



## Ús i gestió del territori a la mediterrània: implicacions en la matèria orgànica del sòl

Joan Romanyà

Departament de Productes Naturals, Biologia Vegetal i Edafologia, Facultat de Farmàcia, Universitat de Barcelona

*LAND USE AND MANAGEMENT IN MEDITERRANEAN ECOSYSTEMS: IMPLICATIONS FOR SOIL ORGANIC MATTER. – In the Mediterranean basin, soils have been intensively used to supply food, raw materials and energy. Here we aim to interpret the current status of Mediterranean soils by considering their long history of human use. Mediterranean soils are characterized by their poverty of organic matter and frequent carbonate content. Classical studies indicate that carbonates may favor the retention of soil organic matter. As historic soil data is lacking, we have focused on studying the distribution of organic matter across contrasting land uses. We have seen that soil organic matter poverty mainly affects agricultural soils and pastures (mostly shrublands and grassy swards). In contrast, soil organic matter content in forest soils is very rich, especially in the case of carbonatic soils. However, high levels of organic matter in carbonatic soils are not found in arable or pasture soils. Moreover, pastures contain soil organic matter levels very similar to those of arable soils, particularly in carbonatic soils. In Mediterranean lands the lack of soil structure and the presence of carbonates may jeopardize soil aggradation after the cessation of agricultural practices. In this context soil protection strategies should be adapted to Mediterranean ecosystems in order to better withstand climate change.*

### Introducció

Al llarg de la història, en les societats agrícoles, el sòl ha estat a la base de la producció d'aliments, fibra i en el cas de les societats preindustrials fins i tot de combustible. A la conca mediterrània l'establiment de civilitzacions agrícoles es pot comptar en molts mil·lennis; les primeres civilitzacions agrícoles tingueren lloc a les muntanyes del mitjà orient situades a l'est del Mediterrani ara fa uns 12.000 anys (Hillel, 1991). La tecnologia agrícola que se'n derivà s'estengué ràpidament pel continent euroasiàtic al llarg d'un vast territori de latitud mitjana amb unes condicions climàtiques i de fotoperíode més o menys comparables (Diamond, 2005). Aquest territori comprèn des de la conca mediterrània fins als confins orientals de l'Àsia i és on després es va establir l'anomenada ruta de la seda. Al llarg de la història, a través d'aquests paisatges contigus i amb serralades disposades d'est a oest s'anaren difonent els avenços tecnològics produïts de manera més o menys aleatòria en els diferents punts d'aquest vast territori. Així doncs, a la conca mediterrània la tecnologia agrícola hi ha estat present des de molt antic i per tant l'impacte de les pràctiques agrícoles i ramaderes hi deu haver tingut lloc de manera sostinguda du-

rant molts mil·lennis. D'altra banda, sabem que la majoria de civilitzacions agrícoles acaben deixant un impacte en els sòls que al llarg del temps es tradueix en minves de la producció de planta (Vasey, 2002). Aquest impacte continuat, en alguns casos pot arribar a donar terres ermes o de molt baixa productivitat agronòmica. De fet, al llarg de la història sovint ha calgut rompre noves terres per poder mantenir el subministrament de menjar i de productes naturals a les poblacions creixents, posant de manifest que l'establiment de sistemes agrícoles sostenibles no ha estat el més comú en la nostra història.

Entre les funcions del sòl, a més de la producció d'aliments i fibres vegetals, hi trobem la protecció del medi ambient. Tot plegat fa que l'estat dels sòls sigui un bon indicador de la qualitat ambiental del territori amb implicacions en les aigües, l'atmosfera i en la producció primària dels ecosistemes. Si bé la producció vegetal té molt a veure amb el clima, la qualitat del sòl hi juga també un paper molt important. La capacitat d'un sòl de produir planta té a veure amb la seva capacitat de retenir aigua i nutrients, per ser després transmesos a les plantes, i també amb la seva capacitat de subministrar oxigen a les arrels. En un context mediterrani, on els sòls són d'entra-

da pobres en matèria orgànica (Vallejo, 1993), la riquesa en matèria orgànica d'un sòl es relaciona directament amb la seva capacitat de produir planta. De manera que en els sòls mediterranis la productivitat dels ecosistemes, si més no forestals, es relaciona positivament amb el seu contingut en matèria orgànica. El sòl amb més matèria orgànica són més productius i a més, com que la matèria orgànica s'origina a partir dels residus de les plantes, un sòl que sostingui una biomassa important de plantes tindrà més matèria orgànica que no pas un sòl nu o amb poca planta. Això permet el manteniment sostingut d'una biomassa elevada en els sòls forestals i una millora al llarg del temps de les condicions dels sòls aforestats que pot perllongar-se durant moltes dècades.

Molts ecosistemes forestals mediterranis, sobretot els de zones seques i semiàrides, són molt poc productius a causa de l'escassetat d'aigua. En aquests indrets, on tant la biomassa com la matèria orgànica del sòl acostumen a ser baixes, es poden donar les condicions en què els nivells de matèria orgànica del sòl disminueixin per sota dels llindars de desertització. Aquest fet és especialment rellevant a causa de l'increment d'aridesa (augment de temperatura i dels períodes de sequera) que es preveu a la conca mediterrània com a resultat del canvi climàtic (IPCC, 2014). Als sòls agrícoles tot i l'aportació de nutrients minerals i les sembres que s'hi fan anualment també és necessari el manteniment d'uns nivells de matèria orgànica mínims. Alguns autors han dit que nivells de carboni orgànic per sota d'un 1% poden suposar una mala producció agronòmica fins i tot en condicions de bona disponibilitat de nutrients (Loveland i Webb, 2003).

Si considerem que al llarg de la història l'exploració del sòl ha anat molt lligada a l'evolució tecnològica i demogràfica de les societats, podem pensar que en el cas de la mediterrània l'ús mil·lenari del territori deu haver tingut un fort impacte en els sòls. Així doncs en les properes pàgines farem una pinzellada sobre l'ús del territori a la mediterrània abans i durant la revolució industrial i en la revolució verda, on veurem com la història recent al Mediterrani també ha tingut la seva especificitat. Després farem un cop d'ull a l'estat actual dels sòls mediterranis i finalment veurem com el seu ús i la seva gestió poden afavorir la seva capacitat de produir planta i de retruc la seva conservació en el marc actual de condicions climàtiques canviants.

### **L'agricultura moderna d'abans de la revolució industrial: per què les rotacions de Norfolk no es van implantar a la mediterrània?**

Fins al segle XVII l'agricultura europea es basava en la rotació bianual, en el guaret i en un ús poc intensiu del fem o dels residus orgànics. En aquestes condicions sovint es trobaven davant una situació de rendiments decreixents. Quan ca-

lia augmentar la producció s'augmentava la superfície de conreu mitjançant l'artifatge de noves terres forestals que acabaven disminuint la seva capacitat de producció al llarg dels anys. Per fer front a aquest problema al final del segle XVII, primer a Anglaterra i després a Holanda, es comencen a produir millores en les pràctiques de conreu a partir de l'establiment de rotacions de conreus més complexos i amb un increment de l'ús de les lleguminoses. Un exemple clar d'aquestes millores agronòmiques el trobaríem en el que s'anomena les rotacions de Norfolk, ja que varen ser establertes en aquest comtat de l'est d'Anglaterra. L'establiment de rotacions de tipus Norfolk a grans extensions de territori constitueix la revolució agrícola de l'era moderna. Aquesta revolució tingué lloc abans de la revolució industrial i des d'Anglaterra i Holanda durant el segle XVIII s'estengueren per l'Europa Atlàntica i per les colònies. L'èxit de les rotacions de Norfolk, una revolució agrícola preindustrial de base orgànica, es deu a l'optimització de les rotacions amb lleguminoses i de l'ús dels fems procedents de l'augment de la densitat de caps de bestiar que se'n derivà. En síntesi podríem dir que l'establiment de noves rotacions amb lleguminoses permeté l'augment de la cabana ramadera que al seu torn resultà en un augment de la disponibilitat de fems que s'aplicaren de manera extensiva a les terres de conreu.

La implantació d'aquests nous sistemes de conreu suposà l'eliminació dels guarets i en conseqüència un notable augment dels rendiments de cereals que durant el segle XVIII van arribar a doblar els del segle XVII. Si bé com hem dit aquesta revolució agrícola de base biològica s'estengué ràpidament per l'Europa atlàntica i per les colònies tingué una incidència mínima al països mediterranis.

Si considerem les limitacions que el clima mediterrani posa a la producció primària potser podem entendre, si més no en part, les causes d'aquesta manca de difusió tecnològica entre l'Europa atlàntica i la mediterrània. Les condicions climàtiques mediterrànies limiten la densitat ramadera així com les possibilitats de les rotacions amb lleguminoses a causa de la sequera estival. A l'època preindustrial, als països mediterranis l'ús d'adobs estava força restringit a les àrees properes a les poblacions en el territori que avui dia coneixem com l'horta i que en molts casos acaba sent urbanitzat. Així doncs, en bona part dels paisatges mediterranis –en zones més o menys distants dels nuclis habitats– l'ús d'adobs en agricultura extensiva durant llargs períodes de temps devia ser nul o molt baix a causa de la baixa densitat ramadera de la zona.

Quan al segle XIX la revolució industrial arriba a casa nostra els fems eren la font principal de nutrients pels conreus encara que també s'utilitzaven com a fertilitzants altres recursos disponibles al territori. Aquests recursos, a més dels fems, incloïen l'aprofitament de diversos materials d'ús

comú a les masies o als pobles com ara les restes de menjar, les cendres domèstiques o de tallers i naturalment també els materials fecals humans. A part d'això per millorar la fertilitat del sòl, també s'usaven tecnologies agronòmiques com poden ser l'ús d'adobs verds o l'enterrament de carbó i cendres produïts pel mateix agricultor en els mateixos camps de conreu a partir dels propis residus de la collita o de materials d'origen forestal.

Actualment els adobs verds s'utilitzen sobretot en determinats models de gestió agrícola com és el cas de l'agricultura ecològica. Aquesta tècnica consisteix en utilitzar la biomassa vegetal, generalment enriquida amb lleguminoses, com un aportament de nutrients més o menys disponibles pel conreu que es faci a continuació. Fora del nitrogen incorporat per fixació simbiòtica, aquesta tècnica no suposa cap entrada neta de nutrients al sistema del sòl, si bé sí que n'afavoreix la mobilització alhora que ajuda a mantenir o augmentar els nivells de matèria orgànica.

La producció de carbó en finca s'ha deixat de fer en l'actualitat. Fins a mitjà segle XX es feia en petites piles de residus vegetals cobertes de terra, tal com si fossin petites carboneres que s'anomenaven els formiguers a causa de la seva similitud amb els nius de formigues. La tècnica dels formiguers la trobem citada en l'agricultura tradicional a tota la mediterrània i fins a l'Índia (Olarieta *et al.*, 2011). Aquesta tècnica es basa en la combustió lenta de petites piles de material forestal i/o de residus de collita colgades amb terra escampades arreu dels camps de conreu. Aquesta tècnica té un paral·lelisme amb les carboneres i per tant suposa una aportació de carbó vegetal i cendres al sòl. En el cas de Catalunya aquesta pràctica es va deixar de fer cap als anys 50 o 60 a tot estirar perquè un cop arribada l'agricultura industrial no s'hi veia cap raó per continuar-la fent. Paradoxalment, avui dia els beneficis del carbó vegetal al sòl són estudiats com una possible tècnica d'avantguarda (Gul *et al.*, 2015) si bé encara no s'ha estès com una pràctica agrícola habitual.

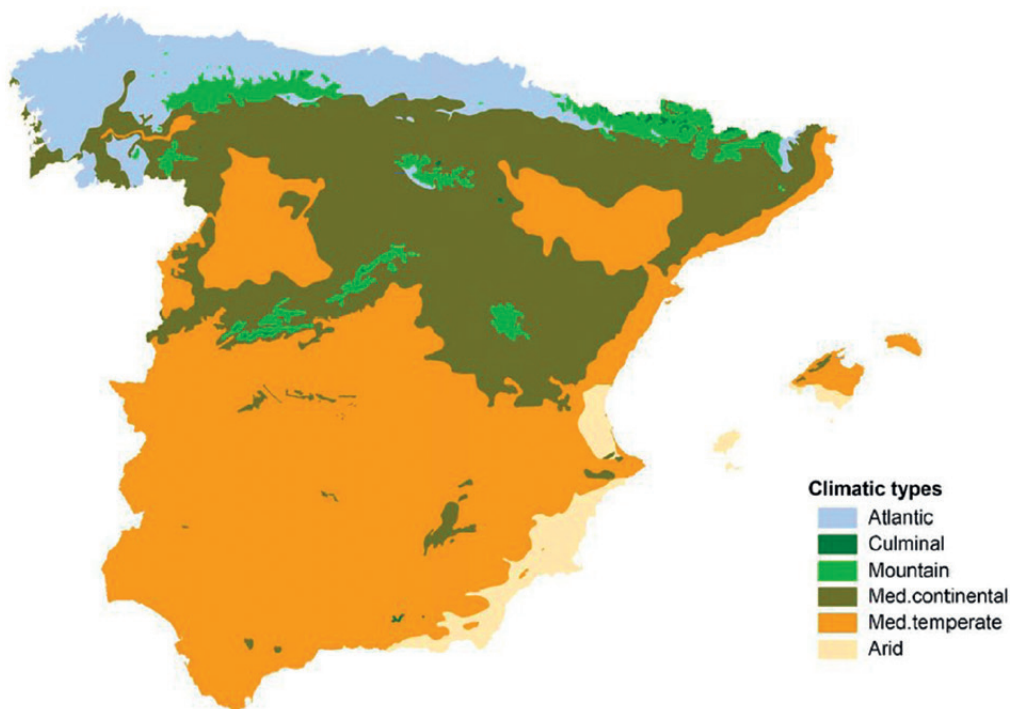
En zones industrials, al final del segle XIX i primers del XX la densitat de població augmenta. En aquestes condicions en les zones amb alta densitat de població, com ara la que es vivia a les comarques properes a les grans ciutats de la costa, es posà de manifest que aquest sistema de fertilització era insuficient per mantenir la producció agronòmica necessària per sostenir la població (Olarieta *et al.*, 2008). A més, ciutats i viles necessitaven cada vegada més del carbó vegetal per a les cuines i en algun cas també per a les màquines de vapor. Aquesta explotació intensiva del territori es pot veure en mirar fotos de paisatges de final del segle XIX i començament del XX en els que la presència de boscos era ben escassa (fig. 1).

Així doncs, l'alça notable dels rendiments agrícoles que tingué lloc a Europa al final del segle XIX fou a resultes de l'increment de les dosis de fem aplicades en el cas que aquests fossin disponibles i sobretot a l'ús de fertilitzants químics que a l'època van començar a ser utilitzats de manera general. El primers fertilitzants químics foren els fosfats i els nitrats ambdós obtinguts a jaciments geològics com ara les mines de fosforita, principal font de fòsfor, o les explotacions dels jaciments de guano; un material ric en fòsfor, nitrats i potassi. El guano no és més que acumulacions de dejeccions d'aus marines, foques i ratpenats que en indrets de clima àrid s'hi ha acumulat grans jaciments al llarg de mil·lennis.

Malgrat puguem datar l'inici de l'ús dels fertilitzants minerals al final del segle XIX podem dir que a la ribera nord de la mediterrània, fins a mitjà segle XX, la base de la fertilització continuà essent els fems i altres recursos del territori adjacent. En aquest període de temps els adobs minerals només representaven un mer complement (Garrabou *et al.*, 2010). Fou després de la Segona Guerra Mundial, i amb l'aparició de la síntesi industrial d'amoni ( $\text{NH}_4^+$ ) a través de la reacció de Haber Bosch que la base de la fertilització es transformà en essencialment mineral en bona part del territori. De fet els agrònoms de l'època ja



**Figura 1.** Paisatge de la comarca de l'Anoia al principi de segle XX i al principi del segle XXI. Veiem que durant el segle XX hi ha hagut un notable augment del territori forestal arbrat.



**Figura 2.** Classificació bioclimàtica d'Espanya segons Allué-Andrade.

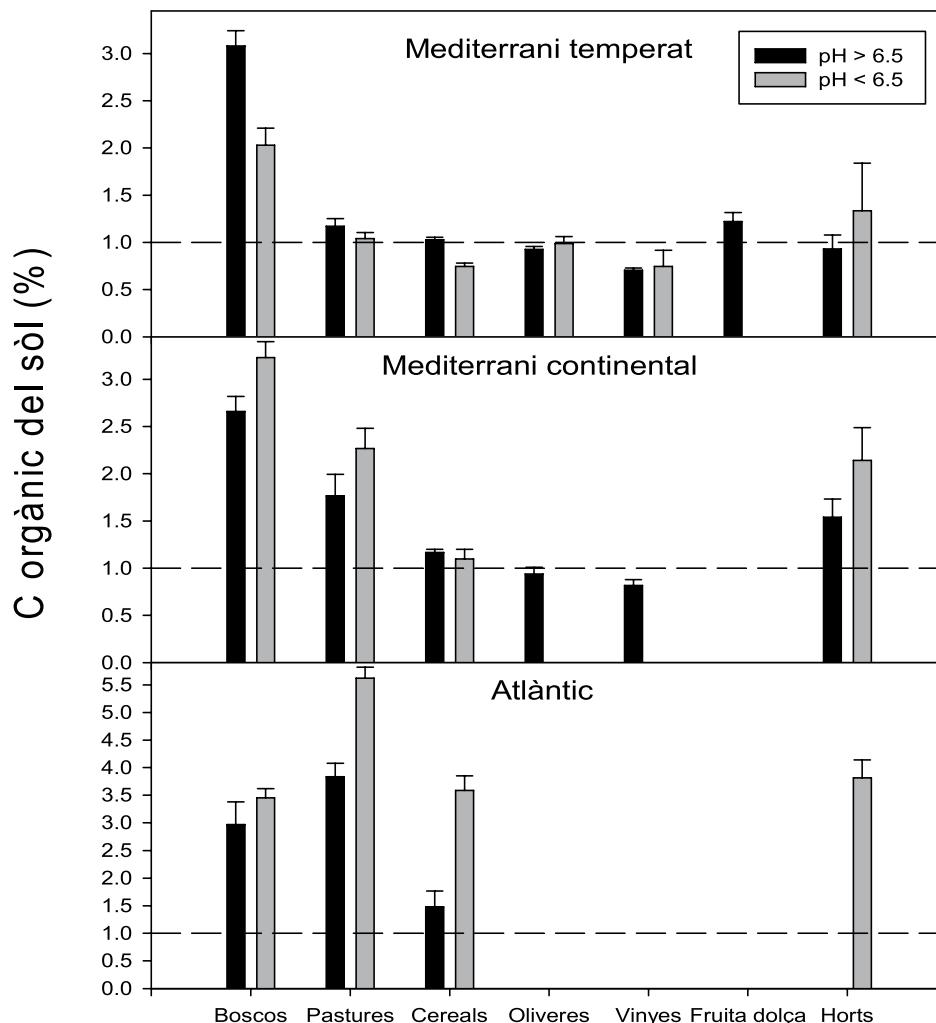
van mostrar preocupació per l'ús abusiu dels fertilitzants minerals, sobretot avisant dels riscos de prescindir de les aportacions de matèria orgànica al sòl (Aguilera, 1906; Sánchez Buedo, 1940). En els escrits de Sánchez Buedo s'hi podia llegir que 'els adobs minerals o químics no poden ni podran substituir als orgànics: són complements importantíssims i necessaris per incrementar la collita, sempre que es facin servir en el moment oportú i en les quantitats adequades'. Aquesta afirmació seria totalment acceptada pels agrònoms actuals si bé no es correspon a la praxis que tingué lloc en molts indrets durant les dècades posteriors a l'aparició de la síntesi industrial d'amoni.

**Estat actual dels sòls mediterranis: pobresa en matèria orgànica dels sòls de brolles, matollars i de conreu.**

A la figura 2 podem veure la distribució bioclimàtica de l'Espanya peninsular. La matèria orgànica del sòl depèn del clima i pot variar molt segons l'ús i la gestió del territori (fig. 3). Tal com seria esperable a dia d'avui els sòls mediterranis de conreu tenen uns nivells de matèria orgànica molt més baixos que els sòls forestals. Si bé en general els nivells de matèria orgànica dels sòls augmenta en climes freds i plujosos (atlàntic) en les nostres bases de dades veiem com aquest augment és màxim en els sòls de pastura (sota el terme de pastures s'hi inclouen els matollars i brolles mediterrànies que tradicionalment han estat usats com a pastures) i queda molt atenuada en

els sòls forestals i sobretot en els sòls de conreu que mostren pobresa de matèria orgànica arreu. Els sòls de conreu mediterranis mostren uns nivells de matèria orgànica clarament més baixos que en clima atlàntic i petits canvis entre les zones mediterrànies continentals i les temperades. Si ens fixem en els sòls forestals veiem que la variabilitat entre climes depèn del pH. El pH del sòl es relaciona amb la presència de carbonats; mentre que els sòls àcids (pH<6,5) no en tenen gens els sòls bàsics en poden tenir des de traces fins a quantitats molt elevades. En sòls àcids s'observa una disminució de la matèria orgànica a mesura que el clima es fa més sec, en canvi aquest efecte es perd si mirem els sòls bàsics. També podem veure com els sòls forestals de la zona mediterrània són clarament més rics en matèria orgànica que els sòls de pastures. Aquest fet però no s'observa a la zona atlàntica on s'hi veu la tendència contrària (fig. 3). De fet en estudis duts a terme arreu del món es veu com a un fet general que els sòls de pastures tinguin més matèria orgànica que els forestals; ja siguin de boscos primigenis o plantacions forestals (Guo i Gifford, 2002). Així doncs es posa de manifest la pobresa en matèria orgànica de les pastures (matollars i brolles) com un fet característic de la zona mediterrània.

Els nivells de matèria orgànica més baixos es troben als sòls llaurats sobretot en el cas de les vinyes on la terra roman nua la major part de l'any. A més, veiem que els sòls llaurats de la zona mediterrània es troben, en molts casos, per sota del nivell crític de l'1% de carboni orgànic

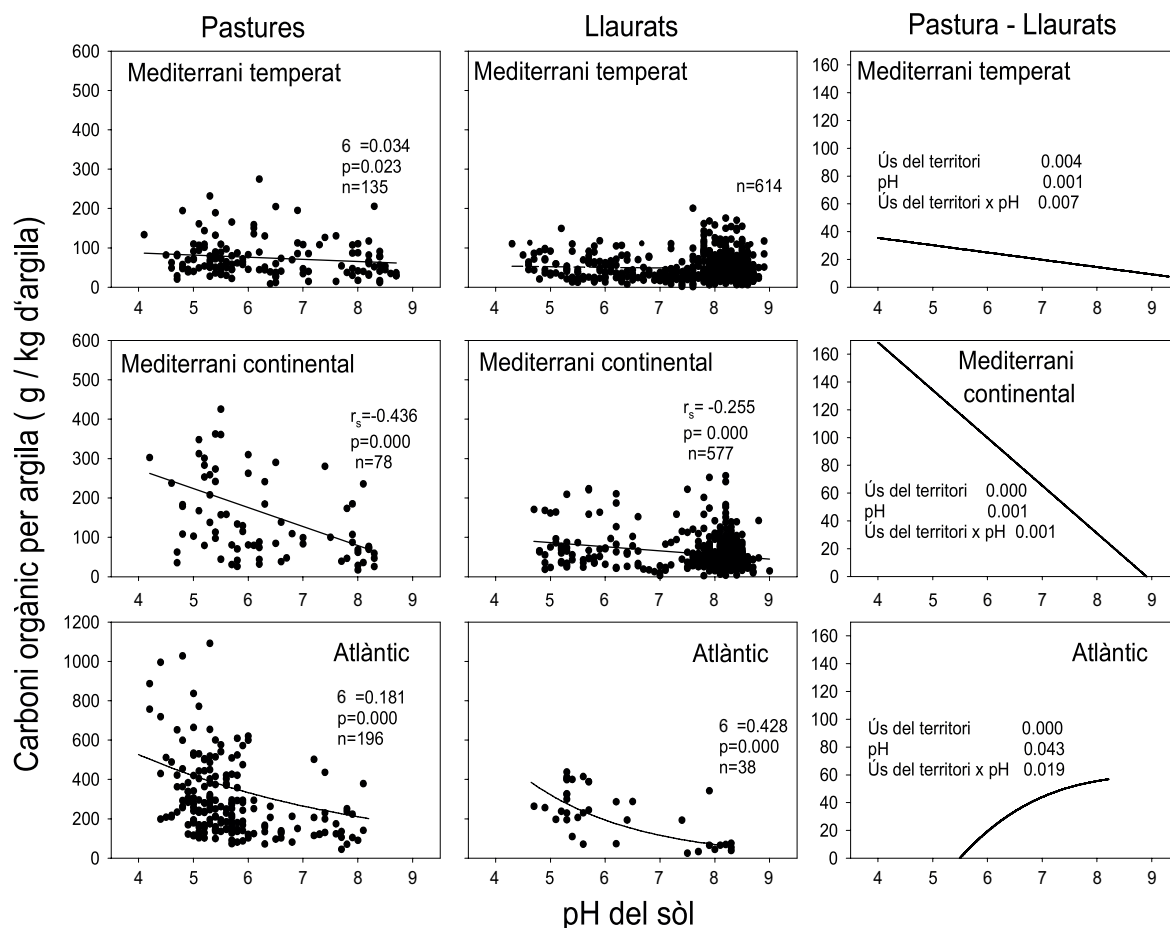


**Figura 3.** Contingut de carboni orgànic en els sòls de l'Espanya peninsular segons les classes climàtiques d'Allué-Andrade i segons l'ús del territori (forestal, pastura i agrícola). Les dades de pastures i de sòls de llaurada són de la base de dades de l'INIA (López-Arias i Grau-Corbí, 2005). Les dades de sòls forestals corresponen a Rovira *et al.* (2007). Els pHs<6.5 corresponen als sòls lliures de carbonats.

(fig. 3). Com ja hem dit anteriorment, es considera que els sòls amb menys d'un 1% de carboni orgànic poden perdre capacitat productiva fins i tot en el cas que s'hi afegixin fertilitzants minerals (Loveland and Webb, 2003). Això és així perquè la matèria orgànica afecta l'estructura i al funcionament físic del sòl. L'estructura defineix l'espai porós del sòl i per tant afecta la retenció d'aigua útil per a les plantes i també l'espai apte per ser colonitzat pels organismes del sòl, arrels incloses. En condicions mediterrànies la retenció d'aigua útil pot determinar tant la producció com la supervivència de les plantes. Per tant, els sòls amb mala estructura poden veure disminuïda l'entrada de matèria orgànica i de retruc se'n pot ressentir la seva estructura.

També voldríem destacar el fet que els nivells de matèria orgànica en sòls forestals carbonatats (de pH bàsic) són molt alts en els sòls de clima me-

diterrani temperats. Aquest fet podria anar relacionat amb l'acumulació elevada de matèria orgànica que es dona als sòls forestals calcaris a causa de la protecció que l'abundància de calci exerceix sobre la matèria orgànica. Els sòls forestals calcaris típicament evolucionen cap a terres brunes on s'hi forma humus del tipus *mull* amb horitzons minerals superficials especialment rics en matèria orgànica (Bonneau and Souchier, 1987). A part del calci, se sap que les argiles també protegeixen la matèria orgànica del sòl de la descomposició (Golchin *et al.*, 1998) de manera que els sòls rics en argila acostumen a ser generalment més rics en matèria orgànica. Així doncs, per interpretar la variació de matèria orgànica de sòls en usos i climes diversos, ens cal considerar a més de la seva riquesa en calci el seu contingut en argiles. A la figura 4 hi presentem els resultats de matèria orgànica (carboni orgànic) corregits pel contingut d'argiles de cada



**Figura 4.** Relacions entre el pH del sòl i el carboni orgànic per unitat d'argila en sòls de pastura, de camps llaurats de cereals i la diferència entre sòls de pastura i els llaurats. Els sòls de pastura inclouen les brolles i els matollars mediterranis. S'inclou la significació de l'anàlisi de la covariància (ANCOVA).

sòl i distribuïts segons el seu pH. El pH del sòl ens indicarà en bona part la seva riquesa en calci; alta en pHs alcalins i baixa en pHs àcids.

Sorprenentment, els resultats corregits ens mostren com la riquesa en matèria orgànica per unitat d'argila és més gran en sòls àcids que en sòls bàsics (fig. 4). Aquest efecte s'accentua en climes més humits i en el cas dels sòls de pastura més rics en matèria orgànica. No sembla doncs que el calci tingui un paper primordial en la protecció de la matèria orgànica en sòls llaurats o de pastura. L'acumulació de matèria orgànica per unitat d'argila que es dona en sòls àcids podria ser deguda a la limitació que l'acidesa exerceix sobre l'activitat microbiana.

Per contra, destaquem també la independència dels nivells de matèria orgànica amb el pH que es donen als sòls llaurats de la zona mediterrània temperada i el fet que les diferències entre pastures i sòls de llaurada són més grans en el cas dels sòls àcids mediterranis que no pas en els sòls de pHs bàsics. Aquestes diferències deuen tenir a veure amb més capacitat de produir planta de les pastures àcides en comparació amb les bàsiques.

### Els canvis d'ús del sòl fan canviar la seva reserva de matèria orgànica

Com ja hem vist, els sòls de la conca mediterrània han tingut una llarga història d'usos. La majoria dels sòls que actualment suporten matollars i brolles (pastures) o boscos, o bé han estat llaurats o bé han sofert algun tipus d'explotació en el passat (tales o carboneig). Quan un sòl s'explota acostuma a perdre matèria orgànica en bona part a causa de la rompuda de la gleba i de la disgregació del seus terrossos; i en el cas dels sòls forestals a causa de la destrucció de la capa de fullaraca. Quan el sòl deixa d'explotar-se passa per un procés de relaxació en què els seus nivells de matèria orgànica augmenten de manera més o menys ràpida segons la seva capacitat de produir planta. En un sòl no explotat la seva producció de planta defineix les entrades de carboni orgànic al sòl. Si les aportacions de carboni orgànic són suficients un sòl no explotat pot retroalimentar positivament la seva capacitat de produir planta durant un període post abandonó que s'anomena la fase d'agradació. Durant la fase d'agradació el sòl

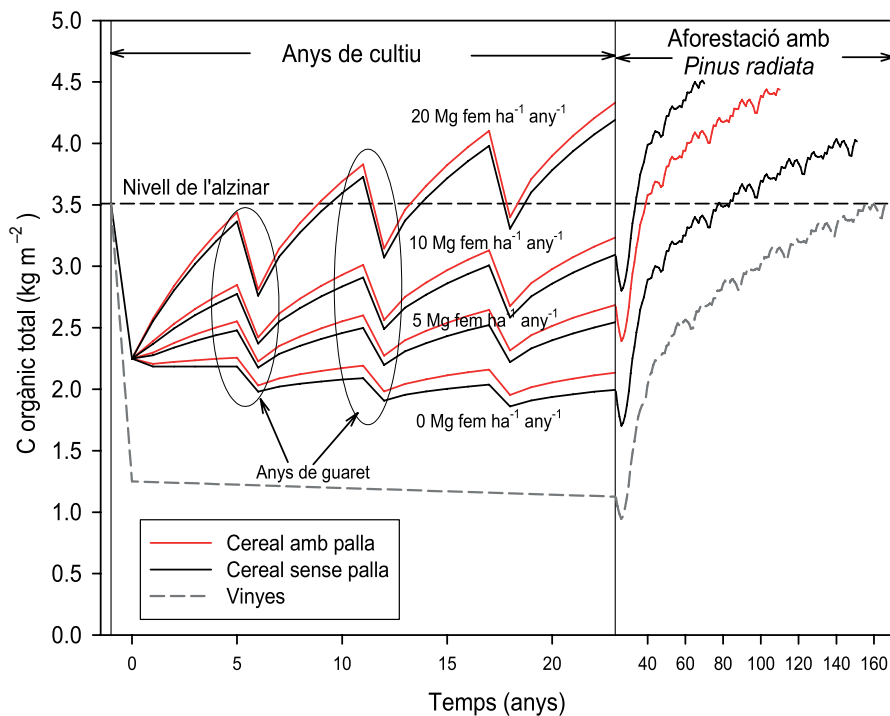
s'enriquirà en matèria orgànica i guanyarà en fertilitat. La capacitat de produir planta d'un sòl depèn del fet que hi hagi planta i si n'hi ha de la capacitat del sòl de fer-la créixer. En qualsevol cas, si un sòl està degradat no podrà sostenir una bona producció de planta i el seu contingut en matèria orgànica romandrà baix o fins i tot podrà disminuir. En aquest cas podríem dir que ens trobem davant d'un procés de desertització.

Vegem un exemple d'evolució de la matèria orgànica en sòls de Vallgorguina (Vallès Oriental) segons els canvis d'ús que han tingut lloc en aquell territori. Els sòls naturals de la zona d'estudi corresponen a alzinars litorals amb nivells de carboni orgànic força elevats al voltant de  $3.5 \text{ kg m}^{-2}$ . Durant la primera meitat del segle XX al Vallès hi abundaven els conreus de vinya i de cereals amb nivells de carboni orgànic molt per sota del nivell dels sòls forestals. Per tal de simular els canvis que tindrien lloc en aquests camps durant la primera meitat del segle XX hem considerat que l'aplicació de fems a la zona es confinava a sòls hortícoles i que pràcticament no se n'aportava als camps de cereals i a les vinyes (fig. 5). A partir d'un estudi amb cronoseqüències de plantacions forestals establertes en antigues vinyes o camps de cereals (Romanyà *et al.*, 2000) hem vist que l'establiment dels nous boscos que tingué lloc durant les dècades dels anys 60, 70 i 80s del segle XX han resultat en augments destacats de carboni orgànic al sòl que prolongats en el temps poden arribar a superar els nivells dels sòls de l'alzinar;

tant en el cas dels sòls d'antics camps de cereals com en el cas dels sòls d'antigues vinyes. Si bé en aquest segon cas, a causa en part de la menor reserva de matèria orgànica en el punt de partida es trigarà més anys en arribar-hi.

El pi insigne o de Monterrey és una exòtica de creixement ràpid –anomenada el pollancre de secà pels forestals de la zona– que creix molt més de pressa que l'alzina. Com a resultes d'aquest creixement ràpid les plantacions de pi insigne suposen una aportació de matèria orgànica al sòl molt elevada que ajudarà a la recuperació dels nivells de matèria orgànica perduts en l'establiment del conreu. D'altra banda cal dir també que el pi insigne exerceix una elevada demanda d'aigua i nutrients dels sòls que el suporten. Els sòls de la zona d'estudi si bé han perdut matèria orgànica durant els anys de conreu s'han mostrat capaços d'abastir aquesta elevada demanda d'aigua i nutrients. Per tant, tant els antics sòls de camps de cereals com els de vinyes no els podríem considerar com a degradats ja que mostren una bona capacitat de recuperació.

Durant els anys de conreu, en el cas dels cereals, es pot veure també com l'ús de quantitats elevades de fem pot ajudar a recuperar els nivells de matèria orgànica inicials i disminuir les diferències entre sòls agrícoles i els sòls forestals. De tota manera la disponibilitat de fems rics en matèria orgànica acostuma a ser moderada i a la pràctica es fa difícil fer aportacions de quantitats destacades de fems de manera continuada.



**Figura 5.** Disminució del carboni orgànic del sòl a causa de les rompudes del sòl d'alzinars en l'establiment de conreus de cereals i vinyes a la zona de Vallgorguina (Vallès Oriental) i posterior recuperació de carboni orgànic en ser reconvertits en plantacions de pi insigne (*Pinus radiata* D. Don; modificat de Milà i Canals *et al.*, 2007).



**Figura 6.** A la dreta carbonat càlcic precipitat als porus del sòl formant el pseudomicelis i a l'esquerra crosta de carbonat càlcic formada en un sòl del vessant Sud de Collserola.

Si tornem a la base de dades de sòls de conreu i pastures (fig. 4) veiem com les diferències entre els sòls cultivats i els de pastura disminueixen amb l'aridesa i es fan més petites o inexistentes en els sòls de pH elevats. A partir d'aquesta observació podem pensar que sobretot a la zona mediterrània temperada els sòls de conreu pràcticament no recuperen matèria orgànica un cop han estat abandonats. Aquesta manca de recuperació es fa encara més evident en el cas dels sòls de pH elevat, on a més les pastures presenten uns nivells de matèria orgànica extremadament més pobres als sòls forestals corresponents. Aquest fet podria estar relacionat amb els canvis en l'estructuració i amb la porositat del sòl que es donen en sòls pobres en matèria orgànica, i que poden ser especialment rellevants en sòls amb ciments carbonatats.

### **El paper de la matèria orgànica i dels carbonats en la reestructuració del sòl**

La matèria orgànica del sòl participa en la formació dels agregats del sòl. Perquè un agregat del sòl es mantingui convé que la terra incorpori matèria orgànica fresca de manera més o menys continuada. Els microbis que s'aglutinen al voltant de la matèria orgànica fresca generen uns mucil·lages responsables de la formació de meso i macroagregats de mides que van des de 50 µm a més 1 mm. Aquests agregats generen una porositat que afavoreix la infiltració i la retenció d'aigua útil per a les plantes. Les aportacions de matèria orgànica fresca en un sòl tenen lloc sobretot a partir de la dinàmica de les arrels fines, si bé l'aplicació de fems i altres fonts de matèria orgànica també hi poden contribuir.

En sòls bàsics els carbonats poden precipitar obturant els porus del sòl i cimentant els agregats. Aquests filaments carbonatats que es disposen seguint l'estructura de l'espai porós del sòl se'ls anomena pseudomicelis. De la formació de pseudomicelis en resulta una minva del volum de sòl apte per a la retenció d'aigua i pel subministrament de nutrients (fig. 6). La precipitació de carbonats pot arribar a ser molt intensa i acabar formant crostes subsuperficials en les quals tota una capa de sòl deixa de ser funcional per les plantes. En casos en què la precipitació de carbonats sigui incipient aquests poden tenir efectes en donar estabilitat als agregats del sòl. Si la precipitació de carbonats es dona en sòls molt pobres en matèria orgànica en els que els meso i microagregats estaran poc presents a causa de l'escassetat de mucil·lages microbians els carbonats fixaran una estructura amb poc espai porós que no afavorirà ni la infiltració ni la retenció d'aigua útil. Com a resultat d'això en aquests sòls la producció de planta pot veure's limitada per l'aigua i per la minva de volum de sòl útil pel subministrament de nutrients.

En un sòl en agradació, la producció de planta i conseqüentment les aportacions de matèria orgànica augmenten al llarg del temps. Aquest procés acostuma a millorar la formació de meso i macroagregats que alhora afavoriran la producció de planta. En el cas dels sòls carbonatats empobrits en matèria orgànica la formació de nous agregats es veu condicionada per la presència dels ciments carbonatats que dificulten la reestructuració de la terra i per tant en aquests sòls la recuperació pot veure's alentida per la seva menor capacitat de subministrar nutrients i aigua a les plantes i per la seva baixa capacitat d'infiltració d'aigua. A més en



aquests sòls, la presència d'agregats cimentats amb carbonats amb pocs pors pot afavorir l'escolament superficial d'aigua i la seva erosió. La recuperació d'aquests sòls haurà d'anar precedida per la seva descarbonatació. Destaquem que els sòls mediterranis de conreu de zones bàsiques solen tenir uns nivells de carbonats molt elevats, nivells que es mantenen en molts dels sòls de matollars i brolles.

### **Pobresa en matèria orgànica als sòls mediterranis romputs i de pastura**

Tant els sòls romputs com els de pastura de la zona mediterrània temperada són molt més pobres en matèria orgànica que els sòls forestals de la zona. Sembla ser que les terres rompudes un cop abandonades no recuperen gaire els nivells de matèria orgànica i queden lluny dels nivells dels sòls forestals. Això ho podem veure en el fet que els nivells de matèria orgànica de les pastures no és gaire superior al dels conreus i queda molt lluny dels nivells dels sòls forestals naturals de cada zona. Pensem que aquest fet pot ser degut al fet que la pobresa en matèria orgànica d'aquests sòls hagi afectat la seva capacitat de regeneració post abandonó, sobretot en el cas dels sòls de pH elevat amb presència de carbonats. Els canvis en l'estructuració i amb la porositat del sòl que es donen en sòls pobres en matèria orgànica en poden ser la causa. Així doncs, podríem pensar que la pobresa en matèria orgànica dels sòls mediterranis de conreu de l'àrea temperada indica que aquests sòls hauran traspasat el seu llindar de degradació. També veiem com els sòls carbonatats poden arribar abans al llindar de degradació que no pas els sòls àcids. En un sòl en agradació la terra guanya matèria orgànica en bona part a partir d'aportacions radicals. L'acció mecànica d'aquestes arrels i de la fauna del sòl (cucs de terra sobretot) que prolifera de la matèria orgànica fresca poden ajudar a recuperar l'estructura i la porositat del sòl i de retruc afavorir el creixement de les plantes. La recuperació de l'estructura del sòl en el cas dels sòls carbonatats pot ser més difícil de revertir a causa de l'efecte dels ciments carbonatats que fixen l'estructura dels agregats. Per reestructurar un sòl carbonatat pobre en matèria orgànica caldria en primer lloc disminuir-ne la quantitat de carbonats.

### **Com augmentar la matèria orgànica del sòl?**

Davant la pobresa generalitzada en matèria orgànica que presenten tant els sòls de llaurada com els de brolles i matollars mediterranis ens preguntem; com podem fer per augmentar la matèria orgànica dels sòls mediterranis? Hi ha diferents maneres per fer-ho. En el cas dels sòls agrícoles podem aplicar al sòl fonts de matèria orgànica provinents d'altres llocs (matèria orgànica exògena) com seria el cas de l'aplicació de fems o materials

orgànics compostats d'origen divers. També es pot disminuir la intensitat de llaurada o fins i tot deixar de llaurar els camps (sembrada directa) per promoure la reestructuració natural de la terra que sovint va lligada amb augments de matèria orgànica. Finalment també sabem que la implantació de cobertes vegetals enriquides amb lleguminoses i/o amb plantes amb arrels pivotants –cas d'algunes crucíferes– pot també afavorir la retenció de matèria orgànica al sòl i la reestructuració del sòl.

En estudis a llarg termini duts a terme al centre de la península Ibèrica sobre els efectes de la sembra directa en el sòl s'ha vist que els augments de matèria orgànica que s'obtenen són moderats –d'entre un 14 i un 24%– i que els guanys més elevats es donen sempre en sòls lliures de carbonats (Hernanz *et al.*, 2002; Hernanz *et al.*, 2009). En altres treballs en zones àrides peninsulars s'ha vist que l'aplicació d'esmenes orgàniques, com ara compost de gallinassa, ha augmentat la matèria orgànica i disminuït la quantitat de carbonats dels sòls (Romanyà i Rovira, 2007).

En el cas dels sòls forestals la matèria orgànica del sòl pot augmentar a partir de la regeneració natural de la vegetació o a partir de l'establiment de noves plantes forestals siguin arbòries o no. Així per millorar la matèria orgànica dels sòls forestals podem deixar que la vegetació natural s'hi implantí i s'hi desenvolupi o bé podem reforçar el territori amb espècies adequades al territori amb bona capacitat de creixement. La introducció d'espècies amb arrels pivotants i/o capacitat d'arrelament profund poden ajudar molt a la regeneració del sòl.

A la zona Mediterrània l'abandonament dels territoris agrícoles sovint dona lloc a ecosistemes poc productius (brolles o matollars) en què la matèria orgànica edàfica queda molt lluny dels ecosistemes forestals madurs i en el cas de sòls carbonatats els nivells de carbonats no sembla que disminueixin al llarg de la successió (García *et al.*, 2007; Martí-Roura *et al.*, 2011). En aquests ecosistemes caldria introduir-hi espècies forestals amb capacitat d'augmentar la producció de biomassa i de retruc afavorir la descarbonatació i la reestructuració de la terra. En moltes ocasions l'establiment d'aquestes espècies al camp hauria d'anar acompanyat de l'aplicació de materials orgànics compostats al clot de plantació o a la superfície de manera d'empallat.

### **Idees finals**

Els sòls mediterranis de conreu o d'antics conreus abandonats són pobres en matèria orgànica segurament com a resultat de l'ús intensiu que se n'ha fet al llarg dels segles. El mètodes generals de cultiu aplicats durant les últimes dècades no s'han caracteritzat pas per afavorir la recuperació de matèria orgànica d'aquests sòls. Actualment les polítiques europees intenten promoure diverses pràctiques agrícoles que afavoreixin la

recuperació de matèria orgànica d'aquests sòls. Aquestes tècniques un cop hagin aconseguit augmentar els nivells de matèria orgànica dels sòls de llaurada poden afavorir per una banda l'estalvi de fertilitzants i de fitosanitaris, i per l'altra l'adaptació dels conreus al canvi climàtic.

La conservació dels sòls forestals mediterranis ha d'anar lligada a la seva capacitat de produir planta. Produccions de planta molt reduïdes poden portar a la desertització del territori. Els sòls calcaris molt empobrits en matèria orgànica coincideixen amb nivells molt elevats de carbonats i presenten poca capacitat de produir planta. Sobretot en aquest cas convé buscar tècniques de millora de la seva productivitat que aniran associades a millores de l'agregació de la terra, afavorint l'espai porós i disminuint-ne els nivells de carbonats.

## Referències

- Aguilera, J. (1906). *Teoría y práctica de los abonos*. Librería de Francisco Puig, Barcelona
- Bonneau, M. i Souchier, M. (1987). *Edafología 2. Constituyentes y propiedades del suelo*. Primera Ed., Masson, S.A. Paris, Barcelona.
- Diamond, J. (2005). Guns, germs and steel. A short history of everybody for the last 13000 years. Vintage, Croydon, CR04YY
- García, H., Tarrasón, D., Mayol, M., Male-Bascompte, N. i Riba, M. (2007). Patterns of variability in soil properties and vegetation cover following abandonment of olives grooves in Catalonia (NE Spain). *Acta Oecologica*, 31: 316-324.  
[doi: 10.1016/j.actao.2007.01.001](https://doi.org/10.1016/j.actao.2007.01.001)
- Garrabou, R., Tello, E., Cussó, X. i Olarieta, J.R. (2010). Intensificación del abonado y crecimiento agrario en la agricultura catalana desde finales del siglo XIX hasta la actualidad: el ejemplo de la provincia de Barcelona y la comarca del Vallès. In: Garrabou, R., González de Molina, M. (eds.), *La reposición la Fertilización en los Sistemas Agrarios Tradicionales*, 1a edició. Icaria Editorial, Barcelona, pp. 255-297.
- Golchin, A., Baldock, J.A. i Oades, J.M. (1998). A model linking organic matter decomposition, chemistry and aggregate dynamics. In: Lal, R., Kimble, J.M., Follet, R.F. (eds.), *Soil Processes and the Carbon Cycle*. CRC Press, Boca Raton, Boston, pp. 245-266.
- Gul, S., Whalen, J.K., Thomas, B.W., Sachdeva, V. i Deng, H. (2015). Physico-chemical properties and microbial responses in biochar-amended soils: Mechanisms and future directions. *Agriculture Ecosystems and Environment*, 206: 46-59.  
[doi: 10.1016/j.agee.2015.03.015](https://doi.org/10.1016/j.agee.2015.03.015)
- Guo, L.B. i Gifford, R.M. (2002). Soil carbon stocks and land use change: a meta analysis. *Global Change Biology*, 8: 345-360.  
[doi: 10.1046/j.1354-1013.2002.00486.x](https://doi.org/10.1046/j.1354-1013.2002.00486.x)
- Hernanz, J.L., López, R., Navarrete, L. i Sánchez-Girón, V. (2002). Long-term effects of tillage systems and rotations on soil structural stability and organic carbon stratification in semiarid central Spain. *Soil Tillage Research*, 66: 129-141.  
[doi: 10.1016/S0167-1987\(02\)00021-1](https://doi.org/10.1016/S0167-1987(02)00021-1)
- Hernanz, J.L., Sanchez-Giron, V. i Navarrete, L. (2009). Soil carbon sequestration and stratification in a cereal/leguminous crop rotation with three tillage systems in semiarid conditions. *Agriculture Ecosystems and Environment*, 133: 114-122.  
[doi: 10.1016/j.agee.2009.05.009](https://doi.org/10.1016/j.agee.2009.05.009)
- Hillel, D. (1991). *Out of the earth. Civilization and the life of the soil*. University of California Press, Berkeley, Los Angeles.  
[doi: 10.1097/00010694-199108000-00014](https://doi.org/10.1097/00010694-199108000-00014)
- IPCC. (2014). Climate Change 2014 Synthesis Report Summary Chapter for Policymakers.
- López-Arias, M. i Grau-Corbí, J.M. (2005). *Metales pesados, materia orgánica y otros parámetros de la capa superficial de los suelos agrícolas y pastos de la España peninsular. I Resultados globales*. INIA-MEC, Madrid.
- Loveland, P. i Webb, J. (2003). Is there a critical level of organic matter in the agricultural soils of temperate regions: a review. *Soil Tillage Research*, 70: 1-18.  
[doi: 10.1016/S0167-1987\(02\)00139-3](https://doi.org/10.1016/S0167-1987(02)00139-3)
- Martí-Roura, M., Casals, P. i Romanyà, J. (2011). Temporal changes in soil organic C under Mediterranean shrublands and grasslands: Impact of fire and drought. *Plant and Soil*, 338: 289-300.  
[doi: 10.1007/s11104-010-0485-0](https://doi.org/10.1007/s11104-010-0485-0)
- Milà i Canals, L., Romanyà, J. i Cowell, S.J. (2007). Method for assessing impacts on life support functions (LSF) related to the use of "fertile land" in Life Cycle Assessment (LCA). *Journal of Cleaner Production*, 15: 1426-1440.  
[doi: 10.1016/j.jclepro.2006.05.005](https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2006.05.005)
- Olarieta, J.R., Padrò, R., Masip, G., Rodríguez-Ochoa, R. i Tello, E. (2011). "Formiguers", a historical system of soil fertilization (and biochar production?). *Agriculture Ecosystems Environment*, 140: 27-33.  
[doi: 10.1016/j.agee.2010.11.008](https://doi.org/10.1016/j.agee.2010.11.008)
- Olarieta, J.R., Rodríguez-Valle, F.L. i Tello, E. (2008). Preserving and destroying soils, transforming landscapes: Soils and land-use changes in the Vallès County (Catalunya, Spain) 1853-2004. *Land Use Policy*, 25: 474-484.  
[doi: 10.1016/j.landusepol.2007.10.005](https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2007.10.005)
- Romanyà, J., Cortina, J., Falloon P., Coleman, K. i Smith, P. (2000). Modelling changes in soil organic matter after planting fast-growing *Pinus radiata* on Mediterranean agricultural soils. *European Journal of Soil Science*, 51: 627-641.  
[doi: 10.1111/j.1365-2389.2000.00343.x](https://doi.org/10.1111/j.1365-2389.2000.00343.x)
- Romanyà, J., Rovira, P. (2007). Labile phosphorus forms in irrigated and rainfed semiarid Mediterranean grassy crops with long-term organic or conventional farming practices. *European Journal of Agronomy*, 27: 62-71.  
[doi: 10.1016/j.eja.2007.02.001](https://doi.org/10.1016/j.eja.2007.02.001)
- Rovira, P., Romanyà, J., Rubio, A., Roca, N., Alloza, J.A. i Vallejo, V.R. (2007). Estimación del carbono orgánico en los suelos peninsulares españoles. In: Bravo, F. (ed.), *El papel de los bosques españoles en la mitigación del cambio climático*. Gas Natural, Barcelona, pp 197-122
- Sánchez Buedo, E. (1940). Sobre el empleo de abonos. *Hojas Divulg.* Oct. 19
- Vallejo, V.R. (1993). Sòls pobres, rogencs i bruns. In: Folch R. (ed.), *Biosfera 5, Mediterrànies*, Fundació Enciclopèdia Catalana, Barcelona, pp. 27-33
- Vasey, D.E. (2002). *An Ecological History of Agriculture 10,000 BC to Ad 10,000*. Purdue University Press.