

# SENSORS DE SÒL

## per optimitzar la zonificació del reg

### 01. Introducció

El sòl és espacialment variable de forma natural. Aquesta variabilitat no solament és en superfície, sinó també en profunditat. I, el que és més important, aquesta variabilitat es pot fer patent a diferents escales espacials. És a dir, el sòl pot presentar propietats diferents dins una mateixa parcel·la, independentment de la seva mida. Fins i tot, les parcel·les petites (menys d'una hectàrea), encara molt freqüents en fructicultura, poden tenir una variació important en les propietats dels sòls dins la mateixa parcel·la. De tota manera, que el sòl sigui variable, i que aquesta variabilitat es faci visible afectant després els cultius que hi creixen i la seva productivitat és un fet prou conegut. Per altra banda, el caràcter intrínsec dels sòls com a cossos naturals, que es desenvolupen en profunditat, fa que sigui difícil conèixer en detall la seva variabilitat.

Actualment, els agricultors i tècnics tenen a l'abast una diversa varietat de sensors per caracteritzar el sòl. Entre els més utilitzats per a la programació del reg destaquen els sensors d'humitat que, a falta d'una resolució espacial elevada (només se n'instal·len unes poques unitats per parcel·la o hectàrea), permeten monitoritzar l'evolució temporal de la humitat i ajustar-ne en conseqüència la programació del reg. Ara bé, el problema de les sondes d'humitat és la representativitat de les dades. És a dir, quina és la superfície de la parcel·la que representen? Això és normalment desconegut, si no s'ha fet abans un mapat de sòls d'alta resolució per tal de conèixer la seva variabilitat i les zones homogènies que es poden derivar. A més, aquesta informació detallada del sòl tampoc no se sol tenir en compte a l'hora de dissenyar el reg i la seva sectorització. Així, la majoria dels sistemes de reg es dissenyen segons criteris hidràulics i d'uniformitat, però

sense tenir en compte la variabilitat de les propietats del sòl (per exemple, textura, capacitat de retenció d'humitat, permeabilitat, etc.).

La qüestió que queda pendent és, doncs, disposar de la informació sobre la variabilitat dels sòls que, abans fins i tot de dissenyar el reg agronòmicament i hidràulicament, faci possible: i) sectoritzar el sistema de reg i adaptar-lo a la variabilitat espacial del sòl, ii) determinar el nombre de sensors d'humitat que serà necessari instal·lar a nivell de parcel·la (possiblement, lligat a la sectorització) i, iii) decidir quin és l'emplaçament més adequat d'aquests sensors d'humitat per tal d'obtenir dades representatives, en les quals basar els moments i les recomanacions de dosi.

Dins l'àmbit de l'anomenada Agricultura de Precisió, els sensors que mesuren la conductivitat elèctrica apa-

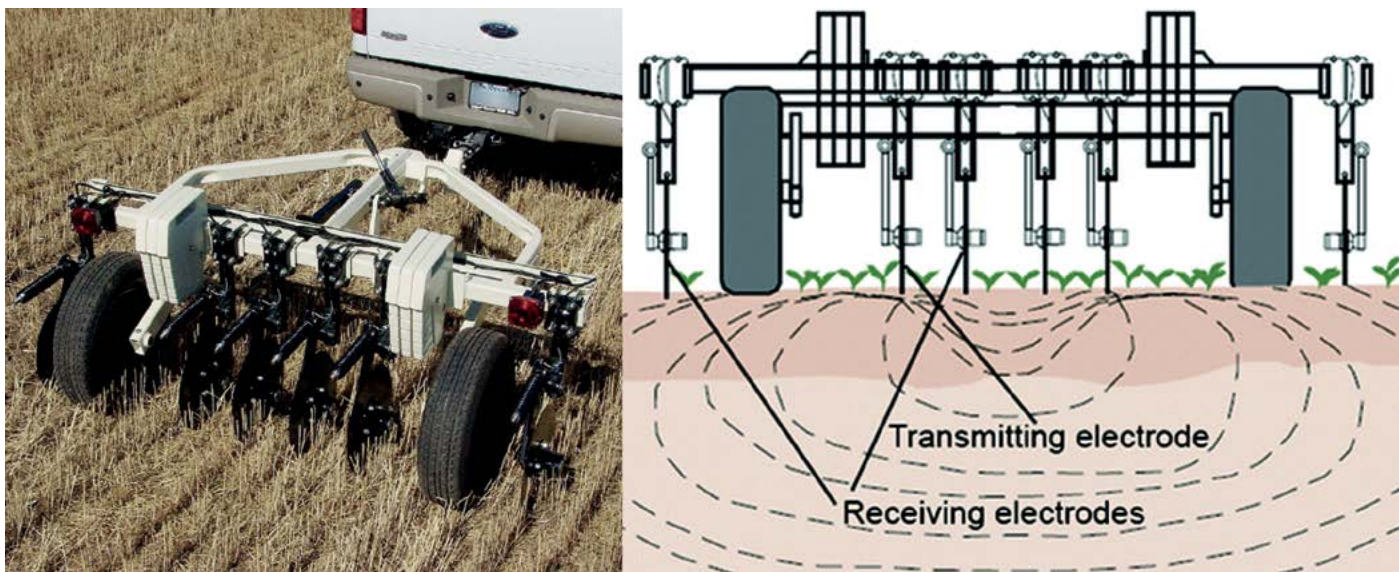
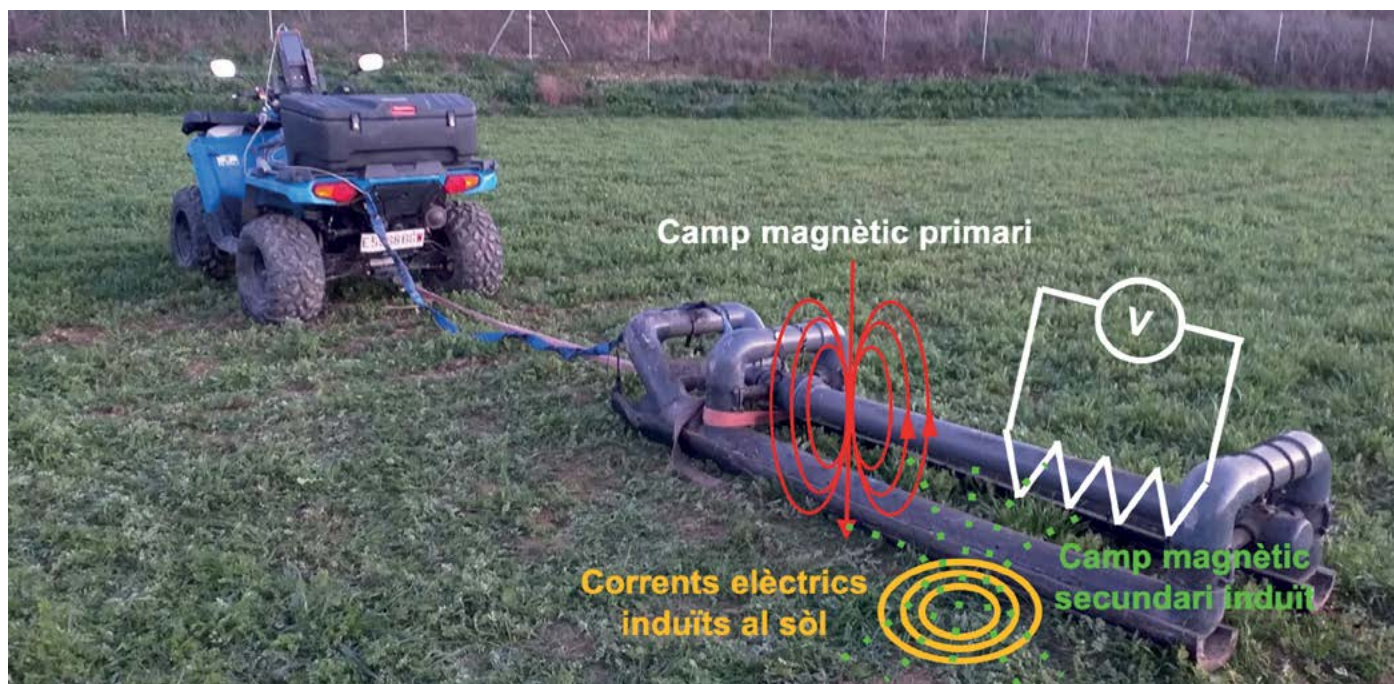


Figura 1. Sensor Veris 3100. Font: Veris Technologies, Inc., Salina, KC, USA



**Figura 2.** Sensor Dualem de l'empresa Agrarium (Dualem, Inc., Milton, ON, Canadà). Font: J. Arnó.

rent del sòl (CEa) en continu poden ser una alternativa a tenir en compte quan es vol optimitzar la sectorització dels sistemes de reg. Es tracta d'uns dispositius (disponibles al mercat) que, desplaçats sobre les parcel·les, permeten mesurar la CEa amb una elevada densitat de dades (mesures contínues), i georeferenciar-les mitjançant un sistema satel·lital de navegació global (GNSS, per exemple, GPS). El mapat d'aquesta informació (mapes de CEa) és un bon punt de partida per a la caracterització del sòl i la seva variabilitat. La textura (argila), el contingut d'aigua del sòl, la matèria orgànica, la capacitat d'intercanvi catiònic o la salinitat (sobre tot, en àrees semiàrides) són propietats que solen estar relacionades amb la CEa. Així, aquest tipus de sensors i els mapes resultants poden aportar una mesura indirecta d'aquestes propietats i del patró espacial de variabilitat. En aquest article, es fa una revisió de les tècniques comunament utilitzades per a la mesura de la CEa del sòl, i es donen alguns exemples de les possibilitats d'ús dels mapes de CEa per a la zonificació a nivell de parcel·la.

## 02. Sensors per a la mesura de la CEa del sòl

La mesura de la CEa comporta mesurar aquesta propietat en un volum de sòl, sent important abastar la profunditat de sòl explorada per les arrels. Els sensors existents per mesurar aquesta propietat en continu es diferencien segons el mètode utilitzat per introduir un corrent elèctric en el sòl: contacte galvànic directe, o per inducció electromagnètica. De fet, la conductivitat elèctrica no és més que la mesura de la facilitat amb la qual un corrent elèctric circula a través d'un medi, en aquest cas, el sòl. En ambdós casos, el sòl mostrarà una reacció determinada al pas de l'electricitat depenent de les seves propietats. La CEa es mesura en unitats de Siemens per metre (S/m), encara que en el cas del sòl la unitat més habitual és mS/m.

### 02.01 Sensors de contacte galvànic

La figura 1 mostra el sensor Veris 3100 ([www.veristech.com](http://www.veristech.com)). En aquesta mateixa pàgina web, es pot trobar el següent comentari d'un productor d'arròs de Ca-

lifòmia: "The Veris machine is a simple, yet effective tool that is essential for any site-specific crop management program" (*La màquina Veris és una eina senzilla, però eficaç, bàsica per a qualsevol programa de gestió diferenciada de cultius*).

Certament, el principi de funcionament és molt simple. El corrent elèctric és introduït en el sòl a través d'un parell de discos que actuen com a elèctrodes de corrent (elèctrodes de transmissió). Depenent de les propietats fisicoquímiques del sòl, aquest serà millor o pitjor conductor de l'electricitat, i el sensor captarà un senyal elèctric de major o menor magnitud. Això es fa mitjançant dues parelles addicionals de discos (elèctrodes de voltatge). Un d'aquests parells de discos de voltatge es troba situat entre els discos de corrent, sent la CEa associada a aquests discos la corresponent a un volum de sòl explorat superficial (entre 0-30 cm). Els altres dos discos de voltatge estan situats en els extrems de la barra suport, per fora de les rodes de transport. Aquesta major distància entre discos permet tancar un circuit elèctric dins d'un volum de sòl fins a una

---

La sectorització òptima dels sistemes de reg hauria de basar-se en l'anàlisi prèvia de la variabilitat espacial del sòl. Els mapes de conductivitat elèctrica aparent del sòl (CEa) són una bona eina per a aquest propòsit.

---

Els sensors de conductivitat elèctrica aparent del sòl (de contacte galvànic o d'inducció electromagnètica) presenten capacitats similars pel que fa a hectàrees mesurades per dia i resolució espacial obtinguda.

---

profunditat aproximada de 90 cm. Per tant, mitjançant aquesta configuració dual, el sensor Veris proporciona dues mesures de CEa (superficial i profunda). Aquesta funcionalitat és avantatjosa, ja que permet avaluar si les propietats del sòl es mantenen uniformes amb la profunditat o, per contra, el sòl presenta capes o horitzons amb diferents propietats edàfiques contrastants. Finalment, cal destacar la possibilitat de desplaçar el sensor fins a velocitats de 22 km/h. La presència de rostoll abundant, sòls molt secs o amb pedregositat superficial poden dificultar el contacte dels elèctrodes amb el sòl i l'adquisició correcta de les dades.

#### 02.02 Sensors d'inducció electromagnètica

La inducció electromagnètica (IEM) fa referència a la creació d'un corrent elèctric quan un camp magnètic travessa un conductor, i viceversa. La figura 2 mostra el sensor Dualem

(www.dualem.com), el qual es basa en aquest principi. En la seva concepció més simple, el sensor disposa d'una bobina que, alimentada per un corrent altern, genera un camp magnètic primari que s'introdueix en el sòl. El desplaçament del sensor sense contacte amb el sòl indueix uns corrents elèctrics, ja que ara el sòl es comporta com un conductor. La major o menor conductivitat elèctrica del sòl farà que els corrents induïts generin, en una segona etapa, un camp magnètic secundari de magnitud proporcional que, afegit al camp magnètic primari, acaben travessant la segona bobina. El voltatge mesurat en aquesta última estarà, doncs, relacionat amb la conductivitat elèctrica aparent del sòl.

Comparat amb els sensors galvànics, els sensors IEM tenen l'avantatge que no és necessari garantir un bon contacte entre el sòl i els discos del sensor. Per contra, els sensors IEM requereixen un calibratge més complex. A més, la presència propera d'elements metàl·lics pot ocasionar interferències en les mesures. Pel que fa a capacitats, ambdues tipologies de sensors presenten valors similars. Depenent de la separació entre passades del sensor i la velocitat, en ambdós casos es poden mesurar diverses hectàrees per dia i aconseguir resolucions espacials de 400 o més lectures/ha.

#### 03. Mapes de conductivitat elèctrica i zonificació a nivell de parcel·la

En aquesta part de l'article, i a mode il·lustratiu, es mostren dos exemples del mapat de la CEa del sòl i de l'aplicació d'aquest tipus de dades per a la caracterització de la variabilitat de les propietats dels sòls i la zonificació de les parcel·les amb la finalitat de portar a terme una Agricultura de Precisió.

##### 03.01 Aplicació en cultius extensius

Moltes de les parcel·les que tenen els agricultors en l'actualitat provenen de

reparcel·lacions que s'han anat fent des de la segona meitat del segle XX, i així facilitar la mecanització de l'agricultura. S'han creat parcel·les més grans en base a moviments de terres i anivellaments, induint una major variabilitat en les propietats dels sòls. Això, al seu torn, produeix un comportament desigual en el desenvolupament dels cultius i els seus rendiments.

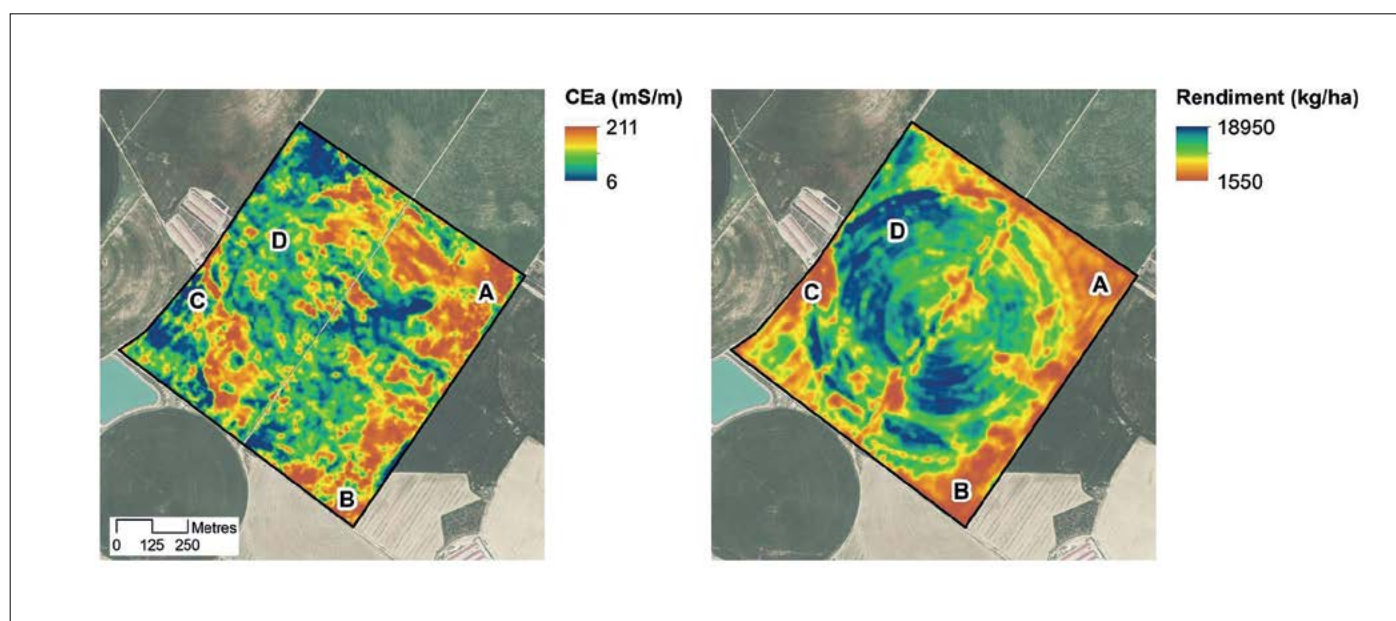
Tenir coneixement de les propietats dels sòls i la seva variabilitat espacial esdevé clau per tal de millorar els rendiments i també la qualitat de la producció. En base a aquest coneixement, l'agricultor pot decidir millor les accions a dur a terme en cada zona de la parcel·la. Un exemple d'aplicació és el que es mostra en la figura 3, en una parcel·la d'aproximadament 100 ha dedicada al conreu de cultius extensius. La reparcel·lació realitzada durant els anys 80 va crear una única parcel·la a partir de diverses parcel·les més petites, separades per marges i bancals, les quals s'adaptaven a la morfologia del terreny, i que mostraven propietats del sòl diferents. El mapat amb el sensor Veris 3100 va mostrar un rang de valors molt variable, des de 6 mS/m fins a 210 mS/m, amb un patró de variabilitat espacial que mostra diferents zones amb valors baixos, mitjans i alts. La interpretació d'aquests valors és molt important, ja que pot posar de manifest problemes de salinitat (per exemple, valors majors de 80-100 mS/m), o zones de textura grollera (sòls sorrencs) o excés de pedregositat (per exemple, valors menors de 20 mS/m), amb baixa fertilitat i capacitat de retenció d'aigua.

Els mapes de CEa es poden comparar amb mapes de rendiment o mapes d'índexs de vigor calculats a partir d'imatges multiespectrals (satèl·lit, avioneta, dron). La figura 3 mostra els mapes de collita de blat de moro i CEa per a la mateixa parcel·la. S'hi observa que el mapa de la CEa pot ajudar a inferir problemes de sòls que no es posen directament de manifest en el

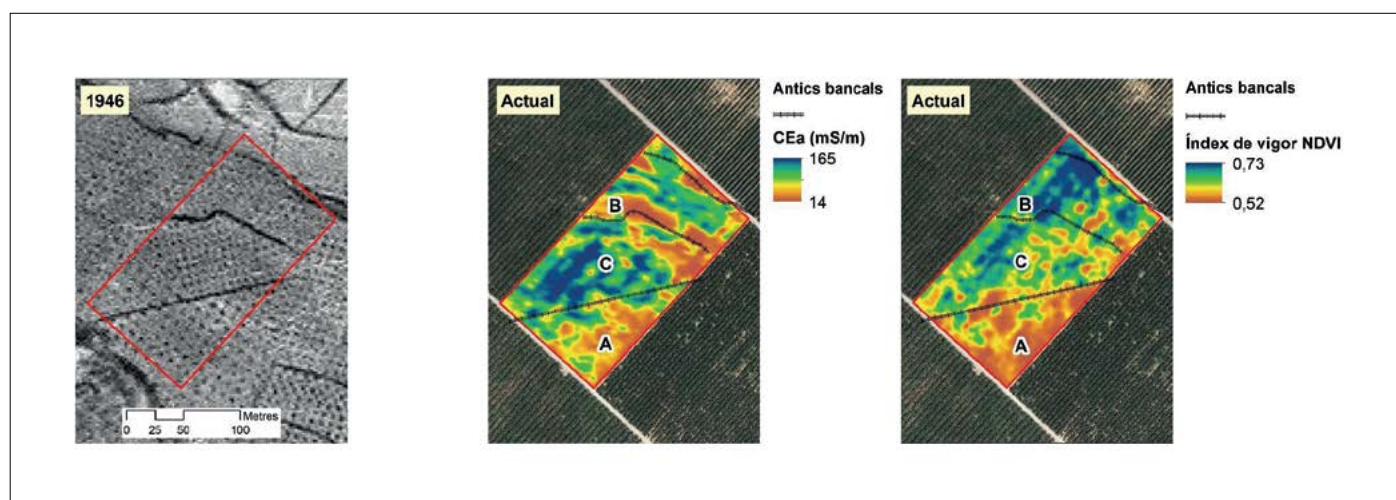
mapa de rendiment. Així, les zones A i B mostren un baix rendiment, el qual es correspon amb una alta CEa (amb valors per sobre dels 100 mS/m). Això indica problemes de salinitat en el sòl que, en zones agrícoles de la vall de l'Ebre (com és el cas de la localització de la finca de la figura 3), solen estar associats a problemes de drenatge. La zona C és diferent, ja que hi ha un baix rendiment amb una baixa CEa. Això indica que, malgrat que el mapa de colli-

ta en aquesta zona (C) mostra valors de rendiment similars als de les zones A i B, la raó no és la mateixa, ja que els valors de CEa són molt diferents. A la zona C hi ha sòls de textura sorrenca, amb baixa fertilitat i baixa capacitat de retenció d'aigua, que és la causa del baix rendiment. La zona D, amb valors intermedis de CEa, que indiquen textures més equilibrades sense presència de salinitat, es correspon amb la zona amb rendiments més elevats.

La correcta interpretació de les dades de CEa del sòl pot ajudar a inferir les causes del comportament dels cultius i dur a terme accions per a la millora del potencial productiu de les parcel·les.



**Figura 3.** Comparació de la conductivitat elèctrica aparent (CEa) d'una parcel·la agrícola dedicada a cultius extensius obtinguda a partir de les dades del sensor Veris 3100 (esquerra), i mapa de collita de blat de moro de la mateixa parcel·la (dreta). Les lletres indiquen diferents llocs per a la comparació que es comenten en el text. Les paletes de colors de les llegendes estan invertides per facilitar la comparació. Font: Elaboració pròpia.



**Figura 4.** Comparació de la situació prèvia als moviments de terres per a la creació de noves plantacions fructíferes, i conseqüències sobre la variabilitat de les propietats del sòl i vigor del cultiu (nectarina) en una finca localitzada a Aitona (Segrià). Esquerra: imatge aèria de l'any 1946 en què es veuen plantacions d'ametllers en secà. Centre: conductivitat elèctrica aparent del sòl interpolada a partir de dades del sensor Veris 3100. Dreta: índex de vigor de la diferència normalitzada (NDVI) interpolat a partir de dades extretes d'una imatge aèria multiespectral des d'avió. Font: elaboració pròpia.

## En cultius arboris amb reg localitzat, els sensors de CEa, que fan el mapeig entre les files dels arbres, poden no reflectir el que passa en el bulb humit on es desenvolupen les arrels de l'arbre.

Com es veu a l'exemple anterior, la utilització de diverses fonts de dades sobre la variabilitat de les propietats dels sòls i el rendiment o vigor dels cultius, i la seva correcta interpretació, pot ser molt útil per identificar problemes. En aquests casos, no es pot esperar incrementar el potencial productiu de la parcel·la si, almenys, no es millora el drenatge de les parts amb problemes de salinitat. Els problemes de textura poden ser més difícils de solucionar, encara que l'aplicació d'esmenes orgàniques i el reg adaptat amb un subministrament més freqüent d'aigua i fertilitzants podria ser una possible solució.

### 03.02 Aplicació en cultius arboris

El canvi de l'agricultura tradicional a una més mecanitzada ha afectat també les plantacions fructícoles. Els efectes produïts sobre la variabilitat del sòl en aquestes plantacions no ha estat prou estudiat. En aquests casos, els sensors de CEa poden servir per "radiografiar" el terreny, posant de manifest les transformacions realitzades i la variabilitat induïda en les propietats del sòl.

Un exemple és l'estudi realitzat per Uribeetxebarria et al. (2018) en una plantació de nectarina localitzada en el terme municipal d'Aitona (Segrià). En aquest cas, la transformació de terres realitzada els anys 80 va quedar reflectida en el mapa de la CEa obtingut mitjançant el sensor Veris 3100. La figura 4 és molt il·lustrativa de la situació anterior a la transformació i el posterior efecte sobre la variabilitat de la CEa, com a paràme-

tre indicatiu d'altres propietats significatives dels sòls (textura, capacitat de retenció d'humitat, salinitat i altres).

Antigament, el cultiu tradicional era en bancals o terrasses, que s'adaptaven a la morfologia del terreny. D'aquesta manera, s'evitava l'erosió i es conservava el sòl i s'afavoria l'emmagatzemament d'aigua, molt important en condicions de secà. Amb la transformació realitzada per a la creació de plantacions intensives de fruiters, es van desfer els bancals, amb conseqüències per a la continuïtat i l'homogeneïtat de les propietats dels sòls. Això queda clarament reflectit en les zones A i B de la figura 4, on es mostra la discontinuïtat que va quedar als sòls després dels moviments de terra per treure els bancals. En particular, en la zona B, la baixa CEa és conseqüència del major moviment de terres, que va fer aflorar elements grollers de roques calcàries amb baixa conductivitat elèctrica i pràcticament nul·la fertilitat fisicoquímica. Els valors de CEa en la zona A es corresponen amb una menor profunditat del sòl, la qual cosa explica el menor desenvolupament dels arbres (fig. 4 dreta). La zona C presenta valors majors de CEa, que indiquen presència de salinitat. Malgrat això, el desenvolupament dels fruiters en aquesta zona és millor, i també en la zona B, contrastant amb les propietats del sòl inferides a partir de la CEa. La raó d'aquesta discrepància la podem trobar en el reg localitzat dels arbres que, per una banda, manté la salinitat fora del bulb humit i, per l'altra, proporciona els nutrients necessaris via fertirrigació. Així, en aquest cas, tot i que era esperable una relació entre el desenvolupament dels arbres i la CEa, aquesta relació no es va trobar.

En conclusió, els sensors de conductivitat elèctrica aparent del sòl (CEa) són, avui per avui, la tècnica que permet fer una millor aproximació a la variabilitat de les propietats del sòl a escala de parcel·la. La CEa és una propietat que pot servir com a "proxy" d'altres propietats d'interès (per exemple, textura, capaci-

tat de retenció d'humitat, capacitat d'intercanvi catiònic, etc.), però la seva correcta interpretació s'ha de basar en el mostreig i l'anàlisi del sòl. La salinitat pot emmascarar la relació entre la CEa i les propietats que afavoreixen el desenvolupament del cultiu i el major rendiment i, per aquest motiu, en alguns casos la relació pot ser inversa. A poc a poc, el major ús d'aquest tipus de sensors farà que hi hagi un millor coneixement de les relacions entre la CEa i les propietats dels nostres sòls. En definitiva, cal esperar que aquesta informació aportï tot un seguit d'avantatges als agricultors que facin ús d'aquesta tecnologia.

### Per saber-ne més

[www.veristech.com](http://www.veristech.com)

[www.dualem.com](http://www.dualem.com)

ARNÓ, J., MARTÍNEZ-CASASNOVAS, J.A., ESCOLÀ, A. (2017) "What sensors tell about the crop environment". *New Ag International*, setembre/octubre, pàgs. 26-32.

URIBEETXEARRIA, A., DANIELE, E., ESCOLÀ, A., ARNÓ, J., MARTÍNEZ-CASASNOVAS, J.A., 2018. "Spatial variability in orchards after land transformation: Consequences for precision agriculture practices". *Science of the Total Environment* 635, pàgs. 343-352.

### Autoria



#### José A. Martínez Casasnovas

Grup de Recerca en AgròTICa i Agricultura de Precisió  
Departament de Medi Ambient i Ciències del Sòl. Universitat de Lleida – Agrotecnio Center  
[joseantonio.martinez@udl.cat](mailto:joseantonio.martinez@udl.cat)



#### Jaume Arnó Satorra

Grup de Recerca en AgròTICa i Agricultura de Precisió  
Departament d'Enginyeria Agroforestal. Universitat de Lleida – Agrotecnio Center  
[jaume.arno@udl.cat](mailto:jaume.arno@udl.cat)