ne la freqüència.
- **El cost energètic és un factor clau en la gestió de l'aigua a les comunitats de regants.** En aquest sentit, la programació de regs contribueix en el disseny de la instal·lació perquè sigui més eficient.

Les estratègies de la programació de regs també depenen dels objectius que es planteja l'empresari:

- Optimitzar la distribució de l'aigua disponible entre els cultius a regar
- Maximitzar els rendiments (quantitat i/o qualitat)
- Buscar un rendiment econòmic màxim
- Minimitzar els costos del reg
- Regar únicament en els moments crítics (d'utilitat en els regs de suport)
- Minimitzar la contaminació ambiental
- Optimitzar els rendiments amb una disponibilitat limitada d'aigua

Els regs deficitaris controlats són, per exemple, una estratègia que permet optimitzar la producció de fruita i la seva qualitat, sense haver d'aplicar la màxima quantitat d'aigua, fet que permet estalviar aigua. El Centre UdL-IRTA està duent a terme treballs de gran interès pràctic en aquest camp.

03 El balanç d'aigua al sòl

Per fer la gestió de l'aigua de reg, és fonamental conèixer la quantitat d'aigua que pot contenir el sòl, d'on les arrels de les plantes



Implantació d'un sistema de cobertura total per aspersió sobre un sòl amb horitzons càlcics i petrocàlcics. Aquests sòls poc productius en condicions de secà, són força productius amb un maneig adequat de l'aigua de reg i de la fertilitat. Foto: J. M. Villar.

extrauen els nutrients que necessiten. Cal tenir en compte que quan l'aigua entra al sòl (infiltració), es redistribueix i només en queda disponible una certa quantitat a la zona radicular, que serà utilitzada per les plantes d'una forma més o menys immediata, o a més llarg termini.

L'aigua al sòl està sotmesa a diferents forces que en condicionen la mobilitat, de les quals la força de la gravetat és la més important. Quan el contingut d'aigua és baix, ocupa porus més petits i és atreta, encara que dèbilment, per la matriu del sòl. Amb el temps, les forces de la gravetat provocaran que vagi sortint de la zona radicular i, si no se'n fa una aportació externa, el contingut d'aigua al sòl tendirà, a llarg termini, a ser pràcticament zero.

Fer un balanç de l'aigua al sòl, mitjançant l'equació de conservació de l'aigua, té la finalitat de predir el contingut d'aigua a la zona d'arrels.

Per realitzar una programació de regs amb l'aplicació del balanç d'aigua al sòl, cal estimar:

- La capacitat de retenció d'aigua disponible (CRAD)
- La profunditat d'arrelament
- El nivell d'esgotament d'aigua al qual es vol arribar
- L'evapotranspiració del cultiu (ETc)

04 La capacitat de camp (CC)

El concepte de capacitat de camp (CC) va ser definit com "la quantitat d'aigua que queda al sòl després que un excés d'aigua ha drenat i ha disminuït de forma important el moviment en profunditat, fet que té lloc entre dos i tres dies després d'una pluja o d'un reg en un sòl amb textura i estructura uniforme".

La CC s'estima pel contingut d'aigua al sòl que correspon a un potencial màtric de -33 kPa(*). En sòls arenosos, s'utilitza el contingut d'aigua que es correspon amb un potencial màtric de -10 kPa. Normalment, es determina en laboratoris que disposin de plats de pressió, però seria més precís determinar el contingut d'aigua al sòl dos dies després de pluges abundants o d'un reg, evitant l'evaporació des de la superfície.

05 El punt de marciment permanent (PMP)

El punt de marciment permanent (PMP) s'estima pel contingut d'aigua al sòl a -1.500 kPa(**) de potencial màtric. És un valor característic i constant per un sòl donat. Per sota d'aquest límit es considera que les plantes no poden extraure aigua.

06 La capacitat de retenció d'aigua disponible (CRAD)

La capacitat de retenció d'aigua disponible (CRAD) s'estima per la diferència entre els continguts d'aigua a capacitat de camp (CC) i el punt de marciment permanent (PMP).

Aquest concepte es calcula en mm/m o en mm quan es coneix la profunditat efectiva del sòl (la profunditat efectiva, de vegades, es denomina profunditat útil). La textura del sòl és la característica que més determina el valor de la CRAD. Per aquest motiu, i com a orientació, es presenta la Taula 1.

Els laboratoris de sòls especialitzats determinen aquestes paràmetres que són de molta utilitzat per gestionar l'aigua de reg.

(*) -0.033MPa = -33 kPa \approx -0.33 bar

(**) -1,5MPa = -1.500 kPa \approx -15 bar

Taula 1. Valors aproximats de la CRAD per a diferents textures del sòl

Textura del sòl	Interval mm/m	Mitjana mm/m
Arenosa grossa	50-70	60
Arenosa fina	75-95	85
Arenosa franca	90-110	100
Franc arenosa	105-125	115
Franc arenosa fina	120-140	130
Franc arenosa molt fina	130-150	140
Franc argilosa i argilosa	120-180	150
Franc argilosa llimosa i argilosa llimosa	140-180	160
Franc llimosa	160-210	185
Torbes i fers	160-250	210

07 El nivell d'esgotament permisible d'aigua (NEP)

El nivell d'esgotament permisible d'aigua (NEP) és un percentatge de la capacitat de retenció d'aigua disponible (CRAD), que s'estableix com a referència en la programació de regs.

És un concepte de molta utilitat en els regs per aspersió, i en els regs per superfície si es pot escollir els intervals de reg. En ocasions, està relacionat amb el contingut d'aigua del sòl, per sota del qual pot afectar el rendiment o la qualitat de la producció i, per tant, és variable segons el cultiu. Aquest paràmetre és la base

Exemple de càlcul

Un laboratori de sòls ens informa que tenim un sòl uniforme, molt profund i sense pedregositat, amb les següents dades dels continguts d'humiditat a capacitat de camp i punt de marcimient permanent.

$$\theta_{CC} = 0,31 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}; \theta_{PMP} = 0,14 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$$

La CRAD en mm/m s'estima com

$$\theta_{CC} - \theta_{PMP} = 0,31 - 0,14 = 0,17 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}; \text{ equivalent a } 170 \text{ mm/m}$$

Si la profunditat d'arrelament (P_r) és 1 m

$$CRAD = 1000 (\theta_{FC} - \theta_{WP}) P_r = 1000 (0,31 - 0,14) * 1 = 170 \text{ mm}$$

CRAD (Contingut d'aigua disponible en el sòl a la zona radicular) en mm; θ en $\text{m}^3 \text{ m}^{-3}$; P_r en m

En el sòl de l'exemple anterior es vol regar, per aspersió, un cultiu d'espinaçs (*Spinacia oleracea*) que té una profunditat màxima efectiva d'arrelament (Z_e) de 0,4 m. L'altura d'aigua (d) ens indica la quantitat d'aigua que emmagatzema el sòl respecte a la profunditat efectiva que exploren les arrels de les plantes cultivades. L'ús d'aquestes unitats és molt pràctic, ja que permet la comparació directa amb les mesures de l'aigua de pluja o de l'evaporació, que normalment s'expressa en altures d'aigua.

Si el nivell d'esgotament permisible (NEP) és del 30 %, la quantitat d'aigua disponible, en mm, es calcularia de la forma següent:

$$d = 170 \frac{\text{m}}{\text{m}} * 0,4 \text{ m} = 68 \text{ mm}$$

$$D_{netes} = 68 \text{ mm} * \frac{30}{100} = 20,4 \text{ mm} \sim 20 \text{ mm}$$

La condició per regar seria que la disminució acumulada d'aigua al sòl des de capacitat de camp arribi als 20 mm. Aquesta quantitat es correspon amb el volum net d'aigua a aplicar (D_{netes}) i equival a 200 m^3/ha .



Plantació de presseguers amb sistema de reg per degoteig damunt d'un sòl amb baixa capacitat de retenció d'aigua per la presència d'un horitzó petrocàlcic prop de la superfície. La programació de regs permet ajustar la freqüència i dosi dels regs i fer que aquest sòl sigui molt productiu. Foto: J. M. Villar.

estratègica per a la presa de decisions en la programació de regs, ja que determina la dosi (quant regar) i la freqüència (quan regar). En conreus extensius com el panís és un valor entre un 40 i un 60% i que varia al llarg del cicle del cultiu.

En els sistemes de reg localitzat, on es pot donar més d'un reg al dia, aquest concepte no és de gaire utilitat.

El contingut d'aigua en el bulb humit es procura mantenir prop de la capacitat de camp. Com que les necessitats d'aigua dels cultius (ETc) poden variar molt d'una setmana a l'altra, les necessitats d'aigua de reg, també. Això obliga a modificar cada setmana els programadors i a ajustar els temps de reg a la capacitat de subministrar aigua del sistema.

08 Les necessitats de reg

Els serveis d'assessorament al regant també informen de les quantitats de pluja i aporten una estimació de la pluja efectiva (P_e), pluja que realment s'emmagatzema en el sòl.

Per realitzar una programació setmanal, que és el més freqüent, s'ha de calcular la diferència entre la ETc i la P_e ($ETc - P_e$).

Les necessitats de reg netes (D_{netes}) representen la quantitat d'aigua que s'emmagatzema a la zona d'arrels per a ser utilitzada pel cultiu.

$$D_{netes} = CRAD \cdot Pr \cdot NEP$$

Les necessitats brutes d'aigua de reg (D_{brutes}) depenen de l'eficiència d'aplicació d'aigua a nivell de parcel·la (Ea), en tant per u.

$$D_{brutes} = \frac{D_{netes}}{Ea}$$

Sistema de reg	Eficiència mitjana durant tot el període de reg	Eficiència en els moments punta de reg
Superfície	0,55-0,84	0,70-0,87
Aspersió	0,67-0,90	0,55-0,90
Degoteig	0,74-0,95	0,74-0,95

Taula 2. Interval típic d'eficiències d'aplicació d'aigua a nivell de parcel·la (Martin et al., 1990)

Per exemple, en el cas d'un reg per degoteig, amb una $Ea=0,95$ i la suma setmanal de $(ETc - Pe) = 38$ mm, la dosi bruta d'aigua diària a programar seria:

$$D_{brutes} = \frac{38}{7} \cdot \frac{1}{0,95} = 5,7 \text{ mm/dia}$$

La condició per al reg, en el cas de regs per aspersió i de regs per superfície, es compleix quan:

$$\sum_{i=1}^n (ET_c - P_e) = D_{netes} = CRAD \cdot Pr \cdot NEP$$

L'interval entre regs, I_R , ve donat per la relació:

$$I_R = \frac{D_{netes}}{(ET_c - P_e)}$$

Per exemple, si $D_{netes} = 48$ mm i les condicions d'un dia mitjà són $(ETc - Pe) = 8$ mm l'interval de regs seria de 6 dies. L'interval de regs s'utilitza quan es disposa d'un calendari de regs per fer els ajustaments necessaris.

09 La programació de regs d'acord amb la metodologia FAO

Per fer una programació de regs d'acord amb la metodologia FAO, en el cas de cultius extensius, els passos a seguir són:

- Calcular l'ETo.
- Determinar el coeficient de cultiu segons la fase del cultiu (Kc). En el cas d'establir

calendari de regs per a un any mitjà, cal tenir molt ben definides les fases del cultiu a la zona on es vol fer la programació; és molt diferent, per exemple, el cicle d'un conreu de panís al Baix Empordà del cicle d'aquest mateix conreu al Pla d'Urgell.

- Determinar l'ETc.
- Determinar la pluja efectiva (Pe).
- Determinar les necessitats de reg netes. Per fer aquest càlcul, cal tenir informació provinent d'un laboratori sobre les característiques del sòl, com la textura i la capacitat de retenir aigua en forma disponible.
- Determinar les condicions per efectuar el reg.
- Determinar les necessitats de reg brutes. Per això, cal conèixer aspectes com la qualitat de l'aigua i cal tenir avaluat el sistema de reg.

En el cas de plantacions de fruiters, el càlcul és una mica més complicat, perquè cal ajustar el Kc segons la varietat i el portaempelt, el marc del sistema de plantació. Els serveis d'assessorament al regant han de donar directrius dels regs a realitzar per als diferents cultius i sistemes utilitzats en cada zona.

En algunes explotacions és recomanable utilitzar sensors per fer un seguiment i control dels continguts d'aigua al sòl, de l'estat hídric de la planta o per tenir dades meteorològiques registrades localment, especialment en condicions microclimàtiques determinades, o quan hi ha una variabilitat molt alta dels tipus de sòls.

En els propers anys, els avenços en precisió i exactitud de les mesures i en automatització permetran ajustar els programadors de regs amb aquests instruments.

10 La gestió de l'aigua de reg a Catalunya

Els regadius de Catalunya, que ocupen prop de 256.000 ha, es caracteritzen per una gran diversitat de sistemes de reg: de superfície, per aspersió i localitzat.

Els sistemes de reg per aspersió i de reg localitzat suposen un 31% del total, és a dir, unes 79.000 ha. A les noves zones de regadius (com la zona Algerri-Balaguer o la comunitat de regants de Carrassumada) el 100% dels sistemes de regadiu són a pressió, més eficients, fet que permet programar els regs, ajustar els intervals i les dosis a les necessitats reals d'aigua i millorar, en definitiva, la gestió de l'aigua. La

modernització dels regadius tradicionals permetrà transformar els sistemes de reg i aplicar les noves tècniques de programació.

En aquest sentit, el Servei de Transferència Tecnològica del Departament d'Agricultura, Ramaderia i Pesca, a través RuralCat, estableix recomanacions i contribueix a millorar l'ús de l'aigua de reg.

Fer programacions de reg no és gens fàcil, convé que hi hagi personal preparat i amb formació per dur a terme aquesta tasca. Les comunitats de regants, que fan la distribució de l'aigua a nivell de parcel·la, són les institucions més ben posicionades per donar aquests serveis.

Per tal de millorar el sistema de recomanacions, sobretot pel que fa a les plantacions de fruiters, caldria establir una forta interacció entre els regants, donada la seva experiència, i el servei d'assessorament, ja que d'una altra manera no seria de gaire utilitat.



Tomàquet per a indústria amb coberta de PE negra per sota del qual va el sistema de reg per degoteig. Aquest sistema permet que la major part de l'aigua aplicada sigui transpirada per la planta i es redueixi l'evaporació d'aigua des del sòl. Al mateix temps permet unes bones condicions microclimàtiques. Foto: J. M. Villar.

11 Bibliografia

- Allen, R.G.; Pereira, L.S.; Raes, D., Smith, M. 1998. *Crop evapotranspiration. Guidelines for computing crop water requirements*. FAO Irrigation and Drainage paper 56. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome, 300 pp.
- Doorenbos, J. Pruijt, W. O. 1975. *Guidelines for predicting crop water requirements*. Irrigation and Drainage Paper 24, Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome, 179 p.
- Martin D.L.; Stegman E.C.; Fereres, E. 1990. *Irrigation scheduling principles*. In Hoffman, G.J.; Howell, T.A.; Solomon, K.H. (eds.). *Management of Farm Irrigation Systems*. ASAE Monograph, St Joseph.

Josep M. Villar Mir

Catedràtic d'Universitat. Departament de Medi Ambient i Ciències del Sòl. Universitat de Lleida. jmvillar@macs.udl.es

CAS PRÀCTIC DE PROGRAMACIÓ DE REGS, CÀLCUL DE LES HORES DE REG, A PARTIR DE L'ETC

01 Introducció

Suposem que volem establir i programar les necessitats de reg del nostre conreu. Per això, comptarem amb dos exemples: un conreu extensiu (alfals) amb reg per aspersió i un conreu intensiu fructícol (presseguer) amb reg localitzat per goteig.

Per trobar les quantitats d'aigua que cal aportar, farem ús de la coneguda fórmula:

$$ETc = Kc \cdot ETo$$

En primer lloc, desglossem aquests factors:

- L'ETc o evapotranspiració de conreu equivaldrà a les seves necessitats netes d'aigua; entenem que, per balanç hídric, la quantitat d'aigua que evapotranspira el nostre conreu és la que li hem de restituir. Ara bé, quan realitzem els càlculs d'aportació d'aigua, haurem d'incrementar aquesta quantitat perquè la planta no aprofitarà tota l'aigua del reg (una part es perdrà per evaporació, escorrent i/o percolació).
- La Kc o coeficient de cultiu és un valor corrector que varia al llarg del cicle de cultiu.



Comptador volumètric d'agua. Foto: J. S. Minguet

Està tipificat en taules per a cada tipus de cultiu. En l'exemple fructícol efectuarem, a més a més, una segona correcció (utilitzant un Kc' corregit), ja que, per un mateix marc de plantació, no pot ser igual el consum d'aigua d'una plantació jove de fruiters que el d'una plantació adulta (cal tenir en compte la massa foliar de cadascun).

- La ETo o evapotranspiració de referència és el valor d'evapotranspiració d'un cultiu (gespa) que s'agafa com a referència.

Per trobar-lo, si bé hi ha mètodes simples basats en dades d'hores llum i de temperatures mitjanes mensuals (mètode Blaney-Criddle), utilitzarem els resultats facilitats per la Xarxa Agrometeorològica de Catalunya (XAC), en particular de l'estació meteorològica que tinguem més propera (i per tant, més representativa). Aquests resultats vindran expressats en mm/setmana (que corresponen lògicament als dies anteriors a la consulta).

Exemple 1 - Conreu extensiu d'alfals, amb reg per aspersió.

Disposem de les dades següents:

- Cultiu d'alfals, en el moment actual la seva Kc = 1,10.
- L'evapotranspiració de referència de la setmana anterior (ETo): 25,9 mm (litres per cada metre quadrat).
- La precipitació efectiva de la setmana anterior és 0,0 mm.
- El sistema de reg és per aspersió amb cobertura, marc d'aspersió 18m x 18 m, amb un cabal unitari de l'aspensor de 1.000 l/h.
- Tenim un sol sector de reg que cobreix una superfície de 0,81 ha.

(En el cas de tenir més d'un sector, triarem el de major nombre d'aspersors. Així trobarem també el cabal mínim necessari de la bomba de reg.)

Volem trobar les necessitats de reg de la setmana i el temps de reg diari.

Primer, calculem les necessitats hídriques de la setmana (o necessitats netes) que, per balanç hídric, han de correspondre a l'ETc setmanal. Així:

$$ETc = 1,10 \cdot 25,9 = 28,5 \text{ mm} = \text{Necessitats netes de reg totals a la setmana.}$$

(Nota: Com que la precipitació efectiva de la setmana és 0 mm, les necessitats netes continuen valent el mateix; necessitats netes = ETc - precipitació efectiva)

Si tenim en compte que la planta no aprofitarà tota l'aigua que aportem, estimarem una eficiència del reg d'un 80% (aquest, lògicament, variarà segons els condicionants articulars), i llavors les necessitats brutes de reg (o aigua realment aportada) serà :

$$28,5 \text{ mm} / 0,8 = 35,6 \text{ mm}$$

(litres que cal aportar en un metre quadrat en una setmana).

Després, volem trobar el cabal específic del nostre sistema de reg:

$$18 \text{ m} \times 18 \text{ m} = 324 \text{ m}^2$$

(superfície que li correspon a un aspensor).

$$8.100 \text{ m}^2 / 324 \text{ m}^2 = 25 \text{ aspersors.}$$

$$25 \times 1.000 \text{ l/h} = 25.000 \text{ l/h}$$

(cabal del nostre sistema de reg. S'entén que disposem d'una bomba que ha de ser capaç de donar-lo -cabal mínim necessari-)

$$25.000 \text{ l/h} / 8100 \text{ m}^2 = 3,1 \text{ l/h} \cdot \text{m}^2$$

(cabal específic; litres que és capaç d'aportar el reg en una hora en un m²).

Ara, si volem regar cada dia, hem d'aportar al terreny:

$$35,6 / 7 \text{ dies setmana} = 5 \text{ mm al dia.}$$

$$5 / 3,1 = 1,6 \text{ h} \text{ (hores de reg diàries que hem de posar al programador aquesta setmana).}$$

Exemple 2 - Conreu intensiu de préssec, amb reg localitzat per goteig

Disposem de les dades següents :

- Cultiu de préssec d'agost en formació de palmeta i marc de plantació 4 m x 3 m.
- En el moment actual, la seva $K_c = 1,10$.
- L'evapotranspiració de referència de la setmana anterior (ET₀): 20,8 mm (litres per cada metre quadrat).
- La precipitació efectiva de la setmana anterior és 0,0 mm.
- El sistema de reg és localitzat per goteig amb 6 emissors per arbre i un cabal unitari de 4 l/h
- Tenim un sol sector de reg que cobreix una superfície de 1,5 ha (en el cas de tenir més d'un sector, triarem el de major nombre de goters. Així obtindrem també el cabal mínim necessari de la bomba de reg).

Volem trobar les necessitats de reg de la setmana i el temps de reg diari.

En el cas de plantacions de fruiters, si bé el plantejament de càlcul és el mateix que en l'exemple anterior, farem una correcció de la K_c del cultiu, i la transformarem en una K_c' adaptada a l'espai ocupat per la vegetació en funció de la seva edat i el tipus de formació. Una plantació jove de préssecs, que faci ombra a un 20% del sòl, evapotranspirarà menys aigua que la mateixa plantació adulta (en el mateix marc) que cobreixi un 70% o més. La primera, en el balanç hídric, consumirà menys aigua. Referent a aquest aspecte, l'IRTA ha desenvolupat un factor d'ombrejament a Catalunya:

$$F = -0,0194 * SO^2 + 2,8119 * SO - 1,0080.$$

SO és el percentatge (%) de superfície que ocupa la projecció a terra dels arbres. Així:

Plantació en palmeta

$$SO = \frac{100 * a}{a + c}$$

a = amplada de la filera d'arbres (m)
c = amplada del carrer entre fileres d'arbres (m)

Plantació en vas

$$SO = \frac{100 * \Pi (d/2)^2}{m}$$

m = marc plantació en m²
d = diàmetre mitjà de la capçada dels arbres
La K_c' resultant serà:

$$Kc' = Kc * \frac{F}{100}$$

En l'exemple:

$$SO = \frac{100 * 0,5}{0,5 + 4} = 11,11 \%$$

$$F = -0,0194 * 11,11^2 + 2,8119 * 11,11 - 1,0080 = 27,84$$

$$F/100 = 0,2784 \quad Kc' = 0,66 * 0,2784 = 0,18$$

$$ETc = 0,18 * 20,8 = 3,82 \text{ mm (en una setmana)}$$

El nostre cultiu necessita 3,82 l/m² en una setmana. Com que no hi ha precipitació efectiva, ho hem de aportar tot amb el reg localitzat. Si considerem una eficiència de reg del 90%:

$$\frac{3,82}{0,9} = 4,24 \text{ mm (l/m}^2 \text{ a aportar en una setmana)}$$

Com que tenim :

$$\begin{aligned} &6 \text{ emissors / arbre} \\ &\text{Cabal unitari emissor} = 4 \text{ l/h} \\ &1 \text{ arbre equival a } 4 * 3 = 12 \text{ m}^2 \end{aligned}$$

$$\frac{24 \text{ l/h}}{12 \text{ m}^2} = 2 \text{ mm / hora (cabal específic del reg)}$$

Per tant,

$$\frac{4,24 \text{ mm}}{2 \text{ mm / h}} = 2,1 \text{ h (temps de reg aquesta setmana)}$$

Si reguem diàriament:

$$\frac{2,1}{7} = 0,3 \text{ h} = 18 \text{ minuts al dia}$$

El cabal mínim necessari de la bomba serà :

$$2 \text{ mm/hora} * 15.000 \text{ m}^2 = 30.000 \text{ l/h}$$

Per saber la quantitat d'aigua que aportaríem diàriament a la parcel·la d'1,5 ha, aquesta setmana:

$$\frac{4,24}{7} * 15.000 \text{ m}^2 = 9.086 \text{ litres al dia}$$

El resultat és particularment útil si els goters no són del tot uniformes en l'aportació del seu cabal unitari de 4 l/h. Només cal programar el sector en forma de volum en lloc de temps i així, fins que no es descarreguin els litres prefixats, no pararà la bomba.

02 Observacions

- Es poden fer manualment el dos exemples, si disposem de l'ET₀ setmanal i de la K_c corresponent, i també es pot consultar l'aplicació de recomanacions de reg del portal www.ruralcat.net; només cal introduir les dades que demana el nostre conreu i, automàticament, l'estació meteorològica més propera realitza els càlculs i dóna els resultats per ha de cultiu.
- S'entén que aquests càlculs cal fer-los cada setmana per aplicar les dosis corresponents actualitzades. En aquest sentit, és adient treballar amb un full de

càlcul, amb els resultats en una plantilla, i actualitzar les dades de l'estació meteorològica. L'aplicació de **ruralcat** també envia via SMS les dosis actualitzades de reg, si es desitja.

- No oblidem que les dosis i els temps de reg obtinguts tenen un valor de referència. Així, amb l'experiència, cadascú podrà ajustar l'eficiència i el marge en els càlculs. Cal tenir en compte també que, perquè es pugui aplicar amb fiabilitat aquest mètode de balanç hídric, és convenient que inicialment el terreny es trobi pròxim a la seva capacitat de camp. Si no és així, cal una aportació inicial d'aigua.

d) En terrenys amb altes concentracions de sals, s'hi pot aportar amb el reg per goteig una quantitat extra d'aigua. Aquesta "fracció de rentatge" s'afegeix a les necessitats brutes diàries de reg.

- En cas de tenir més d'un sector, el temps total de reg resulta de la suma de tots els temps parcials, i ha d'estar dins de la jornada diària prevista per al reg (si és possible, fora de les hores de més insolació).

Josep Esquerda Baiget
Professor de l'Escola de Capacitació Agrària d'Alfarràs. DARP
jesquerda@gencat.net

SISTEMES DE MESURA D'AIGUA AL SÒL



Material per a determinar el contingut volumètric d'aigua al sòl per gravimetria. Foto: J. R. Gisbert



Sensor elèctric i lector per mesurar l'aigua al sòl. Foto: J. R. Gisbert

01 Introducció

Per tal de dur a terme una programació del reg correcta, és fonamental determinar quin és el moment idoni per a regar i definir quina és la quantitat adient d'aigua que cal aportar a un cultiu, per què aquest estigui ben irrigat.

Els avenços i coneixements tecnològics que s'han assolit a les darreres dècades envers la programació del reg, orienten a considerar que l'aigua al sòl, la fisiologia de la planta i el microclima del medi són processos altament relacionats.

En aquest sentit, n'és un bon exemple el **Mètode del Balanç Hídric (MBH)**, tan emprat avui en diversos sistemes de programació informatitzada, bàsicament en cultius intensius i en sistemes de reg per microirrigació.

L'expressió simplificada d'aquest mètode fa un balanç de les necessitats efectives o netes d'aigua d'un determinat cultiu, en funció de les pèrdues per evaporació des del sòl i per transpiració del propi cultiu, respecte a les aportacions per pluja útil o efectiva més l'aigua de reserva emmagatzemada al sòl.

$$N_n = P_e - ET_c \pm R_w$$

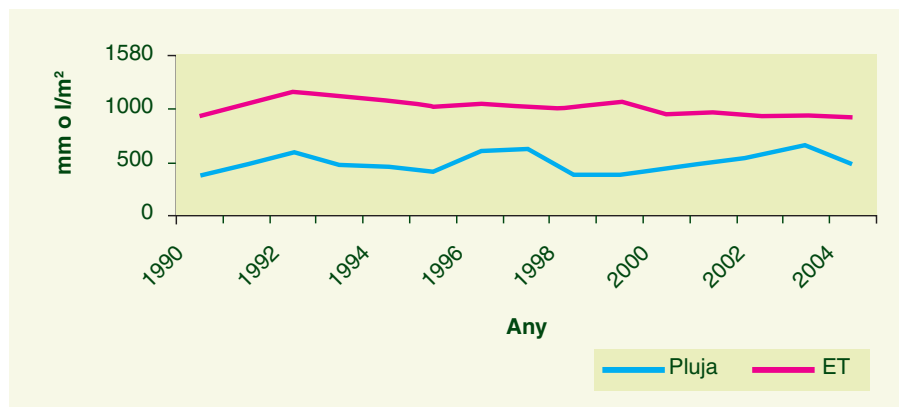
N_n = Necessitats netes del cultiu (mm o l / m²).

P_e = Pluja efectiva (mm o l / m²).

ET_c = Evapotranspiració del cultiu (mm o l / m²).

R_w = Reserva d'aigua al sòl (mm o l / m²).

En un clima xerotèrmic-mediterrani, càlid i sec (classificació bioclimàtica UNESCO-FAO) com el que tenim en general a Catalunya, les aportacions pluviomètriques efectives (P_e) no són suficients per a satisfer la demanda evapotranspirativa del cultiu (**Gràfic 1**).



Gràfic 1. Evolució anual (1990-2004) de la pluja (mm) i l' ET_c (mm) a la comarca del Tarragonès. (Estació Agroclimàtica de Mas Bové).

Per aquesta raó, cal tenir en compte que l'aigua present en el sòl en forma de reserva (R_w) té un paper molt important en aquest balanç i reporta grans possibilitats d'estalvi en la programació del reg. En aquest sentit, un estudi comparatiu (**Taula 1**) indica un estalvi superior al 50%.

Període / Lloc	Reus		el Prat de Llobregat	
	T_1 (mm)	T_2 (mm)	T_1 (mm)	T_2 (mm)
Juny	50	78	66	74
Juliol	69	95	47	92
Agost	56	69	54	68
Setembre	16	50	18	49
Total (mm)	191	292	185	283

Taula 1. Consum (mm) d'aigua de reg en dos jardins públics (Reus i el Prat de Llobregat), durant el període de juny a setembre de 2004.

T_1 : Control de reserva d'aigua al sòl.

T_2 : No control de reserva d'aigua al sòl.

(Estudi experimental sobre necessitats hídriques a la jardineria municipal. Dades no publicades. Gisbert, J.R, Savé, R; Biel, C; García, J.A ; 2004).

El sòl és un medi porós amb característiques físiques, químiques i biològiques molt diferents, determinades pels seus processos formatius i per la freqüència i intensitat en què aquests han succeït al llarg de la seva història.

És per això que els sòls presenten una àmplia variabilitat respecte a la mida dels seus components (elements grossos, arena, llim, argila) que, barrejats en diferents proporcions, generen una variada col·lecció de classes texturals de porositat.

Així mateix, segons els tipus d'agregats constituïts, l'estructuració pot variar des dels sòls sense estructura als sòls amb blocs molt cohesionats. Cal recordar, també, que el sòl presenta una major o menor presència de sals (naturals o aportades) i matèria orgànica (fresca o madura) que dóna lloc a processos o situacions ben diferents de cohesió i compacitat.

Si a tot això s'afegeix que el sòl és un medi anisotròpic, on totes aquestes característiques solen canviar en fondària, es pot intuir que el seu comportament respecte a l'aigua també serà altament variable o poc previsible.

Aquesta situació obliga a disposar de mitjans tècnics altament qualificats, els quals s'han de saber manejar i interpretar de manera correcta per tal de treure el millor benefici de les propietats hidrològiques de cada sòl.

02 Paràmetres hidrològics

Quan s'aporta aigua al sòl mitjançant un sistema de reg localitzat d'alta freqüència o de microirrigació, aquesta es desplaça tant en sentit vertical (en fondària) com en sentit horitzontal (en superfície), a partir d'un irrigador (degotador, difusor, microaspersor, exsudació).

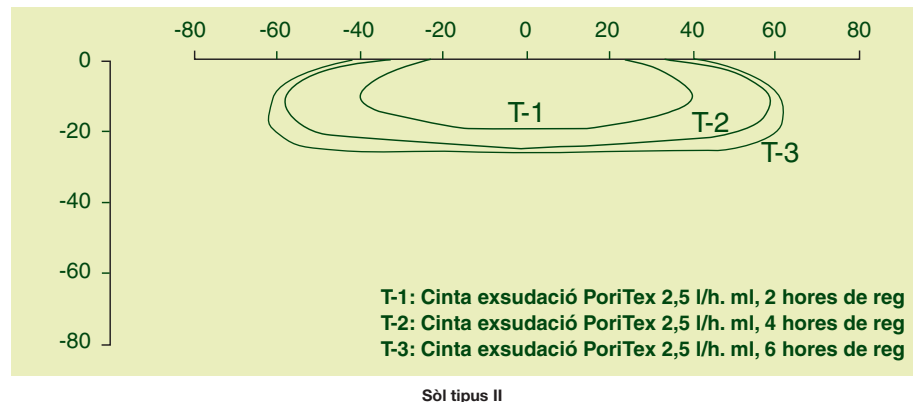
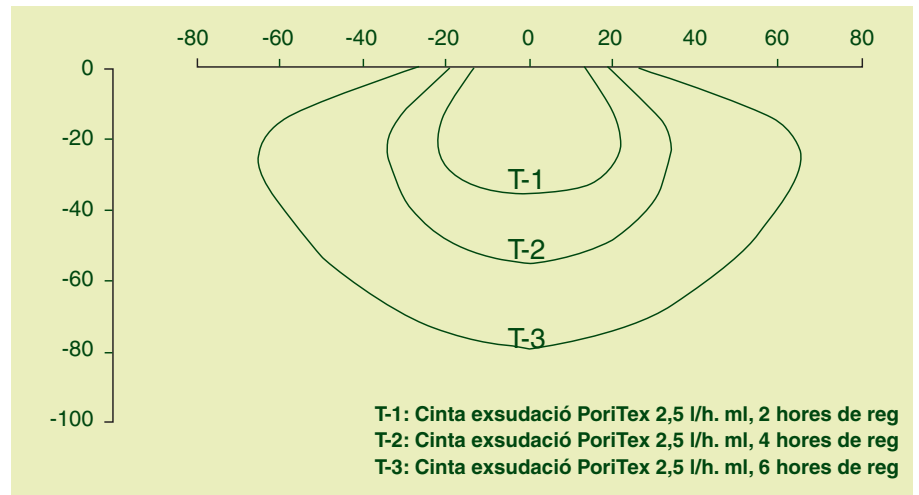
El volum de sòl humit (VSH) generat tindrà dimensions variables segons les característiques fisicoquímiques del propi sòl, la humitat inicial abans de començar el reg, el tipus d'irrigador instal·lat (per degoteig o polvorització), el cabal aplicat (l/h) i el volum total aportat (litres) (**Gràfic 2**).

L'aigua, en el seu procés de desplaçament, queda retinguda en els petits porus (microporus) segons un **Potencial matriu** (Ψ_M), que és la força amb què s'adhereix la pel·lícula d'aigua sobre les partícules del sòl. Quan aquestes són fines (llim, argila) presenten una major superfície de contacte i el nivell de retenció és superior.



Tensiòmetre amb ransductor per avaluar demanera automatitzada el contingut d'aigua al sòl. Foto: J. R. Gisbert

Gràfic 2. Volum de sòl humit (VSH) generat amb cinta d'exsudació de 2,5 l/h ml, durant diferents temps de reg (2, 4 i 6 hores) i 2 tipus de sòl (I i II). (I = Sòl profund de textura fina, II = Sòl amb horitzó petrocàlcic). Estudi comarca de les Garrigues. (Gispert, J.R.; García, J.A.; 1995)



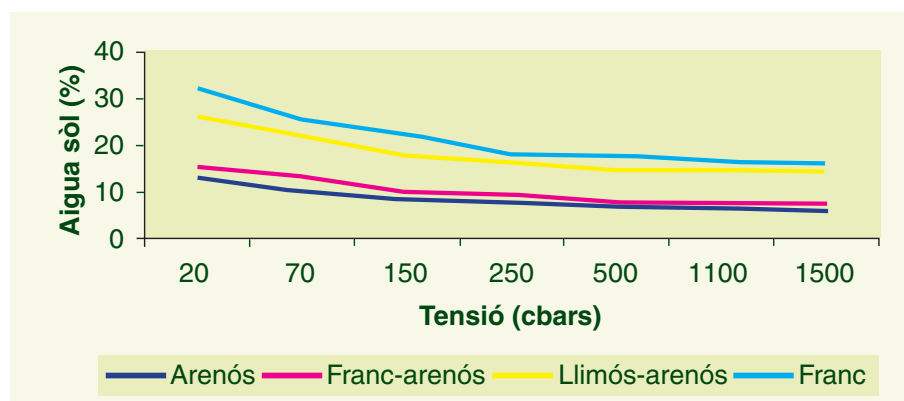
Així mateix, el grau de retenció també depèn de la quantitat de sals que hi ha a les diferents capes del sòl. Aquesta força de retenció d'aigua per les sals del sòl s'anomena **Potencial osmòtic** (Ψ_S).

Els **potencials** (Ψ_M , Ψ_S) o forces de retenció d'aigua al sòl són mesurats mitjançant les unitats de pressió o tensió (cbars = centibars).

Un sòl es troba en el punt anomenat de **Capacitat de camp (CC)** quan, després d'1 a 3 dies d'haver-se regat, ha finalitzat el seu procés d'eliminació d'aigua sobrant o drenatge i els seus microporos estan plens d'aigua, la qual és retinguda pel sòl amb una tensió de 10 a 30 cbars (10 cbars = sòls sorrencs; 20 cbars = sòls francs; 30 cbars = sòls argilosos).

Quan aquest sòl arriba a una tensió de 1.500 cbars, per un procés de reducció d'aigua, i el cultiu pateix una situació d'estrès irreversible, es diu que el sòl es troba en el **Punt de marciment Permanent (PMP)**. Cal dir, però, que els problemes reals per al cultiu comencen a tensions molt més baixes (70-80 cbars en sòls de textura grossa i 80-100 cbars en els de textura mitjana).

Cada tipus de sòl pot retenir diferent quantitat d'aigua a 10 – 30 cbars (CC) i a 1.500 cbars (PM), segons la seva textura (**Gràfic 3**). És per això que cal conèixer molt bé les característiques d'un sòl per tal d'interpretar correctament les dades recollides mitjançant qualsevol instrument que mesuri el seu potencial de retenció i el seu contingut d'aigua.



Gràfic 3. Corba de tensió / humitat per a diferents tipus de sòls entre 20 cbars (CC) i 1500 cbars (PM). Caracterització hidrològica del sòl. Dades no publicades (Gispert, J.R; 2004)

03 Sistemes de mesura d'aigua al sòl

Tot seguit es fa una descripció dels instruments i dels mètodes més emprats per mesurar el contingut volumètric d'aigua al sòl.

03.01 Gravimetria

La gravimetria és probablement la metodologia més emprada per mesurar l'aigua del sòl i és la referència per calibrar les altres tècniques de determinació.

El procés consisteix a recollir una mostra humida del sòl per analitzar-la i pesar-la en un envàs prèviament tarat. El conjunt s'asseca a l'estufa (80°C) durant 24 hores. Cal determinar, també, la densitat aparent de la mostra seca, preferiblement en el camp, mitjançant la relació entre el seu pes i el volum de l'envàs que la conté.

El contingut volumètric d'aigua al sòl es calcula per la següent expressió:

$$\% \text{ aigua} = \frac{P_H - P_S}{P_S - E_T} * D_{ap} * 100$$

P_H = Pes de la mostra humida del sòl amb l'envàs que la conté (grams)

P_S = Pes de la mostra seca del sòl (24 hores a 80°C) amb l'envàs (grams)

E_T = Pes de l'envàs que conté la mostra de terra (grams)

D_{ap} = Densitat aparent de la mostra seca (grams/cm³)

Tot i la senzillesa d'aquesta metodologia, cal considerar que és poc operativa en la programació del reg per la lentitud del procés (24 hores) i la gran quantitat de mostres que cal recollir, amb una determinada freqüència, al llarg de la campanya.



Sensor elèctric i lector instal·lat en camp per lectures no automatitzades de contingut d'humitat. Foto: J. R. Gispert

03.02 Potencial del sòl

Per mesurar el potencial matricial de l'aigua al sòl i conèixer l'esforç que han de realitzar les arrels per obtenir la humitat que necessita el cultiu, s'utilitza el **tensiòmetre**. Aquest aparell no mesura el percentatge d'humitat de la terra, sinó la tensió (cbars) en què aquesta és retinguda.

Es tracta d'un instrument molt més indicat per a sòls amb textura grossa (arenosa i franc-arenosa) que per a sòls de textura fina (argilosa, llimosa). Cal recordar que les lectures de tensió superiors a 80 cbars s'acosten al límit superior de l'escala dels tensiòmetres (100 cbars) i, en canvi, hi ha una gamma de sòls (textures mitjanes i fines) amb un important contingut d'aigua (20-25%) que gairebé no es pot avaluar per manca d'escala.

L'aparell consta d'un tub de plàstic amb capacitat suficient per emmagatzemar aigua de diversos cicles de reg. Es pot emplenar d'un líquid de color verd que facilita el control del nivell i serveix de protecció de la càpsula ceràmica contra la formació de fongs, algues i la incrustació de sals.

Un vacuòmetre, annex lateralment, permet fer lectures fins a 100 cbars i indica el nivell de tensió en què és retinguda l'aigua al sòl. La terra seca extrau líquid del tensiòmetre i produeix un buit parcial en el tub, que es detecta amb el vacuòmetre. Com més seca és la terra, més alt és el valor enregistrat en el dial del vacuòmetre.

El moviment de la humitat es fa a través d'una càpsula porosa de ceràmica situada a la part inferior del tub de plàstic. Quan la terra s'humiteja per l'efecte de la pluja o del reg, el tensiòmetre torna a absorbir humitat del sòl i la tensió (cbars) baixa; el vacuòmetre assenyala un valor inferior.

LECTURA (cbars)	INTERPRETACIÓ
0-10	Indiquen un sòl saturat d'aigua. Pot ser una lectura freqüent durant les 24 hores posteriors al reg.
10-20	El sòl té els microporus plens d'aigua i els macroporus amb aire. És l'estat que s'anomena de capacitat de camp.
20-60	En aquest rang la planta disposa de bona oxigenació i el sòl disposa de més o menys aigua en funció de la seva textura. En sòls arenosos es recomana començar a regar entre 30 i 45 cbars.
60-80	Indiquen que la planta està patint extrès i s'acosta al punt de marcimement en sòls de textura grossa.

Taula 2.- Interpretació de les lectures de tensió (cbars) mitjançant un tensiòmetre.

Segons la lectura de la tensió matricial es pot programar el reg (Taula 2).

L'automatització del tensiòmetre pot realitzar-se mitjançant:

a. Tensiòmetre elèctric

Permet la lectura visual i disposa d'un relé elèctric. L'usuari determina la humitat del sòl en què vol engegar i aturar el reg. Quan el tensiòmetre arriba a la tensió (cbar) corresponent a la humitat pre-determinada, el relé permet el pas d'un senyal elèctric a l'electrovàlvula o al programador i es posa en marxa i després s'atura el reg.

b. Tensiòmetre transductor

Tradueix una lectura de tensió (cbar) en un senyal analògic (1-5 VCC). Està dissenyat per informatitzar les lectures del contingut d'humitat en el sòl, per cable o mòdem telefònic.

03.03 Resistència elèctrica

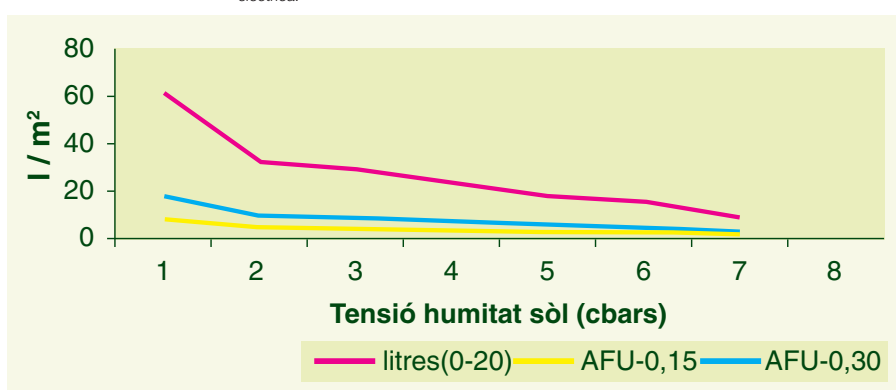
Els instruments que utilitzen la resistència elèctrica d'un sòl com a indicador del contingut d'aigua són molt coneguts i populars.

Consten d'un sensor amb dos elèctrodes concèntrics, introduïts en un conglomerat especial, cobert per una membrana sintètica amb una funda d'acer inoxidable. Estan proveïts d'un disc amortidor per reduir la influència de la salinitat i es poden ajustar a la temperatura del sòl per obtenir una major exactitud en les lectures. La connexió del lector al sensor es realitza mitjançant els cables d'aquest amb les pinces de cocodrill del lector. En un instant s'avalua la resistència elèctrica (ohms) entre els dos elèctrodes i es tradueix aquesta lectura a la tensió d'humitat del sòl (cbars). Un únic lector permet la lectura digital entre 0 i 200 cbars de qualsevol nombre de sensors i, d'acord amb aquesta, es pot programar el reg (Taula 3).

Així mateix, en funció del valor de la lectura de tensió (cbars) de l'aigua al sòl es pot avaluar el nivell de la reserva i programar el reg pel mètode del balanç hídric (Gràfic 4).

LECTURA (cbars)	INTERPRETACIÓ
0 - 10	Sòl saturat.
10 - 30	Sòl amb suficient humitat (CC).
30 - 60	Marge normal per iniciar el reg, excepte en sòls de textura fina.
60 - 90	Marge normal per iniciar el reg en sòls de textura fina.
+ 90	El sòl està bastant sec. Els de textura mitjana (francs) poden haver esgotat més de la meitat de la seva reserva d'aigua.

Taula 3.- Interpretació de les lectures de tensió (cbars) mitjançant un sensor de resistència elèctrica.



Gràfic 4. Contingut d'aigua al sòl (mm) fins a 20 cm de fondària i aigua fàcilment utilitzable (AFU) a dues fraccions d'esgotament (15% i 30%) i diferents tensions (cbar). Estudi amb sensor elèctric en jardineria pública (Gispert, J.R.; Savé, R.; Biel, C.; García, J.A.; 2004).

Amb un lector remot es poden avaluar diversos sensors elèctrics i facilitar el procés de recollida de dades. Per això, s'instal·la en un lloc accessible i es connecta amb cable permanent als sensors, que normalment són sis.

Aquest sistema permet l'automatització d'electrovàlvules (24 VCA), controlades per un programador, a partir de la lectura de la humitat del sòl en una zona caracteritzada hidrològicament, mitjançant dos sensors connectats en sèrie. El sistema actua en funció del nivell d'humitat del sòl, predeterminada per l'usuari.

Cal emplaçar correctament els sensors perquè les lectures siguin al més representatives possible de cada zona.

03.04 Altres sensors

Finalment, a més dels sensors esmentats, hi ha al mercat diverses sondes (neutrons, TDR, FDR) i sensors (capacitius, etc.), molt més emprats com a instruments de control i mesura en els estudis de recerca que com a elements habituals a les explotacions agràries. Es pot considerar, doncs, que no són objecte de descripció en un document com aquest, d'orientació més pràctica i finalista que no pas científica.

Aquest sistema permet l'automatització d'electrovàlvules (24 VCA), controlades per un programador, a partir de la lectura de la humitat del sòl en una zona caracteritzada hidrològicament, mitjançant dos sensors connectats en sèrie. El sistema actua en funció del nivell d'humitat del sòl, predeterminada per l'usuari.

Cal emplaçar correctament els sensors perquè les lectures siguin al més representatives possible de cada zona.

03.04 Altres sensors

Finalment, a més dels sensors esmentats, hi ha al mercat diverses sondes (neutrons, TDR, FDR) i sensors (capacitius, etc.), molt més emprats com a instruments de control i mesura en els estudis de recerca que com a elements habituals a les explotacions agràries. Es pot considerar, doncs, que no són objecte de descripció en un document com aquest, d'orientació més pràctica i finalista que no pas científica.

Joan R. Gispert Folch
Enginyer Agrònom. Especialista en regs, sòls i adobs.
Departament d'Arboricultura Mediterrània.
Centre de Mas Bové - IRTA. Reus-Constantí
joanramon.gispert@irta.es

EINA DE RECOMANACIONS DE REG A ruralCat

01 Introducció

El regadiu són un dels motors de les àrees rurals, però també els principals consumidors d'un recurs tan escàs en l'àrea mediterrània com és l'aigua. No s'han d'estalviar esforços per millorar l'eficiència de la seva gestió i del seu ús.

02 Presentació

El *Servei de Transferència Tecnològica* ha desenvolupat una nova eina per calcular les necessitats hídriques dels cultius d'una forma àgil i senzilla.

Aquest nou servei de recomanacions de reg pretén facilitar la programació del reg a nivell de parcel·la, amb la voluntat d'oferir setmanalment als tècnics i regants una eina de suport a la decisió de **quant i quan** regar.

Les necessitats hídriques es calculen en base a les *dades meteorològiques* mesurades al llarg de la setmana anterior per l'estació de referència que cada usuari esculli al caracteritzar la seva explotació. Les dades meteorològiques són l'evapotranspiració de referència (ET_0) (mm) i la precipitació enregistrada (mm).

Les necessitats de reg es calculen com a diferència entre la demanda evapotranspirativa (ET_c) i la pluja efectiva (P_e) per cada període en concret.

Cal deixar ben clar que les recomanacions són genèriques, ja que només consideren alguns dels factors implicats en el reg, i que la decisió final resta sempre a mans dels tècnics i agricultors, d'acord amb la seva experiència i les peculiaritats específiques de cada parcel·la o comunitat de regants.

L'eina no té en compte la reserva d'aigua al sòl; per tant, cal que els regants, abans de regar, facin una estimació prèvia de l'estat d'humitat del sòl.

L'eina de reg és de lliure accés per tothom i gratuïta, i es troba disponible al portal temàtic del DARP, www.ruralcat.net, a Recomanacions de reg.



Reg per goteig

03 Cultius disponibles

El nombre de cultius disponibles és de 40, els quals es desglossen a continuació:

- **Cultius extensius:** alfals, blat i panís.
- **Cultius llenyosos:** albercoquer, ametller, avellaner, cirerer, cítrics, nectarina, noguer, perer, fastuc, pomera, presseguer, prunera, olivera i vinya.
- **Cultius hortícoles:** albergínia, all, api, bròquil, calçot, carbassó, ceba, ceba tendra, col, coliflor, enciam, escarola, espinacs, meló, mongetera, pastanaga, patata, pebrot, pèsol, porro, sindria i tomàquet
- **Gespa**

04 Dades meteorològiques

El sistema fa servir les dades diàries meteorològiques de la Xarxa Agrometeorològica de Catalunya. En aquest moment hi ha un total de 27 estacions meteorològiques repartides en 22 comarques (**Figura 1**).



Figura 1.- Estacions de la XAC disponibles

Per tal d'afinar els càlculs de programació de reg a nivell de parcel·la, es recomana als usuaris avançats l'aplicació del programari PACREG (www.gencat.net/darp/reg.ht), desenvolupat per la Secció d'Avaluació de Recursos Agraris del Servei de Producció Agrícola.

05 Facilitat d'ús

El funcionament de l'eina és fàcil i entenedor. L'entrada de les dades es fa mitjançant menús desplegable i els valors que es demanen són perfectament coneguts per agricultors i tècnics.

Per saber exactament com cal fer servir l'eina i treure'n el màxim rendiment, es pot accedir a una petita píndola explicativa (**Figura 2**).



Figura 2.- Píndola explicativa envers com fer servir l'eina de recomanacions de reg a RuralCat.

Els paràmetres que cada usuari ha d'introduir a l'hora de configurar una recomanació de reg per la seva parcel·la es recullen a la **Taula 1**.

Paràmetre a introduir	Descripció Paràmetre
PAS 1. DADES CLIMÀTIQUES	
Comarca	Cal seleccionar la comarca on es troba ubicada la parcel·la
Estació XAC	Selecció de la estació XAC més propera
PAS 2. DADES CULTIU	
Cultiu	Es pot seleccionar el cultiu entre un total de 40 cultius
Cicle del cultiu (Floració, Collita, etc.)	Aquí s'han d'introduir les dades d'inici i del final del cicle de cultiu
Enherbat?	S'ha d'especificar si els carrers (cas cultius arboris) es troben amb herba o sense
Selecció plantació	
Conducció cultiu	El tipus de formació es refereix a si es tracta d'una formació en vas o en palmeta
Amplada carrers	Distància que hi ha entre els carrers de la plantació
Distància entre arbres (d'una mateixa fila)	Dins d'una mateixa filera d'arbres, la distància que hi ha entre arbre i arbre
Diàmetre de capçada o edat de plantació	El diàmetre de capçada és el diàmetre mitjà de capçada dels arbres que configuren la parcel·la i l'edat de plantació es refereix als anys que té la plantació
PAS 3. DADES TIPUS DE REG	
Defineix el sistema de reg	
Localitzat	Nombre d'emissors per arbre Cabal per emissor
Superfície	Reg a manta
Aspersió	Nombre d'aspersors per arbre Cabal per aspersor

Taula 1. Paràmetres que cal introduir per configurar una recomanació de reg a RuralCat.

06 Recomanacions de reg setmanals

Cada setmana s'actualitza el fitxer de dades climàtiques associat a cada una de les estacions agrometeorològiques disponibles. Així doncs, l'usuari només caldrà que introdueixi els paràmetres de configuració una sola vegada i després ja rebrà setmanalment les recomanacions de reg. Aquests cultius introduïts, d'altra banda, queden també registrats dins un Administrador de cultius, de forma que l'usuari podrà modificar els paràmetres en qualsevol moment.

El sistema permet a l'usuari rebre còmodament la recomanació de reg al correu electrònic. Per rebre aquestes recomanacions, l'única cosa que ha de fer és configurar els paràmetres dels seus cultius i donar-se d'alta al servei. A més a més, tots els usuaris registrats poden rebre al seu mòbil les recomanacions de reg via missatge de text (SMS), també cada setmana. En aquest sentit, cal comentar que només podran rebre 3 recomanacions de reg via SMS, ja que el text d'un missatge no accepta la introducció d'un major nombre de caràcters.

El valor de la dosi de reg és dona en metres cúbics/ha i setmana. Al definir el sistema de reg, això permet que es pugui calcular també el nombre d'hores de reg setmanals que són necessàries per aquell cultiu determinat.

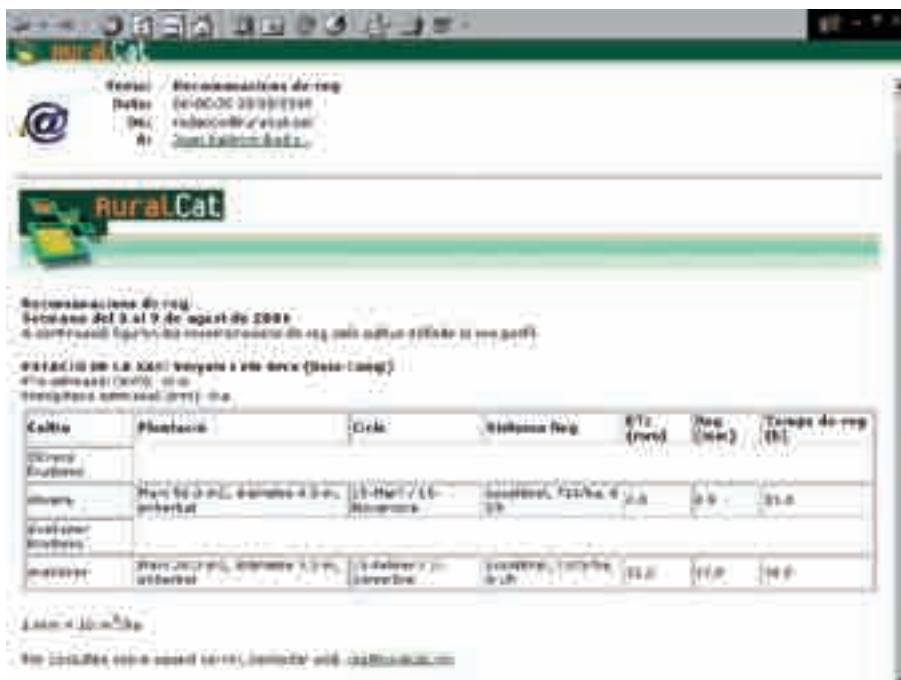
07 Per què cal fer servir l'eina de recomanacions de reg?

L'eina de recomanacions de reg serveix per tenir una referència a l'hora de saber la dosi de reg a aplicar. Com que es basa en dades de les estacions meteorològiques de la Xarxa Agrometeorològica de Catalunya, permet adaptar el reg a la climatologia setmanal i aprofitar una informació existent com són les dades climàtiques que aquestes estacions ens ofereixen.

A més, l'eina també treu partit de les noves tecnologies de què es disposa avui, com són els correus electrònics, Internet i els missatges SMS als mòbils. Aquestes tecnologies proporcionen sobretot una gran immediatesa i són a l'abast d'un gran nombre d'usuaris.

09 Destinataris d'aquesta eina de recomanacions de reg

Aquesta eina està destinada tant a tècnics com a agricultors, ja que no és necessari tenir



uns coneixements previs per poder configurar els cultius dels quals es vol rebre una recomanació de reg.

10 Contacte

Si teniu qualsevol dubte del funcionament d'aquesta eina o voleu fer arribar els vostres comentaris o suggerències per anar millorant-la, cal que us adreceu al Servei de Transferència Tecnològica a través de l'adreça de correu electrònic reg@ruralcat.net.

La Unitat d'assessorament en reg, dins el Servei de Transferència Tecnològica, es troba ubicada a l'Escola de Capacitació Agrària de Tàrrrega, Av. Tarragona, s/n - 25300 Tàrrrega (Lleida), Tel.: 973 31 03 50 - 973 31 07 15, Fax: 973 50 18 75.

Carme Trigueros Vilella
 Unitat d'Assessorament en Reg, Servei de Transferència Tecnològica.
 Escola de Capacitació Agrària de Tàrrrega.
carme.trigueros@gencat.net

CURS BÀSIC DE REG COM A EINA DE FORMACIÓ PER AL REGANT, A RuralCat



el seu camp d'actuació amb l'organització de jornades tècniques que s'inclouen en el pla anual de Transferència Tecnològica de Departament.

Respecte a la formació reglada, l'oferta educativa consta de diferents cicles de grau mitjà i superior de la família agrària, alguns de la família alimentària i un de la família química. Aquests estudis proporcionen titulacions oficials, reconegudes pel Departament d'Educació.

Respecte a la formació contínua, l'oferta de cursos s'adreça a les persones que estan treballant en el sector agroalimentari o que s'hi volen incorporar. Els cursos estan agrupats d'acord amb els camps següents: incorporació, fitosanitaris, medi ambient, tecnològics, gestió, pluriactivitat i informàtica.

Tradicionalment, la formació s'impartia de forma presencial, tant la reglada com la no reglada; fa pocs anys, però, s'ha iniciat una línia de treball de cursos no reglats a distància, alguns en format paper i d'altres on-line, a través d'internet i del portal RuralCat.

01 Formació. Escoles i Centres de Capacitació Agrària.

El Servei de Formació Agrària del Departament d'Agricultura, Ramaderia i Pesca de la Generali-

tat de Catalunya integra catorze escoles i centres (ECA) repartides per tota la geografia catalana.

Les ECA centren la seva activitat en la formació reglada i en la formació contínua, i amplien



Estació agrometeorològica. Foto: J. S. Minguet

El Curs bàsic de reg, a distància, preparat pel Servei de Formació Agrària, és un exemple d'aquesta nova línia de treball a través d'Internet.

02 El Curs bàsic de reg

El Curs de tecnologia bàsica del reg pretén aportar coneixements teòrics i aplicats, referents al reg, i les eines per poder fer els càlculs corresponents.

La durada és de 50 hores, que es cursen íntegrament a través d'Internet.

Actualment, ja se n'ha fet tres edicions, una l'any 2004 i les altres dues l'any 2005. L'han seguit un total de 102 alumnes.

Cal remarcar que la formació a distància presenta grans avantatges, entre els quals destaquen els següents: l'estudiant és el protagonista, hi ha una gran interactivitat amb els materials del curs, es disposa d'una total

flexibilitat horària, cadascú hi pot adaptar el seu ritme de treball i es compta amb el suport d'un tutor, que ajuda els estudiants.

El curs es desenvolupa a l'entorn del portal RuralCat. La informació es troba a www.gencat.net/darp i a www.ruralcat.net El Curs bàsic de reg es porta a terme gràcies a la intervenció de diferents figures, creades per al funcionament dels cursos a distància. Hi ha un coordinador i diversos tutors. Cada tutor té assignat un grup d'estudiants, en una aula virtual, i és qui s'encarrega del seu seguiment i els proporciona la informació necessària. També hi ha altres figures que han intervingut en la creació i edició del curs: editor, director en fase de producció i en fase d'impartició, experts per elaborar materials...

El curs està estructurat en un mòdul d'aprenentatge de l'entorn RuralCat, taller Com aprendre, i cinc mòduls de continguts exercicis del Curs bàsic de reg. A més, es programa també una visita tècnica per acabar el curs.

Està dissenyat de tal forma que s'avança a mesura que es completen activitats d'autoaprenentatge i, quan s'ha superat cada activitat, es pot passar a la següent. Al final del curs, hi ha una prova d'avaluació general.

Per poder seguir el programa, convé llegir atentament els continguts en l'ordre establert i es recomana una dedicació mínima de sis hores a la setmana. Cal realitzar i superar les activitats d'autoaprenentatge per anar avançant en el curs.

02.01 Continguts del curs

Tots els temes del Curs bàsic de regs responen al mateix esquema d'estructuració:

- Uns objectius que indiquen els coneixements, els procediments i les actituds que s'hauria d'assolir en cada tema.
- Una introducció que situa l'estudiant en el tema que comença a treballar.
- Un desenvolupament dels continguts pròpiament dits.
- Uns recursos gràfics que faciliten l'estudi i l'aprenentatge.
- Unes activitats d'autoavaluació per comprovar el grau de coneixements assolits de cada tema.

En cada mòdul hi ha, també, un glossari i una bibliografia bàsica.

El curs està estructurat en diferents mòduls. Per iniciar-lo, cal realitzar un taller per conèixer el seu funcionament en aquest entorn virtual.

El programa de continguts és el següent:

Mòdul 1: Introducció al reg

1. El sòl i l'aigua
2. L'aigua en la planta
3. La climatologia i la planta
4. Disseny agronòmic d'un reg
5. Programació de reg

Mòdul 2: Tipologies de reg

1. Reg superficial
2. Reg per aspersió
3. RLAf. Material de camp
4. RLAf. Material de capçal

Mòdul 3: Fertirrigació

1. Fertirrigació
2. Aparells de fertirrigació
3. Programació de la fertirrigació

Mòdul 4: Maneig i manteniment

1. Maneig i manteniment de material de camp i material de capçal

Mòdul 5: Tancament del curs

1. Avaluació: cas pràctic
2. Visita pràctica

02.02 Eines de suport

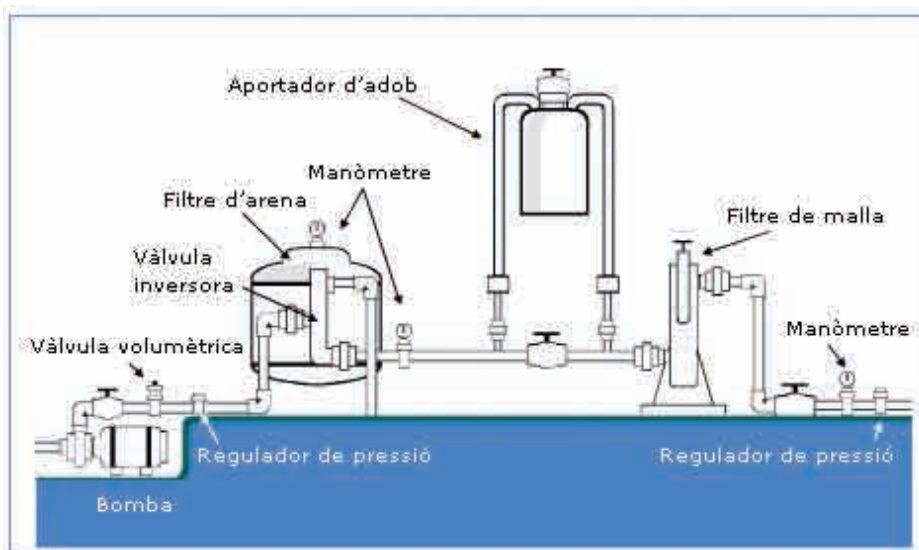
La comunicació entre els tutors i l'estudiant es realitza a través de les eines següents:

- El fòrum
- El tauler
- La bústia

El fòrum és un espai al qual poden accedir tots els estudiants i que serveix com a via de comunicació per a tot el grup. Tant el tutor com els alumnes hi poden participar i tots els components de l'aula virtual visualitzen i poden respondre les informacions que s'hi generen.

El tauler és una eina que utilitza el tutor per deixar informacions o documents per al grup i els estudiants només la poden descarregar.

La bústia és la forma que els alumnes utilitzen per comunicar-se entre ells de forma particular o amb el tutor. Tothom la pot utilitzar i només els destinataris seleccionats veuen els missatges.



Imatges del curs bàsic de reg a RuralCat

Ramon Cuadros i Claria
 Director de l'Escola de Capacitació Agrària de Tàrraga.
 rcuadros@gencat.net

Joan S. Minguet i Pla
 Àrea de Comunicació i Difusió de la Subdirecció General d'Innovació Rural. Director de la creació del Curs de tecnologia bàsica del reg.
 jsminguet@gencat.net

02.03 Aplicacions

Al llarg del curs s'explica pas a pas la programació de reg amb el PACREG. Aquest programa es pot baixar gratuïtament des del web www.gencat.net/darp/reg.htm. Es tracta d'un programa que permet realitzar els càlculs de reg a partir de dades de parcel·la, dades edàfiques i dades agroclimàtiques.

També es possibilita la connexió amb el portal del món agrari www.ruralcat.net i la visualització de les recomanacions per als principals cultius, a partir de l'eina d'assessorament en reg. S'ofereix una recomanació de dotació setmanal de reg segons les dades climàtiques, de cultiu i el sistema de reg.

S'aprèn a realitzar el càlcul del coeficient d'uniformitat.

Es treballa amb un exemple pràctic de fertirigació a través del programa ubicat a la web www.ruralialleida.com/cat/

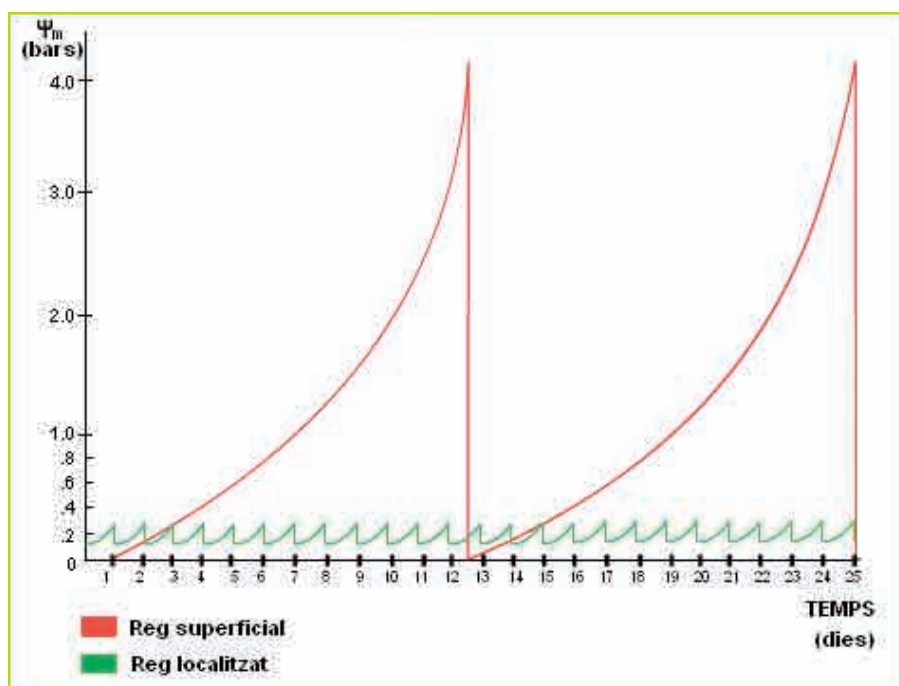
També es demana que es realitzin altres activitats, com per exemple:

Calcular la porositat d'un sòl, Identificar la textura d'un sòl, Calcular la reserva d'aigua disponible i la reserva d'aigua fàcilment disponible per a la planta, Calcular la humitat disponible en el sòl, Identificar els períodes crítics de les plantes, Càlcul de les necessitats de reg d'un conreu, Calcular l'evapotranspiració de referència, Fer un balanç mensual per a acumular les necessitats d'aigua de reg per a un cultiu concret, Calcular la dosi de reg d'una plantació, Obtenir una recomanació setmanal actualitzada de reg al portal Ruralcat, Calcular

el temps d'infiltració, Estructurar la instal·lació de reg localitzat, Reconèixer els aparells i els equips de manteniment i de control d'una instal·lació de reg, Característiques dels materials que ens permeten treballar amb solucions fertilitzants, Distinció de les tasques de maneig i manteniment d'una instal·lació de reg.

02.04 Preu i acreditació

El curs té un cost de 60 €. Els estudiants que superin tots els mòduls obtenen un certificat emès pel Departament d'Agricultura, Ramaderia i Pesca.





ROSA M. MIRÓ TREBALLA COM A AGENT D'OCCUPACIÓ DE DESENVOLUPAMENT LOCAL A L'AJUNTAMENT DE TORRES DE SEGRE. ÉS LA TÈCNICA DE LA COMUNITAT DE REGANTS DE CARRASSUMADA, FORMADA PER 380 PARTÍCIPS I QUE DISPOSA D'UN TOTAL DE 1.495 HECTÀREES. L'OBJECTIU DE LA COMUNITAT ÉS GESTIONAR UNA CONCESSIÓ DE 900 LITRES PER SEGON I GARANTIR EL SUBMINISTRAMENT D'AIGUA I DE PRESSIÓ NECESSÀRIES, CONTROLANT EL CONSUM I REDUINT EL COST DEL METRE CÚBIC. D'AQUESTES I ALTRES QÜESTIONS, ENS PARLA ROSA M. MIRÓ.

Per què és important la presència d'un tècnic en les comunitats de regants?

Precisament perquè gestionar bé l'aigua no és una feina senzilla, ja que les comunitats de regants cada vegada estan més tecnificades. La pròpia junta no pot, per si sola, controlar tots els elements anteriors (garantia de cabal, pressió, optimització del cost de l'aigua). Aquesta activitat de gestió que realitza el tècnic requereix una dedicació que els membres de la junta no poden aportar.

Quin és el sistema de programació de reg a Carrassumada?

És un reg a la demanda, però controlat. És a dir, el regant pot decidir quant i quan vol regar, però sempre supeditat a les condicions de la comunitat, que bàsicament tenen com a objectiu fomentar l'estalvi energètic.

La comunitat de regants compta amb una xarxa automatitzada de control de reg via cable, amb la qual es fan els programes de reg prèviament concertats i es controla el volum d'aigua consumit i el cabal instantani circulant.

“La tasca d'un tècnic és donar suport als regants, minimitzar costos, provocar i fomentar l'ús eficient de l'aigua i l'energia”

L'ENTREVISTA

Rosa M. Miró

Enginyera Agrònoma. Torres de Segre (Segrià)

“GESTIONAR BÉ L'AIGUA NO ÉS UNA FEINA SENZILLA”

Quina hauria de ser la tasca d'un tècnic d'una comunitat de regants?

Doncs, assessorar i informar els regants, així com vetllar per les garanties que la comunitat els ofereix pel que fa al subministrament d'aigua. També, minimitzar costos, provocar i fomentar l'ús eficient de l'aigua i l'energia.

Utilitzes les estacions agrometeorològiques per desenvolupar les teves tasques? I l'eina d'assessorament en reg de RuralCat?

Sí; de fet, abans d'existir RuralCat utilitzava les dades de les estacions del Segrià, observava l'ETo i la pluviometria per tal de fer recomanacions a través d'un full de càlcul, ja que les recomanacions són més acurades si es fan a partir de dades reals setmanals, enlloc de dades mitjanes de molts anys.

Després, amb RuralCat, vaig crear els perfils més freqüents de cultius i ara faig un seguiment d'ambdós mètodes.

“L'empresari ha de conèixer la dotació i les condicions de subministrament d'aigua, el funcionament de la instal·lació i les dosis de reg que cal aplicar”

Quines qüestions creus que ha de conèixer l'empresari agrari per regar correctament?

En primer lloc, la dotació i les condicions de subministrament d'aigua, per saber si té limitacions en el cultiu que vol fer. En aquest cas, la comunitat de regants li facilita la informació.

En segon lloc, la instal·lació de reg, que ha d'obeir a les directrius marcades per la comunitat i ha d'estar ben dimensionada; cal conèixer els materials instal·lats i com s'utilitzen correctament. Sobre això, pot demanar assessorament als instal·ladors professionals.

En tercer lloc, a l'hora d'aplicar les dosis de

reg, ha de saber discriminar la informació que li arriba per diferents bandes, fet que s'aconsegueix amb el suport tècnic adient.

El pagès està conscienciat de la importància de gestionar correctament l'aigua de reg?

En comunitats on el reg és a pressió i es paga el metre cúbic consumit, sí. En regs tradicionals a tesa, potser no tant, ja que no s'és conscient del volum consumit i, com que aquest no té un cost econòmic directe, és molt difícil valorar l'aigua mentre n'hi ha. Ja ho veurem aquest any.

L'automatització del reg facilita la gestió de l'aigua?

Sí, perquè permet tenir control i mesura de l'aigua consumida, tant a nivell de comunitats com a nivell de particulars. En la comunitat de Carrassumada, aquests automatismes són imprescindibles, ja que part de la superfície es rega amb bombeig directe, fet que implica treballar en franges horàries de tarifa elèctrica en què cal controlar el consum. A més a més, permeten controlar el cabal consumit per cada regant i, segons la programació de regs, saber quan s'utilitzarà l'aigua.

Com veus el futur de les instal·lacions de reg en el Canal Segarra-Garrigues?

Una transformació com aquesta, sens dubte, comporta dificultats i, segons el que es pot llegir avui, en té tres d'importants: la definició de les ZEPAS, la inversió a càrrec de l'agricultor i el cost per metre quadrat que haurà de pagar durant el seu funcionament.

Finalment, penso que és bàsica una tasca de formació i d'informació des d'aquesta etapa, per tal que l'agricultor estigui ben assessorat al moment de decidir què ha de plantar i com cal fer el reg interior.

Ruralcat.
redacció@ruralcat.net