

DELS MATERIALS CLÀSSICS ALS ALTERNATIUS EN LA PREPARACIÓ DE SUBSTRATS

MOTIVACIONS DE LA SUBSTITUCIÓ, TENDÈNCIES, DISPONIBILITAT I CARACTERÍSTIQUES



Foto 1. Extracció de torba a Estonia. Autora: S. Burés.

01 Substrats i propietats

En el context hortícola, el terme *substrat* s'aplica a qualsevol material sòlid, diferent del sòl *in situ*, natural o artificial, pur o en barreja, que col·locat en un contenidor i sotmès a un programa específic de gestió (principalment reg i fertilització) permet l'establiment de l'aparell radicular amb un grau d'aeració satisfactori, possibilita una adequada nutrició hídrica i mineral i actua com a suport de la planta. El Comitè Tècnic 223 del Comitè Europeu de Normalització sobre milloradors del sòl i substrats de cultiu (CEN/TC 223 *Soil Improvers and Growing Media*), i també el RD 865/2010, de 2 de juliol, que regula l'àmbit dels substrats de cultiu a l'Estat espanyol, fan una definició molt més concisa però igualment vàlida de *substrat de*

cultiu: material sòlid distint de sòls *in situ* on es cultiven les plantes. El fet que s'hi cultivin plantes pressuposa que el material compleix els requisits recollits en la definició anterior. Aquest Real decret inclou també altres definicions d'interès en aquest camp: 1) component de *substrat de cultiu*: material que és adequat per a ser utilitzat com a ingredient d'un substrat de cultiu; 2) substrat de cultiu simple: el que s'obté a partir d'un únic component, i 3) substrat de cultiu de mescla o barreja: el que s'obté mitjançant la mescla de diversos components, orgànics o minerals, de síntesi o de les seves mescles. L'annex I del RD classifica els productes en 5 grups i indica de cadascun la denominació del tipus de producte. L'annex II conté les normes d'identificació i etiquetatge. El III, els mètodes d'anàlisi dels substrats de

cultiu i els seus components. El IV, els marges de tolerància dels mètodes anteriors. El V, la llista de residus biodegradables. El VI, els límits màxims de microorganismes i metalls pesants en els substrats de cultiu, i el VII les instruccions per a la inclusió d'un nou tipus en la relació de substrats de cultiu i els seus components.

El medi ambient en què les arrels de les plantes desenvolupen les seves funcions és determinat per les propietats físiques, químiques i biològiques del substrat i per la interacció entre l'aparell radicular i les fases sòlida, líquida i gasosa del substrat. Tot i que totes les propietats són importants, en el cultiu en substrats tenen més rellevància les propietats físiques que les químiques, ja que una vegada establert el cultiu no es poden corregir les limitacions físiques inici-

Taula 1. Definició d'algunes de les propietats físiques més rellevants.

Densitat aparent (DA):	relació entre la massa del material sòlid sec (105° C) i el volum que ocupa en unes condicions determinades, incloent la totalitat de l'espai porós existent. S'expressa en kg m ⁻³ .
Porositat o Espai porós total (P o EPT):	volum del substrat ocupat pels porus. S'expressa com a percentatge de volum respecte del volum aparent del substrat (% v/v).
Capacitat d'aire (CA):	és la diferència entre la porositat del substrat i el percentatge volumètric d'aigua retinguda pel substrat a 1 kPa de tensió, prèvia la seva saturació. Correspon al volum d'aire que hi ha en el substrat en aquestes condicions. S'expressa com a % v/v.
Aigua fàcilment disponible (AFD):	volum d'aigua alliberat pel substrat quan la tensió augmenta d'1 a 5 kPa. S'expressa com a % v/v.
Aigua de reserva (AR):	volum d'aigua alliberat pel substrat quan la tensió augmenta de 5 a 10 kPa. S'expressa com a % v/v.
Aigua disponible (AD):	la suma dels dos paràmetres anteriors (AFD+AR). S'expressa com a % v/v.
Aigua difícilment disponible (ADD):	volum d'aigua retingut pel substrat a 10 kPa de tensió. S'expressa com a % v/v.

als, mentre que hi ha la possibilitat de modificar les químiques, sempre que no siguin molt restrictives.

Les principals **propietats físiques** són la distribució de la mida de les partícules, la densitat

→
El medi ambient en què les arrels de les plantes desenvolupen les seves funcions és determinat per les propietats físiques, químiques i biològiques del substrat i per la interacció entre l'aparell radicular i les fases sòlida, líquida i gasosa del substrat. En el cultiu en substrats tenen més rellevància les propietats físiques que les químiques, ja que una vegada establert el cultiu no es poden corregir les limitacions físiques inicials, mentre que hi ha possibilitat de modificar les químiques sempre que no siguin molt restrictives.

aparent, la porositat o espai porós total i les relacions aire/aigua, de les quals deriven diversos paràmetres: Capacitat d'aire (CA), Aigua fàcilment disponible (AFD), Aigua de reserva (AR), Aigua disponible (AD) i Aigua difícilment disponible (ADD). La taula 1 mostra la definició de les propietats físiques més rellevants.

Les principals **propietats químiques** dels substrats són el pH, la capacitat tampó de pH, la capacitat d'intercanvi catiónic (CIC), la capacitat de retenció de fòsfor, el contingut total i disponible de nutrients, la relació C/N en substrats orgànics, el contingut total i disponible en metalls pesants i la salinitat.

Pel que fa a les **propietats biològiques**, cal destacar la bioestabilitat, l'activitat reguladora del creixement, la immobilització de nitrogen, la fitotoxicitat i l'activitat supressora de patògens. Les propietats supressores determinen el grau d'inhibició del desenvolupament de determinats agents fitopatògens (fongs, bacteris i també alguns nematodes) a causa de l'antagonisme biològic entre els microorganismes o els biocides naturals presents en el substrat i els organismes patògens.

Pel seu ús en els sistemes de cultiu fora del sòl, els substrats es poden classificar segons el grau **d'activitat o inactivitat física i química**. Un substrat físicament actiu és el que reté una quantitat apreciable d'aigua disponible i, per tant, pot estar subjecte a un programa de reg intermitent,

amb l'objectiu d'esgotar parcialment o totalment l'aigua disponible entre reg i reg; contràriament, un substrat físicament inert no reté una quantitat apreciable d'aigua disponible, i, per tant, requereix reg continu o una reserva d'aigua a la base del contenidor. Complementàriament, un substrat químicament actiu és el que presenta Capacitat d'Intercanvi Catiónic (CIC) apreciable, és a dir, que és capaç de retenir i bescanviar cations, per la qual cosa pot admetre un programa de fertilització discontinua, amb moltes variants i tipus d'adobs. Contràriament, un substrat químicament inactiu, en no presentar CIC apreciable, requereix un programa de fertilització amb solució nutritiva completa. En aquest escenari, es poden apreciar 3 variants bàsiques de cultiu en substrats:

- **Substrats inactius físicament i química:** en no tenir cap capacitat de retenció d'aigua ni de nutrients, requereixen disposar permanentment d'una solució nutritiva completa (SNC). El cultiu en esfèrules d'argila expandida n'és l'exemple principal.

- **Substrats físicament actius i químicament inactius:** en retenir aigua disponible però no nutrients, requeriran l'administració intermitent de SNC, que aporti conjuntament l'aigua i els nutrients. Els exponents principals d'aquesta variant són el cultiu en perlita, llana de roca, sorra, graves volcàniques i fibra de fusta.

- **Substrats actius físicament i química:** en retenir aigua i nutrients, admeten moltes combinacions de reg i fertilització discontinus, cosa que permet desvincular el reg de la fertilització i emprar molt diverses tècniques de fertilització (adobatge de base i/o adobatge de cobertura) i d'adobs (solubles, d'alliberament lent o controlat, solucions fertilitzants, etc.). Aquesta variant inclou el cultiu en torba, fibra de coco, escorces envellides o compostades, molt diferents tipus de composts (vegetal, de fens, de fracció orgànica de residus municipals procedents de recollida selectiva, de fangs d'estacions depuradores d'aigües residuals o de residus agroindustrials, vermicompost, etc.) i barreges entre els anteriors (tots orgànics) o d'aquests amb components inorgànics (perlita, sorra, gravetes volcàniques, etc.).

L'elecció d'un determinat sistema de cultiu en substrats, entre d'altres criteris i condicionaments, haurà de tenir sempre en compte la finalitat de la producció vegetal. Quan es tracta de posar en el mercat plantes senceres que hauran de continuar desenvolupant-se en el lloc de destinació (planters, esqueixos arrelats, plantes

Taula 2. Nivells desitjables de les principals propietats d'un substrat de gestió fàcil (adaptat d'Abad i col., 2004)

Propietats físiques	
Mida de partícules (mm)	0,25-2,5
Densitat aparent (kg/m ³)	< 300
Espai porós total (% volum)	>85
Capacitat d'aire (% volum)	20-30
Aigua fàcilment disponible (% volum)	20-30
Aigua de reserva (% volum)	4-10
Aigua disponible (% volum)	24-40
Propietats químiques	
pH en aigua (lleugerament variable segons el mètode de determinació)	4,5 - 5,0 (espècies acidòfiles) 5,5 - 6,5 (espècies neutròfiles)
Conductivitat elèctrica (molt variable segons el mètode de determinació)	Molt baixa o baixa (per a substrats no adobats)
Capacitat d'Intercanvi Catiònic (meq/L)	>50
Contingut en nutrients assimilables (molt variable segons el mètode de determinació)	Òptim o adequat segons el mètode i adaptat a l'exigència nutritiva del cultiu. Situació normalment assolida amb l'aplicació d'un programa de fertilització
Contingut en metalls pesants (mg/kg de matèria seca)	Pertinença a la Classe A (sense restriccions) o a la Classe B (no aplicable a cultius hortícoles comestibles) que estableix el RD 865/2010, sobre substrats de cultiu
Altres propietats	
Estabilitat (física, química i biològica) durant el període de cultiu	Elevada
Presència de llavors i propàguls de males herbes, nematodes i altres patògens	Exempt
Presència de substàncies fitotòxiques	Lliure

en contenidor per a jardineria interior o exterior, paisatgisme, restauració de sòls, fructicultura, etc.), sigui en el contenidor mateix o després de ser trasplantades, els substrats han de permetre una gestió senzilla del reg i la fertilització postvenda, per la qual cosa s'hauran d'emprar substrats actius físicament i química. Quan es tracti de comercialitzar una fracció o part del cultiu (horticultura comestible i flor tallada principalment), es podran emprar totes les variants abans descrites, especialment la segona i tercera. En aquest cas, també hi ha l'alternativa del cultiu sense substrat mitjançant tecnologies diverses com la tècnica de la làmina nutritiva (*Nutrient Film Technique, NFT*), el cultiu aeropònic, el cultiu hidropònic, etc.

En relació amb les característiques i propietats dels materials, cal indicar que no existeix el **substrat ideal** per cultivar plantes. Tret dels materials de característiques molt restrictives,

la major part es pot emprar per al cultiu en substrat sempre que es condicionin, esmenin o barregin amb altres materials abans del seu ús, i/o s'apliquin les tècniques culturals apropiades (principalment reg i fertilització) durant el cultiu. En qualsevol cas, el concepte clàssic de substrat ideal correspon més pròpiament al **substrat de gestió fàcil**, tant en condicions de viver com en postvenda, que està representat pels substrats actius físicament i química. La taula 2 presenta els valors desitjables dels principals paràmetres d'un substrat de gestió fàcil.

02 La torba àcida d'esfagne en els substrats hortícoles

Centrant-nos en els substrats actius físicament i química, el material més emprat és la **torba àcida d'esfagne**, amb diferents graus de

descomposició i granulometria, que s'extreu de torberes oligotròfiques. El rang de variació d'aquestes propietats és ample, atenent tant el grau de descomposició de les torbes com també la seva granulometria. Pel que fa el grau de descomposició i d'acord amb l'escala de Von Post, les torbes es poden classificar en rosses (H1 a H3), brunes (H4 a H6) i negres (H7 a H10). A mesura que incrementa el grau de descomposició de la torba (taula 3), les partícules són més petites, i s'observa disminució de la porositat total, augment de la densitat aparent, disminució de la capacitat d'aire, augment de la retenció d'aigua total, però sovint amb disminució de la disponible, i augment progressiu de la capacitat d'intercanvi catiònic. Per garantir una aeració suficient i evitar el risc d'asfíxia radicular, en els cultius en torba no s'utilitzen normalment les torbes negres i no es depassa el grau H5 de les brunes. Complementàriament, i per a un determinat tipus de torba, les empreses productores elaboren diferents granulometries, en les quals es compleix el patró que en disminuir la mida de les fibres disminueix la capacitat d'aeració i augmenta la retenció d'aigua.

Globalment, les **torbes rosses**, i en menor mesura les brunes, presenten unes propietats físiques i químiques (taula 3) molt adequades per usar-les com a substrat: densitat aparent baixa, molt alta porositat, capacitat d'aire satisfactòria i elevat contingut en aigua disponible, conductivitat elèctrica molt baixa i elevada capacitat d'intercanvi catiònic; el pH és molt àcid, per la qual cosa requereixen encalçament.

En qualsevol cas, les torbes tenen una fertilitat química molt baixa que requereix l'establiment de programes de fertilització sigui quin sigui l'objectiu de la producció hortícola, tret de l'arrelament d'esqueixos. Les torbes tenen algunes substàncies fungistàtiques, però en general es considera que no tenen activitat supressora de fitopatògens, i són, per tant, conductores de malalties.

Els substrats hortícoles a base de torba es formulen a partir de torba rossa i/o bruna sola (de diferents graus de descomposició i granulometria) o bé de barreges d'aquestes torbes amb altres materials inorgànics (perlita, sorra, vermiculita, graveta volcànica) o orgànics.

Els diferents usos de la torba com a combustible (calor i energia), agricultura general i substrat de cultiu s'han posat en qüestió en

Taula 3. Principals propietats de les torbes d'esfagne

Material	DA kg m ⁻³	EPT %v/v	CA %v/v	AFD %v/v	AR %v/v	AD %v/v	ADD %v/v	pH	CE dS m ⁻¹ E. Sat.	CIC meq/100g	CIC meq/L
Torba rossa 1	70	96	41	25	6	31	24	3,7	0,20	90	63
Torba rossa 2	75	93,3	29	33,5	6,5	40	25,3	3,8	0,29	101	76
Torba rossa 3	115	92,1	27,6	28,7	4,8	33,5	30,9	3,9	0,23		
Torba bruna	139	90,4	17	28,4	5,2	33,6	39,8	4,2	0,40	124	172
Torba negra	214	85,4	7,6	24	4,7	28,7	47,3	4,6	0,68	150	321

els darrers decennis per diverses raons, amb una actitud més decidida en els països no productors de torba, per raons òbvies. En el context general, cal destacar que **la torba és un recurs no renovable a curt i a mitjà termini** vinculat a ecosistemes d'alt valor que tenen una distribució geogràfica molt concreta, l'explotació dels quals és molt complexa i que en la major part dels països productors està sota estricta vigilància i control.

Les torberes es localitzen principalment en latituds elevades de l'hemisferi nord. Els majors dipòsits són al Canadà, el nord dels Estats Units, Rússia, els països bàltics, Noruega, Finlàndia, Irlanda, Polònia, el Regne Unit, etc. En latituds més baixes, es troben torberes en llocs alts, però els dipòsits són molt més petits, com ara Galícia, Astúries i Cantàbria a l'Estat espanyol. Les torberes s'han anat desenvolupant a partir de la darrera glaciació ara fa uns 12.000 anys, en retrocedir els glaciers i donar lloc a zones humides amb aigües de molt baixa salinitat, molt

pobres en nutrients i de pH àcid que van possibilitar l'establiment d'espècies oligotròfiques, principalment molses del gènere *Sphagnum*. L'acumulació dels residus d'aquesta vegetació en condicions anaeròbies per hidromorfisme fa que la descomposició microbiana sigui molt lenta i l'acumulació sigui molt més alta que la mineralització, cosa que dóna lloc a la formació de les torberes que són els sòls orgànics o histosòls. Les torberes actualment ocupen una superfície mundial de 4 milions de km² (3% dels sòls) i contenen 1/3 del carboni orgànic del sòl i el 10% de les reserves d'aigua dolça. Els ecosistemes de torberes són molt fràgils, amb una gran biodiversitat que configura hàbitats molt específics de flora i fauna i un freàtic molt vulnerable. A escala global, les torberes són grans embornals de CO₂ i emmagatzemen/segresten una gran quantitat de carboni orgànic que s'ha anat acumulant durant molt de temps. L'explotació de les torberes fa que esdevinguin fonts de carboni, cosa que afecta el canvi global en retornar a l'atmosfera carboni segrestat durant milers d'anys; altrament, l'explotació afecta greument també la flora i la fauna associades i la qualitat del freàtic. És clar que la torba és un recurs no renovable ni a curt ni a mitjà termini, la qual cosa va fer que la Convenció Marc sobre el Canvi Climàtic (CMCC; *United Nations Framework Convention on Climate Change*, UNFCCC) promogut per les Nacions Unides declarés que és un combustible fòssil (*fossil fuel*), és a dir, un recurs d'energia no renovable. No obstant, el Grup Intergovernamental d'Experts sobre el Canvi Climàtic (GIECC; *Intergovernmental Panel on Climate Change*, IPCC) classifica la torba com a combustible de renovació lenta (*slow-renewable fuel*).

Complementàriament als aspectes mediambientals, la torba és un material car, molt especialment per als països no productors, tot i que les empreses productores de torba per a horticultura han desenvolupat productes d'alta

qualitat a preus acceptables, ateses les bones prestacions que donen. La taula 4 presenta el resum de les principals característiques de les torbes rosses d'esfagne.

03 Materials alternatius a la torba: la fibra/pols de coco

Per les raons anteriorment exposades, la investigació en aquest camp s'ha centrat en la cerca de materials orgànics de naturalesa renovable que poguessin ser una alternativa total o parcial a la torba. La major part dels materials estudiats amb aquesta finalitat són residus o subproductes orgànics de diferent naturalesa i procedència. Aquesta recerca a escala mundial ha posat al mercat a partir dels anys vuitanta del segle passat un material de gran interès, **la fibra/pols de coco**. Es tracta d'un subproducte/residu agrícola, i, per tant, un **recurs renovable** que és una alternativa molt important a la torba i, per les seves característiques, pot arribar a substituir-la totalment. Tot i això, cal tenir present que es tracta d'un material procedent d'un cultiu tropical, el coco (*Cocos nucifera*), que es produeix en zones geogràfiques molt limitades i molt allunyades de les zones de màxim consum de substrats. Els països productors principals són Sri Lanka i l'Índia (90% del total), però també hi ha producció a Mèxic, Costa Rica, Tailàndia, les Filipines, etc. Els materials emprats com a substrats es generen com a residu del processament del mesocarpi fibrós del coco que té com a finalitat l'obtenció de les fibres més llargues que s'utilitzen per a fer cordes, raspalls, estores, etc. Aquest tractament produeix grans quantitats de fibres curtes i pols que és el material que es fa servir com a substrat o component de substrat.

La fibra/pols de coco presenta una àmplia variabilitat en les seves propietats que depèn, d'una banda, de la proporció entre fibres i

Taula 4. Resum de les principals característiques de les torbes d'esfagne rosses

Propietats físiques excel·lents (variables segons el grau de descomposició i la mida de les fibres)
Molt baixa fertilitat química
pH extremadament baix (requereixen encalcinament)
CE molt baixa
Elevada CIC
Disponibilitat molt localitzada
Cost elevat (especialment per als països no productors)
Recurs no renovable a curt i mitjà termini
Gran embornal de C / font de C en explotar la torbera
Ecosistema molt fràgil (biodiversitat, hàbitat especial, qualitat del freàtic)
Conductora de malalties

Taula 5. Principals propietats de la fibra/pols de coco

Material	DA	EPT	CA	AFD	AR	AD	ADD	pH	CE dS/m E. Sat.	CIC meq/100 g	CIC meq/L
Fibra de coco	63	95,8	40,3	21,1	2,6	23,7	31,8	5,9	0,5	52	33
Fibra de coco+pols	81	95	35,1	23,5	0,8	24,3	35,6	5,4	1,12	60	49
Pols+fibra de coco	79,8	95,1	22,3	29,4	1,2	30,6	42,2	5,8	2,54	74	59
Pols de coco	80,4	94,3	13,5	35,5	1,8	37,3	43,5	6,1	3,55	88	70

pols i també de la longitud de les fibres i de la mida de les partícules de la pols (taula 5). D'altra banda, també hi influeix la varietat de coco cultivada, l'estat de maduració del fruit, l'escenari edafoclimàtic d'origen, el procés industrial d'obtenció de la fibra i l'edat o grau d'envelliment del residu. Els materials derivats del coco presenten una DA molt baixa i una Porositat molt alta; ambdós paràmetres són similars als de les torbes rosses. La CA és funció de la proporció de fibres curtes/pols i presenta valors molt superiors als de la torba rossa quan la proporció és baixa, mentre que disminueix quan incrementa la proporció de pols. Complementàriament, els continguts en AFD i AD augmenten amb la presència de pols i assolixen valors similars als de la torba rossa quan tota la fracció és pols. L'ADD també augmenta amb la fracció de pols. La major part de productes comercials de fibra/pols de coco tenen una CA superior a la de la torba rossa i un contingut en AFD i AD inferior.

El pH és mitjanament o lleugerament àcid, adequat per als cultius i no requereix encalçat com passa amb les torbes. La CE és mitjana o alta, normalment superior a la de la

torba, i és menor en els productes amb més fibra. Aquest paràmetre pot ser molt limitant en alguns casos, especialment quan el procés de producció no hi ha aplicat un programa de rentat adequat. La CIC és inferior a la de les torbes i incrementa amb la proporció de pols, i també amb el temps d'envelliment/emmagatzematge, on es produeix una transformació aeròbica similar al compostatge i, per tant, un procés d'humificació. Pel que fa al contingut de nutrients, presenta nivells alts de les torbes rosses, que tenen una fertilitat potàssica i fosfòrica molt baixa. Els nivells de potassi van acompanyats també de continguts elevats de clorur i de sodi, que globalment són els principals responsables del valor de la CE. La relació C/N és generalment alta (70 a 190), molt més que en les torbes rosses (40-50), la qual cosa comporta un risc d'immobilització de nitrogen que es pot corregir amb un suplement de l'adobatge nitrogenat. Com en el cas de la torba, la fibra/pols de coco no té activitat supressora de patògens, i és, per tant, conductora. La taula 6 presenta el resum de les principals característiques de la fibra/pols de coco.

Taula 6. Resum de les principals característiques de la fibra/pols de coco

Propietats físiques relativament similars a la torba rossa (variables segons la proporció de fibra curta i pols i altres condicionants)
pH lleugerament àcid
CE mitjana però sota control pel risc de ser elevada
CIC mitjana
Baixa fertilitat nitrogenada, però nivells alts de K i P
Cert risc d'immobilització de nitrogen
Disponibilitat molt localitzada
Cost elevat (especialment per als països no productors)
Recurs renovable (residu agrícola)
Conductora de malalties

04 Materials alternatius a la torba: l'escorça de pi

Les escorces d'arbres van ser el material alternatiu a la torba que es va introduir més aviat en el sector hortícol del cultiu en contenidor a escala mundial. En les dècades dels anys 70 i 80 del segle XX, diversos investigadors dels Estats Units i d'Europa van posar a punt sistemes de cultiu en escorça pura o barrejada amb torba que es van transferir al sector productiu. A Catalunya, el seu ús s'inicia als anys 60 amb l'escorça de pi, però sense anar acompanyat de programes de recerca.

Les escorces d'arbre són un subproducte/residu de les indústries de la fusta, principalment de les de primera transformació, en el procés de decorticació dels troncs; són, per tant, un recurs renovable. Després d'aquest procés, normalment les escorces es trituren i s'apila el material. Atenent el tipus d'arbre, es poden distingir dues menes d'escorça: la procedent de coníferes, que s'anomena de fusta tova, i la procedent d'arbres dicotiledonis, o de fusta dura. L'ús de les escorces crues d'arbres en la formulació de substrats hortícoles pot presentar tres problemàtiques diferents, que tindran major o menor incidència en els cultius: 1) **deficiència de nitrogen**, induïda principalment per la descomposició *in situ* de components orgànics biodegradables com la cel·lulosa i l'hemicel·lulosa que comporta immobilització del nitrogen disponible procedent de l'adobatge; aquesta restricció és molt acusada en les escorces de fusta dura, que tenen un contingut elevat de cel·lulosa i baixa de lignina, mentre que es manifesta més dèbilment en les de fusta tova, que tenen molta lignina i poca cel·lulosa; 2) **fitotoxicitat**, perquè les escorces dels arbres contenen substàncies fitotòxiques, principalment orgàniques (substàncies fenòliques, terpens i resines), però també n'hi pot haver de naturalesa inorgànica (manganès); aquesta fitotoxicitat orgànica és un dels principals factors restrictius de l'ús de les escorces fresques o crues en el cultiu en substrats, i 3) **gran dificultat de rehumectació en assecar-se** a causa de l'aparició d'hidrofòbia, que en redueix l'amarabilitat posterior i disminueix la capacitat de retenció d'aigua. Aquest aspecte té importància en la disponibilitat hídrica del substrat tant en iniciar el cultiu amb escorces molt seques com durant el cultiu si s'ha deixat assecar massa entre reg i reg. Les tres problemàtiques anteriors es poden eliminar o reduir molt mitjançant el compostatge de les escorces crues. D'una banda, aquest procés promourà la descomposició d'una bona part de la cel·lulosa i l'estabilització de la matèria orgànica, i evitarà la immobilització de nitro-



Foto 2a. Escorça sense compostar. Autors M. López & X. Martínez.



Foto 2b. Escorça compostada. Autors M López & X Martínez.

gen. Complementàriament, en el decurs del compostatge es produeix el catabolisme de les substàncies orgàniques fitotòxiques i es millora l'amarabilitat del material. L'envelliment del material apilat, sempre que disposi d'una certa humitat i aeració, també resulta efectiu per resoldre els problemes anteriors, però requereix molt de temps. Per les raons anteriors, la major part de les escorces (fusta dura o fusta tova) destinades a l'horticultura se sotmeten al procés de compostatge.

En l'àmbit espanyol, el material més disponible per a aquest ús és l'escorça de pi (*Pinus spp.*), que conforma la major part del material que tracten les indústries serradores estatals. Segons el bosc de procedència, s'obtenen escorces de diferents espècies: *Pinus canariensis*, *P. halepensis*, *P. insignis*, *P. nigra*, *P. pinaster*, *P. pinea*, *P. sylvestris* i *P. uncinata*, principalment. El residu de la decorticació i trituració posterior de les serradores generalment és una barreja de diferents espècies de pi i pot contenir també escorces d'altres coníferes. Les propietats de les escorces de pi crues presenten variació segons l'espècie de pi predominant i l'escenari edafoclimàtic d'on procedeixen, però també hi

Taula 7. Principals propietats físiques de les escorces de pi crues o compostades

Material	DA	EPT	CA	AFD	AR	AD	ADD
Escorça de pi crua 1	121	92,5	56,8	6,2	1,1	7,3	28,4
Escorça de pi crua 2	133	90,9	60,5	3,3	0,5	3,8	26,6
Escorça de pi crua (10 - 30)	125	92	67,2	0,9	0,4	1,3	23,5
Escorça de pi crua (5 - 10)	150	90,2	62,8	1,2	0,5	1,7	25,7
Escorça de pi crua (10 mm)	173	89	54,9	2,3	0,9	3,2	24
Escorça de pi crua (0 - 5)	210	87,2	40,5	7,3	1,5	8,8	37,9
Escorça de pi compostada (0 - 5)	240	85,7	27	20,3	1,6	21,9	36,7
Escorça de pi compostada 3	190	80,6	28,4	12,7	2,6	15,3	36,9
Escorça de pi compostada 4	134	91	34,5	15,3	5,4	20,7	35,8
Escorça de pi compostada 5	222	86,8	25	21,8	3,8	25,6	17,8
Escorça de pi compostada 6	250	85,1	42	15	4,6	19,6	23,6
Escorça de pi compostada 7	236	84	36,7	11,2	1,3	12,5	34,8

Taula 8. Resum de les principals característiques de les escorces de pi

Crues	Compostades
<ul style="list-style-type: none"> • CA molt alta i contingut en AD molt baix • pH àcid • CE baixa/mitjana però sota control pel risc de ser elevada • CIC baixa • Cert risc d'immobilització de nitrogen • Cert risc de fitotoxicitat per Mn • Disponibilitat alta • Cost mitjà • Recurs renovable (residu forestal) • Conductores de malalties 	<ul style="list-style-type: none"> • CA alt o mitjà i AD mitjana/baixa (variable segons les matèries primeres i el procés) • pH lleugerament àcid o neutre • CE mitjana • CIC mitjana • Fertililitat química baixa però superior a la torba rossa (P i K) • Disponibilitat alta • Cost acceptable • Recurs renovable (residu forestal) • Activitat supressora de malalties

influença el procés de tractament a les indústries serradores, especialment la mida de les seves partícules. Les escorces compostades presenten notables diferències respecte de les crues, però també mostren variabilitat entre si, derivada tant de l'origen del material com del procés específic de compostatge.

Les propietats físiques de les escorces de pi no compostades (taula 7) indiquen que es tracta d'un material lleuger i molt porós, però amb DA superior i EPT inferior a la torba rossa i la fibra de coco, i amb una CA molt alta. El contingut en AD és molt baix i inferior al dels materials anteriors. Quan les escorces de pi es composten, s'observa una important variació d'aquestes propietats a causa de la disminució de la mida de les partícules i de la seva hidrofo-

bicitat. El compostatge comporta un increment de la DA, amb disminució de l'EPT i la CA i, complementàriament, un augment notori en el contingut d'AD. Les característiques dels composts mostren també variabilitat, atribuïble tant a les matèries primeres com al procés de compostatge, i determinats materials poden assolir valors de CA i AD molt similars als de la fibra/pols de coco i als de la torba rossa.

Pel que fa a les principals propietats químiques, les escorces de pi crues presenten un pH àcid (4,2 - 5,6) que augmenta cap a la neutralitat (6 - 7) amb el compostatge. La CE és baixa o mitjana i també incrementa en compostar-les. Similarmet, la CIC de les crues és baixa/mitjana (20 - 60 meq/100g) i augmenta en les compostades (70 - 90

meq/100g). La fertilitat química és generalment baixa, superior a la de la torba rossa en P i K i normalment C, però inferior a la fibra de coco en K i P. Quan els sòls de procedència dels arbres són àcids, les escorces acumulen manganès i el seu ús en cru pot provocar toxicitat en els cultius. Aquesta risc disminueix quan l'escorça es composta i no es presenta en sòls neutres o calcaris. Les escorces compostades, no pas les crues, presenten activitat supressora de diversos fongs i bacteris fitopatògens, i també de nematodes. Aquesta característica representa un valor afegit en relació amb la torba i la fibra de coco, que són materials conductors de fitopatògens. La taula 8 presenta el resum de les principals característiques de les escorces de pi crues i compostades.

05 Materials alternatius a la torba: els composts

En la major part dels països, i especialment en els que no disposen ni de torba ni de coco, s'han esmerçat notables esforços d'investigació i transferència per obtenir materials alternatius a partir d'un elevat nombre de residus orgànics d'alta disponibilitat local, que es generen en diverses activitats agrícoles, ramaderes, forestals, urbanes i de la indústria agroalimentària. Aquestes accions tenen un doble objectiu: **valoritzar residus orgànics com a recursos i disminuir el consum/dependència de torba i la fibra de coco**, i, per tant, reduir els costos de

producció hortícola. El compostatge d'aquells residus orgànics és l'eina general necessària per poder obtenir un producte útil com a substrat o com a component de substrat de cultiu, i ha de permetre l'estabilització de la seva matèria orgànica, la higienització, i l'eliminació de la possible fitotoxicitat orgànica i de llavors de males herbes i altres propàguls vegetals. Per aconseguir-ho, caldrà establir un control específic de les matèries primeres i del procés. El procés de compostatge es tractarà, com ja s'ha comentat anteriorment, en el capítol posterior d'aquest dossier tècnic.

Els composts obtinguts en les plantes de compostatge presenten unes característiques molt variables, atenent en primer lloc les matèries primeres emprades i la granulometria final, però també la tecnologia i el control del procés i la durada total i de les seves fases. En aquest context, cal tenir en compte que la major part dels composts de residus orgànics que es produeixen a les plantes de compostatge de Catalunya i d'arreu és, de fet, el resultat del compostatge conjunt (cocompostatge) del residu principal, del qual pren el nom el compost, amb un o diversos residus complementaris. Aquest tractament conjunt té com a objectiu equilibrar la matèria primera en relació amb el procés de compostatge a fi d'equilibrar la seva relació C/N, donar-li porositat d'aeració o reduir/aumentar la seva humitat, entre d'altres finalitats. Complementàriament, el cocompostatge permet gestionar més d'un residu. El compost d'escorça de pi, atesa la seva alta C/N, requereix la incor-



Allà on no es disposa ni de torba ni de coco s'han esmerçat esforços d'investigació i transferència per obtenir materials alternatius a partir de residus orgànics disponibles per tal de valoritzar-los i disminuir el consum/dependència de la torba i la fibra de coco.



Els composts tenen característiques variables ja sigui per les matèries primeres emprades, però també per la tecnologia, el procés i la durada de les diferents fases del compostatge. La major part dels composts que s'obtenen són el resultat del compostatge conjunt del subproducte principal, del qual pren el nom el compost, amb altres subproductes complementaris.

Taula 9. Principals propietats físiques i fisicoquímiques de diversos tipus de composts

Material	DA	EPT	CA	AFD	AR	AD	ADD	pH 1:2 v/v	CE dS/m 1:2 v/v
ESCORC	180	88,1	44,1	11,9	3,7	15,7	28,3	6,55	1,70
CECOR	230	86,7	41,9	13,5	3,8	17,4	26,9	7,30	2,79
CEDAR1	280	84,5	27	12,7	2,9	15,6	41,9	6,51	3,30
CEDAR2	310	82,4	39,8	12,8	2,9	15,7	26,9	8,03	3,90
CFEM1	230	87,3	43	13,6	3	16,6	27,6	8,92	4,28
CFEM2	280	84,9	40,6	14,8	1,4	16,2	28,2	9,43	10,88
CFORM1	240	86	57,7	8,8	1,4	10,2	18	8,27	7,44
CFORM2	200	88	61,9	7,4	1,8	9,1	16,9	8,24	8,23
CPU1	520	74,5	17,2	20,5	4,9	25,4	31,8	8,49	3,58
CPU2	380	80,3	34,6	11,7	3,8	15,5	30,7	8,30	3,86
CPU3	430	79,2	19,6	22,5	4,2	26,7	32,9	8,47	2,15
CHR	420	80	25,5	9,5	2	11,5	43	8,50	3,62
CVER	300	83,5	32,3	15,3	2,4	17,7	33,5	7,47	3,24

poració d'una font de nitrogen. Quan aquest requeriment es cobreix amb nitrogen inorgànic, principalment urea, es parla d'*escorça composta*, ja tractada a l'apartat 4; si s'usen residus orgànics rics en nitrogen, s'anomena *compost d'escorça*. Els fangs d'EDAR, per la seva baixa C/N, elevada humitat i manca d'aeració, requereixen materials vegetals rics en carboni, secs i grollers. Els fangs es poden compostar sols si contenen jaç de palla o fusta que ja equilibren la C/N i l'aeració i si no requereixen materials que els equilibrin. La FORM, en presentar característiques inicials similars a les descrites pels fangs, requereix residus vegetals, generalment residus de poda urbana triturats. Els composts de restes vegetals poden tenir diversos orígens, però



Foto 3. Compost de FORM (fracció orgànica de residus municipals). Autors M López & X Martínez.

Taula 10. Paràmetres de fitotoxicitat en diversos tipus de composts

Material	% de germinació	Long.radicular	Índex de germinació
ESCORC	100,1	120,5	120,6
CESCOR	94,9	152,5	144,7
CEDAR1	97,7	107,3	105
CEDAR2	0	0	0
CFEM1	41,6	44,5	18,4
CFEM2	0	0	0
CFORM1	0	0	0
CFORM2	0	0	0
CPU1	31,3	59,8	17,7
CPU2	41,3	45,0	19,4
CPU3	100,1	106,3	106,2
CVER	101,2	109,2	110,6

Taula 11. Resum de les principals característiques dels composts de residus orgànics

• Propietats físiques, fisicoquímiques i químiques molt variables segons les matèries primeres i el procés de compostatge. En general:

- Baix contingut en AFD i alta CA
- pH alt
- CE alt
- CIC mitjana o alta
- Notable fertilitat química (macro i micronutrients), però mineralització variable

• Àmplia disponibilitat local

• Baix cost

• Propietats biològiques:

- Capacitat supressora de malalties i nematodes
- Fitotoxicidad
- Possible immobilització de N

els més usuals són els residus de poda i sega urbanes que normalment requereixen una font de nitrogen i els residus hortícoles que, atenent la seva C/N inicial, acostumen a tenir el mateix requeriment.

Com ja s'ha exposat, hi ha una multitud de composts residus orgànics, cosa que fa impossible fer-ne una descripció mitjanament extensiva, per la qual cosa es presentaran alguns representants de les principals tipologies. La taula 9 mostra els paràmetres físics i fisicoquímics principals d'una escorça de pi compostada (material ja tractat a l'apartat anterior) i d'un compost d'escorça (ESCORC i CESCOR); dos composts de fangs d'EDAR (CEDAR 1 i 2); dos composts de fems (CFEMS1 i 2); dos composts de Fracció Orgànica de Residu Municipal (CFORM 1 i 2); 3 composts de poda urbana (CPU 1, 2 i 3); un compost de residus hortícoles (CRH), i un vermicompost de fems (CVER). Comparant-los amb els materials que poden substituir (torba rossa i fibra/pols de coco), aquests composts presenten, en general, major DA, menor EPT, major CA i menors continguts en AFD i AD. Aquesta regla general, no obstant, mostra notables variacions, ja que s'observa que alguns composts vegetals (CPU 1 i 3) presenten continguts en AFD i AD similars als de la fibra/pols de coco, tot i que tenen menor CA. Els composts de FORM tenen continguts molt baixos d'AFD i AD i, complementàriament, CA molt elevada.

El pH dels composts és, en general, excessivament bàsic i molt superior al de la torba rossa i la fibra/pols de coco, amb valors superiors a 8, i, per tant, limitants en molts casos (taula 9). No obstant, alguns són lleugerament àcids (ESCORC i CEDAR 1) i adequats per usar-los com a substrat, o neutres (CESCOR i CVER). La CE d'aquests composts és molt superior a la dels materials a substituir, i, tret de l'escorça compostada i del CPU3, la major part presenta risc de salinització ($CE\ 1:2\ v/v > 2,5\ dS/m$); els valors màxims, els presenten els composts de fems i de FORM.

La CIC dels composts és variable segons les matèries primeres i el procés de compostatge (de 40 a 125 meq/100g); generalment, és inferior a la de la torba i similar o superior a la de la fibra/pols de coco. La fertilitat química dels composts és quasi sempre molt superior a la de la torba rossa i molt sovint a la de la fibra/pols de coco, cosa que és un valor afegit important en el marc de l'estalvi de nutrients en el cultiu en substrats, tant pel que fa al seu

contingut en nutrients solubles o fàcilment disponibles (nitrat, amoni, potassi, etc.) com en nutrients totals. Quan els composts són estables, el N orgànic que contenen actua com a adob d'alliberament lent, però si són immadurs poden provocar immobilització de nitrogen. Complementàriament, la mineralització progressiva proporciona també fòsfor i diversos micronutrients i permet una disminució de les dosis d'adobatge. Dissortadament, aquest efecte positiu, derivat del contingut en nutrients totals, depèn de la taxa de mineralització del compost, que molt sovint és poc coneguda. Un aspecte que pot arribar a ser molt limitant des del vessant químic és la possible presència de metalls pesants, regulada pel Reial decret 865/2010 comentat a l'apartat 1. Aquesta norma legal estableix que els substrats de classe A (els més baixos en metalls pesants) es poden emprar en tots els usos de cultiu, i que els de classe B no es poden emprar en l'horticultura comestible. El contingut en metalls pesants dels composts depèn de la seva presència en les matèries primeres, per la qual cosa, quan es volen produir composts per emprar-los en la formulació de substrats, cal utilitzar materials amb continguts baixos i tenir en compte que el procés de compostatge farà augmentar-ne el contingut en reduir la matèria orgànica.

La fitotoxicitat dels composts, que pot ser també un factor restrictiu a l'hora d'usar-los com a component de substrats de cultiu, és molt elevada en la majoria; s'hi observa una forta inhibició del % de germinació de les llavors, la longitud mitjana de les radícules i l'Índex Conjunt de Germinació. La màxima fitotoxicitat (IG=0) s'observa en els composts de FORM, CEDAR2 i CFEM2, i és també molt alta en els CFEM1 i CGEG 1 i 2 (IG<20%). No obstant, alguns no mostren fitotoxicitat (CEDAR 1 i CPU3) i d'altres mostren efectes estimulants de la germinació (ESCORC, CESCOR i CVER). L'elevada fitotoxicitat que presenten molts d'aquests composts es pot atribuir, en molt bona part, a la seva elevada CE (compostos de FORM i de fems) que actua com un potent inhibidor de la germinació.

Un aspecte que resulta d'interès notori en relació amb les propietats biològiques és que la major part dels composts mostra activitat supressora de malalties vegetals i d'alguns nematodes, fenomen que ja hem descrit en parlar de l'escorça compostada i que dona molt d'avantatge a aquests materials en rela-



Foto 4. Compost de restes verdes de jardineria. Autora: R. Cáceres.



Foto 5. Compost de fems de bovi i restes vegetal. Autora: R. Cáceres.

ció amb la torba i la fibra/pols de coco que en són conductores. Aquesta activitat positiva es manifesta principalment en relació amb moltes malalties d'arrel però també s'ha observat pel que fa a algunes de foliars, la qual cosa suggereix que alguns composts són capaços de posar en marxa processos de resistència sistèmica induïda. En qualsevol cas, aquesta capacitat supressora pot comportar una millora de l'estat sanitari dels cultius i reduir els costos dels tractaments fitosanitaris, cosa que millora la sostenibilitat dels cultius en substrats.

Atenent els fets anteriors, l'ús dels composts de residus orgànics com a substrats alterna-



L'ús de composts a partir de subproductes orgànics com a substrats alternatius als clàssics presenta limitacions. Però, segons siguin les matèries primeres emprades i la conducció del procés poden minimitzar-se.



Foto 6. Diferents materials per a la preparació de substrats alternatius. Autor: O Marfà.

Taula 12. Criteris bàsics per a la substitució de torba i fibra de coco per composts en cultiu en substrats

1. Disposar de les anàlisis del compost
2. En composts sense limitacions analítiques, es poden formular substrats amb composts 100%
3. Quan hi ha restriccions analítiques (especialment CE, pH i fitotoxicitat), cal formular barreges en volum que garanteixin valors adequats de substitució parcial (25%, 33%, 50%, 66% o 75% v/v, segons la qualitat del compost)
4. Els materials complementaris són normalment orgànics (torba, fibra/pols de coco, etc.), i poden incloure d'inorgànics (perllita, arena, grava volcànica, etc.)
5. Com que els composts presenten generalment continguts mitjans o baixos d'Aigua disponible (AFD+AR), en els substrats que els contenen caldrà disminuir la dosi de reg i augmentar-ne la freqüència.

tius a la torba o a la fibra/pols de coco presenta sovint fortes limitacions, a causa principalment dels elevats valors de CE i pH i a la possible fitotoxicitat, però també per raó del baix contingut d'aigua disponible. Aquestes limitacions augmenten o quasi desapareixen en determinats composts, segons tant les matèries primeres com el procés de compostatge aplicat. En general, els composts d'escorça de pi o l'escorça compostada, els composts de poda urbana i alguns de fangs d'EDAR tenen més aptitud que els de fems o de FORM. Complementàriament, els composts tenen com hem dit aspectes avantatjoso-

sos en relació amb els substrats convencionals, derivats de la seva fertilitat química i de l'activitat supressora.

Algunes de les restriccions dels composts per al seu ús com a substrats es poden intentar disminuir/eliminar modificant el procés de compostatge. La selecció adequada de matèries primeres i/o la millora del procés poden disminuir-hi la salinitat, el pH, la fitotoxicitat orgànica i la presència de metalls pesants, i també augmentar-hi el contingut en aigua disponible.

Atesos els condicionaments d'aptitud, una bona part dels composts només es poden utilitzar com a substituïts parcials de la torba rossa o de la fibra/pols de coco, per a la qual cosa es formulen substrats de barreja amb una proporció volumètrica que dependrà de la seva major o menor aptitud per a aquesta finalitat. En la major part dels casos, aquesta proporció no pot superar el 50%, i són freqüents les incorporacions del 25 o del 33%. No obstant, alguns composts, especialment fabricats per al seu ús com a substrat de cultiu, es poden utilitzar al 100%. La taula 12 mostra els criteris bàsics de substitució.

06 Autors



Xavier Martínez

Grup de Recerca Emergent ASQUAS
Departament d'Enginyeria Agroalimentària i Biotecnologia (DEAB)
Escola Superior d'Agricultura de Barcelona (ESAB)
Universitat Politècnica de Catalunya (UPC)
xavier.martinez-farre@upc.edu



Marga López

Grup de Recerca Emergent ASQUAS
Departament d'Enginyeria Agroalimentària i Biotecnologia (DEAB)
Escola Superior d'Agricultura de Barcelona (ESAB)
Universitat Politècnica de Catalunya (UPC)
Marga.Lopez@upc.edu