

ASPECTES FÍSICS DE LA FERTILITAT DELS SÒLS

per

RAMON JOSA

Escola Superior d'Agricultura de Barcelona

Tradicionalment, s'han considerat les característiques químiques del sòl com a essencials a l'hora de parlar de la seva fertilitat; encara més, des de l'inici dels treballs agronòmics científics, els aspectes químics han agafat i han mantingut ja des de Liebig un paper preeminent en l'estudi de la fertilitat del sòl. Els continguts en el terra de N, P, K i d'altres elements químics aviat van servir per establir nivells de fertilitat dels sòls agrícoles.

Paral·lelament, s'han anat estudiant i definint altres condicions químiques del sòl que limitaven o impedièn la seva producció, fet que ha permès augmentar l'extensió dels conreus aprofitant terres que fins llavors eren considerades no aptes, o bé sanejant-ne d'altres que havien estat degradades per un mal ús anterior.

Aviat es va veure que els nivells de nutrients considerats òptims, calia precisar-los en funció de les característiques químiques del sòl i que, per tant, aquests continguts tenien una significació diferent en funció de l'acidesa del sòl, de la quantitat de sals solubles o del contingut en carbonat de calci que contia, per posar uns exemples freqüents. Malgrat això, la relació entre quantitat d'adob que s'ha d'aportar i la producció que es pot esperar és una relació relativament simple per a un tècnic convenientment preparat (Vivancos, 1989).

En definitiva, un cop demostrada la relació adobat-producció, es van establir diverses relacions quantitatives, entre el contingut de nutrients assimilables que conté el sòl i la producció esperada, "sempre que els altres factors de producció no siguin limitants".

Entre "aquestes altres factors que no han d'ésser limitants", alguns són externs al sòl, com ara el clima, les característiques genètiques del material vegetal, etc., però d'altres estan lligats al mateix sòl. Així, en el llenguatge corrent, i fins i tot en el dels professionals, amb l'expressió "un bon sòl", que s'utilitza per referir-se a una terra de qualitat, es vol fer referència a

un conjunt de característiques, tant del perfil com del medi on està localitzat, que li permeten donar bones produccions.

Deixant a part les condicions de l'entorn del sòl, un bon sòl és aquell que, sotmès a les operacions de cultiu, no té cap altra limitació que la quantitat i la proporció de nutrients; per tant, ha de tenir una textura equilibrada (o franca), una bona agregació de les partícules elementals, una densitat aparent mitja, una bona taxa d'infiltració i unes bones condicions de drenatge, com diu Letey (1985).

Aquestes consideracions genèriques sobre les "bones" propietats físiques del sòl permeten establir, a tot estirar, unes relacions qualitatives entre aquests paràmetres i la producció esperada per a un cultiu determinat. Així, per exemple, seguint aquest mateix autor, aquestes consideracions no serveixen per respondre la pregunta següent: quines són les relacions quantitatives entre les propietats físiques del sòl i la seva productivitat?

Aquesta pregunta es pot extrapolar a d'altres situacions d'interès més concret, com per exemple: quina es la quantitat mínima d'argila que ha de tenir el material de rebuig provinent d'una pedrera de ciment perquè pugui ésser utilitzat directament en la restauració del sòl i de la vegetació que cal fer en l'esplanada que resulta de l'extracció del material calcari amb què es fabrica el ciment?

O, encara, de vegades es planteja d'una manera més simple, però més rendible ara per ara: quines són les condicions físiques que ha de tenir el millor sòl possible per implantar un *green* d'un camp de golf?

Totes aquestes preguntes no tenen una resposta fàcil ni ben definida.

Ens podem preguntar perquè aquesta diferència entre l'avenç en el coneixement de la quantificació del binomi producció/condicions químiques del sòl respecte al binomi producció/estat físic del sòl. Però abans anem a veure quins són aquests altres factors del sòl que no han d'ésser limitants.

Els factors que directament poden limitar la producció són quatre. El primer és l'aigua disponible que té l'aparell radicular de la planta. No importa tant la quantitat d'aigua que té el sòl, com l'energia que té aquesta aigua en dos punts diferents del sistema SÒL-PLANTA-ATMOSFERA (l'anomenat *potencial hídric en un punt*). De fet, però, és aquest gradient de potencial entre els dos punts el que condiciona el sentit del moviment de l'aigua en el punt on fa ara (concepte estàtic del potencial hídric com la diferència de potencial que hi ha entre aquest punt i el punt a on volem que vagi l'aigua).

Com que l'aigua no presenta diferències qualitatives per efecte dels potencials hídrics que són freqüents en el sòl, cal entendre que l'aigua disponible depèn tant de la capacitat de les arrels de la planta per absorbir-

la, com de la capacitat del sòl per aportar-la i transmetre-la cap a les zones immediates, pròximes a les arrels, en la qualitat necessària i al ritme exigít per les condicions d'evapo-transpiració.

En un treball realitzat durant l'any 1988 al Penedès, (VILARÓ, 1988) s'estudia el perfil hídríc dels sòls de dues parcel·les de vinya utilitzant la sonda de neutrons. Segueix la humitat del sòl en deu tubs de mesura, en cada una d'ells pren mesures fins a una fondària de 2,5 a 3 m des del mes de maig fins al final de la verema, amb una periodicitat, primer, de tres dies, després, d'onze dies i compara aquests resultats amb els valors d'aigua útil obtinguts en el laboratori i amb alguns paràmetres de qualitat i producció dels ceps.

Els resultats del dia 16.9.88 (després de la verema) de tres dels tubs d'observació es recullen en la Taula 1).

Observeu que, com era previsible, l'aigua del sòl s'ha esgotat pràcticament, però fins a valors realment baixos, de manera que, per a alguns tubs, els valors obtinguts s'apropen molt més a valors d'humitat higroscòpica que no pas a valors de punt de marcimant permanent (PMP). No obstant això, si mirem la taula inferior, pràcticament no hi ha diferències significatives de qualitat i producció entre ceps que en aquestes dates tenien humi-

Taula 1

RELACIÓ ENTRE LES MESURES D'HUMITAT I LA QUALITAT DEL MOST I LA PRODUCCIÓ DELS CEPES

Fondària (m)	Tub A	Tub B	tub C
30	14,3	5,3	6,2
40	19,8	15,2	7,4
60	21,7	18,0	6,3
75	23,2	17,3	2,1
100	24,6	10,2	2,3
125	25,2	2,1	7,3
150	24,9	2,0	8,1
200	12,1	1,3	8,0

Percentatge en volum d'humitat dels tres tubs.

núm	Tub	s	Grau probable (graus)	Acidesa (g/L H ₂ SO ₄)	Producció (kg/cep)
8		484	11,95	5,90	4,27
7		162	11,70	5,58	3,41
6		151	10,95*	4,50*	2,62

s = Contingut hídríc total. * Mitjanes significatives per a α i 0,5. Font: VILARÓ, 1989

tats desiguals; només en un dels casos, precisament el més sec, hi ha diferències significatives quant al grau de sucre i a l'acidesa del raïm.

El segon factor físic del sòl que directament no ha de limitar-la producció és la disponibilitat d'origen, per poder cobrir les necessitats de respiració de l'aparell radicular. Excepte en algunes plantes adaptades a viure amb les arrels submergides en l'aigua (com és el cas de l'arròs), l'oxigen absorbit per la planta no pot ésser utilitzat per les arrels, i cal que l'agafin directament a partir de l'aire del sòl.

La renovació dels gasos del sòl es fa per difusió de masses d'aire a través de l'espai poròs del sòl fins a arribar a l'atmosfera. El procés pel qual es fa aquesta renovació rep el nom d'*aireació*.

L'oxigen del sòl no serà un factor limitant per al creixement normal de la planta mentre la difusió de l'oxigen a través del sòl permeti, dins d'uns marges, restituir en cada punt tot l'oxigen consumit per les arrels i ho faci a un ritme similar.

La informació sobre valors del contingut de O_2 i de CO_2 del terra es troba amb certa freqüència en la bibliografia, però la mesura del coeficient de difusió (és a dir, la velocitat de difusió) del O_2 en condicions de camp, és una mesura de la qual no hi han gaires dades, ja que és difícilment abordable ara per ara; en canvi, és precisament aquest coeficient de difusió que limita realment la disponibilitat de O_2 en les proximitats de l'aparell radicular.

La mesura de potencials d'oxidoreducció, tot i ésser una mesura interessant des del punt de vista agrícola, amb la qual sí que s'han establert algunes relacions quantitatives, es veu afectada per altres factors, com ho són les oxidacions i les reduccions que es produeixen en el sòl de NO_3^- a N_2 , de Mn^{+4} a Mn^{+2} , de SO_4^{2-} a S_2 , de Fe^{+1} a Fe^{+3} , etc.

Un tercer factor és la temperatura del sòl, que és el resultat del balanç de la radiació que rep a través de l'atmosfera i la coberta vegetal, de la radiació que és capaç d'absorbir segons quines siguin les seves característiques intrínseques (textura, matèria orgànica...), i, finalment depèn també de la radiació que emet el mateix sòl, factor lligat sobretot a la interfase sòl-atmosfera.

La radiació rebuda en un punt depèn de les condicions meteorològiques diàries, però també està estretament lligada a la seva localització: latitud, altitud, pendent i orientació, i també a les pràctiques d'ombreig que l'home practica.

L'absorció d'energia és regulada per la conductivitat tèrmica entre partícules del sòl (dins d'un mateix horitzó o entre horitzons) i per la capacitat calòrica del sòl (calor específica que habitualment s'expressa en unitats de volums $Joules/m^3$). La quantitat d'aigua que conté el sòl és el factor principal del qual depenen tots dos valors.

La radiació que és capaç d'emetre ja s'ha dit que depèn de la interfase sòl-atmosfera. Aquesta radiació emesa pot ésser, en bona part, controlada amb la tècnica tradicional del *mulching* i, més recentment, amb l'aplicació de làmines de plàstic (blanc, negre o transparent; directament a sobre el terra, amb la qual cosa podem accelerar el creixement dels cultius herbacis, especialment en els estadis inicials.

Els valors diaris de la temperatura instantània mostren l'intercanvi d'energia i de fluids entre el sòl i l'atmosfera. Modifica no únicament l'evaporació, sinó també l'intecanvi de masses d'aire entre el sòl i l'atmosfera; regula, per tant, l'aireació que es produeix en cada moment. Al llarg del cicle vegetatiu, la temperatura mitjana del període previ fixa el moment de la germinació de les llavors, el ritme de creixement dels plançons i de l'aparell radicular. Per descomptat, també regula l'activitat microbiana del sòl, que és responsable de la mineralització de la matèria orgànica.

En un altra escala cronològica, la temperatura, com la precipitació, condicionen la velocitat (i el tipus) d'alteració dels minerals primaris del sòl i, per tant, en regula el ritme.

El darrer dels factors que directament afecten el creixement de les plantes és la resistència mecànica que oposa el sòl al creixement dels vegetals, en particular de l'aparell radicular, i durant els estadis inicials.

La mesura més corrent d'aquesta resistència és la que es fa al camp amb l'ajuda d'un penetròmetre, aparell que, en el model més clàssic, consta de tres elements disposats d'una manera consecutiva: una punta cònica d'acer d'un centímetre d'alçada i de superfície lateral coneguda, és recolza en el terra; una barra graduada d'aproximadament un metre de llargada, que serveix per transmetre la força que fa l'operari en intentar fer avançar el con cap a dins del sòl fent pressió sobre un dinamòmetre, que mesura la força exercida per l'operari en cada moment.

Si un sòl ric en matèria orgànica, no saturat d'aigua i texturalment ben equilibrat és cultivat amb la maquinària moderna, els arres trenquen el terra en terrossos de diferents mides, formes, densitat i estabilitat. El resultat és una millora molt ràpida de la infiltració i de la renovació d'aire, es poden controlar les males herbes..., però al mateix temps l'acció climàtica sobretot (gel/desgel, mullat/dessecat, l'impacte de les gotes de pluja...) actua sobre els fragments i provoca una major ruptura fins a la seva total desintegració en partícules elementals, i crea sovint una fina crosta superficial que es troba quan està húmida, però que és molt dura quan s'ha assecat. Aquesta crosta es converteix en la nova interfase sòl-atmosfera i, per tant, a través seu ha de créixer el plançó, s'han d'intercanviar els gasos i ha d'entrar l'aigua en el sòl. D'altra banda, si no s'utilitza amb prou freqüència el subsolador, el pas repetit d'una màquina pesant que produeix vibracions forma una sola d'arada compacta i més o menys dura que

dificulta el desenvolupament de l'aparell radicular, especialment entre els 30 i els 50 cm de fondària.

La formació d'aquestes dues zones compactes en el perfil agrícola (encrostament superficial i sola de compactació) ens obliga a mantenir el cicle de compactar/descompactar, amb el conseqüent increment de costos de producció. L'ampli espectre de productes fitosanitaris que avui en dia estan a l'abast per controlar les males herbes ha permès desenvolupar sistemes de cultiu de conservació, sobretot en secà, que en alguns casos pot representar una apreciable reducció dels costos i, en molts casos, no sembla provocar un empitjorament greu dels altres factors de producció, que, com s'ha dit al començament, no han d'ésser limitants.

Però, com ja s'ha apuntat més amunt per al cas de la temperatura i de l'aigua, aquests factors no són independents entre ells, sinó tot al contrari, hi ha una estreta interconnexió entre aquests quatre factors. No obstant això, cal assenyalar que l'aigua és el factor que té el paper preeminent i que controla amb major efectivitat els altres tres; així, la resistència mecànica varia amb l'estat d'humitat, la calor absorbida també ho fa amb la humitat, però la quantitat d'aigua depèn també de la compactació del sòl. Per tant, les condicions físiques "òptimes" d'un sòl han de resultar de l'equilibri entre aquests quatre factors, que són els que actuen directament sobre la planta.

En la pràctica tradicional, aquests factors es controlen separatament, mitjançant la mesura d'una sèrie de paràmetres físics que indirectament subministren una informació quantitativa relacionada amb ells (Taula 2). Així, per exemple, en determinar l'aigua útil d'un sòl, en realitat determinen la capacitat que té el dipòsit d'aigua d'on la planta extreu l'aigua, però no l'aigua que hi ha en cada moment i menys encara amb quina energia està retinguda ni el gradient de potencial de l'aigua, que és, en definitiva, el responsable que passi a la planta o que no hi passi.

Un sòl llimós sovint té una mala estructura, i és difícil que tingui un bon coeficient de difusió de l'oxigen d'una manera permanent; per tant, l'estabilitat de l'estructura pot ser una mesura indirecta significativa a

Taula 2

PROPIETATS FÍSQUES DELS SÒLS QUE AFECTEN LA SEVA FERTILITAT

* FACTORS DIRECTES:

- I. Aigua disponible
- II. Aireació
- III. Temperatura del sòl
- IV. Resistència mecànica

* FACTORS INDIRECTES:

- estructura
- porositat
- densitat aparent
- infiltració
- corba característica d'humitat

l'hora d'avaluar la fertilitat física del sòl, però un sòl arenós també acostuma a tenir una pobra estructura, i en aquest cas les condicions d'aïració seran ben diferents.

Per tant, en general, la informació que es recull d'una manera sistemàtica només és una informació quantitativa, puntual i estàtica d'uns paràmetres que són dinàmics.

L'avantatge que tenen aquests paràmetres indirectes és que sovint mesuren característiques que poden ésser modificades per l'home, i que sovint ho són al llarg de les operacions de sinergia amb els nutrients que hi ha en el sòl.

Probablement, ara la resposta de la pregunta inicial de per què la informació quantitativa de les propietats físiques només serveix encara d'una manera qualitativa és més evident.

Per concloure recollirem les paraules de Letey, que diu que unes bones condicions físiques del sòl són les que no exigeixen una gran atenció per obtenir bones produccions; mentre que un sòl amb males condicions físiques pot demanar una atenció tan especial (i, per tant, cara) per obtenir una bona producció que no sigui econòmicament interessant aprofitar-lo agrícolament.

BIBLIOGRAFIA

- DOMÍNGUEZ VIVANCOS. 1989. *Tratado de fertilización*. Mundi-Prensa, Madrid.
- LETEY. 1985. "Relationship between soil physical properties and crop production". Dins: *Advances in Soil Science*, vol. 1 (B. A. Stewart, ed.).
- VILARÓ, J. 1989. *Aplicació de la sonda de neutrons en el control de humitat del sòl*. TFC, ESAB.