

FertiDigital

Guia bàsica de bones pràctiques per a la gestió eficient de la fertirrigació amb l'ús de dades de diferents tecnologies



Fons Europeu Agrícola
de Desenvolupament Rural:
Europa inverteix en les zones rurals



Generalitat de Catalunya
Departament d'Acció Climàtica,
Alimentació i Agenda Rural



“Activitat finançada a través de l’operació 01.02.01 del Programa de
desenvolupament rural de Catalunya 2014-2022)”

Codi de finançament 56 30074 2021 P4

Autors:

Ana Pelechá – Programa Ús Eficient de l'Aigua de l'IRTA

Josep Rufat – Programa Ús Eficient de l'Aigua de l'IRTA

Xavier Vallverdú – Programa Ús Eficient de l'Aigua de l'IRTA

Agraïments:



**Fons Europeu Agrícola
de Desenvolupament Rural:**
Europa inverteix en les zones rurals



**Generalitat de Catalunya
Departament d'Acció Climàtica,
Alimentació i Agenda Rural**

“Activitat finançada a través de l’operació 01.02.01 del Programa de desenvolupament rural de Catalunya 2014-2022)”



xarxa-i.cat
Xarxa d'Innovació agroalimentària
i rural de Catalunya

IRTA^{la}

Institut
de Recerca i Tecnologia
Agroalimentàries

Juny de 2024

Índex

1. Introducció	4
2. Planificació de la campanya de reg i fertilització	6
3. Identificació de punts representatius	8
Ús d'imatges de satèl·lit i aerotransportades (avió i dron)	8
4. Seguiment del reg i la fertirrigació mitjançant sistemes comercials.....	11
5. Anàlisi qualitatiu.....	20
6. Resumint	22

1. Introducció

4

En un context com l'actual, amb major consciència social per a una producció d'aliments sostenible amb el medi ambient, amb desajustos en els mercats a nivell global que tenen efecte en el cost de les matèries primeres, amb esdeveniments climàtics canviants i amb reducció del relleu generacional, a destacar entre d'altres factors, porta a que un dels nous reptes als que s'enfronten els agricultors i regants a dia d'avui és digitalitzar la gestió per a fer un ús el més eficient possible, tant del reg com de la fertilització. Les noves tecnologies aporten informació molt útil a l'hora de prendre decisions. Existeix una àmplia varietat de tecnologies i sensors a disposició dels productors, que a vegades fa que sigui complex decidir quina és la més adient en funció de les necessitats i, a més, no sempre són fàcils d'interpretar. La majoria de productors treballen seguint un pla de fertilització al llarg del cicle del cultiu, en funció de les necessitats teòriques d'aquest, però no sempre incorporen dins el sistema de presa de decisions les analítiques de sòl, aigua i/o fulla o bé, algun tipus de sensòrica que complementi el seguiment d'aquesta gestió.

El projecte demostratiu FERTIDIGITAL (*Gestió eficient de la fertirrigació amb l'ús de dades de diferents tecnologies - Codi de finançament: 56 30074 2021 P4*) ha abordat aquesta temàtica amb l'objectiu de donar a conèixer al

sector quines són aquestes tecnologies disponibles en l'àmbit de la fertirrigació per tal de gestionar els recursos de forma més eficient mitjançant l'ús de dades, fomentant les bones pràctiques en l'ús de l'aigua i els fertilitzants buscant millorar la competitivitat i la sostenibilitat del sector a través de diferents plataformes demostratives on s'han implementat combinacions estratègiques de tecnologia.

5

A continuació s'expliquen els diferents aspectes analitzats, que van des de realitzar la planificació del reg i la fertilització fins a la incorporació de sensors per ajustar les dosis de reg i fertilitzant a les necessitats canviants, a mesura que avança la campanya.



2. Planificació de la campanya de reg i fertilització

6

L'aigua de reg és fonamental per aportar les necessitats hídriques dels cultius al llarg de la campanya i la fertilització és l'acció per aportar nutrients al sòl i al cultiu mitjançant l'aigua de pluja i/o reg.

D'una banda, és imprescindible determinar les necessitats de **reg** dels cultius, a cada moment de la campanya, i establir una programació adequada a l'hora de gestionar l'aigua. Per poder-ho fer, tenint en compte quines són les necessitats reals dels cultius, existeixen mètodes de càlcul de referència ([FAO 56](#)) i eines gratuïtes que els apliquen a l'abast del regant, com l'[Eina de Reg de l'Oficina del Regant del Departament d'Acció Climàtica Alimentació i Agenda Rural](#) que faciliten el volum d'aigua i/o temps a programar, per exemple, setmanalment a la finca que s'ha introduït i caracteritzat prèviament. Actualment s'ofereixen altres eines i serveis que fan aquesta recomanació bàsica a l'usuari i d'altres amb un cost associat, que poden arribar a ser autònomes, és a dir, programar automàticament el reg diàriament.

D'altra banda, els objectius principals de la **fertilització** són millorar la fertilitat del sòl, la productivitat del cultiu així com millorar el seu estat i resiliència. Cal tenir en compte que una mala praxis en la fertilització, pot esdevenir en

efectes no desitjats en el cultiu, el sòl i la producció. Per la qual cosa es recomana realitzar un diagnòstic a partir d'analítiques de sòl i del cultiu (fulla, fruit i/o saba), utilitzant guies com les que s'han seguit durant l'execució del projecte. Per exemple la '[Guia de la fertilitat dels sòls i la nutrició vegetal en producció integrada \(DARP, 2016\)](#)' i la '[Guía práctica de fertilización racional de los cultivos en España \(MAPA, 2007\)](#)'

Habitualment la fertilització nitrogenada es calcula en base a les extraccions del cultiu. En aquest sentit, les anàlisis de sòl a finals de la campanya ens indiquen l'estimació de la disponibilitat d'aquest nutrient i es pot realitzar la diferència entre les extraccions estimades i el nitrogen disponible. En aquest cas, el resultat ens indicarà la quantitat de nitrogen a aplicar durant la campanya. De manera similar es fa l'estimació per al fòsfor i potassi i s'ajusta el pla de fertilització.

A l'hora de fer el pla de fertilització s'ha de tenir en compte els nutrients disponibles en el sòl, així com les possibles aportacions de l'aigua de reg i/o les esmenes orgàniques.



3. Identificació de punts representatius

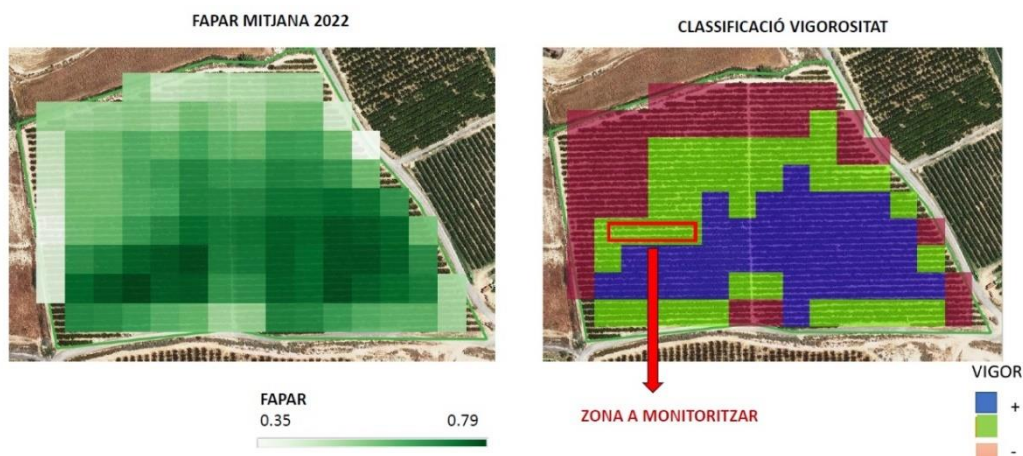
Algunes de les preguntes freqüents que sorgeixen a l'hora de fer una instal·lació de punts de monitorització o seguiment és quants punts s'han d'instal·lar i on. Es recomana instal·lar la sensòrica en zones representatives de la finca i la quantitat vindrà determinada per la heterogeneïtat de la mateixa, del pressupost disponible, de la capacitat d'analitzar les dades registrades i de prendre decisions en base a aquestes.

Ús d'imatges de satèl·lit i aerotransportades (avió i dron)

Moltes vegades la caracterització de la variabilitat d'una finca pot ser molt complexa en funció de la seva orografia i de les activitats culturals que s'han estat realitzant en el passat, entre altres. Existeix diferent tecnologia que permet realitzar aquesta caracterització de manera relativament senzilla com són els mapes de conductivitat elèctrica del sòl, a partir d'escaneigs físics que ajuden a fer una classificació en funció del tipus de sòl, mostrejos de sòl en diferents punts de la parcel·la, així com l'ús de càmeres fotogràfiques (RGB) i/o multiespectrals transportades en drons i/o avionetes, quan hi ha cultiu, o mitjançant imatges de satèl·lit que permeten observar diferències de vigor associades, normalment, a la variació del sòl.

El projecte Fertidigital s'ha basat en les dues últimes tecnologies esmentades. En la *Imatge 1* s'observa un mapa de classificació de vigor vegetatiu a partir d'imatges de FAPAR (Fracció de la Radiació Fotosintèticament Activa Absorbida) obtingudes a partir d'imatges del satèl·lit Sentinel-2 a una resolució de 20 m/píxel.

Aquestes imatges es poden obtenir de manera lliure a partir del repositori [CREODIAS](#) i extreure'n els paràmetres biofísics a partir de l'eina [SNAP](#) proporcionada per l'AESA.



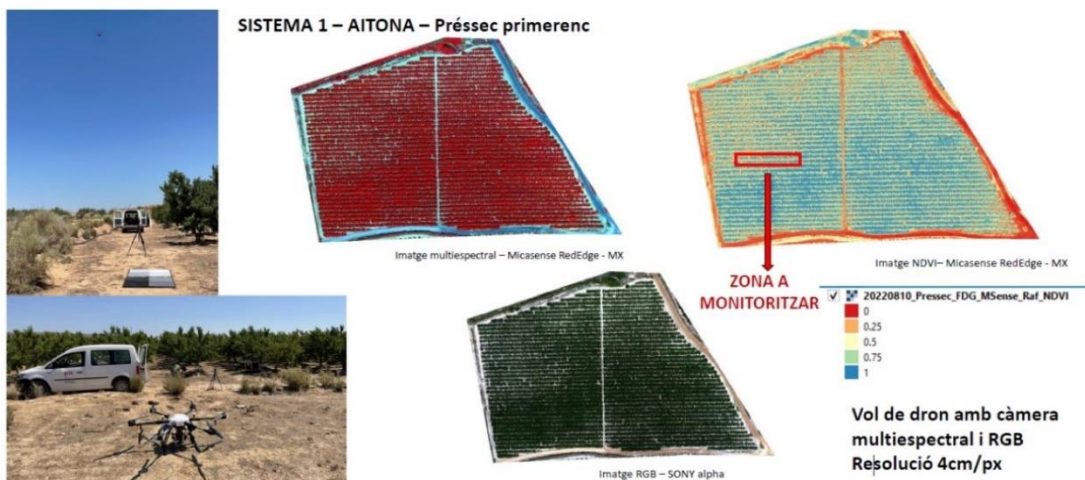
Imatge 1 - Classificació del vigor d'una parcel·la en funció del mapa de FAPAR a partir d'imatges Sentinel-2 . Aitona 2022 (Lleida)

En la *Imatge 2*, s'observa la mateixa finca a major resolució (4cm/píxel) realitzada amb dron i amb una càmera multiespectral. A grans trets la informació és la mateixa, la part situada més al nord té un vigor més baix respecte a la zona sud, però en aquest, cas degut a l'alta resolució de la

imatge, podríem tenir fins i tot informació a nivell d'arbre.

La zona que es va seleccionar per realitzar la instal·lació del punt de monitoreig era una zona de vigor mitjà que, en aquest cas, és la zona que millor representaria tot el conjunt.

De fet, aquesta tecnologia també ha permès realitzar un seguiment de l'evolució durant la campanya, a partir de vols amb una càmera tèrmica, per a detectar possibles zones estressades en moments d'alta demanda hídrica. Altres usos potencials que presenta aquesta tecnologia, per exemple en el cas de veure diferències molt evidents de vigor dins d'un mateix sector de reg és plantejar la resectorització d'acord amb aquesta heterogeneïtat



observada.

Imatge 2 – Imatges realitzades amb dron i càmeres RGB i multispectral (Micasense-RedEdge-MX) i index de vegetació.

4. Seguiment del reg i la fertirrigació mitjançant sistemes comercials

Es pot diferenciar aquests sistemes en dos grans grups: i) registre del clima, on inclouríem tots aquells sensors que es basen en la mesura de dades meteorològiques i ii) seguiment de variables, que informen de l'estat del cultiu i que es poden dividir bàsicament en dos tipus: mesures indirectes i directes. **Les mesures indirectes fan referència a tota aquella sensòrica que ens permet obtenir informació de paràmetres que afectaran al cultiu sense estar en contacte directe amb ell, és a dir, mesuren informació del medi en el que es troba el cultiu, com el sòl, l'aigua o l'aire.** Per exemple, dins d'aquest grup s'inclouen els sensors de mesura del volum d'aigua aplicat (comptadors), sensors d'humitat al sòl, sondes de succió o radiòmetres per mesurar la temperatura de la coberta del cultiu.

Els sensors que ens donen mesures directes del cultiu, per contra, són sensors que estan en contacte amb la planta. Requereixen d'una bona instal·lació i en la majoria dels casos reinstal·lacions periòdiques o ajustos.

A continuació s'expliquen els sensors que s'han utilitzat per fer el seguiment de les diferents parcel·les del projecte demostratiu, en funció de la seva ubicació.

- **Sensors que realitzen mesures en continu i digitalitzen les dades**, de manera que es pot visualitzar la informació a temps real mitjançant una plataforma web o aplicació mòbil.

a. Sensors instal·lats a la mànega de reg

- i. **Comptadors volumètrics d'aigua:** Són dispositius que permeten mesurar l'aigua que passa per una determinada secció i els polsos generats, normalment cada litre, es digitalitzen i registren en un datalogger. S'han utilitzat comptadors per a cabals baixos que s'instal·len a la mànega de reg, com els de "raig múltiple o multijet". Permeten conèixer l'aigua aplicada per a una determinada superfície. Actualment, també es comercialitzen comptadors que es connecten i envien les dades a les plataformes, sense necessitat d'equips externs
- ii. **Sensor de Conductivitat Elèctrica (CE):** Aquests tipus de sensors ens permeten conèixer quina és la conductivitat elèctrica de l'aigua de reg i per tant, una estimació de la concentració de sals solubles. Aquest tipus de sensor és molt útil si volem conèixer les característiques de l'aigua de reg, sobretot quan s'utilitza en aigües de pou i/o aigües regenerades però també en el cas d'aplicar fertirrigació, ja que permeten determinar en quin moment arriba el fertilitzant al punt que s'està monitoritzant i ajustar millor els regs en funció del tipus de sòl.

b. Sensors instal·lats al sòl

- i. **Sensors de contingut volumètric d'aigua al sòl:** Els sensors d'humitat al sòl (SWC) són un component molt important per al control i programació del

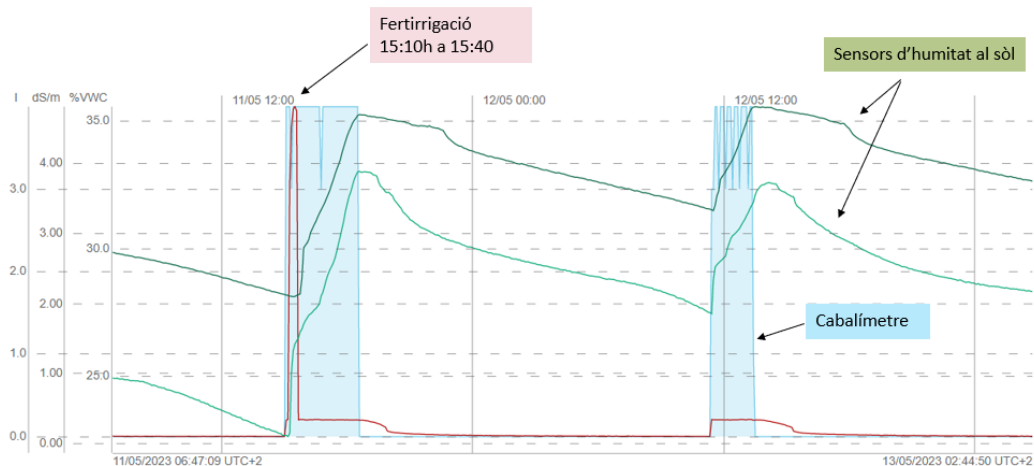
reg ja que proporcionen informació eficaç per a la gestió de l'aigua. Donen informació molt útil de quin és el contingut d'aigua al sòl en tot el perfil i per tant, permet conèixer si s'està regant en excés i en conseqüència si es perd aigua per drenatge. De la mateixa manera, permeten avaluar en el cas de fertirrigació, si hi ha pèrdues potencials per lixiviació. També ens permeten avaluar l'efectivitat de la pluja. En aplicacions més avançades són dispositius molt útils per tal de complementar els sistemes d'automatització del reg a l'hora de prendre decisions.

En aquest projecte s'han utilitzat sensors de tipus capacitiu puntuals i multinivell. En quant als sensors puntuals, habitualment la seva instal·lació es realitza a diferents profunditats: a la zona d'arrels i a la zona de drenatge, i dins d'un mateix perfil vertical en el cas d'instal·lar-ho en un sistema de reg gota a gota. En altres casos, sobretot quan l'objectiu és complementar un sistema automatitzat de reg, seria recomanable tenir més d'una rèplica a nivell d'arrel per a caracteritzar diferents parts del bulb humit.

Les sondes multinivell o tubulars es caracteritzen per realitzar lectures d'humitat al sòl en tot el perfil, aproximadament cada 10cm. Aquestes

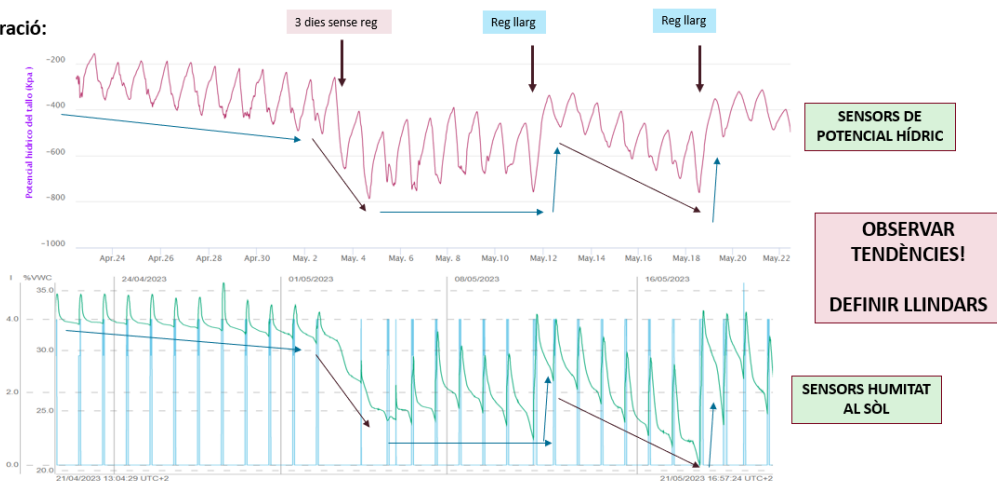
sondes permeten caracteritzar molt bé el sòl en profunditat.

- ii. **Sensors de conductivitat elèctrica al sòl (salinitat/fertilització):** Alguns sensors de contingut volumètric d'aigua al sòl venen complementats amb un sensor de conductivitat elèctrica (CE) i un altre de temperatura. Aquests poden ser útils per detectar moviment de fertilitzant al sòl i conèixer en quin moment es detecten les sals a nivell d'arrel. Tot i això, a diferència de la resta de sensors, la seva interpretació no sempre és fàcil, ja que la conductivitat elèctrica augmenta amb la hidratació del sòl i pot esdevenir complex distingir quina prové del reg (humectació del sòl) i quina de la fertirrigació (veure Imatge 3 i Imatge 4).
- iii. **Sensor d'ió selectiu (N-K):** Es tracta d'una tipologia de sensors capaç de discernir els ions Nitrat i Potassi i conèixer com aquests ions es mouen dins del sòl. Poden ser útils per observar tendències a nivell d'arrel i zona de drenatge i ajustar els regs per evitar pèrdues per lixiviació.



Imatge 3 - Comportament dels sensors després de dos regs, a l'esquerra amb fertirrigació i a la dreta sense

Comparació:



Imatge 4- Gràfic superior: sensor de potencial hídric de tronc. Gràfic inferior: sensor de contingut d'aigua al sòl

c. Sensors instal·lats a la planta

- i. **Dendròmetre:** El dendròmetre és un sensor que mesura el diàmetre del tronc o de qualsevol altra part de la planta (tija, branca o fruit) donant una mesura directa del creixement de la planta. Aquests sensors són capaços de mesurar les variacions de diàmetres entre la nit i el dia de manera micromètrica pel que poden servir per observar com la planta utilitza l'aigua del sòl. S'utilitza, principalment, per ajudar a monitoritzar el creixement de la planta a escala temporal.
- ii. **Potencial hídic de tronc:** És un microtensiòmetre que s'insereix en el tronc de l'arbre i proporciona valors de potencial hídic (Imatge 4). La mesura es realitza directament al xilema i, per tant, és una mesura molt precisa que fa que sigui un indicador fiable i reconegut de l'estat hídic de l'arbre. Per poder interpretar els valors fa falta conèixer els límits de cada cultiu que recull la bibliografia, normalment científic-tècnica.

- **Sensors de mesura puntual (analògics).** Existeixen altres tipus d'eines amb les que podem complementar de manera puntual aquestes mesures en continu com són:

Les **sondes de succió**. Aquestes permeten extreure la solució del sòl a diferents profunditats, mesurar amb

sensors portàtils els elements de la solució i digitalitzar les dades. Són molt útils per poder caracteritzar regs i fertirrigació.

Per contra, impliquen una tasca manual que fa que el seu ús no pugui ser intensiu en el temps. S'ha de realitzar el buit hores abans de l'extracció, fer l'extracció després de la fertirrigació i la valoració del contingut de la solució extreta. En el cas d'aplicar un reg de suport o una estratègia de reg deficitari controlat, l'extracció de solució del sòl és més difícil, depenent del tipus de sòl i degut al dèficit hídric.

Els **mesuradors portàtils d'elements** són pràctics i útils per mesurar de manera ràpida els nutrients dissolts que hi ha a l'aigua de reg, a la solució del sòl i també a nivell de planta (en el cas de l'extracció de saba).

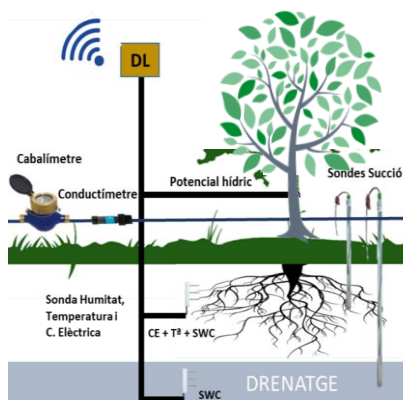
L'**extractor de saba** és una premsa que permet premsar mostres vegetals de la planta. La saba ens permet fer el seguiment de l'estat nutricional de la planta i detectar possibles desajustos. En el cas dels cultius llenyosos les mostres són brotacions joves de la campanya. Aquest mètode dona la saba que prové de la barreja del xilema i floema. Hi ha poca bibliografia emprant aquest mètode. Per fer el seguiment, requereix mostrejar sempre a la mateixa hora.

Per últim, una altra decisió complexa és establir quin sensor o combinació de sensors és estratègica en funció de l'objectiu final del regant. En el projecte demostratiu FertiDigital s'han emprat dos sistemes diferents on s'ha tractat d'establir sistemes combinats amb diferents sensors, aportant conjuntament mesures de contingut d'aigua al sòl, sals i/o fertirrigació, així com mesures directes a la planta.

Taula 1. Comparativa entre els 2 sistemes

Sensors	Sistema 1	Sistema 2
Comptador d'aigua	1	1
Contingut aigua en el sòl	1	-
Contingut d'aigua al sòl + CE + Temperatura a nivell d'arrel	1	-
Contingut d'aigua al sòl multinivell	-	1
Ió selectiu N+K	-	2
Conductivitat elèctrica en la mànega de reg	1	-
Potencial hídric de tronc (microtensiòmetre)	1	-
Dendròmetre de tronc	-	1
Sondes de succió d'extracció manual a nivell d'arrel i drenatge	2	6
Kit portàtil mesura nitrats i potassi	1	1
Estació meteorològica bàsica complerta	-	1

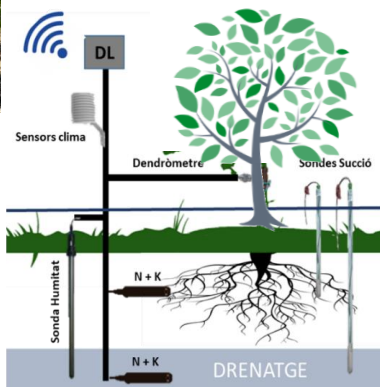
SISTEMA 1



Imatge 5 Esquema de disseny del Sistema 1 i imatges de la instal·lació



SISTEMA 2



Imatge 6 Esquema de disseny del Sistema 2 i imatges de la instal·lació i mesures portàtils

5. Anàlisi qualitatiu

A continuació es comparen diferents característiques dels sensors i es categoritzen amb els colors d'un semàfor. El verd indica aquelles categories millor valorades, vermell amb menor valoració i amb una gradació de grocs i taronges les que obtenen una valoració intermitja.

Taula 2. Valoració de diferents característiques de la tecnologia mostrada

	CONDUCTIVITAT ELÈCTRICA (SWC + T)	IÓ ESPECÍFIC N i K	SONDES DE SUCCIÓ (SOLUCIÓ DEL SÒL) AMB KIT DE MESURADOS D'ELEMENTS MANUAL
SENSORS I SONDES PER DETECTAR MOVIMENT DE LA FERTIRRICACIÓ AL SÒL	● Detecten un augment de la CE al fertirrigar ● Volum de sòl mesurat ● Interpretació de les dades: difícil diferenciar entre aigua i fertilitzant ● Preu ● Efecte del contingut d'aigua al sòl en la mesura	● Detecten variacions en el contingut de N i K. ● Volum de sòl mesurat ● Interpretació de les dades. ● Preu ● Efecte del contingut d'aigua al sòl en la mesura	● Instal·lació ● Mesures ràpides de concentració de nutrients a la solució del sòl ● Permet ajustar regs i post-regs ● Preu ● Temps de personal per fer buit, extreure mostres i analitzar-les ● Efecte del contingut d'aigua al sòl en la mesura: impossibilitat d'extreure mostra en regs amb infra-dotació ● Digitalització manual
	PUNTUALS SWC Capacitius	PUNTUALS SWC (CE + T) Capacitius	MULTINIVELL SWC Capa
SENSORS D'HUMITAT AL SÒL	● Instal·lació ● Volum de sòl mesurat ● Distribució en el perfil del sòl: adaptativa ● Interpretació de les dades ● Preu: Determinat segons nombre de punts	● Instal·lació ● Volum de sòl mesurat ● Distribució heterogènia en profunditat ● Interpretació de les dades ● Preu	● Instal·lació ● Volum de sòl mesurat ● Distribució en el perfil del sòl: equidistant i fixa ● Interpretació de les dades ● Preu: Determinat segons llargada
	DENDRÒMETRES	MICROTENSIÒMETRES	
SENSORS D'ESTAT HÍDRIC DE PLANTA	● Mesura creixement diari del tronc i estat hídric ● Fàcil instal·lació ● Requereix reajustar 1 o 2 cops l'any en funció del creixement de la planta ● Interpretació de les dades	● Mesura potencial hídric de tronc ● Fàcil instal·lació ● Requereix reinstal·lació 1 cop a l'any ● Interpretació de les dades	

ALTRES

COMPTADORS VOLUMÈTRICS
D'AIGUA

- Instal·lació
- Permeten mesurar el volum d'aigua aplicat i detectar parades del sistema.
- Instal·lació condicionada al cabal nominal.
- Preu
- Interpretació de les dades

CONDUCTÍMETRE A LA MÀNEGA DE REG

- Instal·lació
- Interpretació de les dades
- Detecta polsos de fertilitzant per ajustar pre i post-reg
- Detectar fallades en el sistema d'injecció del fertilitzant
- Preu

ANÀLISI DE SABA + KIT DE MESURADOR D'ELEMENTS MANUAL

- Aporta informació nutricional de manera quasi instantània
- Requereix temps de personal per recollir mostres, processat i mesura
- Bibliografia escassa en fruiters
- Preu



6. Resumint

En conclusió, l'ús de la tecnologia i el coneixement ajuda a realitzar una millor planificació i seguiment de la fertirrigació en continu durant la campanya, en punts representatius de la finca, detectar parades del sistema de fertirrigació i/o errors en el temps de programació.

Facilita un registre digitalitzat de tota la campanya així com suport per a millorar l'eficiència i la sostenibilitat dels nostres cultius.

És necessari conèixer la informació que ens aporta cada tecnologia per identificar quines són les seves limitacions, per tal d'optar per la que més s'ajusti a les nostres necessitats.

En el cas de disposar o voler instal·lar molts punts de seguiment, la tasca de revisió de la informació aportada pels sensors en plena campanya pot ser laboriosa. En aquesta situació, una possible opció és contractar els serveis d'una empresa d'assessorament que revisi aquesta informació amb sistemes d'anàlisi automatitzats i que generi alertes al detectar qualsevol desviació o anomalia. Bona part de les empreses que comercialitzen aquest tipus de sensòrica ofereixen serveis integrals que inclouen el muntatge dels punts de seguiment i l'assessorament.

*“Activitat finançada a través de l'Operació 01.02.01 de
Transferència Tecnològica del Programa de desenvolupament
rural de Catalunya 2014-2022”*



Fons Europeu Agrícola
de Desenvolupament Rural:
Europa inverteix en les zones rurals



Generalitat de Catalunya
**Departament d'Acció Climàtica,
Alimentació i Agenda Rural**



www.fertidigital.com

Twitter: [@FertiDigital](https://twitter.com/FertiDigital)

Instagram: [@fertidigital](https://www.instagram.com/fertidigital)

